

UNIVERSIDAD NACIONAL

Campus Omar Dengo

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Instituto de Investigación y Servicios Forestales

Escuela de Ciencias Ambientales

Identificación y caracterización de los tipos de bosques dentro del gradiente altitudinal (10-1270 msnm) en el Área de Conservación Tortuguero (ACTo): una propuesta para la definición de umbrales de manejo forestal sostenible

Modalidad proyecto graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal

Presentado por

Fabricio J. Ballesterero Jiménez

Heredia, Costa Rica, 2017.

El tribunal examinador aprobó el trabajo titulado “Identificación y caracterización de los tipos de bosques dentro del rango altitudinal (10-1270 msnm) en el Área de Conservación Tortuguero (ACTo): una propuesta para la definición de umbrales de manejo forestal sostenible” como un requisito parcial para optar al grado de licenciado en Licenciado en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

TRIBUNAL EXAMINADOR

**EN REPRESENTACIÓN
DEL DECANO, FCTC**

MSc. Albert Morera Beita

**DIRECTOR
UNIDAD ACADÉMICA**

Dr. William Fonseca González

DIRECTOR DEL TRABAJO

MSc. Gustavo Hernández Sanchez

LECTOR

Dr. José Pablo Carvajal Sánchez

LECTOR

MAP. Luis Acosta Vargas

POSTULANTE

Fabricio José Ballesteró Jiménez

DEDICATORIA

A mi madre Guiselle Jiménez por enseñarme que los sueños se cumplen si crees en ellos, a que debes luchar fuerte para conseguir lo que quieres, a que los límites están en la mente y en cada uno de nosotros en romperlos. Por eso puede llegar a hacer cualquier cosa que me proponga porque tuve el poder más grande que una madre le puede dar a su hijo: una mentalidad sin límites...

A mi padre Victor Ballesteros que me enseñó a ser una persona de análisis, siendo un ejemplo para mi vida para llegar a la ser siempre lo mejor posible con sencillez, humildad y don de servicio hacia la gente.

El éxito se debe cuanta gente te sonríe, a cuenta gente amas y cuantos admiran TU sinceridad y la sencillez de tu espíritu. Es acerca de TU bondad, TU deseo de servir, TU capacidad de escuchar y tu valor sobre la conducta, TU dignidad invicta, Tu deseo de ser más no de tener más.

Benson Venegas Robinson

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios por brindarme siempre la fuerza y la sabiduría para salir adelante en la vida, y sin dejar de lado a la Madre naturaleza.

Quiero agradecer a todos los compañeros del departamento de Bosques del Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR-UNA) por su amistad, enseñanzas y colaboración durante más de tres meses de trabajo de campo por las diferentes zonas del país.

A mi amigo, colega y tutor de tesis MSc. Gustavo Hernández, por su apoyo y amistad en los últimos años, por impulsarme a desarrollar esta tesis que determinará en el manejo forestal del país. En este documento queda plasmado su conocimiento y trabajo. Gracias Chino por ser más que un guía un amigo.

Al MSc. Jose Pablo Carvajal (Mortal) por su amistad y colaboración.

Al Lic. William Montero por su ayuda incondicional, por acompañarme en cada una de la giras de campo colaborando en la identificación taxonómica de la especies y aconsejándome en los análisis florísticos. Todo lo que he aprendido de taxonomía de plantas se lo debo mi gran amigo William.

Al MSc. Sergio Vilchez Bioestadístico del CATIE por su colaboración desinteresada en la asesoría sobre los análisis estadísticos y el protocolo de tipificación de bosques.

A la familia Chaves Corrales por abrirnos la puerta de su casa y permitirnos alojarnos durante varias semanas para realizar este trabajo de campo. A Don Enrique Chaves Nuñez, Artibaldo y a Helberth Chavés Corrales por apoyarnos en el establecimiento de las parcelas temporales. A Doña Eugenia Corrales por su hospitalidad y comida tan rica. Gracias.

A los Ing.For. Armando Diaz y José Pablo Mora por acompañarme en el trabajo de campo en varias giras en el establecimiento y medición de parcelas temporales por todo el ACTo

Al proyecto interuniversitario CONARE “Monitoreo de ecosistemas forestales para el fortalecimiento de estrategias de conservación y uso de bosques: una contribución a la iniciativa Costa Rica Carbono Neutral” por regalarme la oportunidad de trabajar y

desarrollarme como profesional, así como adquirir valiosa experiencia en el INISEFOR durante todo este periodo.

Finalmente a mi familia y amigos por su apoyo durante este camino.

BIOGRAFÍA

Ingeniero Forestal graduado en la Universidad Nacional de Costa Rica en el año 2013, durante tres años laboró como asistente de investigación para el departamento de Bosques del Instituto de Investigación y Servicios Forestales de la Universidad Nacional. Desde el inicio de su formación profesional se interesó por el conocimiento en paquetes estadísticos y bioestadísticos. Además desde sus inicios en el departamento de Bosques tuvo un gran interés por el Manejo Forestal Sostenible (MFS) y monitoreo forestal, pero por su creatividad y versatilidad ha colaborado en trabajos de arborización urbana, sistemas de información geográfica, restauración de ecosistemas degradados entre otros.

En el 2014 fue contratado por el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) en el proyecto de Rearborización del Parque Metropolitano La Sabana como coordinador técnico y regente forestal en la sustitución de especies exóticas por especies nativas de Costa Rica. Basado en su experiencia fue contactado por el Country Club para realizar el proyecto de rearborización de sus canchas de golf junto con el señor Armando Soto. Además ha elaborado y ejecutado el plan de arborización del condominio Bosques de Altamonte en Curridabat.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	i
Índice de Figuras	ii
Índice de cuadros	iii
RESUMEN	4
I. INTRODUCCIÓN.....	6
a) Antecedentes y justificación.....	7
II. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos	12
III. MARCO TEÓRICO	13
3.1. Sistemas de clasificación y tipificación de bosques	13
3.2. Composición y estructura en bosques.....	14
3.2.1. Composición, diversidad y estructura de un bosque.....	14
3.3. Estructura de un bosque	16
3.4. Factores ambientales determinantes en la clasificación, composición y diversidad de los bosques.....	16
3.5. Monitoreo ecológico, estándares de sostenibilidad y umbrales de manejo forestal ...	19
IV. MARCO METODOLÓGICO	24
4.1. Selección de sitios y muestreo de la vegetación	26
4.2. Recolección de datos	30
4.3. Variables de suelo y variables climaticas	31
4.4. Análisis de datos	34
4.4.1. Composición y clasificación de los bosques	34
4.4.2. Análisis de conglomerados.....	34
4.4.3. Análisis de especies indicadoras.....	35
4.5. Estructura horizontal de los tipos de bosque	37
4.6. Relación entre los tipos de bosque y las variables de clima, suelo y posición espacial	37
4.7. Propuesta de umbrales de manejo.....	38
V. Resultados y discusión.....	40

5.1. Clasificación y caracterización de los bosques.....	42
5.2. Relaciones florísticas entre los bosques muestreados	42
5.3. Tipos de bosque presentes en el área de estudio	50
5.4. Estructura horizontal de los tipos de bosque del Área de Conservación Tortuguero.....	55
5.5. Variables ambientales y de suelo.....	60
5.6. Análisis discriminante lineal entre las variables ambientales y los tipos de bosque	62
5.7. Propuesta de umbrales de manejo.....	66
VIII. BIBLIOGRAFÍA.	72

Índice de Figuras

Figura 1. Proceso de monitoreo ecológico del Programa de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMEC-CR)	20
Figura 2. Proceso metodológico para el trabajo de campo y posterior análisis de datos.	25
Figura 3. Sitios seleccionados y diseño de muestreo de la vegetación dentro de ACTo, Limón, Costa Rica.	28
Figura 4. Forma de establecimiento de las parcelas de 50 x 50 m 0,25 ha en el campo.	29
Figura 5. Subdivisión de las PPM en parcelas de 2500 m ²	31
Figura 6. Sistema de muestreo de suelos a emplear para las parcelas de 0,25 ha (50 x 50 m).	32
Figura 7. Sistema de muestreo de suelos a emplear para las parcelas de 1 ha (100 x 100 m).	33
Figura 8. Ubicación de las 30 parcelas de muestreo (0,25 ha) a lo largo del gradiente altitudinal que cubre el ACTO (10-1270 msnm). Las parcelas se diferencian también según el tipo de bosque en que fueron agrupadas por el resultado del análisis de conglomerados.	41
Figura 9. Análisis de conglomerados (método de Ward, distancia euclídea) de la vegetación (árboles ≥ 30 cm de dap y palmas ≥ 10 cm de dap) de 30 parcelas de 0,25 ha muestreadas a lo largo del paisaje.	43
Figura 10. a) Número de conglomerados vs. promedio de <i>p</i> (probabilidad de encontrar diferencias estadísticas) y b) número de conglomerados vs. número de especies indicadoras significativas, ACTo, Costa Rica.	44
Figura 11. Diagrama de ordenación que muestra la relación entre las 30 parcelas y las especies más importantes en ellas.	46
Figura 12. Especies de mayor relevancia ecológica en función del IVI calculado para los tres tipos de bosque identificados, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.	50
Figura 13. Distribución diamétrica del número de árboles por hectárea para los tres tipos de bosque identificados, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.	59
Figura 14. Distribución diamétrica del área basal por hectárea para los tres tipos de bosque identificados, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.	60
Figura 15. Resultado del análisis discriminante lineal de las variables ambientales y la elevación con los tipos de bosque. Los tipos de Bosque 1, 2 y 3 se diferencian en el eje canónico 1. Colores diferentes	

representan parcelas pertenecientes a los 3 tipos de bosque: círculos verdes Bosque 3, círculos amarillos Bosque 2, y círculos azules Bosque 1.	63
Figura 16. Resultado del análisis discriminante lineal de las variables de suelo con los tipos de bosque. Los tipos de bosque 1 y 3 se diferencian de 2 en el eje canónico 1. Colores diferentes representan parcelas pertenecientes a los 3 tipos de bosque: círculos verdes Bosque 3, círculos amarillos Bosque 2, y círculos azules Bosque 1.	65

Índice de cuadros

Cuadro 1. Áreas Silvestres Protegidas dentro del Área de Conservación Tortuguero.	26
Cuadro 2. Coordenadas geográficas y elevación msnm de las PPM utilizados para este estudio, Limón, Costa Rica. 2013.	30
Cuadro 3. Valores de referencia mínimo (VRM) de área basal por tipo de bosque para la Zona Norte (Corredor Biológico San Juan – La Selva), área basal promedio para todos los árboles ≥ 30 cm dap (Sesnie, 2006).	39
Cuadro 4. Número de parcelas, área total muestreada, rango de elevación en el que se distribuyen y elevación promedio de cada uno de los tipos de bosque determinados a partir del análisis de conglomerados.	43
Cuadro 5. Especies indicadoras ($p < 0,05$) para los tres tipos de bosques identificados. Resultado de la prueba de Monte Carlo con 1000 permutaciones, con los datos de especies de palmas (dap > 10 cm) y árboles (dap > 30 cm) de 30 parcelas muestreadas.	48
Cuadro 6. Abundancia y área basal por hectárea para los tres tipos de bosques, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.	57
Cuadro 7. Estadística descriptiva de las características climáticas (obtenidas de Worldclim) y de elevación obtenidas de 30 parcelas de muestreo (0,25 ha).	61
Cuadro 8. Estadística descriptiva de las propiedades químicas y físicas del suelo de las 30 parcelas (0,25 ha) muestreadas.	62
Cuadro 9. Propuesta de valores de referencia mínimo (VRM) de área basal por tipo de bosque para el Área de Conservación Tortuguero (ACTo), área basal promedio para todos los árboles ≥ 30 cm dap.	67

RESUMEN

El manejo forestal sostenible (MFS) es el proceso de administrar de forma permanente los terrenos de vocación forestal garantizando su uso racional para alcanzar un flujo continuo de bienes y servicios sin que ello reduzca su productividad a futuro. Para ejecutar esto es necesario conocer las diferentes comunidades vegetales o tipos de bosques que existen en un sitio y los factores que limitan o favorecen su distribución, por lo que se hace necesario determinar los factores ambientales y edáficos que contribuyen en la distribución geográfica de los bosques. La forma en que se maneja un bosque natural va a depender de las características florísticas y estructurales únicas de cada sitio. Por lo que se torna necesario establecer indicadores o umbrales que nos permitan tomar decisiones en el manejo y conservación de la biodiversidad de modo que esto contribuya a mantener los bosques a través del tiempo, así como sus servicios ecosistémicos. El objetivo de este estudio fue identificar y caracterizar los tipos de bosques dentro del Área de Conservación Tortuguero (ACTo) dentro del rango altitudinal para la formulación de una propuesta de umbrales de manejo de área basal. En 23 parcelas temporales de ¼ ha y 7 parcelas permanentes de muestreo divididas en un solo cuadrante de igual área, a lo largo de un gradiente altitudinal (10-1270 msnm), se encontraron 168 especies de árboles y palmas, agrupadas en tres tipos de bosques, a través de análisis multivariados, caracterizados por un cambio gradual de especies distribuidas en diferentes elevaciones y adaptadas a condiciones edáficas y ambientales distintas. Las relaciones entre la composición florística y las variables de suelo y clima (análisis discriminante lineal) establecieron que la precipitación y la temperatura fueron las que más influyeron en discriminación de los bosques así como también lo hicieron las propiedades químicas de macro y micro nutrientes del suelo como Mg, Fe, entre otros. Se determinaron dos bosques de bajura Bosque de *Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis* (Pm, Pc y Cg) y Bosque de *Pentaclethra macroloba*, *Dendropanax arboreus* y palmas (Pm, Da y palmas) y uno de altura Bosque de *Chimarrhis parviflora*, *Iriartea deltoidea*, *Ulmus mexicana* (Cp, Um y palma). Se obtuvo una distribución de J invertida de individuos por clase diamétrica para los tres tipos de bosques, con una alta abundancia de palmas y con mayor presencia de

diámetros superiores en los bosques de (Pm, Pc y Cg) y (Cp,Um y palma). La distribución del área basal por clase diamétrica, mostró patrones notablemente distintos en los tres tipos de bosques. Así mismo, se determinaron tres valores de referencia mínimos (VRM) de área basal para los tres tipos de bosque los cuales superan por mucho los 11 m²/ha establecidos para las áreas fuera de la zona norte de Costa Rica.

Palabras clave: Estructura y composición, Factores ambientales y edáficos, Manejo Forestal Sostenible, Tipos de bosques, y Valores de referencia.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a pesar de los esfuerzos de muestreo y clasificación de comunidades vegetales, existen aún vacíos de información sobre la composición florística de los bosques neotropicales, lo cual ha dificultado la definición de estrategias y políticas para la conservación y manejo de estas regiones (Bermúdez y Sánchez, citado por Chain 2009).

A partir de la década de los noventa en Costa Rica debido a un cambio de las políticas estatales y aunado a la puesta en ejecución de una nueva legislación forestal, con la colaboración de grandes proyectos forestales, al trabajo constante y serio de organizaciones no gubernamentales, al rol de las escuelas forestales de las universidades estatales y centros de investigación, la historia del manejo forestal toma un giro con la publicación de los Principios, Criterios, Indicadores (PCI) para el Manejo Forestal Sostenible (MFS) del Bosque (Quesada 2006).

La Comisión Nacional de Sostenibilidad Forestal (CNSF) conociendo la necesidad de cubrir con nuevos Estándares de Sostenibilidad para el Manejo de Bosques de aquellas zonas donde se presenta un mayor aprovechamiento del recurso está requiriendo establecer valores de referencia mínimos (VRM) para su manejo específico (UNA, ITCR, UCR 2009), como por ejemplo para las áreas basales según el tipo de bosque así como para el porcentaje de especies forestales conocidas como heliófilas efímeras.

El país ha desarrollado la legislación y normativa necesaria para conservar la biodiversidad y garantizar el uso sostenible los recursos forestales, dotando con

metodologías y experiencias de manejo sostenible para zonas específicas, lo cual hace necesario tipificar los bosques en zonas donde el recurso forestal posea un gran potencial de aprovechamiento.

Este estudio está dirigido en contribuir en la tipificación de los bosques y proponer los VRM de área basal para el Área de Conservación Tortuguero con el fin de mejorar su respectivo manejo y conservación.

a) Antecedentes y justificación

Los Principios, Criterios e Indicadores (PCI) constituyen la normativa en Costa Rica que vela tanto por la integridad de los bosques manejados como por los intereses de la sociedad. Estos se establecieron mediante el Decreto Ejecutivo N° 27338-MINAE en 1999 y desde este momento se sistematizó la forma en que se hacía el manejo forestal en Costa Rica.

Aunque los PCI se establecieron en el año 1999, hasta ese entonces no habían sido validados en el campo, y como consecuencia de esto se hizo necesario realizar modificaciones y revisiones que pudieran ser adaptadas a los métodos de manejo de las distintas condiciones de los bosques proceso que concluyó en el año 2008 con la publicación del decreto Decreto N° 34559-MINAE, el cual integra de esta manera los nuevos conocimientos generados, así como las variables más actuales de orden político, administrativo y legal entre otras (Quesada 2008).

Entre las principales modificaciones que se realizaron fueron la disminución de los principios al pasar de 9 a únicamente 3. Adicionalmente, se estableció el uso de umbrales de manejo (valores de referencia) por tipo de bosque, claramente definidos y

validados con indicadores silviculturales (área basal y porcentaje de especies heliófilas efímeras) que brindarán de esta forma mayor sustento técnico al manejo forestal. Además se separan los planes de manejo en aquellos que cuentan registros previos de aprovechamiento forestales de aquellos que no cuentan registros. Por último, se define que los bosques deben ser tipificados, permitiendo ubicar la unidad de manejo en el contexto del paisaje forestal circundante.

Este hecho marcó el establecimiento de estos nuevos criterios técnicos que definen el manejo del bosque mediante la publicación de los “Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Principios, Criterios e Indicadores, Código de Prácticas y Manual de Procedimientos en el Decreto ejecutivo N° 34559-MINAE.

Los PCI establecieron la tipificación de los bosques como una herramienta necesaria en el contexto de los Estándares de Manejo Forestal (Decreto N° 34559-MINAE) ya que el bosque bajo manejo forestal debe ser ubicado y tipificado en el contexto del paisaje circundante, con el fin de prescribir y evaluar su condición considerando sus características particulares. Donde de igual forma las unidades sujetas a aprovechamiento se encuentran sobre un valor de referencia mínimo (VRM) de área basal establecido por tipo de bosque con el objetivo de mantener la condición disetánea natural del bosque (MINAET 2009).

Dichos VRM en área basal varían para los diferentes tipos de bosque dentro de cada subregión del (SINAC) Sistema Nacional de Áreas de Conservación (MINAET 2009), y fueron establecidos para determinar si el bosque puede aceptar un nuevo

aprovechamiento forestal, comparando los valores actuales que caracterizan al bosque con valores de referencia preestablecidos. Esto, con el propósito de no aprovechar los bosques cuya condición no soporten una nueva intervención sin alterar su estructura disetánea (Minaet 2009).

Sin embargo, cabe destacar que estos umbrales de manejo para los valores de referencia de área basal, están claramente definidos por tipo de bosque, solamente para las áreas de conservación Arenal Huetar- Norte, Cordillera Volcánica Central y un sector muy reducido de Tortuguero (Minaet 2009). Los cuales están basados en resultados de tipificación de los bosques mediante el análisis estadístico y complementado con Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Sesnie 2006). Esto determina que el resto de país no cuente con dicha herramienta (Sánchez 2012).

Por otra parte, se genera la interrogante de la situación para el resto del país, en donde se estipula que para todos aquellos bosques que se localizan fuera del área de estudio de Sesnie (2006), se debe utilizar un valor de referencia mínimo de 11 m²/ha por hectárea para todos los árboles con diámetros mayores o iguales a 30 cm (Minaet 2009).

Esta generalización del VRM de 11 m²/ha por tipo de bosque para las demás áreas de conservación del país desvincula la premisa del principio 2 de los Estándares de Manejo que establece que el manejo forestal busca mantener las características originales del bosque en términos de estructura y composición (Minaet 2009). Por lo que a falta de información, implicaría la posibilidad de que el manejo no permita el mantenimiento de

las características originales del bosque ya que estudios silviculturales han demostrado que un alto nivel de cambio en el área basal puede ser contraproducente en términos de crecimiento del bosque (Ghazoul y Hellier 2000).

Lo anterior evidencia la urgencia de ampliar este tipo de estudios a otras regiones del país en el futuro, y que estos nuevos resultados sean incorporados dentro del Código de Prácticas (Minaet 2009). En este sentido, CNSF (Comisión Nacional de Sostenibilidad Forestal) ha hecho un llamado a las instituciones científicas y académicas del país a colaborar para detectar los vacíos de información y de investigación, e incluirlos en sus planes de trabajo (Campos y Muller 2000).

Esto establece la necesidad de determinar no únicamente los umbrales de manejo (valores de referencia de área basal) sino también los tipos de bosques para otras zonas y regiones del país. El Área de Conservación Tortuguero (ACTo) se seleccionó debido a que esta presenta un gran potencial forestal, y de acuerdo con el análisis histórico de planes de manejo en la zona desde 1986 al 2004, cuenta con un total de 300 unidades de manejo forestal (UMF) con un área total bajo manejo de 11,100 hectáreas (Arroyo *et al.* 2011). De igual forma Méndez (2008) menciona que el ACTo es una de las Áreas de Conservación que cuenta con el mayor porcentaje de bosque manejables con un 63,3%.

En esta misma línea Sage y Montoya (2006) consideran que los bosques sujetos a planes de manejo en el ACTo deberían ser las fuentes más importantes de materia prima por las especies presentes con un alto valor comercial, y por ende con ellos se busca perpetuar el suministro y lograr la sostenibilidad.

Con esta investigación se pretende establecer los lineamientos técnicos y proporcionar de indicadores para un adecuado manejo de los bosques en la zona, disminuyendo el riesgo de afectación del ecosistema forestal. La contribución estará dada en la determinación de los tipos de bosques y de los valores de referencia de área basal cuyo fin es mejorar el manejo y la sostenibilidad del recurso forestal, fuera de la Zona Norte y una pequeña parte de la zona Caribe de Costa Rica. En el corto plazo, el impacto se plasmará en lo relativo a la planificación del óptimo manejo de los bosques productivos de la zona, en el mediano plazo establecerá las bases para la formulación y ejecución de planes de manejo, y en el largo plazo se espera que pueda asegurar la sostenibilidad del recurso mediante el manejo forestal óptimo de los bosques productivos.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Identificar y caracterizar los tipos de bosques del Área de Conservación Tortuguero (ACTo) dentro del rango altitudinal (10-1270 msnm) para la formulación de una propuesta de umbrales de manejo de área basal.

2.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar y comparar la estructura y composición entre los tipos de bosque identificados.
- b) Evaluar la relación de los factores ambientales (suelo y clima) y la distancia geográfica (elevación) entre los bosques identificados.
- c) Determinar valores de referencia en área basal para la formulación de una propuesta de umbrales de manejo de los tipos de bosques identificados.
- d) Formular una propuesta que contribuya con la definición de umbrales de manejo de área basal en el ACTo que fomenten el manejo sostenible de los bosques.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Sistemas de clasificación y tipificación de bosques

A través del tiempo se han originado variados sistemas de clasificación de la vegetación, los cuales han buscado agrupar los diferentes ecosistemas en unidades que representen algún grado de similitud en cuanto a sus características (Quesada 2007). Para esto se han empleado análisis de clasificación, los cuales son frecuentemente utilizados en ecología para determinar el agrupamiento de las replicas de muestras de un mismo sitio o para identificar sitios o épocas de muestreo que pueden ser particionadas en grupos de comunidades con estructuras similares (Mancera *et al.* 2003).

Las técnicas de clasificación usadas comúnmente en la ecología de comunidades pueden ser consideradas en tres grupos: arreglo de tablas, clasificación no jerárquica y clasificación jerárquica (Gauch 1982). Algunas de estas técnicas de clasificación de comunidades vegetales emplean la evaluación de la estructura y composición para su caracterización, lo que permite conocer su estado y distribución actual (Matteucci y Colma 1982). De esta forma, su estudio permite determinar los cambios y establecer un marco para planificar las actividades productivas o de conservación de los bosques (Louman *et ál.* 2001).

El sistema de clasificación más utilizado quizás en Centroamérica y a nivel nacional es el sistema de Clasificación Ecológica de Zonas de Vida del Mundo (Holdridge 1947), y que es empleado en la caracterización de formaciones vegetales a gran escala (Quesada 2007). Esto se debe a que asocia áreas geográficas (definidas en términos de

precipitación, biotemperatura, altitud y evapotranspiración) con tipos de vegetación. Puede afirmarse que se trata de un sistema predictivo, ya que su nomenclatura lo que pronostica es la vegetación potencial en un ambiente sin alteraciones antrópicas (Gutierrez y Frenkel 2005; Watson y Tosi 2000).

Por otro lado, la implementación de un sistema de clasificación empleando agrupaciones florísticas, representa otra forma de ver los ecosistemas, basado principalmente en la identificación de grupos específicos de plantas que pueden ser características de una zona (Minae *et al.* 1997). En Costa Rica, con el decreto N° 34559-MINAE, se ha buscado a través de estudios técnicos y legales, realizar un manejo forestal acorde con las características propias de cada bosque (Quesada 2008). Por lo tanto, una clasificación o tipificación de bosques ayuda a distinguir los productos y servicios que producen las diferentes áreas boscosas (Louman *et al.* 2001), con la finalidad de poder adaptar el manejo y la silvicultura de acuerdo a las características propias de cada tipo de bosque (Lamprecht 1990; Louman *et al.* 2001). Finegan *et al.* (2001) establecen la tipificación de bosques como una herramienta básica para la planificación, la ejecución del manejo forestal y la conservación de la biodiversidad.

3.2. Composición y estructura en bosques

3.2.1. Composición, diversidad y estructura de un bosque

3.2.1.1. Composición de bosques

La composición, diversidad y estructura de un bosque son factores determinantes para conocer el estado y la distribución de las especies arbóreas, pueden ser estudiados con relativa facilidad a través de la aplicación de conceptos y métodos del estudio de la

diversidad biológica. Según Chain (2008), existen aún vacíos de información sobre la composición florística de los bosques neotropicales, a pesar de que los bosques húmedos de América Latina y El Caribe son los bosques tropicales más importantes a nivel mundial, tanto por su extensión geográfica como por el reconocimiento de la gran diversidad biológica que poseen (Hartshorn, citado por Ramos 2004).

Según Zamora (2010), la composición de un bosque está determinada tanto por los factores ambientales: posición geográfica, clima, suelos y topografía, como por la dinámica del bosque y la ecología de sus especies. Pero todos estos factores ambientales hacen que los bosques de los trópicos sean muy heterogéneos en su composición.

Según Guerrero (2005), lo que respecta a especies de árboles, los bosques tropicales son extremadamente diversos y contienen a menudo más de 200 especies por hectárea. El objetivo de los estudios de composición florística es reconocer la significancia de las especies y su forma de vida, así como la determinación de las leyes que regulan las relaciones de los organismos con la forma de vida de las especies (Paucar 2011).

La diversidad florística se refiere a la distribución de los individuos entre el total de especies presentes y es un indicador de intensidad de mezcla del rodal o bosque (Zamora 2010). La diversidad puede ser diferente según el tipo de bosque que se estudie sin importar si se encuentra en la misma zona geográfica (Louman *et al.* 2001). Además, según Paucar (2011) la diversidad que presenta un bosque depende de la cantidad de especies que lo constituyan, así cuanto mayor sea el número de especies mayor será la diversidad. Esta diversidad depende de la competencia intra e inter

específica de individuos, claros de bosques y la capacidad que tenga el bosque para regenerarse.

3.3. Estructura de un bosque

La estructura horizontal de una población o de un bosque en su conjunto se puede describir mediante la distribución del número de árboles por clase diamétrica (CNF 2006), además es considerada un arreglo espacial de los organismos, en este caso árboles, donde este arreglo no es aleatorio, y muchas veces las especies van a presentar una curva de J invertida (Valerio y Salas 1998). Según Louman *et al* (2001) se han definido dos estructuras horizontales principales: las coetáneas o regulares donde la mayoría de individuos están en la misma clase y las discetáneas o irregulares que están distribuidos en varias clases de tamaño.

3.4. Factores ambientales determinantes en la clasificación, composición y diversidad de los bosques

Watson y Tosi (2000) mencionan que para establecer un sistema de clasificación ecológica realmente útil, esta debe de poseer de límites bien definidos, además de ser sensible a los pequeños cambios que ocurren en la vegetación (muchas veces a corta distancia), ya sea en uno o varios de los factores ambientales que pueden afectar el desarrollo o la presencia de los ecosistemas. Asimismo Lamprecht (1990) señala, que los métodos de clasificación fundamentados en características fisionómicas de la vegetación asociadas a determinadas condiciones ambientales son más prometedores por su fácil manejo.

La composición y los diferentes tipos de vegetación de un bosque están determinados por factores ambientales, aunado a la dinámica del bosque así como también por la ecología de sus especies (Louman *et al* 2001). La vegetación es el resultado de la interacción de factores ambientales sobre un conjunto de especies determinada por el desarrollo fisiológico óptimo de estas hacia la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la precipitación y la elevación (Mattuecci y Colma 1982).

Sin embargo, cuando se considera el efecto de la variación de las características del hábitat a escala local sobre los patrones florísticos, dentro de cada unidad de paisaje, los resultados son contrastantes (Condit *et al.* 2002, Gentry 1988). Estudios realizados por Tuomisto *et al* (2003) sobre la dispersión y composición de los bosques en el Oeste de la Amazonia confirman que la correlación entre los factores ambientales y la distribución de las especies se ve determinado, la mayor parte del tiempo, por la especialización, respuesta o sensibilidad de estas hacia efectos geográficos o ambientales específicos.

Los gradientes edáficos influyen en que ciertas condiciones del suelo sean más favorables para ciertas especies y para otras no; la correlación de estas condiciones con diversidad florística se debe a la capacidad de ciertas especies a adaptarse a un gradiente edáfico específico (Montagnini y Jordan 2005). Es por esto que se considera que los cambios abruptos en las condiciones edáficas son una de las características más comunes dentro del paisaje tropical, ya que influyen en la distribución y la abundancia de las especies de un bosque tropical lluvioso (Clark *et al.* 1998).

De igual forma los bosques tropicales también varían en composición de especies y estructura a lo largo de gradientes altitudinales (Hernández *et al.* 2011). La altitud es considerada como un factor importante para la clasificación de bosques tropicales (Whitmore 1990). Los gradientes altitudinales se componen por un conjunto de especies, donde la estructura y diversidad de algunas especies caracteriza cada tipo de bosque existente (Montagnini y Jordan 2005).

Por otro lado, la elevación representa una compleja combinación de variables climáticas a las cuales las especies se tienden a ajustar (Lomolino 2001). Estas variables son las que más influencia ejercen sobre la distribución de las plantas por la relación que posee la elevación sobre las condiciones climáticas en un gradiente (Herzog *et al.* 2012). La interacción entre la elevación, la temperatura y la precipitación, no se correlacionan únicamente entre sí, también la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la fertilidad disminuyen a medida que aumenta la elevación (Homeier *et al.* 2010).

La distribución regional de las especies ha sido debatida sobre si el recambio en la composición florística es limitada por la dispersión o por los factores ambientales (Ricklefs y Schluter 1994). En este primer caso Hubbell (1997) en su teoría de comunidad neutral, asume que todos los individuos tienen las mismas probabilidades de reproducirse y morir, debido a que por la limitación de ser dispersadas se espera que la similitud florística decrezca conforme aumenta la distancia geográfica explicando así la distribución espacial de las especies.

Chust *et al* (2006) confirman la teoría de Hubbell que establece que la distancia geográfica y el proceso de segregación ambiental en la variación florística si es limitada por la dispersión de las semillas. Sin embargo la distribución y la composición no pueden ser predichas únicamente por la limitación de la dispersión de las semillas sino que también los factores ambientales cumplen un papel importante en la misma (Jones *et al.* 2006).

Tanto los factores ambientales como la distancia geográfica presentan una alta correlación espacial (Tuomisto *et al.* 2003). Se puede entender que una auto correlación es la asociación del valor de una variable con sus puntos vecinos (McCune y Grace 2002), esta puede ser positiva o negativa. En el caso de las positivas, las localidades cercanas tienden a tener valores similares mientras tanto en los valores negativos las localidades cercanas tienden a tener valores muy distintos (McCune y Grace 2002). Explicando de esta forma como la distribución espacial de las variables ambientales puede mostrar relaciones importantes para entender la composición y similitud florística entre sitios ubicados a distintas distancias geográficas (Chain 2009).

3.5. Monitoreo ecológico, estándares de sostenibilidad y umbrales de manejo forestal

Finegan *et al.* (2004) destacan que la única forma de establecer el efecto del manejo sobre la biodiversidad de cualquier bosque es a través del monitoreo. El monitoreo, es entendido como “*un proceso de recolección de información usada para mejorar el manejo del bosque*”, el cual permite determinar la ocurrencia, tamaño, dirección e importancia de los cambios que se dan en indicadores claves de la calidad del manejo de

un recurso (Finegan *et al.* 2003). Como en cualquier proceso de recolección de información los intervalos de tiempos son bastante grandes y en el monitoreo ecológico no es la excepción. Se puede observar en la figura 1 el proceso del monitoreo ecológico del Programa de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMEC-CR) (Figura 1).

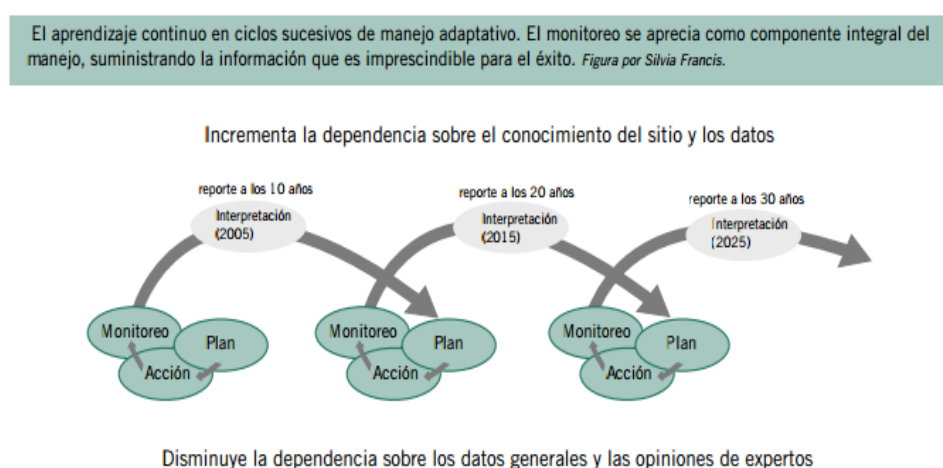


Figura 1. Proceso de monitoreo ecológico del Programa de Monitoreo Ecológico Terrestre de las Áreas Protegidas y Corredores Biológicos de Costa Rica (PROMEC-CR)

La definición de un estándar en el manejo forestal está relacionada con el concepto de un “manejo forestal sostenible” (MFS); Pedroni y De Camino (2001). De Camino (1997) establece el MFS como “*el manejo y uso forestal sostenible de los bosques (o buen manejo forestal) como un proceso que da valor al uso forestal como actividad permanente*”.

En este contexto, el estándar funciona como herramienta para promover el manejo forestal sostenible, como base para el monitoreo y la evaluación, o como referencia para

una evaluación del manejo forestal actual (Lammerts van Bueren y Blom 1997). Asimismo un estándar está conformado por Principios, Criterios e Indicadores (PC&I) o por una combinación de estos niveles jerárquicos (Morán 2005)

En Costa Rica con el establecimiento de los Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Principios, Criterios e Indicadores (Decreto N° 34559-MINAE), tienen como propósito establecer un sistema de verificación que garantice un uso socioeconómico viable del bosque natural, con un impacto controlado que mantenga la integridad ecológica del bosque, bajo un marco institucional de participación con todos los actores del sector forestal (Minaet 2009). Estos Estándares de Sostenibilidad para el Manejo de Bosques Naturales definen a los principios, criterios, indicadores y umbrales de la siguiente manera (Gobierno de Costa Rica 2008):

- **Principio:** pauta fundamental, base para razonamiento y acciones. Tiene carácter de objetivo o actitud de la función del ecosistema forestal, o de un aspecto relevante del sistema social que interactúa con el ecosistema. Son elementos explícitos de una meta.
- **Criterio:** Estado o aspecto de un proceso dinámico del ecosistema forestal, o del sistema social, que debería existir como resultado de adherencia a un principio de manejo forestal sostenible. Deben conducir a un juicio sobre el grado de cumplimiento en una situación actual.
- **Indicador:** Parámetro cuantitativo o cualitativo que se puede evaluar en relación con un criterio. Describe de manera verificable y objetiva, las

características del ecosistema forestal o del sistema social relacionado, o los elementos de la política corriente, condiciones de manejo y procesos antropogénicos indicativos del estado del ecosistema o sistema social.

- **Umbral:** Es el valor de una variable de monitoreo que indica que un cierto cambio ha ocurrido, o es probable que ocurra según datos disponibles.

El uso de umbrales o valores de referencia ya se ha venido utilizando en Costa Rica para ayudar a tomar decisiones en el manejo de bosques naturales. Todo esto con el fin de determinar si un bosque puede aceptar un nuevo aprovechamiento forestal, y para lo cual se comparan los valores actuales de los parámetros que los caracterizan con valores de referencia preestablecidos (Sánchez 2012).

En Costa Rica se utilizan dos tipos de umbrales: el valor de referencia mínimo de área basal por tipo de bosque, expresado en metros cuadrados por hectárea, y el valor de referencia máximo del porcentaje del gremio de las especies heliófitas efímeras (o especies pioneras colonizadoras de claros en el bosque), expresado en el porcentaje del total de los árboles con diámetros mayores a 10 centímetros que existen en el bosque (Gobierno de Costa Rica 2008).

En la actualidad solo se cuenta con un mapa de tipos de bosque para una sección de la Región Huetar Norte y Caribe (Sesnie 2006), de donde se tomaron las áreas basales promedio por tipo de bosque para determinar los valores de referencia mínimos (VRM)

partiendo de las reglas para el establecimiento de este umbral de la siguiente forma (Minaet 2009):

1. Se parte del promedio del área basal por hectárea para todos los árboles ≥ 30 cm dap, con una estimación de límites de confianza al 95%.
2. Se toma el límite de confianza menor.
3. Se asume que la reducción máxima de área basal debida al aprovechamiento puede ser como máximo 20% del área basal original.
4. El umbral se toma como el área basal que posee el bosque después de que ha recuperado el 50% del área basal reducida con el aprovechamiento, en este caso 10%.

La investigación silvícola en los bosques húmedos tropicales por Ghazoul y Hellier (2000) sugiere que un alto nivel de cambio en el área basal puede ser contraproducente en términos de crecimiento del bosque.

Los umbrales o valores de referencia presentan dos características específicas: una variable y un activador, la primera indica que un cambio ha ocurrido y la segunda indica que ha ocurrido un cambio inaceptable (WWF 2004). Los valores de referencia han sido empleados para determinar si un bosque puede aceptar un nuevo aprovechamiento forestal de manera que se evalúan los posibles impactos de este sobre la masa residual y no se altere la estructura disetanea (Minaet 2009).

IV. MARCO METODOLÓGICO

El proceso metodológico se compone de dos partes: la recolección de datos del trabajo de campo y el análisis de datos posterior al trabajo de campo. Este se describe a continuación en un diagrama esquemático (Figura 2).

Por otra parte el muestreo realizado fue probabilístico aleatorio estratificado y condicionado donde el Área de Conservación Tortuguero (ACTo) fue dividida en tres pisos altitudinales con el fin de fraccionar los bosques en poblaciones con características similares.

Con base en los dos tipos de parcelas: PPM (1 ha) y parcelas temporales (50 x 50 m) con una intensidad de muestreo de un 0.06 % se realizó un análisis estadístico multivariados para determinar y separar los distintos tipos de bosques identificados.

Se determinó la relación entre los tipos de bosque identificados con las variables ambientales: clima, suelo, rango altitudinal y posición espacial. Se empleó un análisis discriminante lineal para determinar la variable ambiental que ayuda a discriminar los distintos tipos de bosques.

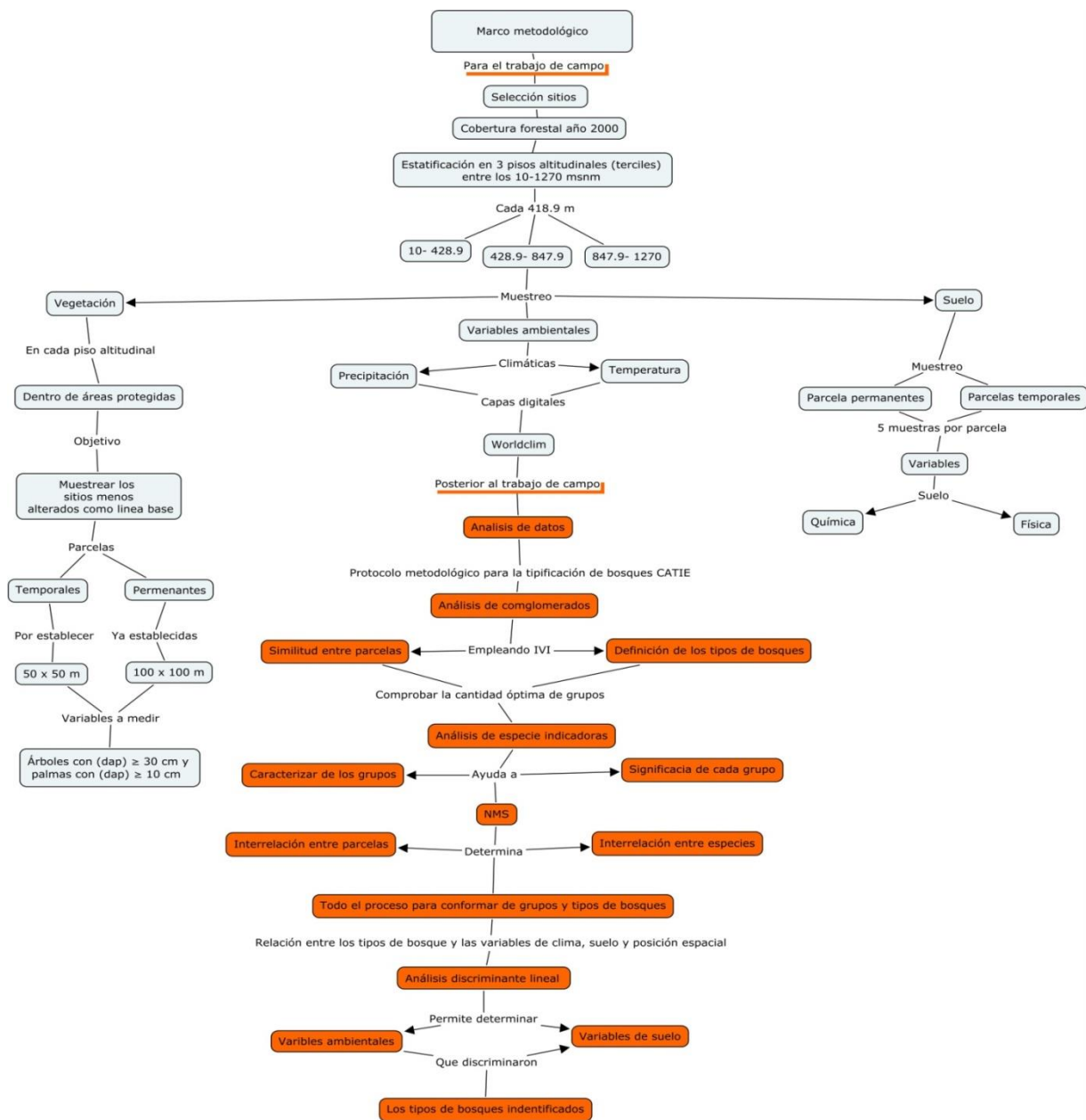


Figura 2. Proceso metodológico para el trabajo de campo y posterior análisis de datos.

4.1. Selección de sitios y muestreo de la vegetación

Toda la cobertura forestal del ACTo (154,973.20 ha) se estratificó a través de un gradiente altitudinal. Para esto se empleó la capa de uso - cobertura del año 2000 elaborada por (IMN, FONAFIFO, Universidad de Alberta de Canadá), la cual es utilizada como capa digital de referencia para el Manejo Policíclico de Bosque en Costa Rica (FAO *et al.* 2010). La estratificación se realizó a través de herramientas en Sistemas de Información Geográfica (SIG), partiendo la vegetación en terciles (tres pisos altitudinales) cada 418,9 m entre los 10 y los 1270 msnm. Para esto se empleó un modelo de elevación digital (MED) realizado a partir de curvas de nivel a escala 1: 50 000 (IGN).

Por otro lado las parcelas de muestreo se establecieron a partir de las áreas con cobertura boscosa localizadas dentro de las Áreas Protegidas presentes en cada piso altitudinal con un área total de 124, 100.9 ha, con el objetivo de obtener una línea base de bosques que se encuentren lo menos alterados posible (Cuadro 1).

Cuadro 1. Áreas Silvestres Protegidas dentro del Área de Conservación Tortuguero.

Categoría de protección	Nombre del área	Área (ha)
Zona protectora (ZP)	Acuíferos Guacimo y Pococi	4,252.9
Refugio Nacional de Vida Silvestre (RVS)	Archie Carr	48.0
Refugio Nacional de Vida Silvestre (RVS)	Barra del Colorado	79,185.6
Reserva Forestal (RF)	Cord. Volc. Central	0.4
Refugio Nacional de Vida Silvestre (RVS)	Corredor fronterizo	9,041.1
Parque Nacional (PN)	Tortuguero	31,572.9
Zona Protectora (ZP)	Tortuguero	0.019
Total		124,100.9

Se realizaron muestreos de vegetación dentro de áreas protegidas como se menciona anteriormente debido a que estos sitios tienen más posibilidades de no haber sido aprovechados en el pasado, con lo cual se garantiza que los ecosistemas se encuentran lo menos alterados posible en términos de estructura y composición a través del tiempo. Se estableció un total de 23 parcelas temporales de 0.25 ha (50 x 50 m) de forma aleatoria y seleccionando como sitios de muestreo aquellos puntos que se encontraban a una distancia mínima de 150 metros para evitar el efecto de borde en el bosque, además cada parcela debía de presentar una separación de por lo menos 300 m desde un punto de muestreo a otro (Sesnie 2006) (Figura 3).

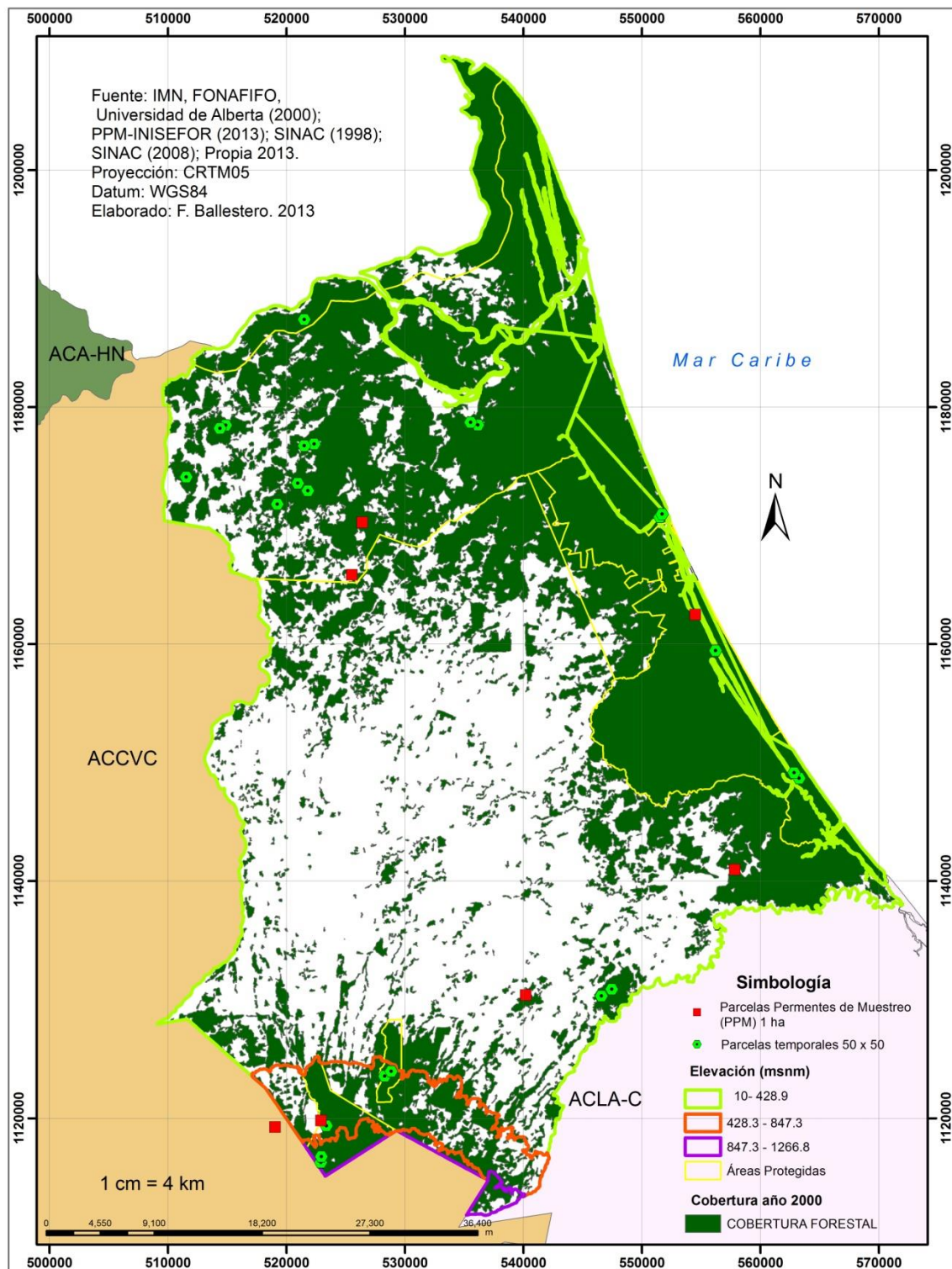


Figura 3. Sitios seleccionados y diseño de muestreo de la vegetación dentro de ACTo, Limón, Costa Rica.

Asimismo los sitios con acceso manejable fueron seleccionados y se evitó las condiciones extremas de zonas inundadas o perturbadas, identificando únicamente entornos sobre tierra firme (Chain *et al.* 2012). Los sitios con condiciones inundadas con una capa freática no mayor a unos 35 cm sobre el suelo fueron muestreados como parte de este estudio, dejando de lado como ya se mencionó los sitios con condiciones extremas de inundación (por ejemplo suampos o yolillales principalmente). Para esto se realizó una nube al azar de posibles puntos de muestreo sobre las áreas y una vez en campo se descartaron los sitios que no cumplieran con los parámetros establecidos.

Estas parcelas se establecieron en el campo iniciando con una línea en rumbo norte colocando balizas cada 10 metros hasta completar los 50 metros, desde esta línea con la ayuda de una brújula se midió el ángulo para corroborar si los árboles quedaban dentro o fuera de la parcela y con un Vertex Láser se comprobó la distancia máxima de 25 metros desde el centro de cada baliza hacia a cada árbol (Figura 4).

Las variables de la vegetación medidas dentro de las parcelas temporales fueron: el diámetro a la altura de 1,3 m del suelo (dap) para árboles ≥ 30 cm y para palmas ≥ 10 cm, y la identificación de la especie con su respectivo nombre científico.

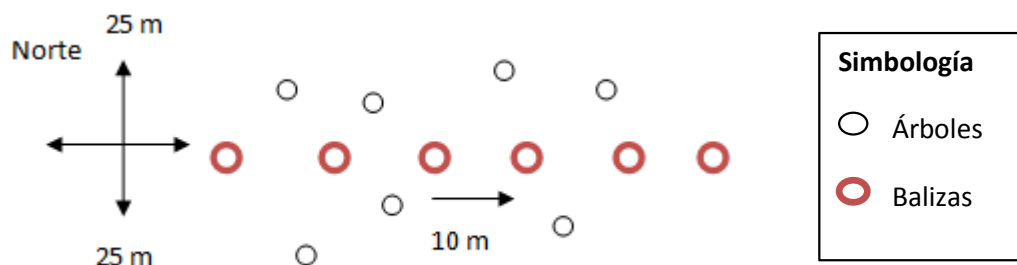


Figura 4. Forma de establecimiento de las parcelas de 50 x 50 m 0,25 ha en el campo.

4.2. Recolección de datos

Al mismo tiempo, se utilizó la información de las bases de datos de las parcelas permanentes de muestreo (PPM) de 100 x 100 establecidas del proyecto “Red de Monitoreo de ecosistemas forestales para el fortalecimiento de estrategias de conservación y uso de bosques: una contribución a la iniciativa Costa Rica Carbono Neutral” del Instituto de Servicios Forestales (INISEFOR) de la Universidad Nacional en la provincia de Limón (Cuadro 2). Los datos empleados fueron los de línea base “primera medición” con su respectiva actualización y verificación taxonómica de las especies para evitar la sinonimia. En todas las PPM se miden los árboles y palmas arborescentes con diámetro a nivel del pecho (DAP) ≥ 10 , en áreas cuadradas de 1 ha. En este caso cada PPM se tomó como una unidad de muestreo. Para los respectivos análisis se tomaron únicamente los registros de árboles ≥ 30 cm y de palmas ≥ 10 cm uniformando así los criterios de selección entre los demás puntos de muestreo.

Cuadro 2. Coordenadas geográficas y elevación msnm de las PPM utilizados para este estudio, Limón, Costa Rica. 2013.

Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM)	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m. ISO 80000)
Finca Agrobosques Lopez	-83.47196	10.31788	10-288
Finca Bella Vista	-83.82625	10.12181	566-844
Finca Catalina	-83.79080	10.12682	566-844

Finca Municipalidad Guacimo	-83.63309	10.22239	10-288
El Zota	-83.76679	10.54308	10-288
Tortugero_Dammá	-83.50209	10.51259	10-288
Reserva el Zota	-83.75881	10.58314	10-288

Con el fin de realizar una homogenización del área entre las PPM (1ha) y las parcelas temporales de (50 x 50) se subdividieron las PPM en cuatro cuadrantes de 2500 m², posteriormente se tomó uno de los cuatro cuadrantes al azar para ser incluido dentro de los análisis correspondientes (Figura 5).

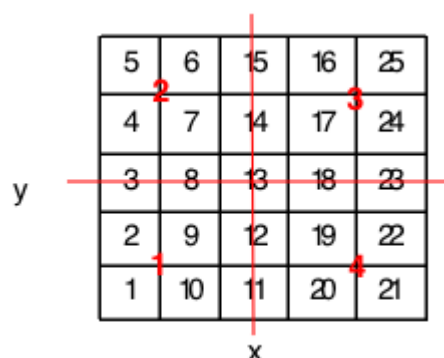


Figura 5. Subdivisión de las PPM en parcelas de 2500 m².

4.3. Variables de suelo y variables climáticas

Dentro de cada punto de muestreo: PPM y parcelas temporales, se colectaron muestras de suelo para su posterior análisis de laboratorio. Esto con el objetivo de determinar cuál es la variable de suelo (química o física) que mejor explica la distribución de los tipos de bosque

a identificar además de que no existe una categorización del suelo para escalas tan locales que permita explicar estas variaciones.

El muestreo de suelo para las parcelas temporales se realizó con base en la metodología propuesta por Ramos y Finegan (2006), tomando cinco muestras con un barreno a una profundidad de 50 cm dentro de cada parcela de 50 m x 50 m, entremezclándolas para homogeneizarlas y obtener una muestra compuesta. Para ello se dividió en cuatro subparcelas de (25 m x 25 m) y se tomó un punto en el centro y los otros cuatro puntos en el centro de las subparcelas. (Figura 6).

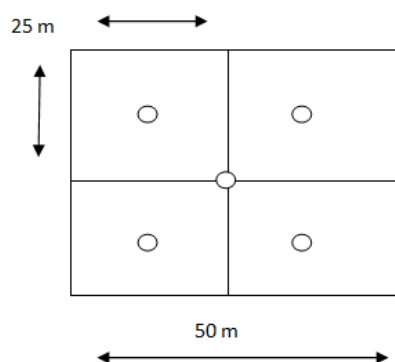


Figura 6. Sistema de muestreo de suelos a emplear para las parcelas de 0,25 ha (50 x 50 m).

Para el caso de las PPM el sistema de muestreo se realizó basado en el principio de Ramos y Finegan (2006) en donde se tomaron cinco muestras de suelo. Se establecieron cuatro subparcelas (40 m x 40 m) en las esquinas de cada parcela permanente y se tomó un punto en el centro de la subparcela número trece y los otros cuatro puntos en el centro de las subparcelas (Figura 7).

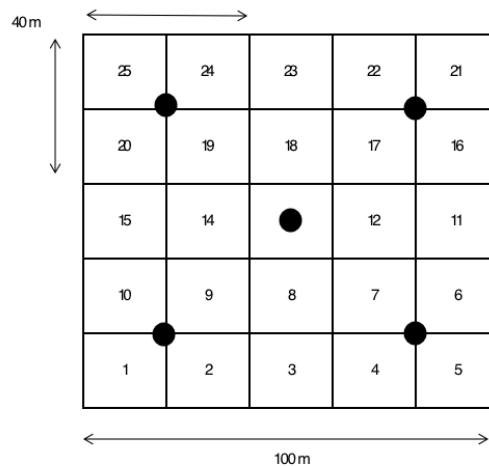


Figura 7. Sistema de muestreo de suelos a emplear para las parcelas de 1 ha (100 x 100 m).

En el laboratorio de suelos del INISEFOR se realizaron los análisis de textura, por el método de granulometría de Bouyucos, y de química sencilla, de pH, acidez extraíble, Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Fósforo (P); el K y P; el Ca, Mg y la acidez extraíble a través de la extracción en Cloruro de Potasio 1N; y el pH en agua.

Las variables climáticas de temperatura y precipitación, se tomaron de capas digitales provenientes de Worldclim, un grupo de capas de clima global promedio para el periodo 1950-2000, con una resolución espacial de un kilómetro cuadrado (30 arc-segundos), las cuales pueden ser usadas espacialmente para mapear y modelar en Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Hijmans *et ál.* 2005). Para el caso de la temperatura se emplearon los datos de temperatura promedio anual, así como dos medidas de variación estacional que son el promedio del mes más frío y la desviación estándar mensual x 100. En el caso de la precipitación, las variables a utilizar fueron: anual, el coeficiente de variación (CV) y los valores de la precipitación mínima mensual.

Para cada parcela se obtuvieron los valores de las variables climáticas, los cuales presentaban el valor del pixel correspondiente a las coordenadas centrales de la parcela para cada capa de clima. Todo el manejo de las capas de información climática se realizó a través de los programas ArcView 3.3 y ArcGis 10.

4.4. Análisis de datos

4.4.1. Composición y clasificación de los bosques

Para caracterizar e identificar los tipos de bosques se empleó el protocolo metodológico desarrollado por el CATIE para tipificar bosques, el cual ha sido utilizado en estudios anteriores (Ramos 2004, Sesnie 2006, Murrieta 2006, entre otros).

4.4.2. Análisis de conglomerados

El IVI (Indicie de Valor de Importancia) se calculó con base en las parcelas temporales así como de las bases de datos pertenecientes a cada PPM. Para determinar la similitud entre las parcelas y definir los tipos de bosques se elaboró una matriz con los valores de Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies que estén en dos o más parcelas, no considerándose aquellas que aparecieran solo una vez en las parcelas, debido a que su inclusión generan errores en los modelos estadísticos. El IVI de cada especie se calculó con la siguiente formula (Lampretcht 1990):

$$\text{IVI } \alpha: A \% \alpha + F \% \alpha + D \% \alpha$$

Donde:

A% α = Abundancia relativa de la especie

F% α = Frecuencia relativa de la especie

D% α = Dominancia relativa de la especie

A ésta matriz para la clasificación de tipos de bosques (McCune y Grace 2002) fue necesario aplicarle una transformación incluyéndole la raíz cuadrada. El análisis de conglomerados se realizó usando el método de mínima varianza de Ward y distancia euclídea; tanto la transformación como el análisis de agrupación se realizó con el programa InfoStat (2007).

Para la selección del número óptimo de clusters se acudió a la información gráfica de los dendrogramas con las opciones de varias conformaciones de grupos de bosques. Se utilizó el criterio de Especies Indicadoras (SI) con diferente número de grupos como apoyo para la conformación de los mismos dentro del análisis de conglomerados.

4.4.3. Análisis de especies indicadoras

Se utilizó el criterio de *Análisis de Especies Indicadoras*, el cual determina la tendencia de las agrupaciones mediante la caracterización específica de las especies indicadoras dentro de los grupos a conformar, otorgando valores indicadores (IV %) para cada especie en cada grupo, según lo describen McCune y Mefford (1999). El programa calcula el IV de cada especie de la siguiente fórmula (Dufrene y Legendre (1997):

$$IV_{ij}: A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

Donde

IV_{ij} = Valor indicador %

A_{ij} = N individuos ij / N individuos ij

B_{ij} = N sitios ij / N sitios ij

De igual forma, este análisis facilitó la conformación de los grupos como parte del análisis de conglomerados a través del número total de especies indicadoras y su valor de significancia (p) promedio. Utilizando la prueba estadística de Monte Carlo con 1000

aleatorizaciones. Este análisis se realizó con el programa PC-ORD v 4.25 (McCune y Mefford 1999).

Ordenación NMS (Escalamiento Multidimensional no metrico)

La determinación entre la ínter relación de las parcelas y las especies más importantes existentes en las mismas, se realizó mediante un análisis de ordenación con el método Escalamiento Multidimensional no métrico, conocido por sus siglas en ingles como NMS (McCune y Grace 2002), en el programa PC-ORD v 4.25 (Mather 1976, citado por McCune y Grace 2002) y su opción “autopiloto”. Para este análisis se usó el Coeficiente de Sørensen (ó Bray y Curtis), como medida de distancia (McCune y Grace 2002).

En el análisis, la configuración inicial aleatoria y el número de dimensiones, usado en la ordenación final, fue dado por el proceso que realiza el “autopiloto” (para mayor detalle ver McCune y Grace 2002; McCune y Mefford 1999). El cual empleó 40 corridas para los datos reales y realizó la prueba de Monte Carlo con 50 corridas para datos aleatorios, con un $\alpha = 0.05$. El proceso partió de 6 dimensiones y para la ordenación final empleó dos dimensiones, con 400 iteraciones máximas y un criterio de inestabilidad de 0.00001 (desviación estándar del estrés sobre las últimas 15 iteraciones) (McCune y Grace 2002; McCune y Mefford 1999).

Para los análisis descritos anteriormente se procedió a generar un acrónimo al nombre de las especies para facilitar el manejo de la información de la siguiente manera: las tres primeras letras corresponden al género y las tres siguientes a la especie, únicamente para algunos casos específicos donde pudiera existir confusión con algún otro género o especie, se modificó este criterio.

4.5. Estructura horizontal de los tipos de bosque

A partir del análisis de conglomerados se caracterizó y compararon los tipos de comunidades identificadas con relación a los siguientes parámetros estructurales:

- a. Abundancia (número de individuos (N)/ha)
- b. Área basal (G) dada en m²/ha
- c. Distribución del número de árboles y área basal por clase diamétrica.

4.6. Relación entre los tipos de bosque y las variables de clima, suelo y posición espacial

Con los tipos de bosque obtenidos se realizó un análisis discriminante lineal para conocer qué variables ambientales o de suelo que influyen en cada uno de los grupos a formados. El análisis se realizó para las variables de suelo y clima juntas, y las variables de suelo por separado, con el programa InfoStat 2007.

Se empleó el análisis de componentes principales para los componentes de textura del suelo (% de arena, limo y arcilla) con el fin de combinarlos dado a que la incorporación de los mismos en los análisis discriminantes lineales provoca un error en el modelo lineal. Este análisis se realizó con el programa InfoStat 2007.

4.7. Propuesta de umbrales de manejo

Con los Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Principios, Criterios e Indicadores, Código de Prácticas y Manual de Procedimientos se crearon los lineamientos técnicos para el establecimiento de los umbrales de manejo de área basal basado en cuatro premisas:

1. Se parte del promedio del área basal por hectárea para todos los árboles ≥ 30 cm dap, con una estimación de límites de confianza al 95%.
2. Se toma el límite de confianza menor.
3. Se asume que la reducción máxima de área basal debida al aprovechamiento puede ser como máximo 20% del área basal original.
4. El umbral se toma como el área basal que posee el bosque después de que ha recuperado el 50% del área basal reducida con el aprovechamiento, en este caso 10% en un lapso de 15 años.

Por lo cual la propuesta de umbrales de manejo se elaboró a partir de estas cuatro premisas empleando los tipos de bosques identificados, utilizando primeramente el área basal promedio en m^2/ha obtenida del análisis de la estructura horizontal, y seguidamente se tomó el límite de confianza menor. Estos valores fueron estructurados en una tabla que incluye el tipo de bosque, las especies características, el área basal promedio en (m^2/ha), el intervalo de confianza, el valor promedio y por último el valor de referencia mínimo de área basal (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de referencia mínimo (VRM) de área basal por tipo de bosque para la Zona Norte (Corredor Biológico San Juan – La Selva), área basal promedio para todos los árboles $\geq 30\text{cm}$ dap (Sesnie, 2006).

Tipo de bosque	Especies características	G promedio (m ² /ha)	+.*	Valor menor	VRM
Pp	<i>Pentaclethra macroloba</i> , varias especies de palma	18,6	1,2	17,4	15,7
Pc	<i>Pentaclethra macroloba</i> , <i>Carapa guianensis</i> , <i>Welfia georgii</i> , <i>Socratea exorrhiza</i>	26,8	5,4	21,4	19,3
Pd	<i>Pentaclethra macroloba</i> , <i>Dipteryx panamensis</i> , varias especies de palma	18,5	3,0	15,5	14,0

*Las cifras en esta columna representan el intervalo de confianza de la media al 95%.

V. Resultados y discusión

En 23 parcelas temporales de (50 x 50 m) y 7 parcelas permanentes de muestreo de (100 x 100 m) divididas en un solo cuadrante de 2500 m² (Figura 8), para una intensidad de muestreo de un 0.06 %. Se midieron un total de 1113 individuos, compuestos de 341 palmas y 772 árboles, representando 168 especies, 115 géneros, y 46 familias. Del total de individuos 2,96 % fue identificado a nivel de género sin tomar en cuenta la especie *Salacia sp* la cual no ha sido descrita científicamente actualmente. Ocho especies correspondieron a palmas y 160 a árboles para un total de (168), por otro lado 87 especies fueron ubicadas en una sola parcela, es decir cada una de ellas se presentó una única vez en cualquiera de las 30 parcelas de muestreo, por lo que fueron excluidas de los análisis multivariados debido al poco aporte de información.

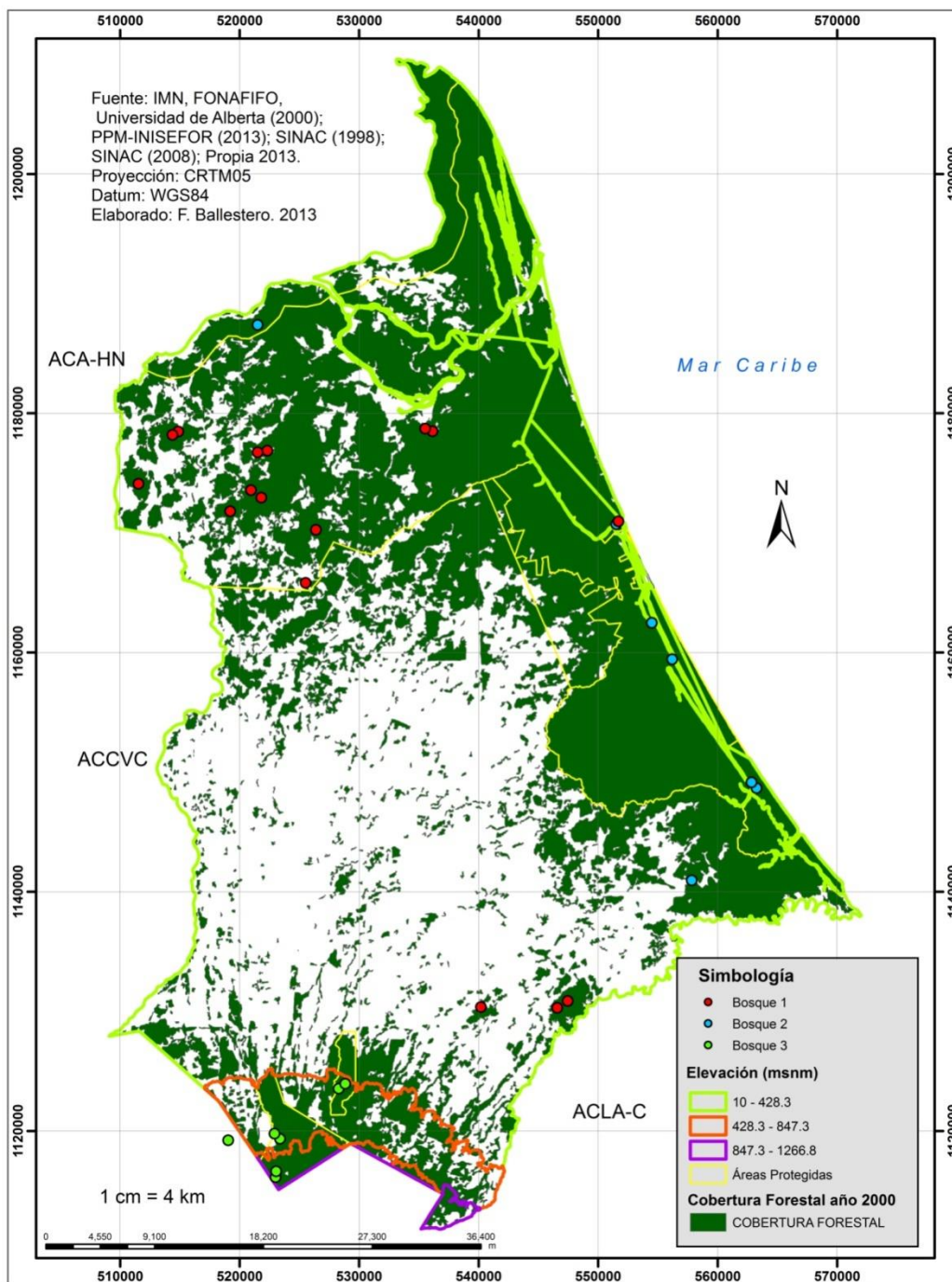


Figura 8. Ubicación de las 30 parcelas de muestreo (0,25 ha) a lo largo del gradiente altitudinal que cubre el ACTO (10-1270 msnm). Las parcelas se diferencian también según el tipo de bosque en que fueron agrupadas por el resultado del análisis de conglomerados.

5.1. Clasificación y caracterización de los bosques

Los análisis multivariados de clasificación y ordenación de la vegetación permitieron diferenciar por su composición tres tipos de bosque en el Área de Conservación Tortuguero (ACTo) a través del gradiente altitudinal estudiado. Estos análisis, han sido utilizados en otros estudios para caracterizar comunidades de bosques tropicales (Gallo 1999, Perdomo 2002, Pérez *et ál.* 2001, Bonifaz 2003, Murrieta 2006, Ramos y Finegan 2006, Sánchez *et ál.* 2007, Sesnie 2006) permiten, primero, agrupar parcelas de vegetación por su similitud en composición florística, segundo, visualizar la relación entre especies y las comunidades formadas, y tercero, relacionando la información de composición florística y datos sobre la estructura de las especies, determinar su peso ecológico e identificar especies relevantes (especies indicadoras o detectoras IV %) por su presencia particular en una comunidad y/o en función de sus valores estructurales (abundancia, frecuencia, y dominancia %).

5.2. Relaciones florísticas entre los bosques muestreados

El análisis de conglomerados en combinación con el análisis de especies indicadoras (17 especies indicadoras, p promedio = 0.014), mostró 3 grupos de bosques como el mejor resultado de agrupación de las parcelas. El análisis de conglomerados dio como resultado un dendrograma (Figura 9) en donde se separan claramente los tres tipos de bosque. El Bosque 1 agrupó el mayor número de parcelas, y los Bosques 2-3 agruparon igual número de parcelas (Cuadro 4).

Los rangos de elevación propuestos dentro del gradiente altitudinal variaron con relación al rango obtenido para cada uno de los tipos de bosque identificados a partir del análisis de

conglomerados dado a que se agruparon de acuerdo a su la similitud florística y no con los rangos propuestos inicialmente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de parcelas, área total muestreada, rango de elevación en el que se distribuyen y elevación promedio de cada uno de los tipos de bosque determinados a partir del análisis de conglomerados.

Bosque	No. de parcelas	Área muestreada (ha)	Rango de elevación (msnm)	Elevación promedio (msnm)
1	16	4	20 - 92	54
2	7	1,75	10 - 55	30
3	7	1,75	430 - 1048	705

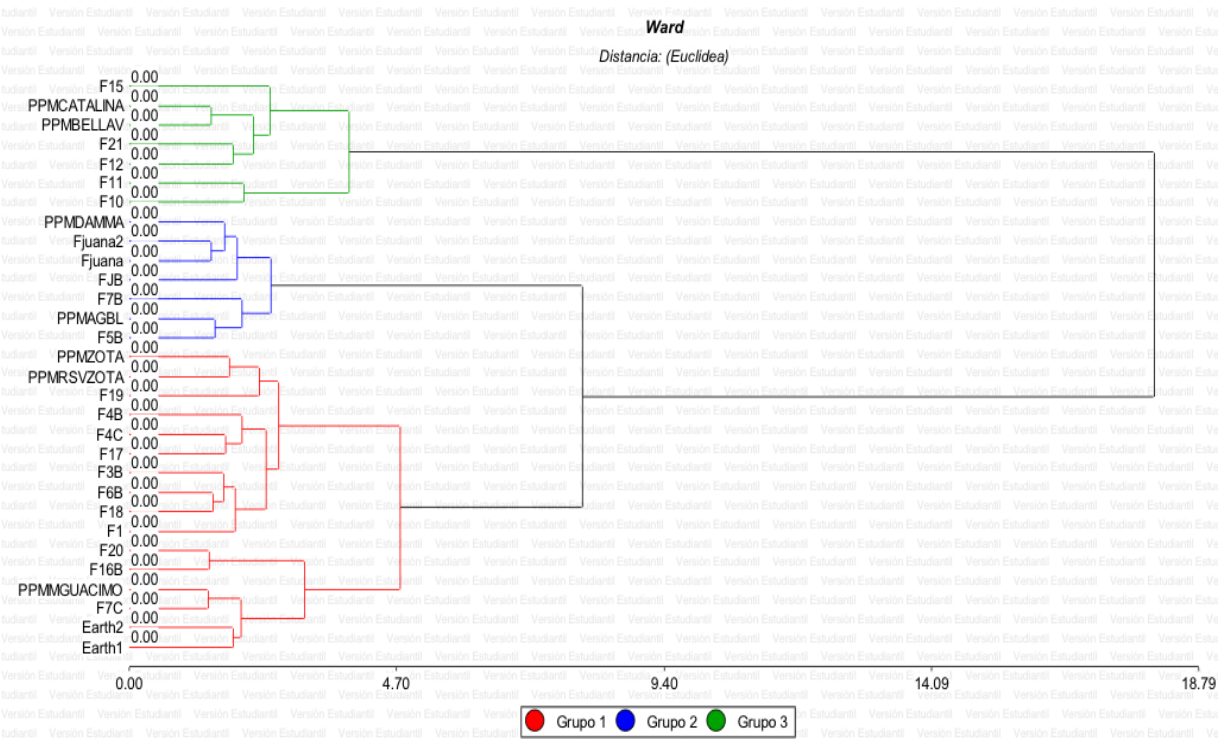


Figura 9. Análisis de conglomerados (método de Ward, distancia euclidea) de la vegetación (árboles ≥ 30 cm de dap y palmas ≥ 10 cm de dap) de 30 parcelas de 0,25 ha muestreadas a lo largo del paisaje.

La determinación del número óptimo de agrupaciones puede ser obtenida de dos formas, por la cantidad máxima de especies indicadoras o por el valor de p promedio menor por agrupación (Vilches 2012). Para este caso realizando la comparación entre el número de conglomerados vs. el promedio de p (probabilidad de encontrar diferencias estadísticas en la conformación de grupos de bosque) donde el menor valor de p determinó la mejor agrupación en tres grupos (Figura 10a). Asimismo utilizando el número de conglomerados vs. el número de especies indicadoras significativas con $p \leq 0.05$ se obtiene un número óptimo de tres grupos con un total de 17 especies con un IV significativo estadísticamente (Figura 10b).

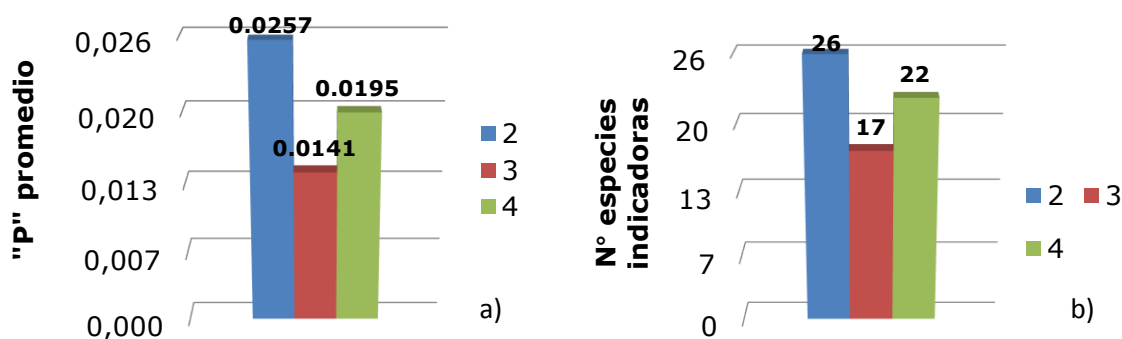


Figura 10. a) Número de conglomerados vs. promedio de p (probabilidad de encontrar diferencias estadísticas) y b) número de conglomerados vs. número de especies indicadoras significativas, ACTo, Costa Rica.

El escalamiento multidimensional no métrico (NMS) es representación gráfica de la relación entre las parcelas en un espacio de ordenación dado por las especies (McCune y Mefford 1999; McCune y Grace 2002), según sus valores de IVI por parcela en donde las parcelas más similares tienden a agruparse y de igual forma las especies más importantes en ellas (Figura 11). Los ejes 1 y 2 explican el 47,5 % y el 23,26 % de la varianza respectivamente, para un total de 70,76 % de la variación de los datos florísticos en las

parcelas. En conclusión la clasificación en dos dimensiones es la más acertada en este análisis. Se considera significativo un dato de este tipo cuando se presenta una varianza superior al 50% en estos ejes (McCune y Grace 2002).

Los resultados del análisis de ordenación indican que la variación entre las parcelas es muy baja en el eje 2 sin embargo es posible conformar 3 grupos resultante de este análisis de ordenación donde la varianza explica su agrupación.

individuos de las especies en los grupos de comunidades florísticas. El IV posee un rango de 0 a 100, donde 100 significa perfecta indicación (McCune y Grace 2002).

Las especies con un valor alto se consideran mejores indicadoras porque tienen mayores probabilidades de ser detectadas en contraste con las especies que sean raras; las especies con valores intermedios pueden servir como “detectoras” ya que proveen información de más de un hábitat y pueden dar nociones de la dirección de los cambios en el mismo (Dufrene y Legendre 1997 y McCune y Grace 2002). Las especies con VI igual o superior a 50 son consideradas indicadoras de ese sitio particular, mientras que las especies con VI menor a 50, pero mayor o igual a 25 se consideraron especies “detectoras” que sugieren información sobre la distribución de las especies (Tejada et al. 2008).

Se identificaron un total de 17 especies indicadoras, 3 palmas y 33 árboles, distribuidas en los tres tipos de bosques, variando entre 11 y 3 el número de especies indicadoras por bosque, con un rango de valores de VI entre 86,3 y 42,9 (Cuadro 3). El grupo 1 y 2 presentó igual cantidad de especies indicadoras con 3 especies, mientras que el grupo tres fue el que contó con 11 especies indicadoras.

La especie *Dendropanax arboreus* correspondiente al grupo 1 mostró el valor de VI mayor dentro de los tres grupos conformados, con un valor indicador de (86,3) y las palmas *Socratea exorrhiza* y *Welfia georgii* con (58,3 y 56,2) las tres especies indicadoras de este tipo de bosque. El grupo 2 mostró el segundo valor de VI mayor dentro de los grupos conformados con la especie *Prioria copaifera* (85,7) y de igual forma posee dos especies indicadoras más dentro del grupo, *Pentaclethra macroloba* (53,8) y *Carapa guianensis*

(66,9). El grupo tres presentó dos especies indicadoras *Chimarrhis parviflora* e *Iriarteia deltoidea* (71,4 y 64,6 respectivamente) y se determinaron nueve especies detectoras con valores de VI entre (42,9 y 37,2) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Especies indicadoras ($p < 0,05$) para los tres tipos de bosques identificados. Resultado de la prueba de Monte Carlo con 1000 permutaciones, con los datos de especies de palmas (dap > 10 cm) y árboles (dap > 30 cm) de 30 parcelas muestreadas.

Sp	Maxgrp	Value (VI)	Mean	S.Dev	p *
<i>Socratea exorrhiza</i>	1	86,3	31,5	7,33	0,001
<i>Welfia georgii</i>	1	58,3	25	8,19	0,002
<i>Dendropanax arboreus</i>	1	56,2	22	8,37	0,006
<i>Prioria copaifera</i>	2	85,7	18,6	8,5	0,001
<i>Carapa guianensis</i>	2	66,9	24,7	8,87	0,001
<i>Pentaclethra macroloba</i>	2	53,8	35	5,21	0,001
<i>Chimarrhis parviflora</i>	3	71,4	17,4	8,72	0,001
<i>Iriarteia deltoidea</i>	3	64,6	33,5	6,97	0,001
<i>Alchornea latifolia</i>	3	42,9	13,6	8,11	0,025
<i>Guarea kunthiana</i>	3	42,9	13,3	7,76	0,021
<i>Guarea microcarpa</i>	3	42,9	13,3	8,43	0,027
<i>Inga oerstediana</i>	3	42,9	13,3	8,14	0,023
<i>Inga sp</i>	3	42,9	13,6	8,22	0,027
<i>Lonchocarpus monteviridis</i>	3	42,9	13,4	8,31	0,028
<i>Salacia sp</i>	3	42,9	13,5	7,76	0,018
<i>Sapium rigidifolium</i>	3	42,9	13,5	8,02	0,025
<i>Bilia rosea</i>	3	37,2	14,6	8,12	0,031

Nota: Sp: Especie; Maxgrup: Máxima agrupación; Value (VI): Valor indicador; Mean: Promedio; S.Dev: desviación estándar; p*: valor de significancia.

El índice de valor de importancia (IVI), describe el peso ecológico de las especies dentro de un bosque de acuerdo a sus funciones y mecanismos (establecimiento, capacidad para competir, reproducción, entre otros factores) para mantenerse en el ecosistema, los cuales se combinan en abundancia, frecuencia y dominancia (Lamprecht 1990). El IVI es de suma importancia y es particularmente usado para comparar diferentes comunidades ecológicas basándose en las especies que obtienen los mayores valores del peso ecológico y que se consideran característicos de un bosque (Matteucci y Colma 1982).

Las cinco especies de mayor relevancia ecológica en función del IVI relativo calculado para cada uno de los tres tipos de bosque identificados (Figura 6) permitieron en la mayoría coincidir con las especies identificadas como indicadoras o detectoras, cambiando únicamente su posición de jerárquica en la relevancia ecológica.

En el Bosque 1 el mayor IVI % lo posee la especie *Pentaclethra macroloba* con un (26%), esto se debe a que posee una alta abundancia y dominancia relativa. Es una especie que a pesar de que no fue detectada como indicadora dentro de este grupo, constituye una de las más representativas para el mismo (Figura 12).

El bosque 2 presentó la misma composición de especies en relación del IVI % y especies indicadoras *Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis* (Cuadro 5 y Figura 12).

El bosque 3 presentó dos especies indicadoras que se encontraron en el primer y último valor de importancia relativa *Iriarte deltoidea* y *Chimarris parviflora* respectivamente (Figura 12).

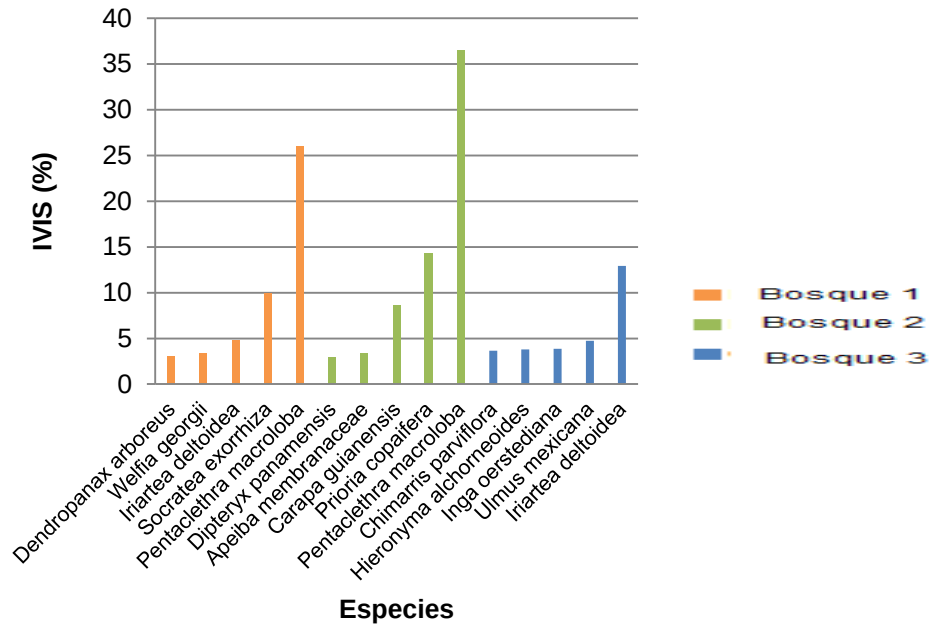


Figura 12. Especies de mayor relevancia ecológica en función del IVI calculado para los tres tipos de bosque identificados, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.

5.3. Tipos de bosque presentes en el área de estudio

A partir del análisis de las especies representativas en cada tipo de bosque, ya sea por altos IVI's, altos VI, así como a partir del análisis de correlación entre los ejes de ordenación y las especies asociados a ellos, se lograron definir tres tipos de bosque dentro del área de estudio:

- 1) Bosque de *Dendropanax arboreus*, *Pentaclethra macroloba*, *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza* (Pm, Da, palmas)

Este primer tipo de bosque tiene una elevación promedio de 54 msnm y su rango mínimo y máximo oscila entre los 20 y los 92 msnm. Está claramente dominado por dos especies

arbóreas, *Pentaclethra macroloba* (Fabaceae mimosoideae) presentó el mayor IVI con un 26% y *Dendropanax arboreus* (Araliaceae) obtuvo un VI de 56,2. A este bosque también están asociadas a las especies de palmas *Socratea exorrhiza* y *Iriartea deltoidea* (Arecaceae) con VI altos, 86,3 y 58,3 respectivamente, además la primera especie de palma presentó el segundo IVI de mayor valor con 9,86% (Cuadro 5 y Figura 12).

En los bosques tropicales las especies de la familia Arecaceae son buenas indicadoras para tipos específicos de hábitat (vegetación) (Finegan *et al.* citado por Ortega 2009). La presencia de especies de palmas como *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza* son consideradas como un buen indicador de bosques maduros poco intervenidos. Por otro lado *Pentaclethra macroloba* se desarrolla en suelos ácidos y poco fértiles, de pendiente moderada, pionera con una abundante regeneración dentro y fuera del bosque, y tolerante a la sombra, lo que le permite crecer y sobrevivir en bosques primarios cerrados (Cordero y Boshier citado por Ortega 2009). Los bosques de *Pentaclethra macroloba* y palmas (*Socratea exorrhiza*, *Iriartea deltoidea*) muestran una similitud con la abundancia que registró Guiracocha, citado por Ortega (2009), en un estudio realizado en el cantón de Talamanca donde las especies más representativas en este bosque pertenecían a la familia Arecaceae (*Socratea exorrhiza* e *Iriartea deltoidea*).

2) Bosque de *Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis* (Pm, Pc y Cg)

Este tipo de bosque tiene una elevación promedio de 30 msnm y su rango mínimo y máximo oscila entre los 10 y los 55 msnm. El segundo tipo de bosque identificado está compuesto únicamente por tres especies indicadoras con un valor de p* estadísticamente significativo. Se caracteriza por mantenerse inundado la mayor parte del tiempo, sus

especies indicadoras son características de bosques húmedos o muy húmedos donde se han adaptado a un régimen hídrico alto. Como *Prioria copaifera* (Fabaceae caesalpinoidea), que crece por lo general en suelos aluviales ricos, en áreas planas parcialmente inundadas, ya sea ciénagas, áreas pantanosas, márgenes de ríos o quebradas y orillas de canales, donde forma rodales muy homogéneos o muchas veces en asocio con *Carapa guianensis* (Meliaceae). Asimismo ambas especies (*Prioria copaifera* y *Carapa guianensis*) crecen en suelos con pH bajo, muy húmedos e incluso inundables y en bordes de pantanos poblados de mangle (OFI-CATIE 2003). *Pentaclethra macroloba* (gavilán) al igual que las otras especies indicadoras de este tipo de bosque, es común observarla creciendo en suelos mal drenados y pantanosos, ácidos y poco fértiles (fue la especie con mayor IVI con (36,45 %)).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (1991) caracterizó las principales asociaciones vegetales presentes en las llanuras de Tortuguero donde se destacan dos asociaciones: la primera corresponde a los Bosques de llanuras con drenaje pobre, con presencia de un bosque bien desarrollado sobre suelos aluvionales de nivel frático bastante alto. Con una composición de especies como Gavilán (*Pentaclethra macroloba*), Cativo (*Prioria copeifera*), Sangrillo (*Paramachaerium gruberi*), Cedro Macho (*Carapa guianensis*), Guácimo Colorado (*Luehea seemmannii*) y el Coquillo (*Astrocaryum allatum*); y la segunda, denominado Bosque de llanura con drenaje de moderado a bueno, con superficie plana a ondulada. Con presencia de especies como Cedro Macho (*Carapa guianensis*), Cativo (*Prioria copeifera*), Aceituno (*Simaruba amara*), Pílón (*Hyeronima alchornoides*), Gavilán (*Pentaclethra macroloba*), y palmas arbóreas como *Irearte deltoidea* y *Euterpe precatoria*.

Las asociaciones descritas por la UICN (1991) concuerdan con los dos tipos de bosques identificados de tierras bajas que poseen una elevación de los 10 hasta los 92 msnm. El primer tipo de bosque *Dendropanax arboreus*, *Pentaclethra macroloba*, *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza* (Pm, Da, palmas) correspondería al bosque de llanura con drenaje moderado a bueno y el segundo tipo de bosque *Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis* (Pm, Pc y Cg) representa al bosque descrito como Bosques de llanura con drenaje pobre.

Zamora (2008) en su clasificación fitogeográfica de Costa Rica determinó que la zona de Tortuguero se desarrollan dos asociaciones: Llanuras de tierras bajas y llanuras de tierras elevadas. La primera clase concuerda con el segundo tipo de bosque identificado como (Pm, Pc y Cg) ya que los rangos de elevación de esta clase van desde los 10 hasta los 55 msnm y cumpliendo además con las condiciones edáficas y ambientales propias de este tipo de bosque. La inundación permanente y la humedad de los suelos disminuyen la diversidad de plantas y eleva la abundancia de unas pocas como lo son las especies identificadas como indicadoras para este tipo de bosque. La segunda clase de igual forma concuerda con el primer tipo de bosque identificado como (Pm, Da, palmas), por presentar una topografía mayormente ondulada a irregular con un mejor drenaje de los suelos con una formación de vegetación más heterogénea. Esta subunidad tiene una alta diversidad de plantas, con presencia de unos pocos elementos florísticos de bosques montanos, lo que refleja cambios e indica inicios de una unidad superior (Zamora 2008).

3) Bosque de *Chimarrhis parviflora*, *Iriartea deltoidea* y *Ulmus mexicana* (Cp,Um y palma)

Este tipo de bosque tiene una elevación promedio de 705 msnm y su rango mínimo y máximo oscila entre los 430 y los 1048 msnm de acuerdo a las parcelas florísticas establecidas, donde para este caso la elevación máxima alcanzada fue de 1048 msnm. Está claramente dominado por dos especies indicadoras un árbol *Chimarrhis parviflora* (Rubiaceae) y una palma *Iriartea deltoidea* (Arecaceae), la primera presentó el mayor VI (71,4) y el quinto puesto en el valor porcentual de IVI; y la palma presentó el segundo valor mayor de IV con (64,5) y al mismo tiempo es la especie con mayor IVI % con (12,93) (Cuadro 5 y Figura 12). Además de estas dos especies indicadores este bosque presenta gran cantidad de especies detectoras (9) que se encuentran entre los primeros cuatro puestos del IVI, entre las cuales destacan *Ulmus mexicana* con (4,72 %), *Inga oerstediana* (3,86%) y *Hieronyma alchorneoides* (3,79%) (Figura 6).

Las especies de este grupo se caracterizan por presentarse en elevaciones entre los 430 y los 1270 msnm convirtiéndolo en el único tipo de bosque con elevaciones superiores al resto de la vegetación identificada. Por otra parte la especie *Chimarrhis parviflora* es característica de bosques húmedos y crece en áreas inundadas y orillas de quebradas en bosque primario. La palma *Iriartea deltoidea* es propia de vivir en el subdosel del bosque y además es un buen indicador de bosques poco intervenidos (OFI-CATIE 2003).

Bermúdez y Hernández (2004) caracterizan el ACTo también por presentar una topografía muy regular en la mayoría de su territorio (llanuras de Tortuguero) con un rango de 0 msnm en el límite este, hasta los 1,350 msnm en el límite oeste. En este gradiente se describe de manera más general la vegetación en bosques muy húmedos compuestos por yolillales,

pantanos herbáceos, vegetación litoral, bosques altos, bosques sobre lomas, bosques pantanosos y comunidades herbáceas sobre lagunas. En este caso se destaca que además de los bosques de llanuras del Tortuguero el ACTo presenta bosques de altura que llegan hasta los 1350 msnm, lo que concuerda con tercer tipo de bosque determinado como Bosque de *Chimarrhis parviflora*, *Iriartea deltoidea* y *Ulmus mexicana* (Cp,Um y palma).

5.4. Estructura horizontal de los tipos de bosque del Área de Conservación Tortuguero

En los bosque identificados el que presentó la mayor abundancia de árboles fue el bosque 1 de (*Dendropanax arboreus*, *Pentaclethra macroloba* y palmas) con 164 individuos por hectárea, y ésta disminuye a 144 ind/ha para el bosque 2 y 118 ind/ha para el bosque 3. Esta tendencia podría deberse a que el de bosque 1 presenta un número mayor de puntos de muestreo (parcelas) con respecto a los otros dos tipos de bosques que poseen 7 parcelas cada una. El área basal a pesar de estar asociada a la cantidad de árboles por hectárea, presenta otra tendencia dado a que el bosque 2 posee especies como (*Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis*) que alcanzan dimensiones superiores y que se posicionan en las clases diamétricas mayores aunado asimismo a una alta abundancia de individuos (Cuadro 6).

Chain (2009) reportó dentro de la red de conectividad en el Parque Nacional La Amistad y Osa que las diferencias estructurales podrían estar evidenciando un gradiente en la disponibilidad de nutrientes, en donde uno de los tipos de bosque identificados presentó el mayor promedio de área basal por hectárea reflejando por ende los mayores diámetros.

De igual manera es importante mencionar que la estructura horizontal de los diferentes tipos de bosques identificados se ve influenciada por el gradiente altitudinal que los compone así como también por las condiciones ambientales y edáficas, por lo que de acuerdo con los resultados obtenidos las elevaciones medias y con mejores condiciones de suelos presentan mayor cantidad de individuos y menor área basal por hectárea por su composición florística de mayor cantidad de palmas como lo es el caso del bosque 1 de *Dendropanax arboreus*, *Pentaclethra macroloba* y palmas.

En las elevaciones máximas del bosque 3 de (*Chimarrhis parviflora*, *Iriartea deltoidea* y *Ulmus mexicana*) se registró la segunda mayor cantidad tanto en abundancia (144 N/ha) y área basal (24,7 m²/ha) dentro de los bosques estudiados, donde las condiciones de suelo y clima son más homogéneos. Caso contrario sucede con el bosque 2 de (*Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis*) que posee la menor elevación y las condiciones de suelos más extremos con alto régimen de humedad sin embargo esto no impide en que sea el bosque con mayor cantidad de G/ha esto porque las especies que lo componen se ha adaptado a estas condiciones climáticas y edáficas extremas, donde además, estas alcanzan clases diamétricas mayores.

El estudio de Chaves *et al.* (2007) evaluó el manejo policíclico realizado a doce unidades de manejo de la propiedad de Tecnoforest del Norte S.A ubicadas en la provincia de Limón, la información se tomó de los documentos generados para las parcelas permanentes de muestreo (PPM), ubicadas en la unidad de manejo Gerardo Fallas.

De acuerdo a la estructura y composición florística de las 5 parcelas permanentes de muestreo de la unidad Gerardo Fallas, se reportó, para el bosque identificado como Bosque 2 de (*Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis*) un total de 368

árboles por hectárea de acuerdo a la evaluación pre aprovechamiento y la cantidad de árboles por hectárea reportada con este estudio fue de 118 N/ha esto se debe a la cantidad de parcelas muestreadas: siete en total (Cuadro 6). Asimismo para esta misma unidad de muestreo se determinó para la medición pre- aprovechamiento un área basal de 24,17 m²/ha y de 23,9 m²/ha para la evaluación post-aprovechamiento, estas áreas basales están muy por debajo de lo reportado en este estudio con 30,9 m²/ha.

Cuadro 6. Abundancia y área basal por hectárea para los tres tipos de bosques, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.

Tipo de bosque	Bosque	G m ² /Ha	N/ha
Pm, Da, palmas	Bosque 1	22,9	164
Pm, Pc y Cg	Bosque 2	30,9	118
Cp, Um y palma	Bosque 3	24,73	144

No se encontraron frecuencias iguales en las diferentes distribuciones diamétricas que componen a cada uno aunque individualmente presentan la misma tendencia entre sus clases diamétricas. En el bosque 1 la clase que concentran la mayor cantidad de individuos es la de 10 - 20 con 59 al igual como sucede con el bosque 2 con 22 individuos por ha, esto se debe a que ambos están predominados por una alta abundancia de especies de palmas principalmente por (*Socratea exorrhiza* y *Iriartea deltoidea*), a diferencia del tipo de bosque 2 donde se encuentran muy pocos individuos dentro de esta clase diamétrica, este grupo de las palmas fue el único que se midió a partir de los 10 cm de diámetro (Figura 13).

En el bosque 3 en la clase diamétrica de 20 – 30 predomina la abundancia de especies de palmas con 23 individuos por hectárea principalmente de *Iriartea deltoidea* con menor frecuencia *Euterpe precatoria*. Y en el segundo tipo bosque para esta misma clase diamétrica la abundancia de palmas se reduce al aumentar las condiciones de suelos anegados (Figura 13). La alta abundancia de las especies del genero Arecaceae es típico de los bosques húmedos tropicales (Quinto y Moreno, 2014; Ramos, 2005, Sesnie, 2006), lo cual concuerda con lo reportado en los tres tipos de bosques determinados.

En todos los tipos de bosque identificados la estructura horizontal se caracteriza por presentar una mayor proporción de individuos en las jerarquías diamétricas pequeñas, lo que genera una gráfica en forma de "J" invertida, que indica tasas altas de establecimiento de individuos pequeños, de los cuales un número reducido alcanza tallas diamétricas mayores (Figura 13). Lamprecht (1990) manifiesta que la distribución diamétrica de los individuos en bosques nativos jóvenes o en procesos de recuperación presenta esta tendencia en forma de “J” invertida. Para los tres tipos de bosques identificados esta “J” invertida representa solo una porción de los individuos, esto porque los árboles se midieron a partir de 30 cm de diámetro y únicamente el grupo de las palmas son las que se encuentran distribuidas en las clases diamétricas mayor o igual a 10 cm de diámetro.

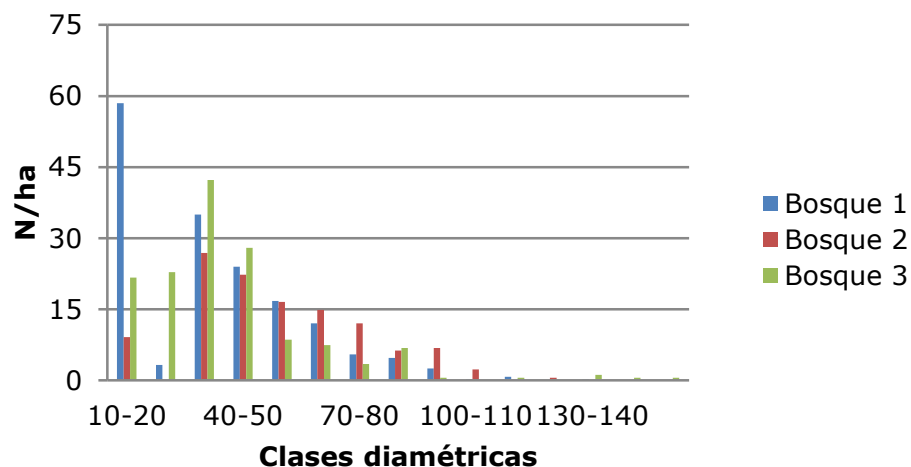


Figura 13. Distribución diamétrica del número de árboles por hectárea para los tres tipos de bosque identificados, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.

El área basal es una de las medidas más importantes de la organización horizontal de un bosque (Louman *et al*, 2001). El área basal del Bosque 1 presenta un comportamiento similar a lo largo de las categorías diamétricas donde a comparación con los otros dos tipos de bosques identificados existe una mayor área basal en la clase diamétrica de 10-20 cm esto debido a la abundancia de individuos principalmente de las especies de palmas *Socratea exorrhiza* y *Iriartea deltoidea* (Arecaceae) (Figura 14).

El bosque 2 presenta una tendencia creciente en el área basal desde las clases de diamétricas mayores a 30 cm hasta las superiores a 90 cm, y una abundancia casi nula de palmas en las clases diamétricas menores a 30 cm. Las especies indicadoras como *Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis* presentan aportes en todas las clases y donde además llegan a alcanzar clases diamétricas mayores a 90 cm e de ahí la acumulación en esta última clase (Figura 14).

En el bosque 3, presenta una alta área basal en las clases diamétricas inferiores principalmente de palmas con mayor cantidad de individuos de la especie *Iriartea deltoidea*. Se evidencia un aumento en el área basal de la clase superior a 90 cm debido a que hay algunas especies con una dominancia mayor como *Warszewiczia uxpanapensis*, *Ulmus mexicana* y *Hyeronima alchorneoides* (Figura 14).

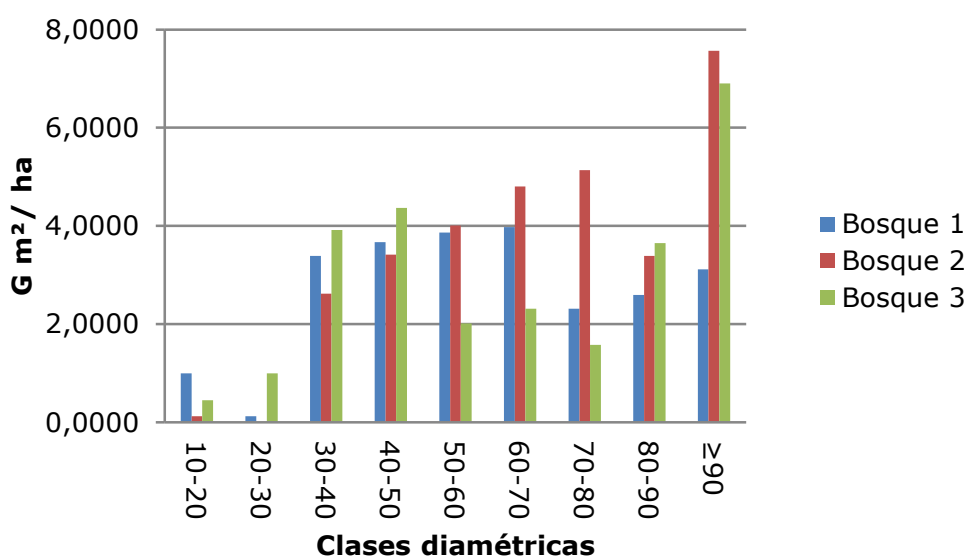


Figura 14. Distribución diamétrica del área basal por hectárea para los tres tipos de bosque identificados, ACTo, Limón, Costa Rica, 2014.

5.5. Variables ambientales y de suelo.

Las parcelas muestreadas se encuentran en un rango de elevación entre los 10 y los 1270 msnm, sin embargo, se concentran en dos categorías de elevación de 0-100 y de 400-1050 msnm, evidenciado con esto la pérdida de cobertura forestal dentro del ACTo en elevaciones medias. El rango amplio de la precipitación promedio anual se debe principalmente a la diferencia entre estas dos categorías de elevación donde se ubicaron las parcelas de monitoreo. Por otro lado la precipitación del mes más seco y la estacionalidad de lluvia no presentan una alta variabilidad (Cuadro 7).

Cuadro 7. Estadística descriptiva de las características climáticas (obtenidas de Worldclim) y de elevación obtenidas de 30 parcelas de muestreo (0,25 ha).

Variable	Simbología	Media	Rango	Desviación estándar
Elevación (msnm)		215,18	10-1270	289,62
Precipitación del mes más seco	BIO14	168,44	93-191	25,16
Estacionalidad de lluvia (CV)	BIO15	32,41	27-37	3,12
Precipitación anual (mm)	BIO12	4244,97	2810-5237	658,3
Estacionalidad de la temperatura (DE)	BIO4	6,9059	5,91-7,56	0,42
Temperatura mínima del mes más frío (°C)	BIO6	19,947	15,8-21,3	1,664
Temperatura promedio anual	BIO1	25,165	21,3-26,3	1,512

Los suelos mostraron igualmente un amplio rango de propiedades químicas y físicas a lo largo del área muestreada (Cuadro 6). Las concentraciones de cationes, en particular el Ca y el Mg, y el P extraíble y la acidez total mostraron intervalos muy amplios y desviaciones estándares altas, lo cual puede estar asociado a una variabilidad alta de valores entre parcelas sin embargo para esto es necesario identificar la causa. Las propiedades físicas, también mostraron un amplio rango de valores, y desviaciones estándar altas (Cuadro 8). Se logró determinar una diferenciación entre los bosques de elevaciones bajas y elevaciones altas, predominando suelos arenosos y francos arenosos en las zonas altas, mientras que en las zonas bajas presentan tanto suelos arenosos como arcillosos, en donde las áreas con suelos arenosos de zonas bajas se caracterizan por ser sitios inundables y cercanos a las costas.

Cuadro 8. Estadística descriptiva de las propiedades químicas y físicas del suelo de las 30 parcelas (0,25 ha) muestreadas.

Variable	Media	Rango	Desviación estándar
pH	3,24	3,99-5,57	2,16
Acidez cmol (+) / L	1,61	0,17-4,98	1,68
Ca cmol (+) / L	0,97	0,25-6,58	1,35
Mg cmol (+) / L	0,47	0,19-3,61	0,76
K cmol (+) / L	0,33	0,25-0,69	0,25
P µg / ml	2,41	1,87-6,25	1,8
Cu µg / ml	3,92	0,75-11,93	3,68
Zn µg / ml	0,77	0,19-2,68	0,74
Mn µg / ml	14,51	2,53-118,73	25,35
Fe µg / ml	116,57	30,90-415,90	117,14
% Arcilla	15,25	2,4-48,4	17,3
% Arena	45,76	32,8-96,8	35,02
% Limo	9,58	0,8-33,8	9,01

5.6. Análisis discriminante lineal entre las variables ambientales y los tipos de bosque

Este análisis indicó que el eje canónico 1 explica el 98,86 % de la variabilidad, el gradiente separa el Bosque 3 del Bosque 1 y 2. El Bosque 3 está más influenciado ambientalmente por la precipitación del mes más seco (BIO14) y la precipitación anual (mm) (BIO12) y a nivel edáfico presenta suelos ácidos, con presencia de mayores contenidos de pH, Mg, P; en cambio los bosques 1 y 2, presentan mayor influencia de estacionalidad de la temperatura (DE) (BIO4), estacionalidad de lluvia (CV) (BIO15) y de la temperatura mínima del mes más frío (°C) (BIO6), edáficamente se caracterizan por presentar mayores contenidos Ca, Cu, Fe (Figura 15).

El eje 2 explicó solamente el 1,17 % de la variabilidad restante entre las parcelas, con este eje se logró separar el Bosque 1 del 2, mostrando que el Bosque 1 está influenciado por la temperatura mínima del mes más frío (°C) (BIO6), estacionalidad de lluvia (CV) (BIO15), estacionalidad de la temperatura (DE) (BIO4) además posee tiene una mayor proporción Ca, Cu y Fe, mientras que el Bosque 2 se ve más influenciado por la temperatura promedio anual (BIO1), la elevación, la latitud y longitud así mismo presenta mayor textura (% Arena, Limo y Arcilla) y contenido de Zn (Figura 15).

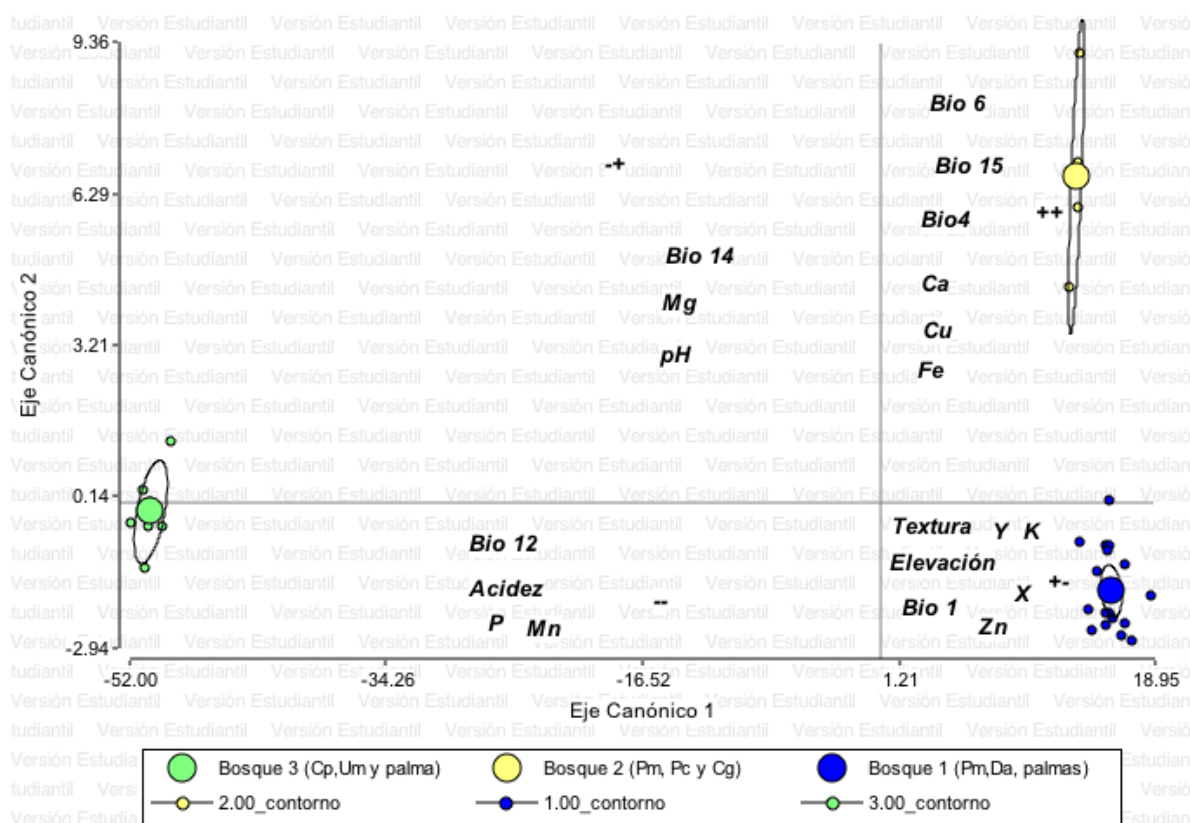


Figura 15. Resultado del análisis discriminante lineal de las variables ambientales y la elevación con los tipos de bosque. Los tipos de Bosque 1, 2 y 3 se diferencian en el eje canónico 1. Colores diferentes representan parcelas pertenecientes a los 3 tipos de bosque: círculos verdes Bosque 3, círculos amarillos Bosque 2, y círculos azules Bosque 1.

Se realizó también un análisis discriminante únicamente con las variables medidas del suelo, para intentar entender mejor el papel que las características del sustrato juegan en la diferenciación de las parcelas muestreadas (Figura 16). Este análisis discriminante, indicó que el eje canónico 1 explica el 88,38 % de la variabilidad, el gradiente separa el Bosque 1 del Bosque 2 y 3. El Bosque 1 presenta suelos ácidos, con una mayor proporción en la textura (% arena, limo, arcilla) y presencia de mayores contenidos de Mn, P; en cambio los bosques 2 y 3 poseen suelos con mayor contenido de Mg y Fe.

El eje 2 explicó solamente el 11,62% de la variabilidad restante entre las parcelas de vegetación, con este eje se logró separar el Bosque 2 del 3, mostrando que el Bosque 3 tiene una mayores contenidos de pH, Ca, K, Cu y Zn, mientras que el Bosque 2 presenta mayor contenido de Mg y Fe.

El error de clasificación del modelo fue de 6,90 %, el bosque que mayor error genera es el grupo 2, con un 20 % indicando que de las cinco parcelas identificadas como parte de ese grupo (basado en información florística), dos parcelas las comparte con características de suelo de los otros bosques.

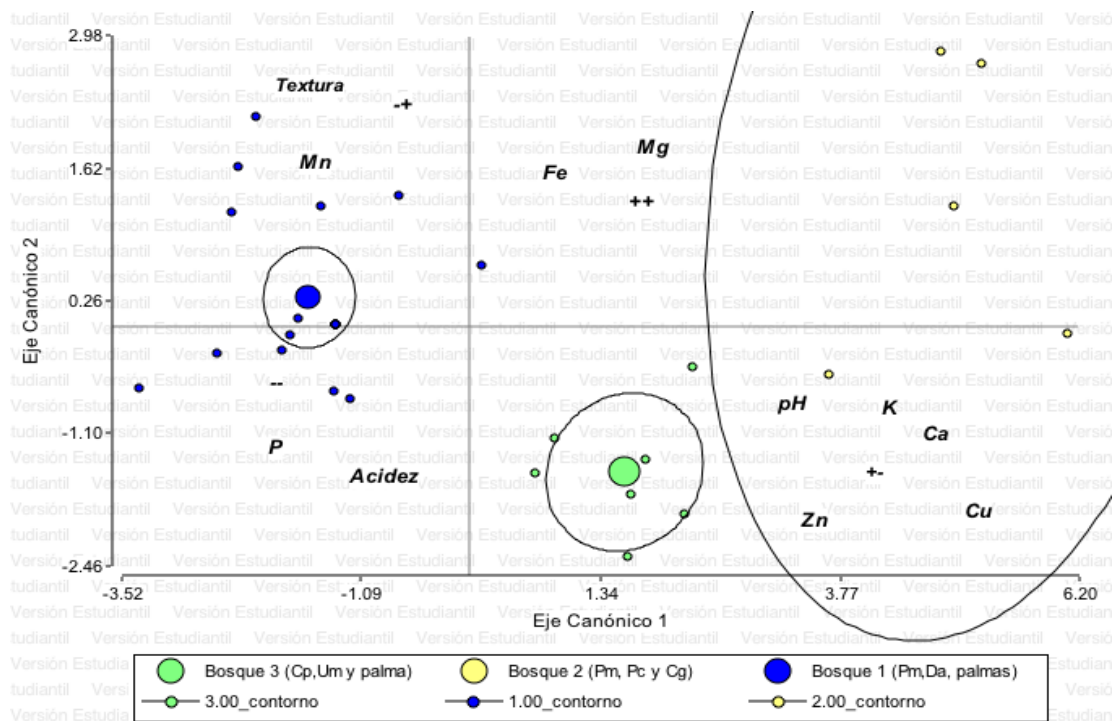


Figura 16. Resultado del análisis discriminante lineal de las variables de suelo con los tipos de bosque. Los tipos de bosque 1 y 3 y se diferencian de 2 en el eje canónico 1. Colores diferentes representan parcelas pertenecientes a los 3 tipos de bosque: círculos verdes Bosque 3, círculos amarillos Bosque 2, y círculos azules Bosque 1.

El resultado de ambos análisis indica que la vegetación está asociada a variables ambientales características de los sitios de muestreo, y en particular el análisis que incluye a las variables de suelo permite diferenciar bien los grupos previamente separados por su composición florística, asociándolos a suelos más o menos ácidos, con concentraciones diferentes de cationes, suelos más profundos o someros, y regímenes de temperatura distinto.

5.7. Propuesta de umbrales de manejo

El umbral de manejo puede ser definido como el valor de una variable de monitoreo que indica que un cierto cambio ha ocurrido, o es probable que ocurra según datos disponibles (SIFEFOR, 2016).

En Costa Rica se emplean dos variables de monitoreo para determinar si los bosques están preparados para una nueva cosecha: umbrales de área basal y el porcentaje de especies heliófilas efímeras de acuerdo a los valores mínimos de referencia (VMR) establecidos en los Estándares de Sostenibilidad para el Manejo de Bosques Naturales.

Los VRM en área basal varían para los diferentes tipos de bosque dentro de cada subregión del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (MINAET 2009), y fueron establecidos para determinar si el bosque puede aceptar un nuevo aprovechamiento forestal, comparando los valores actuales que caracterizan al bosque con valores de referencia preestablecidos (VRM). Esto, con el propósito de no aprovechar los bosques cuya condición no soporten una nueva intervención sin alterar su estructura disetánea (Minaet 2009).

Basado en el análisis multivariado se diferenciaron 3 tipos de bosques según el IV% e IVIS %. Con el análisis de estructura horizontal de árboles con $Dap \geq 30$ cm se determinó el área basal promedio por hectárea y se siguió lo estipulado en los lineamientos técnicos dentro de los Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Principios, Criterios e Indicadores, Código de Prácticas y Manual de Procedimientos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Propuesta de valores de referencia mínimo (VRM) de área basal por tipo de bosque para el Área de Conservación Tortuguero (ACTo), área basal promedio para todos los árboles ≥ 30 cm dap.

Tipo de bosque	Especies características	G promedio (m ² /ha)	+-*	Valor menor	VRM
Pm, pc, cg	<i>Pentaclethra macroloba</i> , <i>Prioria copaifera</i> y <i>Carapa guianensis</i>	30,9	3,4	27,5	24,7
Cp, Um palma	<i>Chimarrhis parviflora</i> , <i>Iriartea deltoidea</i> , <i>Ulmus mexicana</i> .	24,7	4,2	20,5	18,4
Pm, Da, palmas	<i>Pentaclethra macroloba</i> , <i>Dendropanax arboreus</i> , <i>Iriartea deltoidea</i> y <i>Socratea exorrhiza</i> .	22,9	1,4	21,5	19,4

Los umbrales de manejo para los valores de referencia de área basal existentes, están claramente definidos por tipo de bosque, solamente para las áreas de conservación Arenal Huetar- Norte, Cordillera Volcánica Central y un sector muy reducido de Tortuguero (Minaet 2009). Esto determina que el resto de país no cuente con dicha herramienta y de ahí la importancia de determinarlos para áreas otras áreas de conservación (Sánchez 2012).

Por otra parte, se genera la interrogante de la situación para el resto del país, en donde se estipula que para todos aquellos bosques que se localizan fuera del área de estudio de Sesnie (2006), se debe utilizar un valor de referencia mínimo de 11 m²/ha por hectárea para todos los árboles con diámetros mayores o iguales a 30 cm (Minaet 2009).

Esta generalización del VRM de 11 m²/ha por tipo de bosque para las demás áreas de conservación del país desvincula la premisa del principio 2 de los Estándares de Manejo que establece que el manejo forestal busca mantener las características originales del

bosque en términos de estructura y composición (Minaet 2009). Por lo que a falta de información, implicaría la posibilidad de que el manejo no permita el mantenimiento de las características originales del bosque ya que estudios silviculturales han demostrado que un alto nivel de cambio en el área basal puede ser contraproducente en términos de crecimiento del bosque (Ghazoul y Hellier 2000).

Y el caso en estudio del Área de Conservación Tortuguero (ACTo) evidencia que los valores mínimos de referencia en área basal reportados son superiores a los 11 m²/ha valor determinado como referencia para bosques fuera del estudio de Sesnie (2006).

VI. CONCLUSIONES

- El muestreo realizado sobre individuos de árboles (≥ 30 cm de dap) y plamas (≥ 10 cm de dap) y el análisis multivariado permitió diferenciar por especies indicadoras tres tipos de bosques dentro del ACTo.
- Se determinó dentro del ACTo dos bosques de tierras bajas: 1) Bosque de *Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis* con una elevación de 10 a 55 msnm y 2) Bosque de *Pentaclethra macroloba*, *Dendropanax arboreus*, *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza* con una elevación entre los 20-92 msnm y uno de altura 3) Bosque de *Chimarrhis parviflora*, *Iriartea deltoidea*, *Ulmus mexicana* con una elevación de 430 a 1048 msnm de acuerdo a los datos del muestreo florístico.
- Los bosques se diferenciaron por la composición de especies de árboles y palmas, y estructura horizontal. La alta abundancia de palmas pudo observarse en dos tipos de bosques, uno de tierras bajas (*Pentaclethra macroloba*, *Dendropanax arboreus*, *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza*) con una elevación promedio de 54 msnm y otro de altitud media (*Chimarrhis parviflora*, *Iriartea deltoidea*, *Ulmus mexicana*) con una elevación promedio de 705 msnm.
- En todos los bosques la estructura horizontal se caracteriza por presentar una mayor proporción de individuos en las jerarquías diamétricas pequeñas, lo que genera una

gráfica en forma de "J" invertida, que indica tasas altas de establecimiento de individuos pequeños, de los cuales un número reducido alcanza tallas diamétricas mayores.

- La abundancia en los bosques varía entre 118 a 164 arb/ha y el área basal varía entre los 22.9 y los 30.9 m²/ha.
- Los análisis multivariados de la relación entre la composición y el ambiente (clima y suelo) permiten concluir que la primera está determinada por variables de temperatura y precipitación de acuerdo a los diferentes tipos de bosques, y por variables edáficas, ya sea químicas o de textura.
- Se proponen tres valores mínimos de referencia para los bosques identificados 1) Bosque de *Pentaclethra macroloba*, *Prioria copaifera* y *Carapa guianensis* (Pm, pc, cg) con 24,7 m²/ha, 2) Bosque de *Chimarrhis parviflora*, *Iriartea deltoidea*, *Ulmus mexicana* (Cp, Um palma) con 18,4 m²/ha, 3) Bosque de *Pentaclethra macroloba*, *Dendropanax arboreus*, *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza* (Pm, Da, palmas) con 19,4 m²/ha.

VII. RECOMENDACIONES

- Determinar mediante el análisis de espectral de imágenes satelitales empleando la misma metodología de Sesnie 2006 los distintos bosques determinados en este estudio con el fin de poder de conocer espacialmente su distribución y localización en la cartografía digital de los bosques del ACTo.
- Realizar este mismo tipo de estudios en otras Áreas de Conservación con el fin de mejorar el manejo forestal sostenible de los diferentes tipos de bosque del país.
- Presentar los resultados de este estudio a los tomadores de decisiones a nivel estatal para su respectiva validación y oficialización.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- Arroyo, J; Kalacska, M. 2011. Desarrollo de un Sistema de Información Geográfico para el manejo Forestal en Costa Rica, basado en datos históricos: consecuencias sociales, económicas y ecológicas 18-20 p.
- Bermudez, F; Hernandez, C. 2004. Plan de Manejo del Parque Nacional Tortuguero. MINAE-SINAC, ACTo.
- Berry, P. 2002. Diversidad y endemismo en los Bosques Neotropicales de Bajura. En Guariguata, MR; Katan, GH. Eds. Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales. EULAC – GTZ. 1 ed. Ediciones LUR. Cartago, CR. p. 83 – 96.
- Bonifaz, C. 2003. Caracterización florística de dos sitios en el bosque húmedo costero cabecera de Muisne, Esmeraldas - Ecuador. Tesis MSc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 78 p.
- Campos, JJ; Muller, E. 2000. Procedimientos y estándares nacionales para el manejo forestal sostenible en Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. (Nº 30). Consultado el 10 de abril del 13 Disponible en línea: <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev30/procedi2.htm#Discusi%C3%B3n>
- Comisión Nacional de Sostenibilidad Forestal (CNSF). 1999. Estándares y Procedimientos para el Manejo Sostenible y la Certificación Forestal en Costa Rica. ONU-CATIE. 3-6 p.
- Clark, DB; Clark, DA; Read, JM. 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest. Journal of Ecology (86) 1: 101-112.
- Chaves, P; Castillo, M; Solano, G.2007. Análisis del proceso de manejo forestal policíclico: estudio de caso Tecnoforest del Norte S.A., Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (10) 4.

- Chain, A; Finegan, B; Vilchez, S; Casanoves, F. 2012. Determinants of rainforest floristic variation on an altitudinal gradient in southern Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* (28) p 463- 481.
- Condit, R; Pitman, N; Leigh, EG; Chave, J; Terborgh, J; Foster, RB; Núñez, P; Aguilar, S; Valencia, R; Villa, G; Muller-Landau, HC; Losos, E; Hubbell, SP. 2002. Beta-Diversity in Tropical Forest Trees. *Science, New Series*, 295 (5555): 666-669.
- Chust, G; Chave, J; Condit, R; Aguilar, S; Lao, S; Pérez, R. 2006. Determinants and spatial modeling of tree β -diversity in a tropical forest landscape in Panama. *Journal of Vegetation Science* 17: 83-92.
- Dufrene, M; Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345-366.
- FAO; SINAC; SIREFOR; FUNDECOOR. 2010. Manual para el uso de la página web de manejo policíclico de Sirefor. Consultado (15-5-2013) Disponible en línea: <http://policiclico.sirefor.go.cr>.
- Gallo, M. 1999. Identificación de tipos de bosques primarios en la zona norte de Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 8-20 p
- Ghazoul, J; Hellier, A. 2000. Setting critical limits to ecological indicators of sustainable tropical forestry. *International forestry review* 2(4) 244- 252 p.
- Gutiérrez, E; Frenkel, K. 2005. Perspectivas de la biodiversidad en Centroamérica 2003. Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente y Comision Centroamericana de Ambiente y Desarrollo p 9.
- Hijmans, RJ; Cameron, SE; Parra, JL; Jones, PG; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas international. *Journal of climatology* 25: 1965–1978.
- Homeier, J; Breckle, S; Gunter, S; Rollenbeck, R; Leuschner, C. 2010. Tree diversity, forest structure and productivity along altitudinal and topographical gradients in a species-rich Ecuadorian montane rain forest. *Biotropica* 42:140–148.
- Hubbell, S. 1997. A unified theory of biogeography and relative species abundance and its application to tropical rain forests and coral reefs. *Coral Reefs* 16, Suppl.: s9-s21.
- InfoStat. 2007. InfoStat Versión 2007a. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

- IMN; FONAFIFO; Universidad de Alberta. 2000. Mapa de uso-cobertura de la tierra 2000: imágenes Landsat TM de 1996/97 utilizadas por CCT – CIEDES.
- Jones, MM; Tuomisto, H; Clark, DB; Olivas, P. 2006. Effects of mesoscale environmental heterogeneity and dispersal limitation on floristic variation in rain forest ferns. *Journal of Ecology* 94: 181-195.
- Lamprecht, H. 1990. *Silvicultura en los tropicos*. GTZ. RFA. Eschborn. Hamburg y Berlin. 335 p.
- Lomolino, M. V. 2001. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10:3–13.
- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. *Silvicultura de Bosques Latifoliados Húmedos con Énfasis en América Central*. Serie técnica. Manual Técnico N° 46. CATIE. Turrialba. C.R. 265 pp.
- La Gaceta. 2008. Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Principios, Criterios e Indicadores, Código de Prácticas y Manual de Procedimientos. Decreto No. 34559- MINAE Gobierno de Costa Rica. La Gaceta N° 115, 16 de junio 2008.
- Matteucci, SD; Colma, A. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. USA, OEA. 163 p.
- Méndez, A. 2008. *Determinación de Bosques potencialmente manejables en Costa Rica*. San José, CR. FAO. 22 p.
- McCune, B; Grace, JB. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. Software design, Gleneden Beach, Oregon, USA. 300p.
- McCune, B; Mefford, MJ. 1999. *Multivariate Analysis of Ecological Data Version 4.25 (PCORD)*. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Minaet, Marena, PNUMA, OEA. 1997. *Manejo Ambiental y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan: Estudio de diagnóstico de la cuenca del río San Juan y lineamientos del plan de acción* 113-115 p.
- Minaet (2009, abril 22). Resolución R-Sinac-021-2009. Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales: Código de Prácticas. *La Gaceta*, pp. 59-83.
- Montagnini, F; Jordan, CF. 2005. *Tropical forest ecology: the basis for conservation and management*. Springer, Berlin. 295 p.

- Murrieta, E. 2006. Caracterización de cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el corredor biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, CR, CATIE. 125 p.
- Pérez, MA; Finegan, B; Delgado, D; Louman, B. 2001. Composición y diversidad de los bosques de la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua: una base para el manejo sostenible. Revista Forestal Centroamericana No. 34:12-18.
- Ramos, Z. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: Herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. . Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 114 p
- Ramos, Z; Finegan, B. 2006. Red ecológica de conectividad potencial: estrategia para el manejo del paisaje en el corredor biológico San Juan-La Selva. Recursos Naturales y Ambiente. No. 49:125-136. Costa Rica 78 p.
- Ricklefs, R.E. & Schluter, D. 1993. Species diversity in ecological communities: Historical and geographical perspectives. University of Chicago Press, Chicago, IL, US.
- Rosenberg, MS. 2009. PASSAGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics, and Geographic Exegesis version 2 (beta) (en línea). Consultado el 24 marzo 2013. Disponible en: <http://www.passagesoftware.net/index.php>
- Sánchez, M. 2012. Sostenibilidad en el Manejo Forestal en Costa Rica (entrevista). Heredia, CR, Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR).
- Sesnie, S.E. 2006. A geospatial data integration framework for mapping and monitoring tropical landscape diversity in Costa Rica's San Juan-La Selva Biological Corridor. Tesis PhD. Turrialba, CR, Programa Conjunto CATIE y Universidad de Idaho. 154p.
- Sage, L; Montoya, L. 2006. Análisis de la cadena de valor de la madera en el Área de Conservación Tortuguero. MINAET, SINAC, ACTo.
- Sesnie, SE; Finegan, B; Gessler, P; Ramos, Z. 2009. Landscape-Scale Environmental and Floristic Variation in Costa Rican Old-Growth Rain Forest Remnants. Biotropica 41 (1):16-26.
- SIREFOR, 2016. Sistema de Información de los Recursos Forestales de Costa Rica (SIREFOR). Definiciones forestales (En línea) Consultado el 3 marzo 2017. Disponible en: http://www.sirefor.go.cr/?page_id=1039

- Tuomisto, H; Ruokolainen, K; Yli-Halla, M. 2003. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. *Science* 299: 241-244.
- UICN. 1991. Estrategia de Conservación para el Desarrollo Sostenible de Llanuras de Tortuguero. Estudio Biofísico. MIRENEM-UICN/ORCA-JAPDEVA.
- UNA, ITCR, UCR. 2009. Propuesta de proyecto de investigación interuniversitario: Monitoreo de ecosistemas forestales para el fortalecimiento de estrategias de conservación y uso de bosques: una contribución a la iniciativa Costa Rica Carbono Neutral. 2-34 p.
- Vilches, S. 2012. Determinación óptima de agrupaciones Índice de especies indicadoras (entrevista). Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).
- Zamora, N. 2008. Unidades fitogeográficas para la clasificación de ecosistemas terrestres en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*. No. 54 :14-20.