

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal, según piso altitudinal de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica, para establecer criterios para el manejo integrado de cuencas

Marilyn Ortega Rivera

Cartago, Costa Rica

2012

Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal, según piso altitudinal de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica, para establecer criterios para el manejo integrado de cuencas

Marilyn Ortega Rivera ¹

Resumen

Se establecieron 68 parcelas temporales de 2000 m² (20 x 100 m); distribuidas en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica. Se evaluó la ecología del paisaje, composición florística y estructura en tres pisos altitudinales: basal, premontano y montano bajo y se establecieron recomendaciones de manejo integrado de cuencas. Se identificaron botánicamente los árboles con diámetro ($d \geq 10$ cm) y se estimó la altura total (m). El paisaje está dominado por tres coberturas: bosques, pastos y cultivos agrícolas. Las especies *Cordia alliodora*, *Prunus annularis* y *Miconia argentea* muestran una amplia distribución altitudinal y representan especies típicas de áreas abiertas y perturbadas, el piso montano bajo está dominado por dos especies de *Quercus spp.* Los ecosistemas más diversos corresponden a los bosques intervenidos del piso basal y los menos diversos a los bosques de altura del piso montano bajo. La diversidad disminuye conforme aumenta la altura. Se encontraron 29 especies bajo estado de conservación. Los valores promedio: a) Piso basal: bosques intervenidos, d: 23, 33 cm; Ht: 24 m; N/ha: 458 y G/ha: 22, 80 m². b) Piso premontano: bosques intervenidos, d: 22, 55 cm; Ht: 27, 32 m; N/ha: 423 y G/ha: 20, 56 m², potreros arbolados, d: 24, 27 cm; Ht: 18, 87 m; N/ha: 121 y G/ha: 6, 59 m². c) Piso montano bajo: bosques de altura, d: 26, 63 cm; Ht: 27, 50 m; N/ha: 380 y G/ha: 27, 18 m², bosques intervenidos, d: 22, 96 cm; Ht: 27 m; N/ha: 318 y G/ha: 15, 72 m², potreros arbolados, d: 24, 45 cm; Ht: 25 m; N/ha: 118 y G/ha: 6, 99 m². Las variables analizadas muestran que los hábitats presentes en la microcuenca han sido altamente intervenidos y se encuentran en estado de recuperación. Sobre la base del estudio, se recomienda fortalecer el área de extensión e investigación de la empresa, incluyendo a los paisajes agrícolas en las estrategias de conservación y manejo, integrando a los productores y dueños de fincas, y generando información sobre las relaciones hídricas entre la cobertura forestal y la producción, disponibilidad y calidad del recurso hídrico que llega a los embalses del proyecto hidroeléctrico Balsa Inferior.

Palabras clave: Paisaje, Bosques intervenidos, Potreros arbolados, Microcuenca, Manejo.

¹ Ortega Rivera, M. 2012. Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal, según piso altitudinal de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica, para establecer criterios para el manejo integrado de cuencas. Tesis de Licenciatura. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Landscape ecology and forest cover characterization as altitude level of the watershed of the river La Balsa, Costa Rica, to establish criteria for integrated watershed management.

Abstract

Sixty-eight 2000 m² temporary rectangular plots (20 x 100 m) were established, distributed in watershed of the river La Balsa, Costa Rica. Landscape ecology, floristic composition and forest structure, in three altitude levels were evaluated: basal, premontane and lower montane and established recommendations for integrated management of watersheds. Botanically identified trees with diameter (d) ≥ 10 cm and estimated total height (m). Landscape watershed is dominated by three coverages: forests, pastures and crops. Species *Cordia alliodora*, *Prunus annularis* and *Miconia argentea* show a wide altitudinal distribution and represent typical species of open and disturbed areas, lower montane zone is dominated by two species of *Quercus spp.* The most diverse ecosystems correspond to basal floor disturbed forests and less diverse upland forests to low montane floor. Diversity decreases with altitude. We found 29 species being conserved. The average values: a) Basal floor: disturbed forests, d: 23, 33 cm; Ht: 24 m, N / ha: 458 and G / ha: 22, 80 m². b) Premontane floor: disturbed forests, d: 22, 55 cm; Ht: 27, 32 m, N / ha: 423 and G / ha: 20, 56 m², wooded pastures, d: 24, 27 cm; Ht: 18, 87 m, N / ha: 121, G / ha: 6, 59 m². c) Lower montane Floor: upland forests, d: 26, 63 cm; Ht: 27, 50 m, N / ha: 380 and G / ha: 27, 18 m², disturbed forests, d: 22, 96 cm; Ht: 27 m, N / ha: 318 and G / ha: 15, 72 m², wooded pastures, d: 24, 45 cm; Ht: 25 m, N / ha: 118 and G / ha: 6, 99 m². The variables analyzed show that the habitats present in the watershed have been highly intervened and are in recovery. Based on the study, it is recommended to strengthen research and extension area of the company, including agricultural landscapes in conservation strategies and management, integrating producers and landowners, and generating information on water relations between the forest cover and production, availability and quality of water resources reaching the reservoirs of the hydroelectric project Balsa Inferior.

Keywords: Landscape, Disturbed forests, wooded pastures, Watersheds, Management.

¹ Ortega Rivera, M. 2012. Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal, según piso altitudinal de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica, para establecer criterios para el manejo integrado de cuencas. Tesis de Licenciatura. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Acreditación

Esta tesis fue aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura

Ecología del paisaje y caracterización de la cobertura forestal, según piso altitudinal de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica, para establecer criterios para el manejo integrado de cuencas

Miembros del Tribunal Evaluador

Braulio Vílchez Alvarado. M.Sc.

Director de Tesis

Luis Acosta Vargas. Lic.

Escuela de Ingeniería Forestal

Jorge Araya Ramírez. Lic.

Departamento de Recursos Naturales

Compañía Nacional de Fuerza y Luz

Marilyn Ortega Rivera

Estudiante

Dedicatoria

*...no nos dejes caer en la tentación
de olvidar o vender este pasado
o arrendar una sola hectárea de su olvido...*

Mario Benedetti

A mi familia.

A los bosques que tanto amo.

Agradecimientos

A mis padres y hermano por su apoyo y amor incondicional.

A mi tutor y amigo Braulio Vílchez, por creer en mí y heredarme parte de su sabiduría.

A Luis Acosta por su enseñanza, aportes y disposición.

A los ingenieros Sergio Feoli y Jorge Araya por su colaboración durante el desarrollo del proyecto.

A Alexander Rodríguez, Armando Estrada y Naum Vásquez por su colaboración en la identificación de especies.

A Marlen Camacho y Andrea Tapia por sus consejos y recomendaciones.

A la Compañía Nacional de Fuerza y Luz por el apoyo logístico y financiero. Especialmente a los choferes Jorge Segura y Jose Luis Rojas por su apoyo y colaboración.

Profesores de la Escuela de Ingeniería Forestal por todas las enseñanzas que me dejaron y a los funcionarios de esta escuela por su disposición y apoyo.

Grandes amigos y amigas que me acompañaron en este largo andar... Tatiana Loayza, Marilyn, Nelson, Néstor, Daniel, Shari, Sofía, Tatiana Camareno, Dawa, Guillermo, Michael Garro, Danilo, Michael Porras, María, Juventud Progresista y Fundación Casa del Indio sin ustedes este sueño no sería posible.

A todos y todas mis compañeros y amigos de Forestal con los que me relacione a lo largo de este período, me quedo con gratos recuerdos.

Índice General

| | |
|---------------------------|-----|
| Resumen | ii |
| Abstract..... | iii |
| Acreditación..... | iv |
| Dedicatoria..... | v |
| Agradecimientos | vi |
| Índice General..... | vii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 2 |
| RESULTADOS | 6 |
| DISCUSIÓN | 22 |
| CONCLUSIONES..... | 33 |
| REFERENCIAS | 33 |

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas boscosos de la región Tropical, corresponden a los complejos biológicos más diversos de la biosfera, cuyos servicios suplen las necesidades de la sociedad y de los grupos humanos que allí habitan (Melo y Vargas 2003), además proveen servicios a otros ecosistemas, por ejemplo, su función en la protección de los cauces, en la protección y retención de los suelos, en la producción de agua y mantenimiento de su calidad, protección de la biodiversidad, refugio y alimentación a la fauna, regulación de las zonas de recarga acuífera, entre otros. Sin embargo, su capacidad de producirlos depende de complejas interacciones biológicas, químicas y físicas que, a la vez, se ven afectadas por actividades humanas (Daily *et al.* 1997, Coomes y Burt 2001, MEA 2005).

En Centroamérica, la expansión de la frontera agrícola, la apertura de carreteras y la extracción de madera, está provocando la fragmentación acelerada de extensas áreas antes cubiertas por bosques naturales (Sánchez *et al.* 2001). La FAO (2003) ha estimado que el 40% de la totalidad del territorio Centroamericano está constituido por tierras utilizadas para pastoreo, a su vez, un 60% de estas áreas de pasturas se encuentran degradadas, como consecuencia de la producción ganadera tradicional basada en el manejo de pasturas sin árboles.

La transformación y fragmentación de los bosques tropicales representan la principal causa de la pérdida de diversidad biológica a nivel global, se estima que cerca del 50% de los bosques tropicales han desaparecido en los últimos cincuenta años por acción de diferentes actividades de origen antrópico (Skoles *et al.* 1993, Jang *et al.* 1996, Gallego 2002). Específicamente, en Costa Rica entre 1986 y 1991 se perdieron 225000 ha de bosque húmedo tropical y húmedo premontano, alcanzando un promedio de 450 km²/año de bosque talado y convirtiendo el 55% de los bosques en fragmentos de 3 a 50 ha (Sánchez *et al.* 2001).

Esto ha ocasionado diferentes problemas ambientales, como erosión y pérdida de la fertilización natural de los suelos, desertificación, emisión de gases de efecto invernadero y contaminación de aguas, además, influye en el cambio de la composición de las especies de las comunidades bióticas y la alteración en la función de los ecosistemas (Kaimowitz 2001, Harvey *et al.* 2008). Así mismo, la pérdida continua y el manejo inadecuado de estos hábitats afecta la calidad y disponibilidad de los servicios que dichos ecosistemas proveen, por ejemplo, la producción y regulación del agua, factor fundamental en el desarrollo de gran cantidad de actividades productivas, en la que se destaca la producción de energía.

En Centroamérica, los ecosistemas forestales juegan un rol importante en la provisión de servicios ecosistémicos hídricos vitales para el sector hidroenergético (Guo *et al.* 2000

Vincenzi 2001) y cada vez existe más información sobre las relaciones que existen entre los bosques y selvas como reguladores del agua en los trópicos, sin embargo, hay poca difusión para el público en general y los responsables de la toma de decisiones en particular. El desarrollo del sector energético es clave para el progreso de un país, principalmente de aquellos en vías de desarrollo (Klimpt *et al.* 2002, Keong 2005, Yuksek *et al.* 2006, Leguía *et al.* 2008) y entre los recursos renovables, el agua es la fuente más usada para generar energía (Frey y Linke 2002, Paish 2002, Reddy *et al.* 2006, Leguía *et al.* 2008). La unidad física básica en la regulación, planificación y manejo del agua es la cuenca (Maas, 2003), en la que muchos de los patrones hídricos que se observan, dependen de su relieve y pendiente, así como su tamaño, ubicación geográfica, tipo de suelo y litografía (Wanielista *et al.* 1997).

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. (CNFL) es una empresa dedicada a la venta y distribución de servicios eléctricos en la meseta central de Costa Rica; sin embargo, posee recursos hidroeléctricos fuera de ésta, así mismo es interés de dicha empresa desarrollar actividades de conservación y manejo integrado de cuencas, estrechamente asociado con el aprovechamiento y mejoramiento del recurso hídrico que llega a los embalses para la generación de energía hidroeléctrica. Como parte de sus proyectos de desarrollo, mejoramiento y distribución energética está el Proyecto

Hidroeléctrico Balsa Inferior en la microcuenca del río La Balsa, ésta se ubica en el extremo sur de la cuenca del río San Carlos, sobre las estribaciones de la Sierra de Tilarán, pertenece a la gran cuenca del río San Juan y a la subcuenca del Río Frío, cuenta con un área de 28637,82 ha y tendrá una potencia de 37,5 MW (con tres unidades de 12,5 MW) y una producción promedio al año de 122 Gwh (Gigavatio/hora). Por lo que se requiere del establecimiento de planes de gestión y manejo integral de cuencas, que permitan conocer y evaluar el estado, características y funcionamiento ecológico de los ecosistemas que la componen, que permitan identificar los servicios ambientales que estos proporcionan y la importancia de su protección; sin embargo, para el establecimiento de dichos planes de gestión, se necesita conocer y caracterizar los elementos que componen e influyen en la dinámica y desarrollo de la microcuenca tanto a nivel macro (paisaje), como a niveles más específicos (para cada ecosistema).

El objetivo de este estudio pretende evaluar la ecología del paisaje y caracterizar la cobertura forestal, según piso altitudinal de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica, para el establecimiento de criterios para el manejo integrado de cuencas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La microcuenca del río La Balsa mide 286,4 km², se

localiza entre los cantones de San Ramón, San Carlos, Alfaro Ruíz y Naranjo, provincia de Alajuela, se encuentra entre las hojas de la Fortuna, Aguas Zarcas, San Lorenzo, Quesada, Miramar y Naranjo, específicamente entre las coordenadas 435000 – 460000 m este y 1122000 – 1147500 m norte, del sistema proyección CRTM05 para Costa Rica. Forma parte de la subcuenca del río San Carlos, sección costarricense de la cuenca del río San Juan (Fig 1). La precipitación promedio anual es de 1914 mm, los meses de diciembre a abril son los menos lluviosos con valores inferiores a 60 mm.

Los picos de mayor pluviosidad se localizan en los meses de junio y setiembre, los cuales presentan entre ellos un comportamiento descendente en los meses de julio y noviembre (Castro 2008).

La microcuenca del río La Balsa posee una topografía difícil y muy accidentada geomorfológicamente se caracteriza por presentar rangos altitudinales entre los 2300 m y los 100 m (Ramírez 2009). La elevación media es de 1084 msnm, con una pendiente media de 18,9% (PROIGE 2007), presenta forma

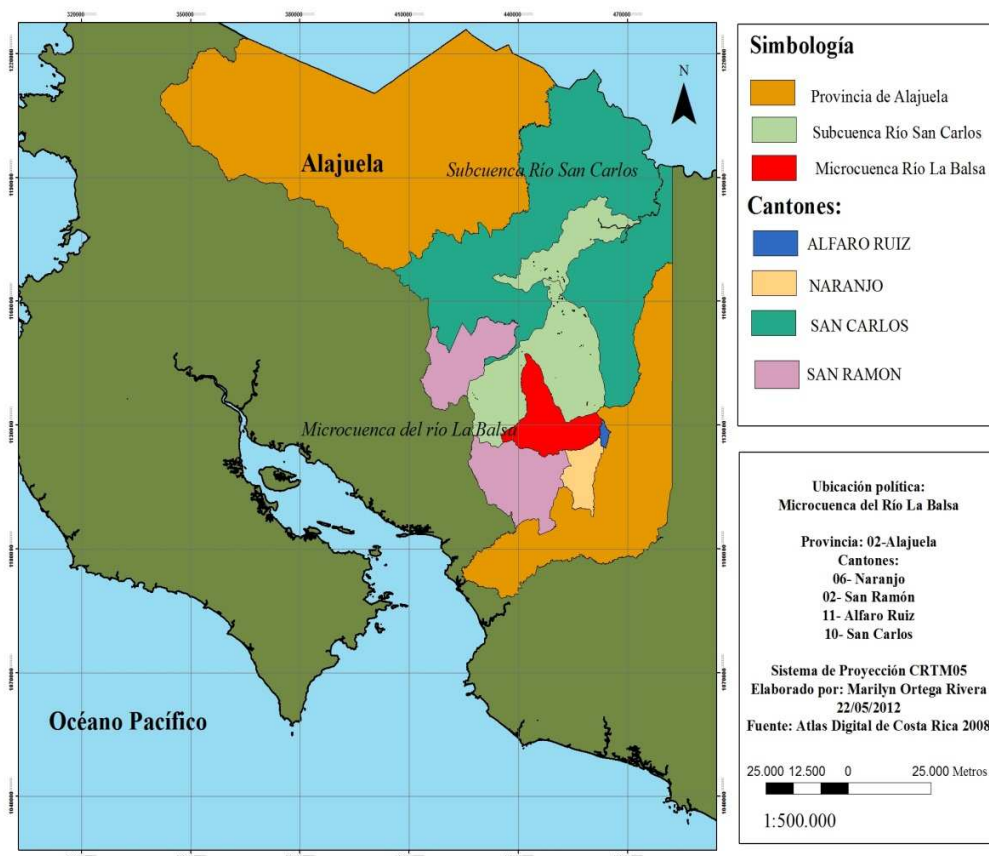


Fig 1. Ubicación geográfica de la microcuenca del río La Balsa, en el contexto de la subcuenca del río San Carlos, Costa Rica.

oval-oblonga a rectangular- oblonga y un perímetro de 99,6 km, la pendiente media del cauce principal es de 15,7 (m/km) y la longitud es de 40 km (Castro 2008). Los usos del suelo predominantes son coberturas boscosas, usos de cultivos y pastos de diferentes tipos (Ramírez 2009).

Los bosques de la microcuenca pertenecen a 3 pisos altitudinales, basal premontano y montano bajo, en los que se encuentran 10 zonas de vida, según el Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987). Dentro del área de estudio se encuentran el Parque Nacional Juan Castro Blanco (3,5 km²) y la Reserva Protectora El Chayote (1,54 km²) (Castro 2008).

Muestreo: Se utilizaron las capas de zona de vida según Holdridge (1987), ríos, mejorada por personal de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), carreteras del Atlas Digital de Costa Rica 2008 y el mapa de cobertura del año 2008 (CNFL) basado en la interpretación de fotografías aéreas por parte del personal de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). Del mapa de cobertura se escogieron los usos de suelo: pastos arbolados y bosques, mientras que a la capa de ríos y carreteras se les aplicó un buffer de 500 metros, al unir estas capas se obtuvo un mapa inicial. Una vez que se obtuvo este mapa, se sobrepuso con el mapa de zonas de vida, para obtener un mapa base al que se le aplicó el comando “point randomizer” del programa ArGis versión 9.3, esta extensión pide ciertos criterios de selección, los cuales se definieron como:

no más de 12 puntos por zona de vida y con una intensidad del 1% del área total del mapa base.

En el campo se localizaron los puntos de muestreo utilizando las unidades de GPS Garmin C60 Sx y Oregon 550, con un error relativo de 2 m cada uno. En cada punto de muestreo se estableció una parcela rectangular de 2000 m² (20 x 100 m), para un total de 68 parcelas numeradas en forma consecutiva del número 1 hasta el 68 con una intensidad de muestreo de 4,74%.

Recolección de datos: El muestreo se empezó a realizar a partir del mes de febrero del año 2011. Dentro de cada parcela para árboles con diámetro mayor o igual a 10 cm se midió: el diámetro a 1,3 m de altura, se estimó la altura total en metros (m). Cada individuo muestreado fue identificado a nivel de familia, género y especie por especialistas en el campo y a los individuos que no se lograron identificar en el campo se les recolectó una muestra; la respectiva identificación se realizó mediante el uso de claves taxonómicas y consulta a expertos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y del Herbario Nacional de Costa Rica.

Análisis de datos: Durante el desarrollo del muestreo se realizó comprobación de campo de los usos de suelo reportados en el mapa de cobertura del año 2008, las categorías de uso de suelo se estandarizaron para facilitar su clasificación y el análisis de los datos, el resultado son tres usos de suelo (potreros

arbolados, bosques intervenidos y bosques de altura). Además, los datos se manejaron a nivel de piso altitudinal. Se utilizó la prueba de Shapiro–Wilks para determinar la normalidad de los datos utilizando el programa estadístico InfoStat-e (Rienzo *et al.* 2011); sin embargo, al no encontrar normalidad se aplicó el método de interpercentiles (del 2% para cada cola) para homogenizar los datos a analizar.

Variables

Ecología del paisaje: Se utilizó la herramienta Patch Analyst Versión 2.1 (Elkie *et al.* 1999) que funciona como una extensión del software Arc View 3.3 (ESRI) que permite obtener diferentes métricas de fragmentación de paisaje. En este caso se evaluaron estadísticas a escala 1:150000, tanto a nivel de clase (fragmentos que representan el mismo uso de suelo), como a nivel de paisaje (para todos los fragmentos y clases a la vez), para las categorías de uso de suelo presentes en el paisaje de la microcuenca del río La Balsa, obtenidas a partir del mapa corregido de uso de suelo.

Las métricas de paisaje analizadas por el software fueron: área total del paisaje (ha), área de la clase (ha), número de parches, tamaño promedio de parches (ha), desviación estándar de tamaño de parches (ha), borde total (m), borde en relación con el área de paisaje (m/ha), borde promedio de parche (m/ha), índice de forma promedio, índice de forma promedio pesado/área y el índice de diversidad de Shannon (a nivel de

paisaje), dichas métricas se obtuvieron con la capa de usos de suelo en formato vector.

Composición florística: Se determinó el porcentaje del Índice de Valor de Importancia (%IVI) de Curtis y McIntosh (1951) citado por Lamprecht (1990), para cada especie por piso altitudinal, basado en los parámetros relativos de abundancia, frecuencia y dominancia, que permiten determinar el peso ecológico de las especies dentro del ecosistema.

Se evaluaron patrones de diversidad por medio de índices basados en riqueza de especies y distribución espacial de los individuos (Shannon–Wiener, Inverso de Simpson y Alpha-Fisher), para el cálculo de los índices de diversidad se utilizó el programa PAST versión 2.09 (Hammer *et al.* 2001).

Se efectuó un análisis de conglomerados por medio del software InfoStat-e (Di Rienzo *et al.* 2011), para resumir el comportamiento de las variables de estructura y composición florística para las diferentes coberturas forestales según el piso altitudinal.

Así mismo, las especies de flora encontradas fueron clasificadas según categoría de conservación, la cual se realizó de acuerdo a los siguientes documentos: Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (2011), Apéndices CITES (2008), Evaluación y categorización del Estado de Conservación de Plantas en Costa Rica (Estrada *et al.* 2005) y Especies vedadas por el Decreto No. 25700-MINAE.

Estructura: la estructura de los bosques de la microcuenca fue analizada en su componente vertical y horizontal, utilizando criterios de evaluación específicos para cada caso.

Para la estructura horizontal, se evaluaron los valores promedio de diámetro, número de árboles (N) y área basal (G) en cada parcela según las diferentes coberturas forestales y para cada piso altitudinal.

Para determinar la estructura vertical de las unidades de muestreo se utilizó la metodología de IUFRO (Leibundgut 1958, citada por Lamprecht 1990), que define las alturas del piso inferior, medio y superior.

Manejo integrado de cuencas: Finalmente, mediante la evaluación del paisaje y la caracterización de la composición y estructura, se establecieron criterios para el manejo integrado de la microcuenca del río La Balsa.

RESULTADOS

Ecología del paisaje: Los Cuadros 1 y 2 resumen las métricas de fragmentación obtenidas para las diferentes categorías de uso de suelo reportadas en el paisaje de la microcuenca del río La Balsa.

El patrón de paisaje está constituido por diversos usos del suelo (Fig 2). Los bosques son los que ocupan mayor área con 11447,72 ha, seguida por los pastos que abarcan 10467,63 ha, como consecuencia del amplio desarrollo de la

actividad ganadera (extensiva y doble propósito) principalmente en la parte alta y media de la microcuenca. Dentro de la matriz del paisaje el uso urbano es, en conjunto con las plantaciones, las categorías que presentaron las áreas más bajas con 162,01 ha y 152,89 ha, seguidas por los potreros arbolados con 409,36 ha. Es importante destacar el área que ocupan los cultivos, tacotales y cultivos de especies ornamentales (3603,76 ha, 800,72 ha y 730,64 ha respectivamente), ya que los mismos modifican e influyen de una manera importante en la dinámica estructural y funcional de la microcuenca.

Con respecto al número de parches, los bosques presentan el mayor número de parches con 16344, seguido por los pastos que reportan 13930; sin embargo, la interpretación del alto número de parches es diferente para cada cobertura, mientras que los bosques representan coberturas naturales, un alto número de parches significa que el paisaje ha sido muy intervenido, y que estos parches representan los remanentes de las coberturas originales, pero para el caso de los pastos, el alto número de parches significa que poco a poco y de una forma continua esta cobertura se ha expandido a lo largo de la matriz del paisaje.

Relacionando esta variable con el tamaño promedio de parche, conforme aumenta el número de parches, disminuye el tamaño promedio de los mismos, se refleja en los valores presentados por los bosques ($0,70 \pm 10,73$) y pastos ($0,75 \pm 23,93$ ha), donde el tamaño promedio de los parches no supera 1 ha. Las categorías urbano, cultivos y ornamentales presentan los

tamaños de parche promedio más altos ($1,24 \pm 1,79$ ha, $5,67 \pm 63,59$ ha y $4,32 \pm 11,61$ ha respectivamente); en el caso del uso urbano y el de cultivos ornamentales su distribución en la matriz tiene un comportamiento agregado, como lo evidencian los valores de la desviación estándar, que puede deberse a la disposición de los recursos (servicios urbanos, agua potable, electricidad, calidad de suelos, clima, etc) principalmente en la parte alta y baja de la microcuenca, mientras que los cultivos por otro lado, se distribuyen en áreas más amplias que circundan los principales centros urbanos, principalmente en la

parte alta. Los tacotales, potreros arbolados y plantaciones presentan los valores más bajos en lo que respecta al tamaño promedio de parches ($0,24 \pm 0,62$ ha, $0,28 \pm 1,42$ ha y $0,54 \pm 0,42$ ha respectivamente) y se encuentran distribuidos en toda la matriz, que genera una importante red de recursos, que permite la distribución de muchas especies de plantas y animales.

Con respecto al borde, el valor más alto está asociado al bosque ($5245378,35$ m), seguido por los pastos ($4432678,19$ m) y el valor mínimo lo presenta el uso urbano ($89993,66$ m).

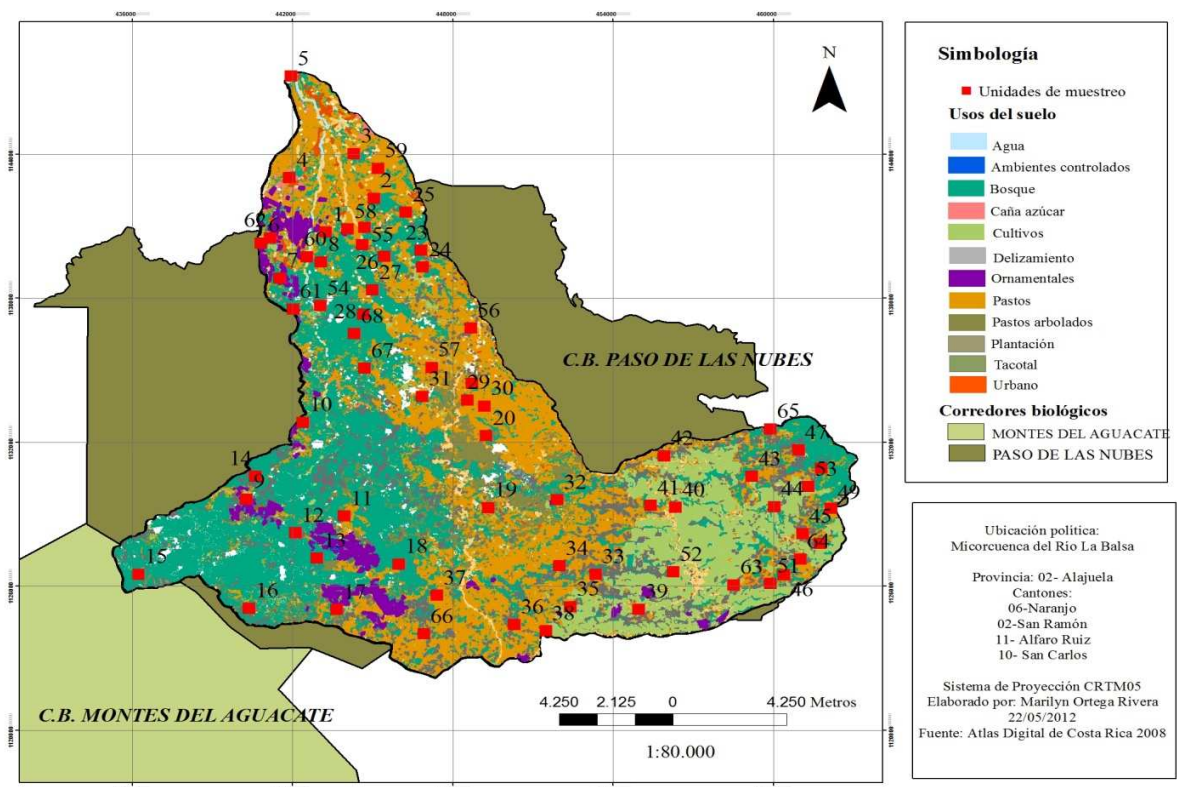


Fig 2. Ubicación de las unidades de muestreo y los diferentes usos de suelo encontrados en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica

CUADRO 1

Métricas de fragmentación para las categorías de uso de suelo presentes en el paisaje de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica

| Métricas* | Pastos | Urbano | Cultivos | Ornamentales |
|------------|------------|----------|-----------|--------------|
| CA (ha) | 10467,63 | 162,01 | 3603,76 | 730,64 |
| NumP | 13930,00 | 131,00 | 636,00 | 169,00 |
| MPS (ha) | 0,75 | 1,24 | 5,67 | 4,32 |
| PSSD (ha) | 23,93 | 1,79 | 63,59 | 11,61 |
| TE (m) | 4432678,19 | 89993,66 | 766342,78 | 175437,46 |
| ED (m/ha) | 197,20 | 3,24 | 27,59 | 6,32 |
| MPE (m/ha) | 318,21 | 686,97 | 1204,94 | 1038,09 |
| MSI | 1,47 | 1,76 | 1,93 | 1,71 |
| AWMSI | 10,87 | 2,30 | 7,11 | 2,80 |

*CA: Área de la clase, NumP: Número de parches, MPS: Tamaño promedio de parches, PSSD: Desviación estándar de tamaño de parches, TE: Borde total, ED: Borde en relación con el área de paisaje, MPE: Borde promedio de parche, MSI: Índice de forma promedio, AWMSI: Índice de forma promedio pesado/área

El borde promedio refleja cual es el perímetro correspondiente a cada uno de los parches por categoría de uso de suelo, entre más bajo sea el valor más “compacta” la forma, en este caso los tacotales (220,05 m/ha) y los pastos arbolados (234,17 m/ha) y las categorías que poseen formas menos compactas son los cultivos, con un promedio de 1204,94 m/ha y los cultivos de ornamentales con 1038,09 ha.

Estas formas pueden ser evaluadas también por el Índice de Forma Promedio (MSI por sus siglas en inglés), que es una medida de, qué tan complejas son las formas de los parches, las formas menos

complejas están representadas por un círculo o un cuadro (según el formato que se utilice para el análisis, vector o raster respectivamente), donde el valor del MSI es 1, entre más lejano a 1 es el valor, más compleja es la forma del parche, en este caso a nivel de categoría todas presentan valores cercanos a 1, en un intervalo que va de 1,41 para el tacotal a 1,93 para los cultivos.

Si se analiza este índice a nivel de área total por categoría, se tiene que, las categorías de uso con mayor área (pastos, cultivos y bosques), presentaron los valores de Índice de Forma más altos con 10,87, 7,11 y 5,88 respectivamente, lo

que permite inferir que a mayor área, más compleja es la forma de los parches, y que aunque a nivel de parche el promedio tienda a formas menos compactas o complejas, la conectividad que se crea entre parches de una misma categoría permite generar fragmentos de mayor tamaño a nivel de paisaje, facilitando en el caso de los bosques, el establecimiento de gran variedad de ecosistemas y por lo tanto recursos y servicios y para los pastos y cultivos, la extensión de dichas coberturas a lo largo del paisaje, que sin un manejo adecuado, a futuro dejarán a

los bosques aislados en una matriz de diferentes usos que “desconectará” el flujo de recursos a través de la misma o que degradará a tal punto los suelos que no permitirá el desarrollo de otras actividades productivas. Sin embargo, se deben tomar en cuenta otras coberturas que presentan formas menos complejas, pero que generan un recurso adicional a la conectividad, como lo son los tacotales con un índice de forma pesado por área de 1,87, los potreros arbolados y plantaciones con valores de 2,97 y 2 respectivamente.

CUADRO 2

Métricas de fragmentación a nivel de paisaje y para las coberturas forestales presentes en el paisaje de la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica.

| Métricas* | Tacotal | Bosque | Pastos arbolados | Plantación | A nivel de paisaje |
|------------|-----------|------------|------------------|------------|--------------------|
| TLA (ha) | | | | | 27774,72 |
| CA (ha) | 800,72 | 11447,72 | 409,36 | 152,89 | 27774,72 |
| NumP | 3329,00 | 16344,00 | 1486,00 | 283,00 | 36308,00 |
| MPS (ha) | 0,24 | 0,70 | 0,28 | 0,54 | 0,76 |
| PSSD (ha) | 0,62 | 10,73 | 1,42 | 0,42 | 18,54 |
| TE (m) | 732558,35 | 5245378,35 | 347977,30 | 130276,99 | 11920643,07 |
| ED (m/ha) | 26,38 | 233,36 | 15,48 | 5,80 | 429,19 |
| MPE (m/ha) | 220,05 | 320,94 | 234,17 | 460,34 | 328,32 |
| MSI | 1,41 | 1,47 | 1,50 | 1,78 | 1,48 |
| AWMSI | 1,87 | 5,88 | 2,97 | 2,00 | 7,64 |
| H' | | | | | 1,32 |

*TLA: Área total del paisaje, CA: Área de la clase, NumP: Número de parches, MPS: Tamaño promedio de parches, PSSD: Desviación estándar de tamaño de parches, TE: Borde total, ED: Borde en relación con el área de paisaje, MPE: Borde promedio de parche, MSI: Índice de forma promedio, AWMSI: Índice de forma promedio pesado/área, H': Índice de Shannon.

Finalmente, se obtuvo un Índice de diversidad de Shannon (H') a nivel de paisaje de 1,32, valor medianamente bajo, donde el mosaico paisajístico está dominado por 3 coberturas, cultivos, pastos y bosques, en el que circunscriben otras categorías que responden a la distribución de los recursos en el paisaje.

Composición florística: Un total de 406 especies de árboles, correspondientes a 3 pisos altitudinales, representando a 79 familias y 208 géneros.

Índice de Valor de Importancia (IVI): Los cuadros 3, 4 y 5 resumen los valores del IVI para las 10 especies de mayor peso ecológico según el piso altitudinal.

El Cuadro 3 muestra los valores para el piso basal, *Cordia alliodora* y *Prunus annularis* fueron las especies de mayor peso ecológico, con porcentajes relativamente bajos, lo que puede deberse al grado de intervención o sucesión de los bosques que representan este piso altitudinal o por el tamaño de la muestra utilizado.

CUADRO 3

Porcentaje del Índice de Valor de Importancia (%IVI), para las 10 especies de mayor peso ecológico en el piso altitudinal premontano en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica.

| Especie | *AR (%) | DR (%) | FR (%) | I.V.I (%) |
|--------------------------------|---------|--------|--------|-----------|
| <i>Cordia alliodora</i> | 6,00 | 6,65 | 2,25 | 14,90 |
| <i>Prunus annularis</i> | 6,55 | 4,78 | 1,12 | 12,45 |
| <i>Chimarrhis parviflora</i> | 3,64 | 4,15 | 1,12 | 8,91 |
| <i>Erythrina costaricensis</i> | 2,36 | 5,13 | 1,12 | 8,61 |
| <i>Iriartea deltoidea</i> | 4,73 | 2,71 | 1,12 | 8,56 |
| <i>Inga edulis</i> | 2,73 | 2,43 | 2,25 | 7,41 |
| <i>Cecropia peltata</i> | 2,18 | 3,08 | 1,69 | 6,95 |
| <i>Vochysia guatemalensis</i> | 1,82 | 3,86 | 1,12 | 6,81 |
| <i>Apeiba membranacea</i> | 2,00 | 1,86 | 2,81 | 6,67 |
| <i>Sapium glandulosum</i> | 1,64 | 2,59 | 2,25 | 6,47 |

*AR: Abundancia Relativa, DR: Dominancia Relativa, FR: Frecuencia Relativa.

CUADRO 4

Porcentaje del Índice de Valor de Importancia (%IVI), para las 10 especies de mayor peso ecológico en el piso altitudinal premontano en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica.

| Especie | *AR (%) | DR (%) | FR (%) | I.V.I (%) |
|-----------------------------------|---------|--------|--------|-----------|
| <i>Cordia alliodora</i> | 9,598 | 8,247 | 2,388 | 20,234 |
| <i>Cedrela odorata</i> | 2,547 | 4,376 | 1,343 | 8,265 |
| <i>Miconia argentea</i> | 2,253 | 2,285 | 1,940 | 6,478 |
| <i>Prunus annularis</i> | 3,477 | 2,642 | 0,299 | 6,418 |
| <i>Hampea appendiculata</i> | 1,567 | 3,537 | 1,194 | 6,298 |
| <i>Heliocarpus appendiculatus</i> | 2,449 | 1,935 | 1,194 | 5,578 |
| <i>Cecropia insignis</i> | 1,861 | 1,399 | 2,090 | 5,350 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 1,959 | 1,552 | 1,791 | 5,302 |
| <i>Ficus goldmanii</i> | 1,616 | 2,792 | 0,746 | 5,154 |
| <i>Cecropia peltata</i> | 1,812 | 1,675 | 0,896 | 4,382 |

*AR: Abundancia Relativa, DR: Dominancia Relativa, FR: Frecuencia Relativa.

CUADRO 5

Porcentaje del Índice de Valor de Importancia (%IVI), para las 10 especies de mayor peso ecológico en el piso altitudinal montano bajo en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica.

| Especie | *AR (%) | DR (%) | FR (%) | I.V.I (%) |
|-----------------------------|---------|--------|--------|-----------|
| <i>Quercus seemannii</i> | 7,83 | 17,76 | 3,45 | 29,03 |
| <i>Drimys granadensis</i> | 12,95 | 6,91 | 3,74 | 23,59 |
| <i>Quercus corrugata</i> | 4,65 | 11,84 | 3,45 | 19,94 |
| <i>Miconia argentea</i> | 4,81 | 2,37 | 4,31 | 11,49 |
| <i>Cornus disciflora</i> | 4,03 | 4,34 | 2,59 | 10,96 |
| <i>Dendropanax arboreus</i> | 3,49 | 3,25 | 3,45 | 10,19 |
| <i>Roupala montana</i> | 4,19 | 2,76 | 3,16 | 10,11 |
| <i>Oreopanax xalapensis</i> | 2,79 | 2,81 | 3,45 | 9,05 |
| <i>Trichilia americana</i> | 3,26 | 1,84 | 3,74 | 8,83 |
| <i>Nectandra salicina</i> | 2,79 | 3,02 | 2,59 | 8,40 |

*AR: Abundancia Relativa, DR: Dominancia Relativa, FR: Frecuencia Relativa.

En el piso premontano, el Cuadro 4 muestra que la especie *Cordia alliodora* presentó el mayor porcentaje para el IVI, seguida de las especies *Cedrela odorata* y *Miconia argentea*, todas representativas de bosques intervenidos o potreros arbolados de la parte media y alta de la microcuenca.

Para el piso montano bajo, las especies con mayor peso ecológico corresponden a los bosques que dominaron los valores de área basal, las especies *Quercus seemannii*, *Drymis granadensis* y *Quercus corrugata*, especies características de los bosques de altura representativos de este piso

altitudinal. Con los valores de IVI obtenidos en cada piso altitudinal, se denota que especies como *C. alliodora*, *P. annularis* y *M. argentea* presentan una amplia distribución altitudinal y que el piso montano bajo está dominado principalmente por especies del género *Quercus spp.*

Índices de riqueza y diversidad:

El Cuadro 6 resume los valores encontrados para los diferentes índices de diversidad y riqueza de especies evaluados en la microcuenca del río La Balsa.

CUADRO 6

Valores promedio y desviación estándar (DesvEst) de los índices de diversidad de Shannon-Wiener (H'), inverso de Simpson (1-D) y Alpha Fisher, para las diferentes coberturas forestales* según piso altitudinal en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica

| Piso altitudinal | H' | | 1-D | | Alpha-Fisher | | |
|------------------|-------|---------|-------|---------|--------------|---------|-------|
| | Media | DesvEst | Media | DesvEst | Media | DesvEst | |
| Basal | | | | | | | |
| | BI | 3,00 | 0,40 | 0,93 | 0,03 | 18,01 | 10,98 |
| Premontano | | | | | | | |
| | BI | 2,96 | 0,37 | 0,92 | 0,04 | 19,04 | 12,01 |
| | PA | 1,37 | 0,74 | 0,63 | 0,26 | 4,67 | 5,13 |
| Montano bajo | | | | | | | |
| | BA | 2,33 | 0,37 | 0,87 | 0,05 | 6,04 | 2,32 |
| | BI | 2,56 | 0,34 | 0,88 | 0,08 | 9,63 | 3,18 |
| | PA | 2,44 | 0,06 | 0,89 | 0,02 | 13,25 | 0,15 |

*BI: Bosque intervenido, BA: Bosque de altura, PA: Potrero arbolado.

El índice de Shannon- Wiener (H') promedio para los bosques intervenidos en el piso basal fue de 3,00, presentándose como el hábitat más diverso. Para el piso premontano, se reportan valores de 2,96 y 1,37 para los bosques intervenidos y potreros arbolados respectivamente. En el montano bajo, los valores más altos los presentan los bosques intervenidos con un valor de 2,56, seguido por los potreros arbolados con 2,44 y los bosques de altura con 2,33.

Para el inverso de Simpson, los bosques intervenidos del piso basal se presentan como los más diversos, con un valor de 0,93. Los bosques intervenidos y potreros arbolados del piso premontano presentaron valores de 0,92 y 0,63 respectivamente. Para el piso montano bajo, los potreros arbolados presentan la mayor diversidad, seguidos por los bosques intervenidos (0,88) y los bosques de altura (0,87).

En cuanto al índice Alpha de Fisher a diferencia de los otros índices evaluados, el valor de diversidad no se ve afectado por la abundancia de especies raras (con un solo individuo) o especies muy abundantes (Medianero *et al.* 2003). En el piso basal, se reporta un valor de 18,01 para los bosques intervenidos. Los bosques intervenidos del piso premontano presentan el valor más alto en base a este índice con 19,04, mientras que los potreros arbolados asociados a este piso reportan un valor de 4,67. El ecosistema más diverso, en el piso montano bajo está representado por los potreros arbolados con un valor de 13,25, mientras que los bosques intervenidos y los bosques de

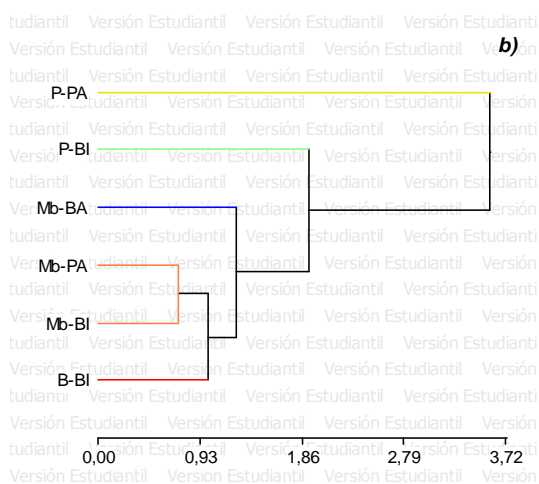
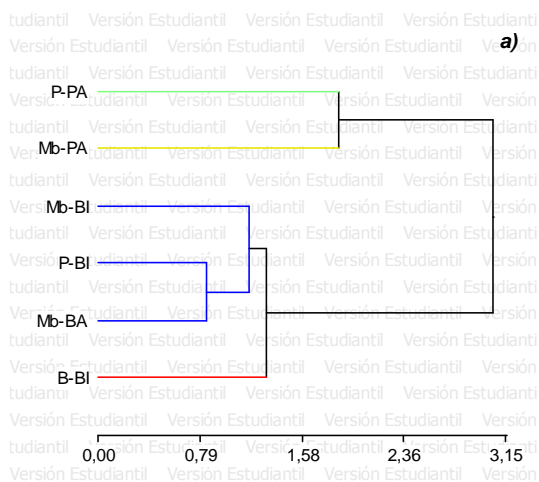
altura presentaron valores de 9,63 y 6,04 respectivamente.

Según los valores obtenidos para los diferentes índices de diversidad, ésta aumenta conforme disminuye la altura. Las condiciones edáficas, topográficas y climáticas favorecen, en los bosques húmedos y muy húmedos que caracterizan el piso basal, el establecimiento de una amplia variedad de especies que permite el incremento en la diversidad, a diferencia de las condiciones de los bosques nubosos, pluviales y transicionales del piso montano bajo que restringen el número de especies que puede desarrollarse bajo factores como la alta humedad ambiental y la excesiva precipitación que predominan en este piso altitudinal.

Análisis de conglomerados: La Figura 3 muestra el análisis de conglomerados realizado para las variables estructura (4a) y composición florística (4b) para las diferentes coberturas, según el piso altitudinal en la microcuenca del río La Balsa.

En el caso de la estructura, se evaluaron las variables número de árboles (N), área basal (G) y la altura total (Ht).

El conglomerado hace dos grupos principales, los potreros arbolados y los bosques. Con respecto a las variables analizadas, los potreros arbolados presentes en los pisos premontano y montano bajo comparten dimensiones similares que muestran un menor desarrollo estructural, influenciado principalmente por el número de árboles



** B: basal, P: premontano, Mb: montano bajo; *BI: bosque intervenido, BA: bosque de altura, PA: potrero arbolado.

Fig 4. Análisis de conglomerados para las variables de estructura (a) y composición florística (b), para las diferentes coberturas forestales* según piso altitudinal** en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica.

como respuesta a los usos y servicios que presta dicha cobertura.

Para los bosques, aunque estructuralmente se encuentran clasificados en un solo grupo, la variabilidad que compete a cada

ecosistema está definida por diferentes factores. En este caso, se observa que los bosques de altura están más “alejados” que los demás, esto puede deberse, a que dichos ecosistemas están compuestos por individuos de mayores dimensiones, mientras que los bosques intervenidos del piso basal son los que presentan un mayor número de árboles, lo que puede influenciar en gran medida el agrupamiento hecho por el conglomerado.

Para el análisis de la composición florística, se aplicó el mismo procedimiento, las variables analizadas fueron los índices de diversidad, en este caso, el comportamiento que propone el conglomerado evidencia la transición de especies según el gradiente altitudinal, que permite inferir que a mayor altura menor es la diversidad y que a su vez determina el número y distribución demográfica de las especies que se logran establecer en los diferentes pisos altitudinales.

Estado de conservación:

Finalmente se elaboró una recopilación de documentos que clasifican especies vegetales, según categoría de conservación.

El Cuadro 7 presenta las especies de flora que se encuentran en alguna categoría de conservación en la microcuenca del río La Balsa. Se encontró un total de 29 especies, según el Decreto No 2500, se reporta una especie endémica el *Sclerolobium costaricense*, dos especies en veda, la anterior y el *Platymiscium pinnatum* y 7 especies amenazadas: *Cederela odorata*, *Cedrela*

CUADRO 7

Resumen del estado de conservación de especies vegetales según IUCN (2011), Estrada *et al.* (2005), Decreto No 2500 y CITES (2008) para las diferentes coberturas forestales* según piso altitudinal** en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica

| Piso** | Cobertura* | Especie | IUCN (2011) | Estrada <i>et al.</i> (2005) | Decreto No 25700 | CITES (2010) |
|--------|------------|----------------------------------|-------------|------------------------------|------------------|--------------|
| P,Mb | BI,BA | <i>Alnus acuminata</i> | LR/lc | | | |
| P,Mb | BI,PA | <i>Cecropia obtusifolia</i> | LR/lc | | | |
| P,B | BI,PA | <i>Cedrela odorata</i> | | VU | A | III |
| P | BI,PA | <i>Cedrela tonduzii</i> | | EP | A | |
| P | BI | <i>Ceiba pentandra</i> | | VU | | |
| P,Mb | BI,BA | <i>Cornus disciflora</i> | VU | | | |
| P | BI | <i>Dussia macrophyllata</i> | | VU | A | |
| P | PA | <i>Enterolobium schomburgkii</i> | | EPC | | |
| P,B | BI,PA | <i>Ficus pallida</i> | LR/lc | | | |
| P | PA | <i>Hernandia stenura</i> | LR/nt | | | |
| Mb | BI | <i>Ilex pallida</i> | VU | | | |
| P | BI | <i>Ilex skutchii</i> | | CA | | |
| P | BI | <i>Inga micheliana</i> | LR/lc | | | |
| P | BI,PA | <i>Miconia brevitheca</i> | NT | | | |
| P | BI | <i>Minuartia guianensis</i> | LR/nt | VU | A | |
| Mb,P,B | BI,BA,PA | <i>Nectandra salicina</i> | LR/nt | | | |
| Mb,P,B | BI | <i>Oreomunnea pterocarpa</i> | EP | EP | A | II |
| Mb | BI | <i>Perrottetia multiflora</i> | LR/nt | | | |
| Mb | BI,BA,PA | <i>Persea obtusifolia</i> | VU | | | |
| P,B | BI | <i>Platymiscium pinnatum</i> | | EPC | V | |
| P,B | BI | <i>Protium panamense</i> | LR/nt | | | |
| P | BI | <i>Qualea paraensis</i> | | | A | |
| Mb | BA | <i>Quercus bumelioides</i> | VU | | | |
| B | BI | <i>Sclerolobium costaricense</i> | | EP | V y E | |
| P | BI | <i>Tabebuia guayacan</i> | | VU | A | |
| B | BI | <i>Terminalia amazonia</i> | | VU | | |
| P,B | BI | <i>Terminalia oblonga</i> | | VU | | |
| P,B | BI | <i>Virola surinamensis</i> | EP | | | |
| P | BI | <i>Vitex cooperi</i> | EP | | | |

** B: basal, P: premontano, Mb: montano bajo; *BI: bosque intervenido, BA: bosque de altura, PA: potrero arbolado; Categorías: LR/lc= Bajo riesgo, VU= Vulnerable, LR/nt=Casi amenazada, NT= Casi amenazada, EN= En peligro, CA= Casi amenazada, EP= En peligro, EPC= En peligro crítico, A= Amenazada, V= Vedada, E= Endémica.

tonduzii, *Dussia macrophyllata*, *Minuartia guianensis*, *Oreomunnea pterocarpa*, *Qualea paraensis* y *Tabebuia guayacan*.

Según piso altitudinal, el piso premontano es el que presenta mayor cantidad de especies bajo alguna categoría de conservación y es importante destacar que no se encuentran sólo a nivel de bosques, sino que por el contrario, una considerable cantidad de especies (9) fue encontrada en potreros arbolados, lo que refuerza la importancia de este tipo de coberturas a nivel no sólo de paisaje, sino como potenciales reservorios de especies de importancia tanto comercial como de conservación dentro de la microcuenca, un ejemplo es la especie *Enterolobium schomburgkii*, encontrada en potreros arbolados del piso premontano y que según la clasificación propuesta por Estrada *et al.* (2005) se denomina como especie en peligro crítico (EPC), al igual que la especie *Platymiscium pinnatum*.

Especies como *Oreomunnea pterocarpa*, aunque es poco explotada en la actualidad, fue encontrada en los bosques intervenidos de los tres pisos altitudinales estudiados y se incluye en el apéndice II de la CITES (Convención sobre el Comercio internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), que incluye a especies que no necesariamente están en peligro de extinción, pero que su comercio debe controlarse.

Estructura Horizontal: El Cuadro 8 resume los valores promedio y

la desviación estándar por hectárea de las variables diámetro (cm), altura total (m), número de individuos (N/ha) y área basal (m²/ha).

Diámetro: en el piso basal se muestrearon 6 parcelas, todas correspondientes a la cobertura clasificada como bosque intervenido, que presentaron un valor de diámetro promedio de $23,33 \pm 9,45$ cm.

El piso altitudinal premontano presentó dos coberturas, bosques intervenidos con diámetro promedio de $22,56 \pm 10,53$ cm y potreros arbolados con $24,27 \pm 10,20$ cm.

El piso montano bajo presentó tres tipos de cobertura, bosques de altura con un diámetro promedio de $26,63 \pm 14,21$ cm, bosques intervenidos y potreros arbolados con valores de $22,96 \pm 10,17$ cm y $24,45 \pm 12,77$ cm respectivamente.

Número de individuos: con respecto al número de individuos por hectárea, los bosques intervenidos en el piso basal presentan los valores promedio más altos para esta variable, con 458 ± 249 árboles/ha.

Los bosques intervenidos y potreros arbolados del piso premontano muestran valores de 423 ± 134 árboles/ha y 121 ± 51 árboles/ha.

Para el piso montano bajo se presentan los valores más bajos, con 380 ± 128 árboles/ha para los bosques de altura, 318 ± 104 árboles/ha para los bosques intervenidos y 118 ± 11 árboles/ha para los potreros arbolados.

CUADRO 8

Promedio y desviación estándar (DesvEst) de las variables diámetro (d), altura total (Ht), número de árboles (N) y área basal (G), para las diferentes coberturas forestales * según piso altitudinal en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica

| Piso altitudinal | d (cm) | | Ht (m) | | N/ha | | G (m ² /ha) | | |
|------------------|----------|---------|--------|---------|-------|---------|------------------------|---------|-------|
| | Media | DesvEst | Media | DesvEst | Media | DesvEst | Media | DesvEst | |
| Basal | | | | | | | | | |
| | BI | 23,33 | 9,45 | 24,00 | 4,20 | 458 | 249 | 22,80 | 12,81 |
| Premontano | | | | | | | | | |
| | BI | 22,55 | 10,53 | 27,32 | 5,46 | 423 | 134 | 20,56 | 5,92 |
| | PA | 24,27 | 10,20 | 18,83 | 5,02 | 121 | 51 | 6,59 | 2,73 |
| Montano bajo | | | | | | | | | |
| | BA | 26,63 | 14,20 | 27,50 | 3,780 | 380 | 128 | 27,18 | 11,18 |
| | BI | 22,96 | 10,17 | 27,00 | 4,22 | 318 | 104 | 15,72 | 4,25 |
| | PA | 24,45 | 12,77 | 25,00 | 7,07 | 118 | 11 | 6,99 | 1,12 |

*BI: Bosque intervenido, BA: Bosque de altura, PA: Potrero arbolado.

Área basal: Los bosques intervenidos del piso basal reportaron un valor promedio de $22,80 \pm 12,81$ m²/ha.

Para el piso premontano, los bosques intervenidos y potreros arbolados presentan valores de $20,56 \pm 5,92$ m²/ha y $6,59 \pm 2,73$ m²/ha respectivamente.

En el piso montano bajo, los bosques intervenidos presentaron un valor promedio de $15,72 \pm 4,25$ m²/ha, los bosques de altura presentaron un área basal promedio de $27,18 \pm 11,18$ m²/ha, la mayor presentada para esta variable y los potreros arbolados un promedio de $6,99 \pm 1,12$ m²/ha.

A nivel general, los bosques intervenidos ubicados en el piso basal presentan la mayor cantidad de individuos

por hectárea, sin embargo en el piso montano bajo se reportan los valores más altos en cuanto a diámetro y área basal, tanto para los bosques (de altura e intervenidos) como para los potreros arbolados, que se debe principalmente a las condiciones climáticas, topográficas, geográficas, etc, que caracterizan cada piso altitudinal.

Distribución diamétrica (N/ha):

La Figura 3 muestra la distribución del número de individuos por clase diamétrica, según las diferentes coberturas y para cada piso altitudinal.

Los bosques intervenidos del piso altitudinal basal presentan la mayor cantidad de individuos en las categorías

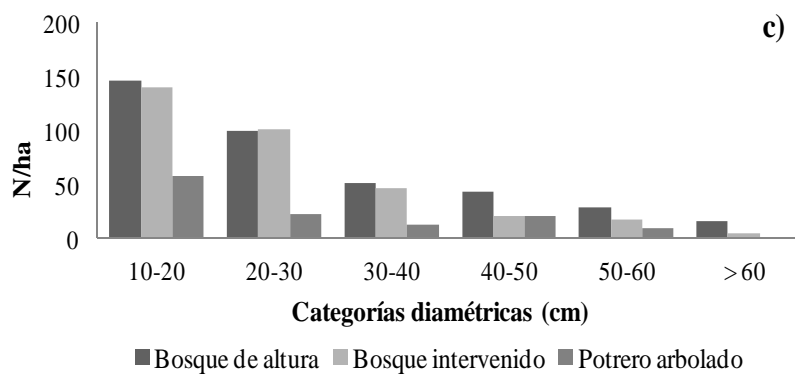
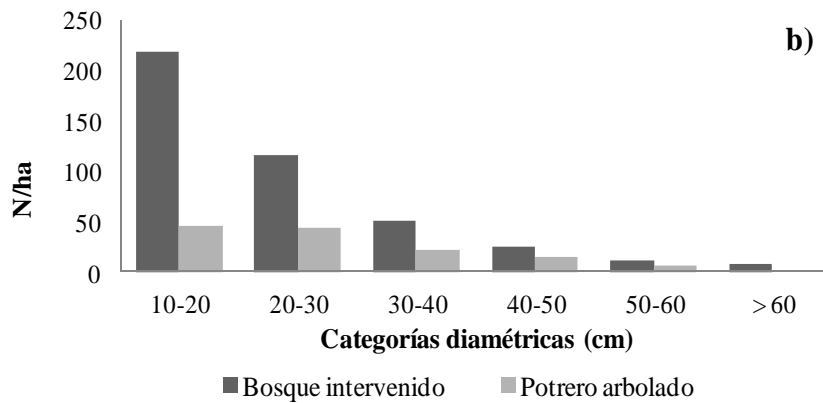
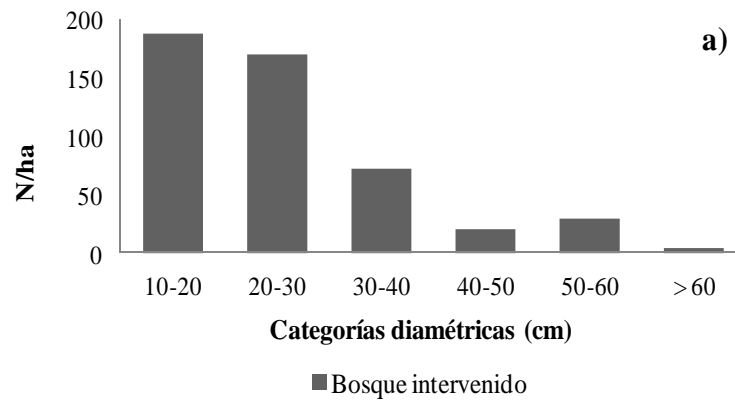


Fig 3. Distribución diamétrica del número de individuos promedio por hectárea (N/ha), para las diferentes coberturas forestales según el piso altitudinal basal (a), premontano (b) y montano bajo (c) en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica.

diamétricas iniciales (10-20 cm y 20-30 cm), lo que denota un importante patrón de regeneración, que disminuye según se avanza a clases diamétricas mayores, con un leve aumento en la categoría de 50-60 cm producto posiblemente, de la remanencia de árboles de grandes dimensiones luego de la intervención.

En el piso altitudinal premontano la acumulación de individuos para los bosques intervenidos y potreros arbolados, se da en las clases diamétricas de 10-20 cm y 20-30 cm, con pocos individuos mayores a 60 cm.

Para el piso montano bajo, los bosques intervenidos, bosques de altura y potreros arbolados, siguen un comportamiento de J invertida, en donde las clases diamétricas menores (10-20 cm y 20-30 cm) agrupan la mayor cantidad de individuos y que va disminuyendo conforme aumenta el diámetro. Los potreros arbolados, acumulan la mayor cantidad de individuos en las categorías menores y presentan pocos individuos en las categorías diamétricas superiores, representada probablemente por individuos remanentes que se dejan dispersos a lo largo de los potreros para dar sombra al ganado o por su escasa importancia económica.

Distribución diamétrica (G/ha): a nivel general, la distribución diamétrica para el área basal por hectárea presenta un comportamiento distinto a la densidad por hectárea, en esta se observa una diferencia más puntual en el área basal de ciertas clases diamétricas y para cada piso

altitudinal el comportamiento es distinto (Fig 4).

Los bosques intervenidos del piso basal alcanzan sus valores máximos en las categorías diamétricas 20-30 cm, que corresponde a la segunda mayor agrupación de árboles (35% del total de individuos/ha) y 50-60 cm, que comparado con la clase anterior presenta menos cantidad de árboles, pero sus diámetros son de mayor dimensión, aspecto que influye directamente en los valores de área basal.

Para el piso premontano los bosques intervenidos presentan una acumulación de área basal que se da en las categorías inferiores, el pico de área basal se presenta en la categoría de 20-30 cm; sin embargo, esta va disminuyendo conforme incrementa el diámetro. Los potreros arbolados pertenecientes a este piso altitudinal muestran valores de área basal similares en todas las categorías diamétricas, reportando, un leve incremento en la categoría de 40-50 cm, indicador de la presencia de árboles de grandes dimensiones dispersos a lo largo de esta cobertura predominante en la parte alta y media de la microcuena.

El piso montano bajo presenta una tendencia similar al piso basal en lo que respecta a los bosques intervenidos, donde los picos máximos de área basal se dan en las clases diamétricas 20-30 cm y 50-60 cm. Los valores máximos se presentan en los bosques de altura, observando los picos de área basal en las categorías diamétricas superiores, de 40 cm de diámetro en adelante. Los potreros arbolados presentes en este piso, reportan

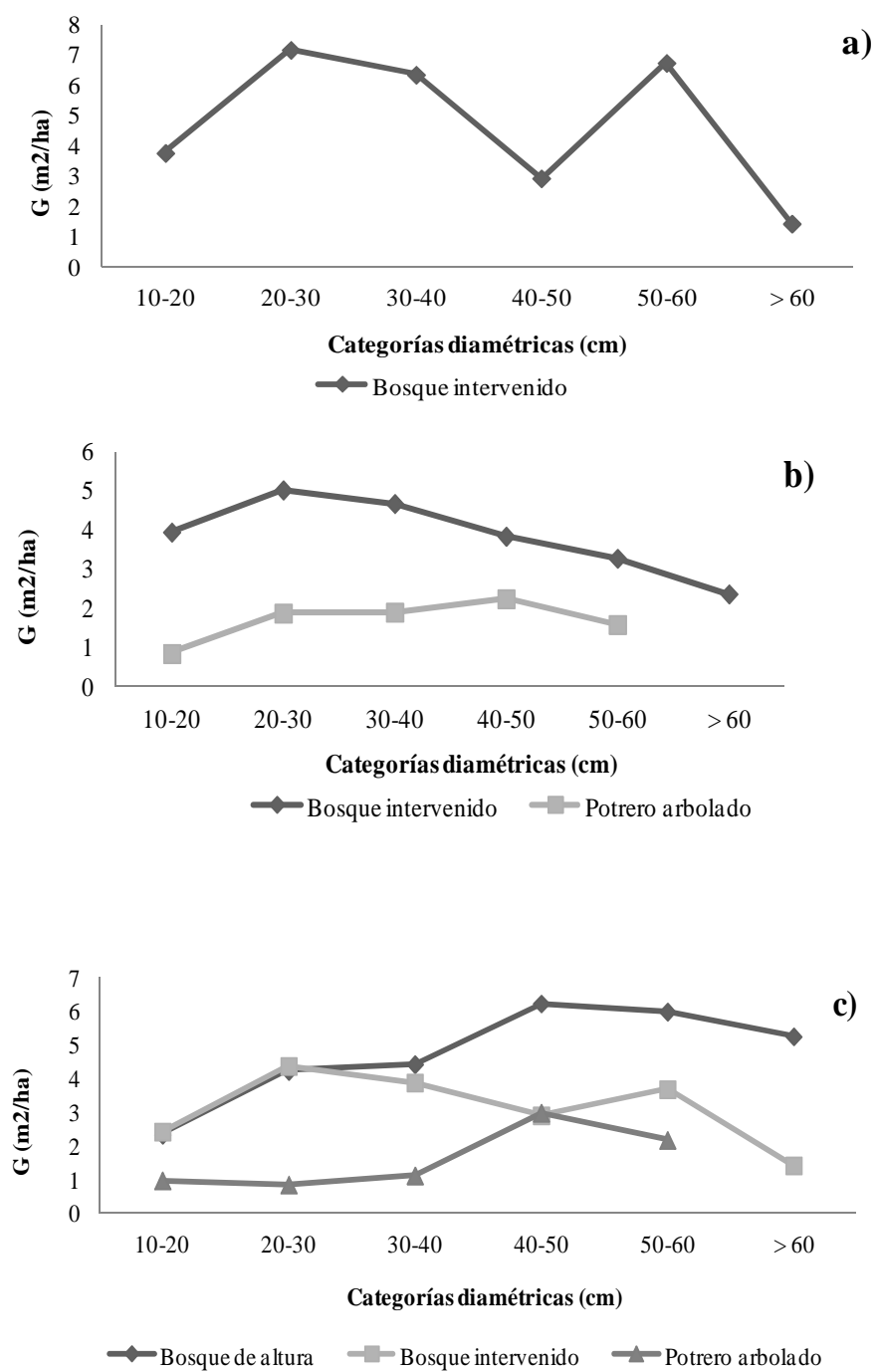


Fig 4. Distribución diamétrica del área basal promedio por hectárea (G/ha), para las diferentes coberturas forestales según el piso altitudinal basal (a), premontano (b) y montano bajo (c) en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica

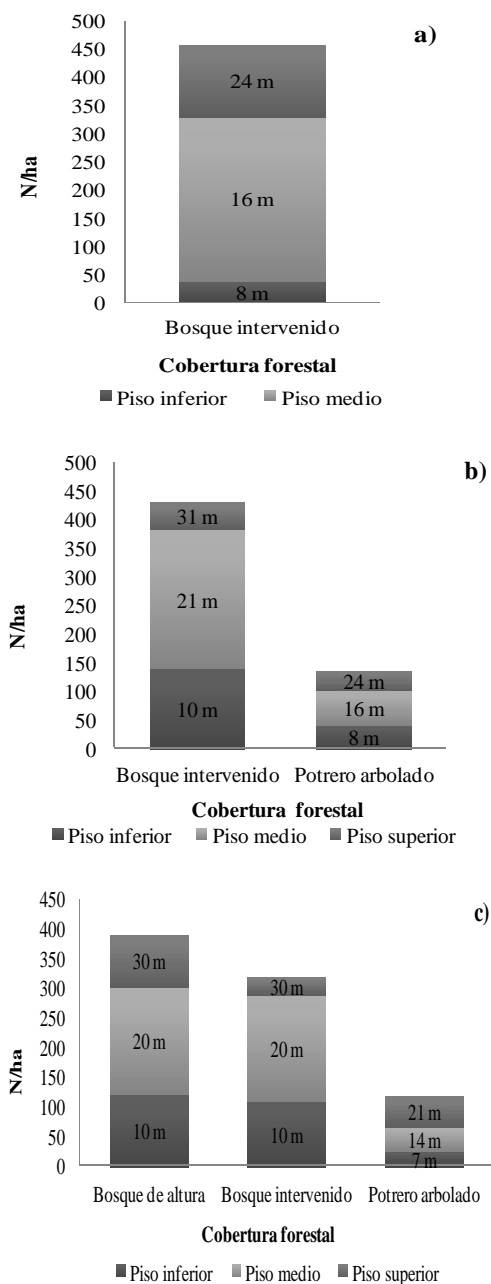


Fig 3. Distribución del número de individuos promedio por hectárea (N/ha) por estrato de altura (piso inferior, piso medio y piso superior), para las diferentes coberturas forestales, según piso altitudinal basal (a), premontano (b) y montano bajo (c) en la microcuenca del río La Balsa, Costa Rica.

valores bajos de área basal en todas las categorías diamétricas, a excepción de la categoría 40-50 cm donde se da el pico de área basal.

Los bosques y potreros arbolados analizados en los diferentes pisos altitudinales siguen una tendencia similar, donde se encuentran pocos individuos grandes y niveles de regeneración importantes, que permitirán a futuro, el establecimiento de sistemas más complejos que con un manejo adecuado pueden proveer gran cantidad de bienes y servicios en la microcuenca.

Estructura vertical: el Cuadro 8 presenta los valores promedio y la desviación estándar por hectárea de la altura total (m) para las diferentes coberturas forestales según el piso altitudinal en la microcuenca del río La Balsa.

Altura total: los bosques intervenidos evaluados en el piso altitudinal basal, presentaron una altura total promedio de $24,00 \pm 4,20$ m.

Para el piso premontano los bosques intervenidos reportaron una altura promedio de $27,32 \pm 5,46$ m y los potreros arbolados una altura total promedio de $18,83 \pm 5,02$ m.

En el piso montano bajo se reportó una altura de $27,50 \pm 3,78$ m para los bosques de altura, $27,00 \pm 4,22$ m para los bosques intervenidos y $25,00 \pm 7,07$ m para los potreros arbolados.

Estratos de altura: En función de las alturas máximas, se determinaron los estratos de altura, la Figura 5 ilustra el número de individuos promedio por hectárea, para las diferentes coberturas forestales por estrato, según la metodología de IUFRO (Leibundgut 1958, citada por Lamprecht 1990) para cada piso altitudinal estudiado.

Para el piso basal, los estratos de altura de dosel son 8, 16 y 24 m para los pisos inferior, medio y superior, respectivamente, en este caso los bosques intervenidos presentan más del 60% de individuos en el estrato medio del dosel. En el caso de los bosques intervenidos y potreros arbolados evaluados en el piso premontano, los estratos de altura son 31, 21 y 10 respectivamente para ambas coberturas y al igual que en los otros pisos evaluados, la mayor cantidad de individuos se ubica en el estrato medio (56% y 44% respectivamente), seguido por aproximadamente un 30% en el estrato inferior y un 10% y 24% en el estrato superior.

En el piso montano bajo, tanto los bosques de altura, como los bosques intervenidos, con estratos de altura de dosel de 10, 20 y 30 m, acumulan la mayor cantidad de individuos en el estrato medio, seguido aproximadamente por un 30% en el dosel inferior y menos del 20% en el estrato superior; sin embargo, esta tendencia no se presenta para los potreros arbolados en este piso,

de las especies, y en particular su biodiversidad (Farina 2000; Bennett

que presenta estos de altura menores (7,14 y 21 m).

En resumen, el dosel que alcanzó mayor altura fue el de los bosques intervenidos presentes en el piso premontano, sin embargo, los bosques intervenidos del piso basal presentaron la mayor cantidad de individuos en el dosel superior, aunque con una altura menor (24 m), mientras que los bosques y potreros arbolados del piso montano bajo mostraron los valores de altura promedio más altos.

DISCUSIÓN

Ecología del paisaje: A pesar de estar dominado por pastos y dedicado a la producción ganadera extensiva y de doble propósito (producción de carne y leche), el paisaje de la microcuenca del río La Balsa mantiene una cobertura arbórea heterogénea, compuesta de pequeños fragmentos de bosque, áreas extensas de pastos, franjas angostas de bosques riparios, árboles dispersos en las pasturas y cercas vivas. Lo que se da en diferentes densidades y distribuciones espaciales.

El proceso de fragmentación se refleja en la estructura del paisaje, en la cual ocurren cambios que van desde la reducción y la pérdida total de tipos de hábitats naturales, hasta el incremento cada vez mayor de las distancias que separan físicamente los fragmentos o hábitats remanentes, siendo estos cada vez más pequeños y aislados, lo cual afecta la conectividad física y funcional (2004). Cuanto más pequeños son los fragmentos, sea de bosque u otro

ecosistema remanente, menor será la densidad de las poblaciones y mayor el riesgo de extinción de especies. Por lo que atributos como el tamaño, la forma, y la distancia entre fragmentos tipo, densidad de borde, calidad de los elementos, grado de naturalidad de los parches, son entre otros, factores importantes de una red de conexión física que facilita la dinámica de las metapoblaciones (Baudry y Burel 2002).

En la microcuenca, los bosques cubren aproximadamente el 40% del paisaje, compuestos por parches que en promedio no superan 1 ha y aunque son parches pequeños, poseen formas que facilitan la conectividad creando redes continuas de recursos, que abastecen a gran variedad de ecosistemas. Así mismo, existe un creciente desarrollo de actividades como la ganadería y la agricultura y aunque dichas coberturas poseen una composición y estructura menos desarrollada (árboles dispersos y cercas vivas) que los bosques originales, parecen tener algún valor para la conservación de especies de animales y plantas al proveer recursos, hábitats y al aumentar la complejidad florística y estructural del paisaje, ya que, dichos elementos aumentan la cobertura arbórea total, dividen las pasturas en áreas más pequeñas, crean redes lineales que cruzan el paisaje y ofrecen conexiones físicas directas a los parches de bosque, con lo que facilitan el movimiento de algunas especies animales (Chacón y Harvey 2008). Además, permiten mitigar los efectos de la reducción o desaparición de hábitats naturales en la funcionalidad de

la red hídrica, ya que, al disminuir dichas áreas, se supone un aumento en la impermeabilización del suelo, una reducción de las funciones que estos espacios naturales efectúan en cuanto a los procesos de infiltración, retención e intercepción de las precipitaciones, puede generar una mayor escorrentía superficial, un descenso en la recarga de los acuíferos, una disminución de la calidad del agua, una mayor frecuencia de las avenidas extremas (Morera *et al.* 2007) y afecta directamente las áreas de captación de agua, ya que al reducir la cobertura vegetal, la erosión aumenta, y el transporte de sedimentos en las partes bajas de las cuencas se hace más evidente (Saunders *et al.* 1991).

Es fundamental evaluar los elementos que componen la matriz del paisaje, en este caso particular, permiten crear un panorama más amplio acerca de la distribución de los recursos, las condiciones que prevalecen, las áreas que requieren un manejo prioritario y el manejo de los recursos a favor de la estabilidad ecológica, funcional y estructural de la microcuenca, con el fin de asegurar la disponibilidad y calidad del agua tanto para consumo humano, como para la generación hidroeléctrica.

Composición florística: La composición de un bosque está determinada por factores ambientales, como posición geográfica, clima, suelos y topografía, así como por la dinámica del bosque y la ecología de sus especies (Louman *et al.* 2001).

El análisis de la composición florística permite evaluar la influencia de la misma dentro de la dinámica hidrológica de la microcuenca, ya que la cantidad de precipitación que llega a la superficie, depende en gran medida del tipo y densidad de la cubierta vegetal. Los principales componentes del proceso de redistribución de las precipitaciones incidentes a un área cubierta de vegetación son: la intercepción, o la cantidad de agua retenida por las plantas; la precipitación directa, también conocida precipitación de copas, mediante el goteo de las hojas, ramas y fustes o bien mediante el escurrimiento fustal, o el agua que escurre por las hojas y ramas hasta alcanzar el tronco principal, y luego escurre por su superficie hasta alcanzar el suelo (Shaw 1996, Ward y Robinson 1989) y en donde la capacidad de almacenamiento de agua en una especie depende de diversos factores como la forma, las dimensiones, textura de las hojas, orientación y si estas son o no hidrofóbicas (Klaassen *et al.* 1998, Cannel 1999; Carvajal y Alvarado 2011). Estudios de intercepción de precipitaciones en plantaciones de *Vochysia guatemalensis* y *Vochysia ferruginea* en la estación biológica La Selva (Carvajal y Alvarado 2011) reportan que con respecto a la precipitación bruta, la intercepción alcanza 9,37% y 4,49% para *V. ferruginea* y *V. guatemalensis* respectivamente, para la precipitación de copas un 87,65% para *V. ferruginea* y un 92,12% para la especie *V. guatemalensis*, siendo esta variable la que aporta el

mayor porcentaje de agua al suelo, mientras que para la escorrentía fustal *V. ferruginea* presentó valores de 2,98% y *V. guatemalensis* valores de 3,39%. Mientras que Rojas y Gutiérrez (2011) en estudios realizados con la especie *Enterolobium cyclocarpum* en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica estiman que un individuo de esta especie con 80 cm de diámetro, puede transpirar aproximadamente 300 litros de agua por día en un mes lluvioso, mientras que en un mes seco y con la pérdida de todo su follaje la transpiración puede llegar a valores de hasta 22 litros de agua diarios. Estos valores reflejan la diversidad de relaciones hídricas que existe para cada especie en particular, lo que aumenta la importancia del estudio y manejo de la composición florística existente en la microcuenca.

Índice de Valor de Importancia (IVI): Posiblemente es el más conocido y útil para comparar el peso ecológico de cada especie dentro del ecosistema (Melo y Vargas 2003).

En el piso basal *C. alliodora* y *P. annularis* se presentan como las especies con los más altos valores, sin embargo, su distribución no es homogénea, dado los bajos valores de la frecuencia, lo que permite inferir que, aunque existen muchos individuos con diámetros grandes, su distribución sigue un comportamiento agregado, que responde probablemente a las intervenciones sufridas o a los sistemas de dispersión que utilizan, viento y aves respectivamente, así mismo, dentro de las 10 especies con

mayor IVI se encuentra *I. deltoidea*, especie altamente valorada en el país por su palmito dulce. Sin embargo, generalmente no es extraída por la extrema dureza de su madera (Grayum 2003) y quedan como remanentes del bosque.

El piso premotano presenta bosques intervenidos donde la especie que está más representada es, *Cordia alliodora*, seguida de la especie *Cedrela odorata*, especies típicas de bosques secundarios, zonas de pastoreo y cultivos agrícolas y (Jiménez 1999), ya que tienen gran demanda en el mercado maderero por la amplia diversidad de usos y servicios que proveen. En este piso se encuentran también otras especies típicas de crecimiento en claros, como *Cecropia insignis* y *Heliocarpus appendiculatus*, mismas encontradas por Cascante y Estrada (2001) en claros de bosque húmedo premontano en el Valle Central.

En el caso del piso montano bajo, en su mayoría presentan una abundante presencia de palmas, bambúes y helechos arborescentes (género *Alsophila spp*) en el sotobosque, además se caracterizan por el predominio de epífitas vasculares, musgos y hepáticas.

El dosel está dominado por las especies *Q. seemannii* y *Q. corrugata*, al igual que los bosques estudiados por Nadkarni *et al.* (1995) en la Reserva de Bosque Nuboso Monteverde. Según Kappelle (2001), en estudios realizados en bosques montanos de Costa Rica, estas comunidades se caracterizan por tener hasta cinco estratos diferentes, con el dosel dominado por una o dos especies

del género *Quercus* y frecuentemente asociado a especies como *Drymis granadensis*, *Nectandra spp*, *Ocotea spp*, *Miconia spp*, *Roupala montana*, *Ilex pallida*, *Guarea tonduzii*, *Trichilia havanensis*. El subdosel incluye especies como *Ardisia spp*, *Cornus disciflora*, *Dendropanax querceti*, *Oreopanax spp*, *Prunus annularis*, *etc*; para este caso los bosques estudiados comparten la presencia de muchas de estas especies y géneros, como se observa en los valores de IVI presentados en el cuadro 5.

Índices de riqueza y diversidad:

La diversidad encontrada en las diferentes coberturas, se da por la influencia de las actividades antrópicas dentro de la microcuenca y determina en muchos casos, la presencia o ausencia de muchas especies, según el contexto social y económico dentro de las que están inmersas las diferentes coberturas estudiadas.

En este sentido, los bosques intervenidos en los tres pisos altitudinales evaluados, se presentan como los ecosistemas más diversos y evidentemente las coberturas menos diversas están representadas por los potreros arbolados, que en general, no superan las 20 especies.

En el piso montano bajo, los potreros arbolados presentan valores altos de diversidad, incluso más altos que algunos bosques intervenidos, sin embargo es importante aclarar que probablemente se deba al tamaño de la muestra, ya que sólo se muestrearon dos potreros arbolados, lo que influye

directamente en los valores de las variables en general, cayendo en sobreestimaciones. Así mismo, los bosques de este piso altitudinal, presentan los valores de diversidad más bajos, que responden a la dominancia de pocas especies, principalmente *Quercus*. Sin embargo, juegan un papel fundamental en la dinámica hidrológica de la microcuenca ya que, la presencia permanente de niebla constituye un filtro que reduce la radiación solar incidente, aumentando así la humedad relativa y disminuyendo las tasas de evapotranspiración (Ortega *et al* 1999), que aunado a otras características como, la alta pluviosidad, las pendientes fuertes y la presencia de suelos orgánicos, hacen que el impacto de la fragmentación tenga severas consecuencias, desencadenando y acelerando una serie de procesos de erosión, que a su vez ocasiona la desestabilización de las vertientes, y un enorme impacto en la disminución del recurso hídrico ya que estos bosques multiestratificados y con gran presencia de epifitismo se constituyen como reservorios de agua.

Análisis de conglomerados: A nivel general, la estructura y composición florística de las coberturas forestales evaluadas en la microcuenca de río La Balsa varía según las condiciones bióticas y abióticas predominantes; en el caso de la estructura se divide en dos grandes grupos, los bosques y los potreros arbolados, obviamente con estructuras diferentes entre sí. Sin embargo, permiten crear redes de recursos vitales

para los diferentes ecosistemas que se encuentran dentro de la microcuenca, que promueven un flujo continuo de especies y que permiten el establecimiento de hábitats con diferentes grados de diversidad, en donde no se puede establecer un patrón de composición florística específico, pero que denota una tendencia en donde la diversidad aumenta conforme disminuye el gradiente altitudinal.

Estado de conservación: Es importante destacar, que a nivel de composición florística se identificaron al menos 29 especies que se encuentran en alguna categoría de conservación, según diferentes entidades tanto nacionales como internacionales. Esto genera un mayor valor ecológico no sólo a los bosques encontrados en la microcuenca, sino que refuerza la importancia del estudio y manejo de los potreros arbolados dentro del paisaje y la influencia de los mismos en el flujo de recursos a través de la matriz.

En resumen, es de suma importancia conocer la influencia de la composición florística en el ciclo hidrológico del agua, especialmente en cuencas que abastecen, por ejemplo, demandas de agua potable, electricidad o para regadío, con el objetivo de crear compatibilidad entre el desarrollo de los bosques y la necesidad de asegurar el suministro del recurso hídrico, fundamentalmente al momento de decidir el establecimiento de plantaciones, planes de reforestación o de recuperación de

áreas degradadas en zonas previamente destinadas a pasturas u otros cultivos.

Estructura horizontal: La estructura horizontal del bosque es una interpretación de cómo se organizan los árboles en él. En esta interpretación se considera la abundancia, la distribución espacial y el área ocupada por cada especie arbórea.

Bosques

Piso altitudinal basal: La abundancia de árboles presentada por los bosques intervenidos en el piso altitudinal basal es de 458 árboles por hectárea con diámetros mayores a 10 cm, se encuentra dentro del ámbito reportado en otros sitios con características similares de altitud ó precipitación. La Estación Biológica La Selva (Lieberman *et al.* 1990), bosque muy húmedo tropical, reporta valores de 395 a 529 árboles por hectárea, un bosque muy húmedo tropical cerca de Rincón de Osa en Puntarenas mostró una densidad de entre 482 a 553 árboles por hectárea (Estrada y Cascante 2001; Thomsen 1997), un bosque húmedo tropical en el Parque Nacional La Cangreja (Acosta 2012), menciona una densidad de 552 árboles por hectárea, similar a los bosques secundarios de entre 5 y 15 años de edad reportados en el Corredor Biológico Osa (Morales 2010) o los estudiados por Vélchez *et al.* 2008 en la zona de Sarapiquí, específicamente en Lindero Sur (Estación Biológica La Selva) y en La Tirimbina que presentaban

una densidad de entre 400 y 550 árboles por hectárea.

En lo que respecta al área basal; en varios puntos en la Estación Biológica La Selva se reportan de 23,1 a 33,9 m²/ha (Estrada y Cascante 2001; Hartshorn y Hammel 1994), en Rincón de Osa se obtuvieron áreas basales que oscilan entre 32,5 y 39,5 m²/ha (Cascante y Estrada 2010; Thomsen 1997), similares a las reportadas por Valverde (1998) en la zona Bribri en Talamanca que oscilaban entre 37,2 y 39,6 m²/ha. Sin embargo, diferentes a las reportadas en sucesiones tempranas en el Corredor Biológico Osa en los que se obtuvo un área basal de 10,51 m²/ha (Morales 2010) o los reportados por Acosta (2012) en bosques muy húmedos del piso basal en el Parque Nacional La Cangreja con 48,1 m²/ha.

Las variaciones existentes a nivel de área basal con respecto a los trabajos reportados y el valor observado para los bosques intervenidos en el piso altitudinal basal (23,33 m²/ha) permite inferir que dichos ecosistemas han sido altamente intervenidos, sin embargo, la distribución de los individuos y de área basal según clases diamétricas garantiza una posible recuperación, ya que más del 70% de los individuos se encuentra en las clases que van de 10 a 30 cm, lo que asegura una reserva de árboles que reemplazará los individuos que mueren, en ese sentido, el “rendimiento sostenido natural”, está obviamente asegurado (Lamprecht 1990).

Piso altitudinal premontano: En los bosques intervenidos del piso altitudinal premontano, la abundancia

corresponde a 423 árboles por hectárea (≥ 10 cm dap) valor que se encuentra dentro del ámbito reportado en estudios realizados en otros sitios del país con características similares de altitud o precipitación. Cascante y Estrada (2001) reportan 509 árboles por hectárea con diámetros mayores a 10 cm en un bosque húmedo premontano en el Valle Central, Wattenberg *et al.* 1996 en un bosque muy húmedo transición a premontano ubicado en la Reserva Alberto Brenes, reportaron un total de 436 árboles con diámetros ≥ 10 cm para un área de 1 ha. En la Reserva Madre Verde ubicada en la provincia de Alajuela se reportaron valores de 329 y 781 árboles por hectárea en dos remanentes de bosque muy húmedo premontano (Rodríguez y Cambronero 2009).

La dominancia, en términos de área basal promedio obtenida para los bosques intervenidos en este piso altitudinal fue de 20,56 m²/ha con un diámetro promedio de 22,5 cm, menor a la obtenida para el bosque muy húmedo premontano estudiado por Cascante y Estrada (2001) que reportan un área basal promedio de 36,35 m²/ha; un diámetro promedio de 29,2 cm aproximadamente la mitad de la encontrada en el bosque muy húmedo premontano de la Reserva Biológica Alberto Brenes que reporta 41,7 m²/ha. Estas diferencias en los valores de área basal se sustentan en la distribución del número de individuos y del área basal según la clase de diámetro.

La distribución del número de árboles, presenta una estructura disetánea en forma de “J” invertida, que

es un claro indicador del proceso de regeneración de las especies, en donde la mayor densidad la acumulan individuos de diámetros menores (10 a 30 cm), pocos individuos de diámetros grandes, de forma que la reserva de árboles pequeños de las primeras clases de diámetro sea lo suficientemente abundante para asegurar el equilibrio del bosque (Morales 2010; Ruschel 2009, Higuchi 2008; Lamprecht 1990) y en el caso del área basal, se sigue una tendencia similar a la encontrada para la densidad, ya que la acumulación del área basal se da en las categorías diamétricas inferiores y disminuye conforme aumenta el diámetro. Estos valores se dan por la alta densidad de individuos de diámetros pequeños en los diferentes bosques muestreados y la existencia de algunos pocos árboles remanentes, lo que reafirma el alto grado de intervención que han recibido en los años posteriores.

Piso altitudinal montano bajo:

Estos bosques son de suma importancia para el país por sus recursos hídricos, ya que ellos abastecen a la mayoría de la población de agua potable y para el riego de cultivos. Además, este recurso se utiliza intensamente para generar electricidad, a través de plantas hidroeléctricas ligadas a presas en los mayores ríos que nacen en las partes altas de estas cordilleras (Valerio 1999).

Los boques de altura y los intervenidos, están dominados por especies del género *Quercus spp* y gran cantidad de especies de la familia Lauraceae, los mismos presentaron una

densidad muy similar, respectivamente, 380 y 318 árboles por hectárea, baja si se compara con otros bosques montanos del país, por ejemplo: para bosques dominados por *Q. costaricensis* y *Q. copeyensis*, en el área piloto del CATIE en Villa Mills, Blaser y Camacho (1991) calcularon una abundancia de 512 árboles por hectárea para un bosque mixto de encino y 455 árboles por hectárea para un bosque de Roble Blanco (*Q. copeyensis*), Jiménez *et al.* (1988) estudiaron un robledal dominado por *Q. copeyensis* en San Gerardo de Dota y encontraron una densidad de 500 árboles por hectárea y en la Cordillera de Tilarán, en un bosque nuboso de Monteverde, Nadkarni *et al.* (1995) reportó una densidad de 555 árboles por hectárea.

En cuanto al área basal, sigue un comportamiento similar al presentado por la densidad, ya que tanto los bosques intervenidos (15,72 m²/ha) como los bosques de altura (27,18 m²/ha) presentaron valores muy por debajo de los reportados por otros autores, en el caso del bosque en Villa Mills (Blaser y Camacho 1991) reportaron un área basal de 41,8 m²/ha para el bosque mixto de encino y 51,9 m²/ha para el bosque de Roble Blanco, mientras que Orozco (1991) y Kapelle (1996) en bosques montanos de la Cordillera de Talamanca obtuvieron dominancias de 36,7 m²/ha y 64,7 m²/ha respectivamente.

Es importante destacar que el comportamiento de los robledales dispara los valores de área basal, ya que generalmente están compuestos de

individuos con dimensiones muy grandes de diámetro y de altura.

La distribución diamétrica del número de árboles tanto para los bosques de altura como para los bosques intervenidos sigue una tendencia de “J invertida” igual a la encontrada en las distribuciones para todos los pisos altitudinales, y aunque la mayor cantidad de individuos se encuentre en las categorías diamétricas inferiores, hay una cantidad importante de individuos remanentes de diámetros grandes, al menos en los bosques de altura, lo que asegura, como se evidencia en la distribución del área basal según clase diamétrica, un incremento en el área basal que se mantiene en las clases diamétricas superiores, comportamiento asímil al encontrado en los bosques intervenidos en este mismo piso, los picos de dominancia se dan en la clase de 20 a 30 cm influenciada directamente por la cantidad de individuos agrupados en esta clase diamétrica. Un incremento en el diámetro evidencia fuertes reducciones en el número de árboles y en este caso también en el área basal.

Potrerros arbolados

Diversas prácticas sociales y económicas generan una variedad de elementos dentro del paisaje, entre ellos los agropaisajes, que incluyen cortinas rompivientos, cercas vivas y linderos de vegetación, los cuales fueron establecidos por los productores para la protección contra el viento, el control de erosión, la

provisión de madera o leña u otros propósitos (Harvey *et al.* 2004, 2005).

Los potreros arbolados son una cobertura predominante en el entorno ecológico de la microcuenca del río La Balsa especialmente en los pisos altitudinales, montano bajo y premontano.

En el piso montano bajo, dicha cobertura presentó una abundancia de 118 árboles por hectárea, mientras que para el piso premontano, los potreros arbolados reportaron una densidad de 121 árboles por hectárea, en este sentido los valores se asemejan a los encontrados por Harvey y Haber (1999) en estudios realizados en fincas ganaderas en Monteverde, donde se encontró un intervalo de entre 5 a 80 árboles por hectárea o a los encontrados en potreros con baja cobertura en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua (Sánchez *et al.* 2005) que muestra una densidad promedio de 84 individuos en 8 parcelas de 0,1 ha; sin embargo bastante más altos a los encontrados en otro agropaisaje nicaragüense en Muy Muy (Esquivel 2009) que reporta 20 individuos en un área de 0,5 ha.

En lo que respecta al área basal, la dominancia reportada para los potreros arbolados corresponde a 6,99 y 6,54 m²/ha, para el piso montano bajo y premontano respectivamente, valores altos si se comparan con los encontrados por Sánchez *et al.* (2005) en potreros de alta y baja cobertura, cuyas dominancias fueron de 2,64 y 1,2 m²/ha; sin embargo, hay que tomar en cuenta que las variaciones en las variables estructurales pueden deberse principalmente a las

condiciones climáticas que difieren entre ambos agropaisajes, ya que Matiguás corresponde a un ecosistema semideciduo, en el que influyen otros factores tanto a nivel de ecosistema como a nivel social, cultural y económico.

Estructura vertical: la estructura vertical está determinada por la distribución de los organismos, tanto de animales como de plantas a lo alto del perfil; además estará en función de las características biológicas de las especies y las condiciones ambientales en las diferentes alturas o estratos (Louman *et al.* 2001).

Bosques

Piso altitudinal basal: La estructura vertical de los bosques intervenidos evaluados está representada por tres estratos, donde poco más del 60% de los individuos se ubica en el piso medio (9-23 m), mismo comportamiento que presenta un bosque estudiado en la zona de Talamanca, donde el 45% de los individuos se ubica en la clase de altura de 10-20 m (Suatunce *et al.* 2003) y al de los bosques secundarios de 5-15 años estudiados por Morales (2010) en el Corredor Biológico Osa. Sin embargo, en estos bosques la representación en el piso inferior es alta, caso contrario a lo observado en los bosques intervenidos del piso basal, donde el piso inferior agrupa a menos del 10% de los individuos.

Piso altitudinal premontano: Los bosques intervenidos presentan las mayores alturas con un estrato superior

que alcanza hasta los 40 m de altura. La tendencia que siguen dichos bosques es igual a la observada en los bosques que representan los pisos basal y montano bajo, agrupando la mayor cantidad de individuos en el estrato medio (11-21 m). En este caso un 56% de la población estudiada se agrupa en esta clase de altura.

En general y de acuerdo con el análisis de las clases de altura, los bosques estudiados en los diferentes pisos altitudinales presentan un piso medio denso, que puede llegar a limitar el establecimiento de individuos de otras especies con diferentes requerimientos lumínicos tanto en el piso inferior como en el superior.

Piso altitudinal montano bajo: Tanto los bosques de altura como los intervenidos, agrupan la mayor abundancia en el piso medio (20-30 m). En general, los robledales montanos consisten en rodales de más de 40 m de altura (a veces hasta de 60 m), con una estratificación vertical muy clara (Kappelle 2001). En el presente estudio, los bosques, presentan un estrato superior con pocos individuos, sólo un 22% y 8% respectivamente se ubica en este clase de altura, lo que evidencia, el alto grado de intervención de dichas coberturas, especialmente en la categoría de bosques intervenidos que presenta los valores más bajos, tomando en cuenta además que para este tipo de bosques, generalmente el dosel y el subdosel disminuyen de estatura con el aumento de la altitud (Kappelle *et al.* 1996).

Potreros arbolados

A nivel de potreros arbolados, tanto para los evaluados en el piso montano bajo, como los estudiados en el piso premontano, se reproduce la misma tendencia estructural, con tres estratos, en donde la mayor cantidad de individuos se agrupa en el piso medio.

Para los del piso montano bajo, la acumulación de individuos se da en el piso superior (entre 15-21 m), empero, la diferencia entre el piso medio y el superior es relativamente pequeña, de poco más del 6%.

Los bosques y potreros arbolados difieren en gran medida, aunque estos elementos del paisaje casi siempre son ignorados dentro de las estrategias y actividades de conservación y manejo, pueden jugar roles cruciales en el mantenimiento y la conservación de la biodiversidad local y regional, al proveer hábitats y recursos que de otra manera no estarían en los agrosistemas (Forman y Baudry; Crome *et al.* 1994; Forman 1995; Harvey y Sánchez 2008). Mantienen la conectividad del paisaje en un amplio rango de escalas espaciales, al servir como sitios de paso o corredores que facilitan el movimiento animal a través de áreas agrícolas (Merriam 1991; Bennett *et al.* 1994; Haas 1995; Guevara *et al.* 1998; Harvey y Sánchez 2008).

Recomendaciones de Manejo Integrado de Cuencas

– Establecer parcelas permanentes de monitoreo en áreas representativas de

la microcuenca, que permitan evaluar la relación de la composición florística, estructura y condiciones externas como la precipitación, altitud, tipos y usos del suelos, etc con factores que actualmente afectan la disponibilidad y calidad del recursos hídrico en la microcuenca como lo son la erosión, sedimentación y la contaminación por agroquímicos y desechos animales.

– Implementar estudios de interceptación de precipitaciones en diferentes puntos, que permitan evaluar el comportamiento de los diferentes ecosistemas boscosos presentes y su relación hídrica en la microcuenca.

– Es necesario que en los planes reguladores municipales se incluya el enfoque territorial y de cuencas como sistema de planificación. Es imprescindible que haya coordinación entre las municipalidades de San Ramón, Naranjo, Alfaro Ruiz y San Carlos, si se pretende ejecutar un plan a nivel de microcuenca.

– Las instituciones y organizaciones presentes en el área de estudio MAG, MINAET, CNFL, A y A, ASADAS, etc con la participación directa del gobierno local, deben fomentar acciones para la implementación de campañas de educación ambiental enfocadas en el buen manejo de los recursos hídricos, enfocándose en las escuelas y colegios de la zona, con miras a una participación ciudadana en la elaboración de ordenanzas que regulen el uso del suelo, la protección y aprovechamiento del agua.

– En conjunto con los gobiernos locales y las organizaciones e instituciones encargadas de administrar y manejar el recurso hídrico dar seguimiento al Canon Ambiental por Vertidos, presente en el Decreto Ejecutivo N° 34431 del 17 de abril del 2008, como un instrumento clave para la disminución de excretas y agroquímicos en la microcuenca, sobre todo en la parte alta y media, donde se concentran las áreas agrícolas y ganaderas.

– Impulsar un modelo de pago por servicios ambientales que sea compatible con las diferentes actividades productivas que se desarrollan en la microcuenca y que permita a los pequeños y medianos productores un manejo y aprovechamiento real de sus recursos.

– En el área rural se debe promover el uso de técnicas de agricultura conservacionista con énfasis en conservación de suelos y aguas en fincas, por ejemplo prácticas como lombricultura, compostaje, bioabonos y biodigestores para el manejo de desechos sólidos rurales y reducción en la aplicación de agroquímicos.

– En el área urbana se deben identificar las actividades contaminantes y promover la conciencia de que viven en una cuenca importante y en un área de protección ambiental, y que todas las actividades desarrolladas tienen consecuencias que se reflejan en la calidad y disponibilidad del recurso hídrico.

– Establecimiento de viveros forestales comunales con grupos de mujeres o estudiantes, con árboles de especies maderables, de servicio y de protección para la reforestación en fincas, como por ejemplo, nacientes, cauces, áreas degradadas y bosques ribereños.

– Implementar proyectos productivos y cultivos alternativos accesibles y adaptables a la zona, fomentar sistemas agroforestales y silvopastoriles en sistemas de producción como cafetales, áreas hortícolas y ganaderas, con especies como *Erythrina costaricensis*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* o alguna variedad de cítricos etc.

– Es necesario el desarrollo de un Plan de Ordenamiento Territorial que identifique las áreas prioritarias de manejo, con el objetivo de proponer la incorporación de áreas protegidas o con potencial para corredores biológicos que permitan la protección y restauración de hábitats sensibles o vulnerables dentro de la microcuenca.

CONCLUSIONES

- El paisaje de la microcuenca del río La Balsa está compuesto por tres usos del suelo predominantes: Bosques, pastos y cultivos agrícolas.

- Las especies *Cordia alliodora*, *Prunus annularis* y *Miconia argentea* presentan una amplia distribución altitudinal y el piso montano bajo está

dominado por dos especies de *Quercus spp.*

- Los ecosistemas más diversos corresponden a los bosques intervenidos del piso basal y los menos diversos a los bosques de altura del piso montano bajo.

- Se encontraron 29 especies bajo estado de conservación.

- Los hábitats presentes en la microcuenca se encuentran en estado de recuperación.

- Fortalecer los programas de extensión e investigación de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

REFERENCIAS

Acosta Vargas, L. 2012. Análisis silvigénico de los bosques húmedos tropicales del Parque Nacional La Cangreja. Tesis de Licenciatura. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 117 p.

Bennet A. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. San José, Costa Rica: IUCN.

Bennett, A; Henein, K; Merriam, G.1994. Corridor use and the elements of corridor quality_ chipmunks and fencerows in a farmland mosaic. Biological Conservation. 68: 155-165.

Blaser, J; Camacho, M. 1991. Estructura, composición y aspectos silviculturales de un bosque de robles (*Quercus spp.*)

- del piso montano en Costa Rica. Colección Silvicultural y Manejo de Bosques Naturales No.1. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, Turrialba, CR. 67 p.
- Cannell, MGR. 1999. Environmental impacts of forest monocultures: Water use, acidification, wildlife conservation, and carbon storage *New Forests* 17:239- 262.
- Carvajal, D; Alvarado, J. 2011. Intercepción de precipitación en dos especies forestales nativas: *Vochysia guatemalensis* y *Vochysia ferruginea*. (en línea). *Rev. For. Meso. Kurú* 9: 22. Consultado 21 jun. 2012. Disponible en <http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/kuru/Documents/2012/Vol-9%2822%292012/Intercepci%C3%B3n%20de%20precipitaci%C3%B3n.pdf>.
- Cascante, M; Estrada, A. 2001. Composición florística y estructura de un bosque húmedo premontano en el Valle Central de Costa Rica (en línea). *Rev. Biol. Trop.* 49(1): 213-225. Consultado 14 mar. 2012. Disponible en http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S003477442001000100020&script=sci_abstract
- Castro, S. 2008. Caracterización biofísica de la microcuenca del río Balsa. CNFL. 101 p.
- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre, CH) 2008. Apéndices I, II, III. (en línea). Ginebra, CH. 47 p.
- Consultado 20 mayo. 2012. Disponible en: <http://www.cites.org/esp/app/S-Jul01.pdf>.
- Coomes, O; Burt, G. 2001. Peasant charcoal production in the Peruvian Amazon: rainforest use and economic reliance. *Forest Ecology and Management.* 140 (1):39-50.
- Crome, F; Isaacs, J; Moore, L. 1994. The utility to birds and mammals of remnant riparian vegetation and associated windbreaks in the tropical Queensland uplands. *Pacific Conservation Biology.* 1: 328-343.
- Daily, GC; Alexander, S; Ehrlich, PR; Goulder, L; Lubchenco, J; Matson, PA; Mooney, HA; Postel, S; Schneider, SH; Tilman, D; Woodwell, GM. 1997. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. (en línea). *Issues in Ecology* 2:17. Consultado 16 mayo. 2012. Disponible en <http://www.epa.gov/owow/watershed/wacademy/acad2000/pdf/issue2.pdf>
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. InfoStat. (en línea). Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, AR. Consultado 15 abr. 2012. Disponible en <http://www.infostat.com.ar/>.
- Elkie, PC; Rempel, RS; Carr, A. 1999. Patch Analyst User's Manual: A tool for quantifying landscape structure. Ontario, CA. Queen's printer for Ontario. 23 p. (Northwest Science & Technology Technical Manual TM-002).

- Estrada Chavarría, A; Rodríguez González, A; Sánchez González, J. 2005. Evaluación y Categorización del Estado de Conservación de Plantas en Costa Rica. (en línea). San José, CR. Museo Nacional de Costa Rica. 229 p. Consultado el 02 mar. 2012. Disponible en: http://documentacion.sirefor.go.cr/arc_hivo/CBM/categorizacion/categorizacion_especies.pdf.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. Situación de los bosques del mundo. Roma, Italia.
- Farina A. 1998. Principles and Methods in Landscape Ecology. London: Chapman & Hall.
- Frey, GW; Linke, DJ. 2002. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. *Energy Policy* 30:1261-1265.
- Forman, R. 1995. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge.
- Forman, R; Baudry, J. 1984. Hedgerows and hedgerow landscape ecology. *Environmental Management*. 8: 495-510.
- Gallego, B. 2002. Estructura y composición de un paisaje fragmentado y su relación con especies arbóreas indicadoras en una zona de bosque muy húmedo tropical, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR: CATIE. 116 p.
- Grayum, M. 2003. Areaceae. 201-293 p. In *Manual de plantas de Costa Rica*. Vol. II. Eds. B. Hammel; M. Grayum; C. Herrera. N. Zamora. Missouri Botanical Garden.
- Guevara, S; Laborde, J; Sánchez, G. 1998. Are isolated remnant trees in pastures a fragmented canopy? *Selbyana*. 19: 34-43.
- Hammer O; Harper, D; Ryan, P. 2001. Paleontological Statistics software package for education and data analysis. (en línea). *Paleontología Electrónica* 4(1):1- 9. Consultado 19 mar. 2011. Disponible en http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf.
- Hartshorn, GS; Hammel, BE. 1994. Vegetation types and floristic patterns. 73-89 p. In *La Selva: ecology and natural history of a Neotropical rain forest*. Eds. L. McDade; KS. Bawa; HA. Hespeneide; GS. Hartshorn. The University of Chicago, US.
- Harvey, C; Haber, W. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rica. *Ecological Applications*. 10: 155-173.
- Harvey, C; Chacón M. 2008. Contribuciones de las cercas vivas a la estructura y la conectividad de un paisaje fragmentado en Río Frío, Costa Rica. In *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. Eds. C Harvey; J Sáenz. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio. Heredia, CR.
- Harvey, C; Guindon, C; Haber, W; Hamilton, D; Murray, K. 2008.

- Importancia de los fragmentos de bosque, los árboles dispersos y las cortinas rompevientos para la biodiversidad local y regional: el caso de Monteverde, Costa Rica. 289-326 p. In Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Eds. C Harvey; J Sáenz. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio. Heredia, CR.
- Harvey, C; Sáenz, J. 2008. Eds. Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio. Heredia, CR. 624 p.
- Haas, C. 1995. Dispersal and use of corridors by birds in wooded patches on an agricultural landscape. *Conservation Biology*. 9: 845-854.
- Higuchi, Pedro; Oliveira-Filho, Ary Teixeira; Silva, Ana Carolina da; Machado, Evandro Luiz Mendonça; Santos, Rubens Manoel dos; Pifano, Daniel Salgado. 2008. Dinâmica da comunidade arbórea em um fragmento de floresta estacional semidecidual montana em Lavras, Minas Gerais, em diferentes classes de solos. *Revista Árvore*. 32(3): 417 – 426.
- Holdridge, LR. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR. IICA. 216 p.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2008. *Atlas digital de Costa Rica 2008*. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR. Cartago. CR. 1 CD-ROOM. IUCN 2011.
- IUCN Red List of Threatened Species. (en línea). Versión 2011.2. Consultado 20 mayo. 2012. Disponible en www.iucnredlist.org.
- Jang, JC; Nishigami, Y; Yanagisawa, Y. 1996. Assessment of global forest change between 1986 an 1993 using satellite-derived terrestrial net primary productivity. *Environmental Conservation*. 23 (4): 315-321.
- Jiménez, Q. 1999. Árboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. 2ª ed. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio. 163 p.
- Jiménez, W; Chaverrí, A; Miranda, R; Rojas, I. 1988. Aproximaciones silviculturales al manejo de un robleal (*Quercus spp.*) en San Gerardo de Dota, Costa Rica. *Turrialba* 38 (3): 208-214.
- Kaimowitz, D. 2001. Will livestock intensification help save Latin America tropical forest? 1-20 p. In *Agricultural technologies and tropical deforestation*. Eds. A Angelsen; D Kaimowitz. CABI. Wallingford, UK.
- Kappelle, M. 2001. Bosques nublados del neotrópico. Eds. M. Kappelle; A. Brown. 1ª ed. Heredia, CR. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio. 704 p.
- Kappelle, M. 1996. Los Bosques de Roble (*Quercus*) de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica: Biodiversidad, Ecología, Conservación y Desarrollo. Heredia, CR. Universidad de Amsterdam-INBio. 336 p.

- Keong, CY. 2005. Energy demand, economic growth, and energy efficiency –the Bakun dam-induced sustainable energy policy revisited. *Energy Policy* 33:679- 689.
- Klaassen, W, Bosveld, FC; de Water, E. 1998. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *J. Hydrol.* 212-213: 36–50.
- Klimpt, JE; Rivero, C; Puranen, H; Koch, F. 2002. Recommendations for sustainable hydroelectric development. *Energy Policy* 30:1305-1312.
- Gobierno de Nicaragua. 2003. Ley N° 467: Ley de promoción al subsector hidroeléctrico. Managua, NI. La Gaceta no 19, setiembre.
- Guo, Z; Xiao, X; Li, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Applications*. 10 (3):925-936.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas- posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido-. Trad. A. Carrillo, Eschborn, DE. GTZ. 335 p.
- Leguía, EJ; Locatelli, B; Imbach, P; Alpízar, F; Vignola, R; Pérez, C. 2008. (en línea). Servicios ecosistémicos e hidroelectricidad en Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente*. 51:41-51. Consultado 22 mayo. 2012. Disponible en http://web.catie.ac.cr/informacion/RFC/rev51-52/rma51_ct_lengia.pdf.
- Lieberman, D; Hartshorn GS; Lieberman M; Peralta, R. 1990. Forest Dynamics of La Selva Biological Station, 1969-1985. 509-521 p. In *Four Neotropical Rainforest*. Ed. A. Gentry. Yale University, New Haven, Connecticut. 640 p.
- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. (Eds) 2001. Silvicultura de bosques latifoliados tropicales con énfasis en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 265 p.
- Maas, JM.2003. Los ecosistemas: la complejidad gota por gota. ¿Cómo lo ves? *Revista de Divulgación de la Ciencia*. 5 (5): 13-16. UNAM.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington, US. Uncertainty in rainfall-runoff model simulations and the implications for predicting the hydrologic effects of land-use change. *Journal of Hydrology*. 192:211-232.
- Medianero, E; Valderrama, A; Barrios, H. 2003. Diversidad de insectos minadores de hojas y formadoras de agallas en el dosel y sotobosque del bosque tropical (en línea). Consultado 30 abr. 2012. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57508912>.
- Melo, O; Vargas, R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Ibagué, CO, Universidad de Tolima. 183 p.

- Merriam, G. 1991. Corridors and connectivity: animal populations in heterogeneous environments. 133-142 p. In *Nature Conservation 2: The role of corridors* Eds. D. Saunders; R. Hobbs. Chipping Norton, AU.
- Morales, M. 2010. Composición florística, estructura, muestreo diagnóstico y estado de conservación de una cronosecuencia de bosques tropicales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 115 p.
- Morera, C; Pintó, J; Romero, M. 2007. Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas: aproximación conceptual. In: *Corredores Biológicos: acercamiento conceptual y experiencias en América*. Eds. O. Chassot; C. Morera. Centro Científico Tropical y Universidad Nacional de Costa Rica. San Jose, CR. 128 p.
- Nadkarni, NM; Matelson, TJ; Haber, WA. 1995. Structural characteristics and floristic composition of a Neotropical cloud forest, Monteverde, CR. *Journal of Tropical Ecology* 11: 481-495.
- Orozco, L. 1991. Estudio Ecológico y de Estructura Horizontal de Seis Comunidades Boscosas en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Informe Técnico 176. Col. Silvicultura. Man. Bosq. Nat. 2. Turrialba, CR. CATIE. 35 p.
- Ortega, L; Mulligan, M; González, J; Jarvis, A. Monitoreo Ambiental en los bosques de niebla: Cuantificación de la precipitación oculta en bosques subandinos y andinos. (en línea). Consultado 1 jun. 2012. Disponible en <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/geografia/congresoparamo/monitoreo.pdf>.
- Paish, O. 2002. Small hydropower: technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6:537-556.
- PROIGE (Programa de Investigación en Geografía). 2007. Base de datos geográfica y elaboración de cartografía de la microcuenca del río La Balsa. UCR. 47 p.
- Ramírez, P. 2009. Balance hídrico de suelos de la cuenca del río Balsa. CNFL. 101 p.
- Reddy, RV; Uitto, JI; Frnas, DK; Matin, N. 2006. Achieving global environmental benefits through local development of clean energy? The case of small hilly hydel in India. *Energy Policy* 34:4069-4080.
- Rodríguez, C; Brenes, L. 2009. Estructura y composición de dos remanentes de bosque premontano muy húmedo en la Reserva Madre Verde, Palmares, Costa Rica. *Rev. Pensamiento Actual*. 9 (12-13): 115-124.
- Rojas, K; Gutiérrez, M. 2011. Relaciones hídricas en árboles del bosque tropical seco: el caso de *Enterolobium cyclocarpum*. (en línea). *Rev. For. Meso. Kurú*. 8:20. Consultado 21 jun. 2012. Disponible en <http://www.tec.cr/sitios/Docencia/for>

- estal/kuru/Documents/2011/Kuru%20Vol.20-2011/vol82011.pdf.
- Ruschel, A; Mantovani, M; Sedrez, M; Onofre, R. 2009. Caracterização e dinâmica de duas fases sucessionais em floresta secundária da Mata Atlântica. *Revista Árvore*. 33(1): 101 – 115.
- Sánchez, D; Harvey, C; Grijalva, A; Medina, A; Vílchez, S; Hernández, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matigúas, Nicaragua. *Rev. Biol. Trop.* 53 (3-4):387-414.
- Saunders, DA; Hobbs, RJ; Margules, CR. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology*. 5: 18-32.
- Shaw, EM. 1996. *Hydrology in practice*. Chapman & Hall, London, UK. 569 p.
- Skole, D; Tucker, C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. *Science* 260: 1905-1908.
- Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los Territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica. (en línea). *Agroforestería en las Américas*. 10 (37-38): 31-35. Consultado 11 mar. 2012. Disponible en <http://worldcocoa.com/scientific-research/research-library/documents/Suatunce2003.pdf>.
- Thomsen, K. 1997. Potential of non-timber forest products in tropical rain forest in Costa Rica. Ph. D. Tesis. Faculty of Natural Sciences, University of Copenhagen, DK.
- Valerio, C. 1999. Costa Rica: Ambiente y Biodiversidad. Heredia, CR. INBio. 139 p.
- Valverde B; O. 1998. Estructura forestal y patrones florísticos de dos bosques tropicales húmedos de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Brenesia* 49(50): 39-60.
- Vincenzi, J. 2001. Manejo de cuencas un nuevo desafío para el ICE. *Energía y Telecomunicaciones (CR)* 11(1):100-111.
- Vílchez, B; Chazdon R; Milla, V. 2008. Dinámica de la regeneración en cuatro bosques secundarios tropicales de la región Huetar Norte, Costa Rica: Su valor para la conservación o uso comercial. *Recur. Nat. Ambient* 55:118-128.
- Ward, R; Robinson, M. 1989. *Principles of Hydrology* Third Edition, McGraw-Hill, London, UK. 365 p.
- Wanielista, MR; Kersten, R; Eaglin, R. 1997. *Hydrology: Water quantity and quality control*. 2^a ed. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York, US. 567 p.
- Wattenberg, I; Breckle, S; Ortiz, R. 1996. La diversidad de especies arbóreas y la estructura de un bosque muy húmedo premontano en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes. *Rev. Pensamiento Actual* 2:11-19.
- Yukse, O; Komurcu, MI; Yuksel, I; Kaygusuz, K. 2006. The rol of hydropower in meeting Turkey's electric energy demand. *Energy Policy* 34:3093-3103.