

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

EN COOPERACIÓN CON

**Corredor Biológico Talamanca-Caribe**

INFORME FINAL  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

*Monitoreo de la calidad del agua y caracterización de los bosques  
de la cuenca del Río Carbón.*

**INVESTIGADORES**

Marvin Castillo Ugalde Lic.  
Julio Cesar Calvo Alvarado P.hD.



Cartago - Junio 2011

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
ÍNDICE DE CUADROS .....	v
ÍNDICE DE ANEXOS .....	vii
RESUMEN EJECUTIVO .....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos.....	2
REVISION DE LITERATURA .....	3
Riqueza y diversidad florística.....	5
Composición florística.....	6
Análisis estructural .....	6
Estructura horizontal.....	8
Estructura vertical.....	10
Parcelas permanentes de medición .....	11
METODOLOGIA.....	13
Descripción del área de estudio.....	13
Localización político administrativa .....	13
Ubicación geográfica.....	13
Clima .....	14
Suelos .....	15
Diseño de las parcelas.....	15
Determinación y análisis de la estructura del bosque.....	17
Estructura horizontal.....	17
Curva especie / área.....	18
Índices y coeficientes.....	19
Índice de diversidad.....	19
Índice de equidad o Uniformidad de Shannon .....	20
Índice de Simpson .....	20
Coeficiente de afinidad de Sørensen.....	21
Coeficiente de mezcla.....	21
Estructura vertical.....	21
Clases de altura.....	21
Posición de copa .....	22
Forma de copa .....	23
Presencia de lianas en el fuste y la copa.....	23
Análisis de datos.....	24
Monitoreo de la calidad del aguas superficiales de la cuenca del río Carbón.....	25
Análisis químico.....	25
Análisis microbiológico.....	26
RESULTADOS Y DISCUSION .....	27
Parcelas permanentes de muestreo-PPM.....	27

Ubicación de parcelas permanentes de muestreo .....	27
Composición florística del sitio.....	34
Caracterización de la estructura del bosque .....	41
Distribución de individuos por clase diamétrica .....	53
Distribución vertical continua según la clasificación de IUFRO .....	61
Evaluación de la calidad del agua de la cuenca del Río Carbón .....	66
Conclusiones.....	71
Recomendaciones .....	72
Bibliografía.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forma y dimensiones de las parcelas y subparcelas a utilizar con su respectiva numeración. ....	16
Figura 2. Distribución de la abundancia (N/ha) por grupos ecológicos determinados por los un bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010. ....	49
Figura 3. Curva especie/área para el Bosque muy húmedo transición a basal, piso premontano, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica.2010.....	52
Figura 4. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea, para el Bosque muy húmedo transición a basal, piso premontano, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.....	55
Figura 5. Diagrama de frecuencia para el Bosque muy húmedo transición a basal, piso premontano, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.....	60

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadísticos utilizados para el análisis de las parcelas permanentes de muestreo, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.....	24
Cuadro 2. Resumen del área basal y número de individuos por parcela y por hectárea, junto con los estadísticos calculados para los bosques intervenidos, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010. ....	41
Cuadro 3. Resumen del área basal y número de individuos por parcela y por hectárea, junto con los estadísticos calculados para los bosques secundarios, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010. ....	42
Cuadro 4. Número de especies presentes en cada parcela y especies en común entre las parcelas para el cálculo del índice de Sørensen, en las parcelas permanentes de muestreo en el bosque húmedo tropical, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.....	45
Cuadro 5. Índice de Sørensen, en las parcelas permanentes de muestreo en el bosque húmedo tropical, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.....	45
Cuadro 6. Abundancias, frecuencias y dominancias (relativas) para las diez especies con valores más altos en los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010. ....	47
Cuadro 7. Índice de Valor de Importancia para las diez especies con valores más altos en los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.....	48
Cuadro 8. Número de especies acumuladas cada 0,1 ha para la elaboración de la curva especie/área, para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica.2010.....	51
Cuadro 9. Distribución diamétrica del área basal por hectárea, para cada parcela permanente de muestreo para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.....	56
Cuadro 10. Distribución diamétrica del área basal por hectárea, para cada parcela a partir de 30 cm de diámetro a 1,3 m del suelo, para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010. ....	57
Cuadro 11. Estadísticos para determinar el valor mínimo de referencia para a utilizar en los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010. ....	58
Cuadro 12. Alturas por estrato para las parcelas de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.....	61
Cuadro 13. Participación de las especies por pisos en el bosque transicional húmedo a seco, Miramar, Puntarenas, Costa Rica, 2010. ....	61
Cuadro 14. Distribución diamétrica del número de árboles por hectárea según posición de copa en las diez parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010. ....	64
Cuadro 15. Distribución diamétrica del número de árboles por hectárea según Forma de copa, encontrados en las parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010. ....	65
Cuadro 16. Distribución diamétrica de los individuos por hectárea según la presencia de lianas en las diez parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.....	66
Cuadro 17. Resultados del análisis químico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 08-agosto-2008.....	67

Cuadro 18. Resultados del análisis químico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 26-noviembre-2008. ....	68
Cuadro 19. Parámetros de calidad del agua-segundo nivel de control – N2. ....	69
Cuadro 20. Resultados del análisis microbiológico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 8 de agosto 2008. ....	69
Cuadro 21. Resultados del análisis microbiológico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 26 de noviembre 2008. ....	70

# ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Normas reglamentarias de reuso de aguas residuales. ....	78
---	----

*Monitoreo de la calidad del agua y caracterización de los bosques  
de la cuenca del Río Carbón.*

Marvin Castillo Ugalde Lic.  
Julio Cesar Calvo Alvarado P.hD.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La cuenca del Río Carbón se ubica hacia el Sur del litoral del Caribe de Costa Rica, cuenta con un área de 8 000 ha, en ella habitan alrededor de 2000 personas, que conforman las comunidades de Carbón Uno, Carbón Dos, San Rafael de Bordón, Hone Creek, Cataratas y Patiño.

Para evaluar la composición florística y estructura de la vegetación arbórea de los bosques de esta cuenca se establecieron de 10 parcelas permanentes de muestreo de 2500 m<sup>2</sup>, lográndose identificar 49 familias, 124 géneros y 175 especies. Estas especies fueron clasificadas por grupo ecológico encontrándose que 37 especies se clasifican como esciófitas totales, 15 especies como esciófitas parciales, 83 especies como heliófitas durables, 10 especies como heliófitas efímeras y además un grupo de 30 especies como indeterminadas.

El área basal encontrado en estos bosques varía entre los 7,13 m<sup>2</sup>/ha y 24,47 m<sup>2</sup>/ha, para los árboles con diámetro  $\geq 30$  cm, pero este valor depende de la recuperación del bosque. El Código de Prácticas para los Principios, Criterios e Indicadores para el manejo de bosque natural en Costa Rica, establece que en bosques donde se supere los 11 m<sup>2</sup>/ha, pueden ser sometidos a aprovechamiento en segunda cosecha, pero se propone que este valor no debe ser menor a los 12,48 m<sup>2</sup>/ha.

La evaluación de los parámetros físicos y químicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos, sólidos totales en suspensión, sólidos disueltos, calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso) evaluados para el agua del río Carbón, indican que los valores mostrados están por debajo de los valores admisibles, por lo que la calidad del agua es apta para el consumo humano. Pero debe aplicarse tratamiento de potabilización, debido a la gran cantidad de coliformes fecales que presenta, por lo que solamente puede utilizarse como agua de reuso.

Palabras claves: Monitoreo de bosques, Calidad de agua, Gremios ecológico, Parcelas permanentes.



## **INTRODUCCIÓN**

Los bosques son unidades integrales donde interactúan entre sí una gran cantidad de factores bióticos y abióticos, en el cual la constante renovación de la masa arbórea hace de él un sitio irregular de gran complejidad y dinamismo, asociándose con cambios de composición florística y estructural; dichos cambios varían en magnitud de un lugar a otro dada las características propias que posee cada sitio de acuerdo a su ubicación en latitud y altitud, así como sus características topográficas y las actividades que desarrolla el ser humano en ellos.

Su ambiente físico determina el patrón y la tasa de cambio, y establece límites al desarrollo del ecosistema. La sucesión termina en un grado máximo de homeostasis, en la que las respuestas orgánicas del ecosistema tienden a compensar los cambios ambientales. Así el bosque primario se protege al máximo de las perturbaciones, además alcanza en función de la energía disponible una biomasa y una interacción máxima o casi máxima entre los individuos que la componen (Wadsworth, 2000).

La cuantificación de la biodiversidad de los bosques tropicales, ha sido un tema muy discutido en los medios biológicos y forestales, sin embargo los métodos empleados para la determinación de la biodiversidad se basan en observaciones y/o colectas en forma no muy sistemáticas, no obstante brindan información valiosa de los bosques.

En este proyecto se contempla el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo (PPM) y el monitoreo de la calidad del agua de la Cuenca del Río Carbón, que se ubica en el Distrito de Cahuita, Talamanca, Costa Rica.

Las parcelas permanentes de muestreo (PPM), constituyen una herramienta a través de la cual se puede en forma muy precisa conocer la composición florística de un sitio, o región y en este caso de los bosques de la Cuenca del Río Carbón.

La evaluación de los parámetros físicos y químicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos, sólidos totales en suspensión, sólidos disueltos, calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso) evaluados para el agua del río Carbón, indicaran si los valores mostrados estan por debajo de los valores admisibles para determinar si el agua de la cuenca es apta para el consumo humano.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Monitorear la calidad del agua en dos periodos y caracterización de los bosques de la cuenca del Río Carbón.

### **Objetivos específicos**

- Monitorear la calidad de aguas superficiales de la cuenca del río Carbón, en dos épocas del año.
- Evaluar la composición florística y estructura de la vegetación arbórea de los bosques de la cuenca del Río Carbón.
- Establecer los valores de referencia mínimos de área basal de los bosques de la cuenca del Río Carbón.
- Establecer los umbrales lumínicos máximos de los bosques de la cuenca del Río Carbón.

## **REVISION DE LITERATURA**

La creciente preocupación e interés mundial por conocer y preservar la diversidad biológica, y a pesar de la acumulación continua de datos, se debe prestar una mayor atención al monitoreo comparativo de especies a lo largo del tiempo en la red de áreas protegidas. Tales programas de monitoreo son indispensables para hacer un análisis en profundidad de la diversidad biológica y de la dinámica del bosque, que proporcione las bases científicas para el manejo sostenible de los recursos del mismo (Dallmeier et al.,1992).

A través del mundo incluyendo las regiones tropicales se están estableciendo parcelas con el fin de determinar los incrementos, composición y cambios de especies, dinámica de los árboles en bosques maduros; sin embargo; en los bosques de las Áreas de Conservación en Costa Rica Y Corredores Biologicos, no se han evaluado estas condiciones (Dallmeier et al.,1992).

En nuestro país se ha generado investigación sobre la dinámica forestal y regeneración de algunas especies nativas, lo cual sirve de base para la comprensión de los procesos ecológicos que se desarrollan en los bosques primarios e intervenidos (Hubbel y Foster 1991, Condit et al., 1992, Clark y Clark 1992).

Las áreas boscosas son dinámicas, interactivas y autoperpetuantes, son comunidades de organismos vivientes donde los árboles son los dominantes en la vegetación e interactúan estrechamente entre ellos y con el ambiente. Estas albergan cerca de la mitad de todas las especies conocidas por la ciencia, una enorme reserva de recursos genéticos y miles de productos derivados de la agricultura, la industria y la medicina. Sin embargo, existe un proceso de desaparición de este ecosistema, debido al saqueo de las maderas preciosas y la expansión de la frontera agrícola (Lamprecht, 1990; Wadsworth, 2000).

Los bosques tropicales cuentan con una gran variabilidad de incrementos, tanto en el tiempo, como en el espacio, esta variabilidad temporal es atribuida a variaciones anuales en el clima y a fluctuaciones en los ciclos fenológicos. Las variaciones espaciales se explican por la característica de mosaico sucesional y la diversidad de micrositios observada en estos bosques. Estas asociaciones poseen una alta diversidad y un amplio contenido genético, representan un recurso de gran potencialidad, aunque su heterogeneidad constituye un problema para su desarrollo y manejo (Guariguata & Kattan, 2002).

La dinámica de poblaciones implica que generalmente hay una renovación rápida del bosque por la caída de árboles grandes y su sustitución por árboles jóvenes, de rápido crecimiento. Uno de los fundamentos de esta renovación natural es una dependencia sorprendentemente alta de especies arbóreas del dosel en la existencia o creación de aperturas naturales para la regeneración natural (Lamprecht, 1990; Gamboa y González, 1988).

La información sobre la dinámica, estructura, diversidad y del crecimiento de los árboles individuales en áreas no intervenidas tiene gran importancia por las diferentes funciones que éstas cumplen dentro del ecosistema, como lo son el almacenamiento de biomasa, intercambio de carbono, reserva de agua. Además se debe indicar que los bosques no solo madera producen sino otros bienes de la flora y la fauna con potencial como base de actividades comerciales, algunos de los cuales son conocidos por su uso como materia prima para la elaboración de productos alimenticios, medicinales, colorantes y otros.

Las parcelas permanentes de muestreo son una herramienta que permite recolectar información de los cambios en número, la identificación de especies, tamaño de la vegetación encontrada en el tiempo, permite observar variaciones en la composición y producción del sitio y genera una base de datos para la caracterización de la vegetación existente (Synnott, 1979).

## **Riqueza y diversidad florística**

Ambos conceptos se refieren a una de las características sobresalientes de los bosques tropicales. Se denomina riqueza al número total de especies de cualquier tamaño y forma de vida en un área dada. Por otro lado, 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. Al igual que la riqueza florística, este valor va a depender del límite mínimo de medición y la referencia del área (Hernández, 1999).

Cabe destacar, que la riqueza florística se evalúa de la curva área–especie, la cual proporciona información sobre el incremento de especies en superficies crecientes, a partir de un diámetro mínimo considerado. Esta curva proporciona en parte la información para detectar en qué superficie no es significativo el incremento de nuevas especies (Manzanero, 1999).

Por otra parte, la diversidad florística se evalúa a través del cociente de mezcla que es el resultado de la división del total de árboles encontrados entre el número de especies encontradas a partir de un diámetro mínimo considerado y en una superficie dada (Manzanero, 1999).

Costa Rica es un país con una gran concentración de biodiversidad. Su historia geológica, ubicación geográfica y topografía, son algunos de los factores determinantes de esta diversidad. La diversidad de ecosistemas responde a las condiciones antes señaladas así como a la diversidad de condiciones climáticas que de ellas se generan (Hernández, 1999).

Siempre se ha considerado que los bosques húmedos son muchos más diversos que los bosques secos, pero esto es solo una verdad relativa. Los ecosistemas de los bosques húmedos presentan una mayor diversidad calculada como número de especies de plantas por unidad de área. Sin embargo estas plantas vienen a ocupar relativamente pocas formas de vida, debido principalmente a la estabilidad de las condiciones para el crecimiento lo cual aumenta la homogeneidad relativa de las formas de vida (árboles y arbustos, hierbas, enredaderas, epífitas, etc). Por su parte los bosques secos presentan una mayor variedad de

formas de vida lo cual los convierte en bosques menos homogéneos que los bosques húmedos; esta misma característica favorece la presencia de endemismos dentro de los ecosistemas más secos (Monge, 1999).

### **Composición florística**

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. Además entre los factores más importantes que influyen en la composición florística del bosque, ligados a la dinámica de bosque y a la ecología de las especies que lo conforma, están el tamaño y la frecuencia de los claros, el temperamento de las especies y las fuentes de semillas (Louman, 2001).

Según Lamprecht (1990), la composición florística de los bosques según el estado sucesional, se expresa por medio del índice de Shannon, para las diferentes poblaciones de fustales, latizales y brinzales. La tendencia del incremento de este índice se refleja conforme aumenta la edad del bosque, situación que es de esperar, ya que un número mayor de especies se hacen presentes conforme el bosque se hace más maduro y alcanza fases homeostáticas en el proceso de sucesión.

### **Análisis estructural**

Un análisis de la estructura del bosque busca establecer cómo están distribuidos los individuos en el espacio disponible, es también una forma práctica de observar cómo y dónde están compitiendo los árboles y si existen estratos menos agresivos que otros (Lamprecht, 1990).

El conocimiento de la distribución espacial de los árboles (tanto horizontal como verticalmente), es una herramienta valiosa como complemento de varios estudios (crecimiento, mortalidad); no es solo conocer qué ingresa, sale o se mantiene en el ecosistema, es importante además saber cómo se distribuyen espacialmente estas variables.

Este conocimiento puede sugerir la existencia de otras variables importantes que afectan a los árboles dentro del bosque que no podrían ser observadas con los análisis tradicionales (Monge, 1999).

Para Lamprecht (1962), un análisis estructural debe cumplir al menos con cuatro requisitos para ser considerado funcional:

1. Qué se pueda aplicar a cualquier tipo de bosque (al menos dentro de la zona intertropical).
2. Qué produzca resultados objetivos expresables en cifras y números.
3. Qué los análisis hechos en diferentes bosques sean comparables.
4. Qué los métodos estadísticos actuales sean aplicables tanto para la interpretación como para la comparación de resultados.

Valerio y Salas (1997), definen estructura vertical y horizontal, así como los factores que afectan su variación dentro del bosque, basándose en ciertas bases ecológicas de las que se puede mencionar:

- La estructura original del bosque es la mejor respuesta del ecosistema ante las variables del clima y el suelo.
- Hay procesos naturales que tienden a mantener la estructura original del bosque (silvigénesis).
- La dinámica de cada una de las poblaciones se caracteriza por estrategias propias de autopertuación basadas en las características y requerimientos de las especies.

Es importante mencionar que para que un estudio estructural del bosque tenga suficiente validez, es necesario seleccionar adecuadamente el tamaño de la muestra a evaluarse, es decir, un área mínima representativa del sitio. El área mínima es aquella que por debajo de la cual, toda la comunidad no puede expresarse como representativa. La curva área/ especie del sitio proporciona, en parte, la información para detectar a que tamaño de área el incremento de nuevas especies no es más significativo (Manzanero, 1999)

## **Estructura horizontal**

Las condiciones de suelo y del clima, las características y estrategias de las especies y los efectos de disturbios sobre la dinámica del bosque determinan la estructura horizontal del bosque, que se refleja en la distribución de los árboles por clase diamétrica. Esta estructura es el resultado de la respuesta de las plantas al ambiente y a las limitaciones y amenazas que este presenta. Cambios en estos factores pueden causar cambios en la estructura, los cuales pueden ser intrínsecos a los procesos dinámicos del bosque (por ejemplo, durante las fases iniciales de la sucesión, la existencia de una estructura boscosa en sí misma cambia el ambiente sobre el suelo, lo que afecta las oportunidades de germinar y establecerse) (Louman, 2001).

Básicamente, la estructura horizontal se refiere al acomodo espacial de los individuos, este arreglo no es aleatorio pues sigue modelos complejos difíciles de manejar. Este comportamiento se puede reflejar en la distribución de los individuos por clase diamétrica, la cual sigue generalmente una forma de “J” invertida para el total de las especies. Esta tendencia no está siempre presente al realizar el análisis por especie (Monge, 1999).

Algunas especies pueden ser muy frecuentes en clases diamétricas superiores pero escasas en las inferiores, otras pueden prácticamente desaparecer en clases medias y aparecer solo en los extremos de la distribución, finalmente hay especies que tienden a comportarse como la masa y presentan un comportamiento como el mencionado anteriormente (Monge, 1999).

Los principales factores que determinan la presencia o no de un individuo de una edad determinada en un sitio específico son (Valerio y Salas, 1997):

- Presencia de semilla.
- Temperamento de la especie en lo referente a necesidades de luz.
- Frecuencia de apertura de claros.
- Tamaño de los claros.
- Estrategia de escape a los depredadores de la especie.



En el estudio de la composición horizontal del bosque se analizan diferentes aspectos que ayudan a obtener una mejor comprensión del bosque como lo son la riqueza y diversidad florística, distribución diamétrica, área basal, índice de Shannon, cociente de mezcla, índice de riqueza, índice de Simpson y coeficiente de afinidad de Sørensen (Hernández, 1999).

La estructura horizontal permite evaluar el comportamiento de los árboles individuales y de las especies en la superficie del bosque (Melo y Vargas, 2003), la cual es posible determinarla mediante su riqueza y distribución florística, distribución diamétrica y área basal. También se puede describir la estructura horizontal en términos de frecuencia, abundancia y dominancia (Hernández, 1999).

La frecuencia se entiende como la posibilidad de encontrar un árbol de una determinada especie, al menos una vez, en una unidad de muestreo. Se expresa como el porcentaje de unidades de muestreo en las que se encuentra el árbol en relación al número total de unidades de muestreo (Melo y Vargas, 2003).

La abundancia es el número de individuos que posee una especie en un área determinada. Cuando se refiere al número de individuos por especie corresponde a la abundancia absoluta y cuando es el porcentaje de individuos de cada especie con relación al número total de individuos del ecosistema se habla de abundancia relativa (Melo y Vargas, 2003).

La dominancia, también denominada grado de cobertura de las especies, es la proporción del terreno o área basal ocupada por el fuste de un árbol de una especie en relación con el área total (Melo y Vargas, 2003).

Como el estudio de la frecuencia, abundancia y dominancia de las especies no siempre reflejan un enfoque global de la vegetación, se utiliza el método propuesto por Curtis y McIntosh (1950) el cual consiste en calcular la sumatoria de la frecuencia, abundancia y dominancia, de forma que sea posible comparar el peso ecológico de cada especie dentro de un bosque determinado. A esto se le conoce como el Índice de Valor de Importancia (IVI) (Hernández, 1999).

El análisis de cada uno de los parámetros que constituyen el IVI permite formarse la idea sobre un determinado aspecto de la estructura del bosque. En forma aislada este análisis sólo suministra información parcial del bosque, donde lo ideal es combinar las variables en una u otra forma para llegar a una sola expresión sencilla que abarque el aspecto estructural en su conjunto y así lograr una visión integral del bosque (Hernández, 1999).

### **Estructura vertical**

Se define como la distribución de los individuos a lo alto del perfil. Esta distribución responde a las características de las especies que la conforman y a las condiciones microclimáticas que varían al moverse de arriba abajo en el perfil (Valerio y Salas, 1997): radiación, temperatura, viento, humedad relativa, evapotranspiración y concentración de CO<sub>2</sub>.

Los estratos que se refieren a la compleja superposición de capas de las copas de árboles y arbustos, están definidos por diferentes condiciones microambientales y están conformados por agrupaciones de individuos que han encontrado un lugar adecuado para satisfacer sus necesidades energéticas y expresan plenamente su modelo arquitectural; no se consideran dentro del perfil los individuos que están de paso hacia niveles superiores (Valerio y Salas, 1997). Según los lineamientos establecidos por la IUFRO (1968) citado por Valerio y Salas (1997), el bosque tropical está dividido usualmente en tres estratos, conocido el primero como estrato superior, luego el estrato medio y el estrato inferior.

Los diferentes estratos pueden ser dominados por una o varias especies y esto responde a la variedad de temperamentos que presentan las especies. Luego de la apertura de un claro inicia un proceso dinámico de desarrollo de “estratos” donde las diferentes especies pueden llegar a ocupar lugares dentro de los perfiles (no necesariamente de forma permanente), hasta que el ecosistema recupere una estructura similar a la que fue dañada o destruida. Estas aperturas son también aprovechadas por árboles cercanos a la perturbación para extender sus copas y llenar los espacios abiertos desde arriba (Monge, 1999).

Conforme se asciende en el perfil el número de especies e individuos por unidad de área disminuye y las características físicas como forma y posición de copa tienden a mejorar paulatinamente y además permiten junto con el desarrollo vertical realizar una caracterización adecuada del bosque (Hernández, 1999).

### **Parcelas permanentes de medición**

Las parcelas permanentes también conocidas como unidades de monitoreo, permiten hacer un seguimiento a través del tiempo de los individuos tanto de fauna como de flora. Dicho monitoreo puede ser a mediano o largo plazo dependiendo del horizonte del estudio. Se utilizan principalmente en la evaluación de la dinámica de la regeneración natural, monitoreo de la biodiversidad, crecimiento o desarrollo del bosque, estado de las masas en pie, evaluación del efecto de las coberturas sobre el suelo, entre otras (Melo y Vargas, 2003).

Monge (1999) las define como parcelas de forma variable (circular, cuadrada, lineal o faja) las cuales están permanentemente demarcadas para que puedan ser ubicadas y remedidas en variados intervalos de tiempo. Todos los árboles de la parcela son identificados y permanentemente marcados.

Al momento de establecer un sistema de parcelas permanentes existen diferentes necesidades de información de acuerdo a los objetivos del programa (estudios de crecimiento, evaluación de tratamientos, control, estudios de regeneración, cuantificación de biomasa, entre otros) (Monge, 1999).

Según Monge (1999), tres son las características indispensables dentro de un sistema de parcelas permanentes:

Cada árbol debe ser identificado claramente por medio de marcas y números únicos, esta es la forma de detectar errores de medición.

Las parcelas deben ser homogéneas (mínima varianza dentro de las parcelas), su habilidad para cuantificar el recurso existente es irrelevante.

No es necesario que las parcelas sean representativas o numéricamente proporcionales a las áreas por tipo de bosque, pero es esencial que muestre todas las condiciones del sitio.

Por su parte Synnott (1991) recomienda parcelas cuadradas de una hectárea pues presentan las siguientes ventajas:

Se obtienen valores totales por hectárea.

Se subdivide fácilmente en subparcelas con tamaños similares a los usados en otros sistemas.

Tienen un tamaño suficiente para absorber la variación de la masa debido a claros, así la variabilidad total de la masa que se presenta puede reflejar variaciones totales dentro del rodal y no de árboles individuales o aperturas individuales.

Se reducen los errores por el efecto de borde al utilizar parcelas cuadradas.

Por otra parte, los análisis de las frecuencias para todas las especies dentro de un sistema de parcelas permanentes, dan una primera aproximación de la homogeneidad del bosque (Lamprecht, 1990).

# **METODOLOGIA**

## **Descripción del área de estudio**

### **Localización político administrativa**

El sitio de estudio se ubica en la provincia de Limón, cantón de Talamanca en el Distrito de Cahuita.

### **Ubicación geográfica**

La cuenca del Río Carbón se ubica hacia el Sur del litoral del Caribe de Costa Rica, abarca aproximadamente 8 000 ha de terreno, en las cuales habitan alrededor de 2000 personas que conforman las comunidades de Carbón Uno, Carbón Dos, San Rafael de Bordón, Hone Creek, Cataratas y Patiño.

Aunque esta es una cuenca que presenta un estado de cobertura natural muy importante, cerca del 75%<sup>1</sup>, una de sus características es la fragilidad de sus ecosistemas, los cuales son sumamente sensibles o vulnerables a los impactos originados de las actividades antropogénicas. Por otra parte, esta cuenca cumple un papel fundamental como zona de recarga de acuíferos y a la vez, de áreas de captación de agua para abastecimiento de los acueductos locales. Dadas la riqueza de recurso hídrico de la cuenca, la misma se convierte en fuente potencial de abastecimiento de otras poblaciones cercanas y de alta demanda de agua potable, no solo para sus poblaciones sino para la creciente demanda producto del aumento de las actividades de turismo, como es el caso de las comunidades de Cahuita y Puerto Viejo.

A pesar de que el territorio que abarca la cuenca no cuenta, en su mayoría, con suelos no aptos para las actividades agropecuarias, el proceso de colonización de estos terrenos se dio

---

<sup>1</sup> Brenes, et. al. Diagnóstico biofísico de la Cuenca del Río Carbón. ACBTC. 2003. s.p.

con el propósito de obtener tierras para agricultura y para la ganadería, especialmente por personas de afuera de la región Talamanqueña, las cuales se dieron a la tarea de talar el bosque para crear áreas de pasto, principalmente. Es así como las riveras de los ríos y quebradas de la cuenca son las áreas que presentan un mayor grado de deforestación.

Existen tendencias a disminuir el cambio de uso del suelo, gestándose una inquietud hacia modelos de producción con características más afines con la conservación de la biodiversidad, tales como pequeñas unidades productivas, diversidad de cultivos y producción orgánica. Sin embargo, estos procesos enfrentan dos condiciones que les hace difícil convertirse en sostén de las economías de las familias de la zona. Por un lado, la baja productividad y los pocos ingresos que generan y por otro lado, aunado a lo anterior, la falta de canales de comercialización para la producción y mercado. Estas situaciones provocan que mucha de la producción de la zona se desaproveche, como es el caso de frutales o el desarrollo de actividades que puedan mejorar la dieta y la economía de las familias, como la producción de aves de corral, el uso de fuentes de energías alternativas, etc. Esto implica que todavía también coexistan las actividades de aprovechamiento de bosque, como alternativa para solventar las necesidades de la población, ya que históricamente, el recurso forestal, ha sido siempre una especie de “caja chica” o de dinero rápido cuando las familias se ven en situaciones económicas difíciles.

Ver figura 1, Mapa de uso de la Cuenca del Río Carbón.

## **Clima**

El área de la Cuenca del Río Carbón se ubica en un 95 %, dentro de la zona de vida de Bosque muy húmedo transición a basal, piso premontano y el otro 5 % en las zonas de vida de Bosque húmedo tropical y Bosque muy húmedo premontano, según la clasificación de Zonas de vida de Holdridge, con una precipitación que varía 4000-5000 mm, la biotemperatura anual oscila entre los 18 – 24 ° C, además en la divisoria de agua puede alcanzar unos 300 msnm.

## **Suelos**

Los suelos de la Cuenca del Río Carbón, se clasifican como ultisoles (humult). En el caso de los ultisoles, estos se caracterizan por ser un suelo con un horizonte argílico presentando 20 % de aumento en el contenido de arcillas y con menos de un 35% de saturación de bases; generalmente son profundos, bien drenados de color rojo o amarillo, y con relativa baja fertilidad. (Geotecnología, S,A, 2005).

## **Diseño de las parcelas**

Se establecieron diez parcelas de 0,250 ha cada una, en ocho propiedades ubicadas en la Cuenca del Río Carbón, ocho en bosques primarios intervenidos y dos en bosques secundarios abandonados hace unos 20 años de edad, serán estudiadas bajo los criterios protocolarios de “Smithsonian/MAB Biodiversity Program” (Dallmeir et al., 1992). Las parcelas son cuadradas de 50 m x 50 m. La misma se subdividió cuadrados de 10 m de lado. Esta se organizó como un plano cartesiano, cuyo origen es la esquina Sur Oeste. Cada vértice se identifica con el par ordenado (x,y) que corresponde a la distancia, medido en decámetros, que lo separa del origen, tal como se observa en la Figura 2.

Cada árbol se identificó con un número compuesto por los dígitos que corresponden al cuadrado en el que se encuentra y por un número consecutivo del árbol dentro de cada cuadrado.

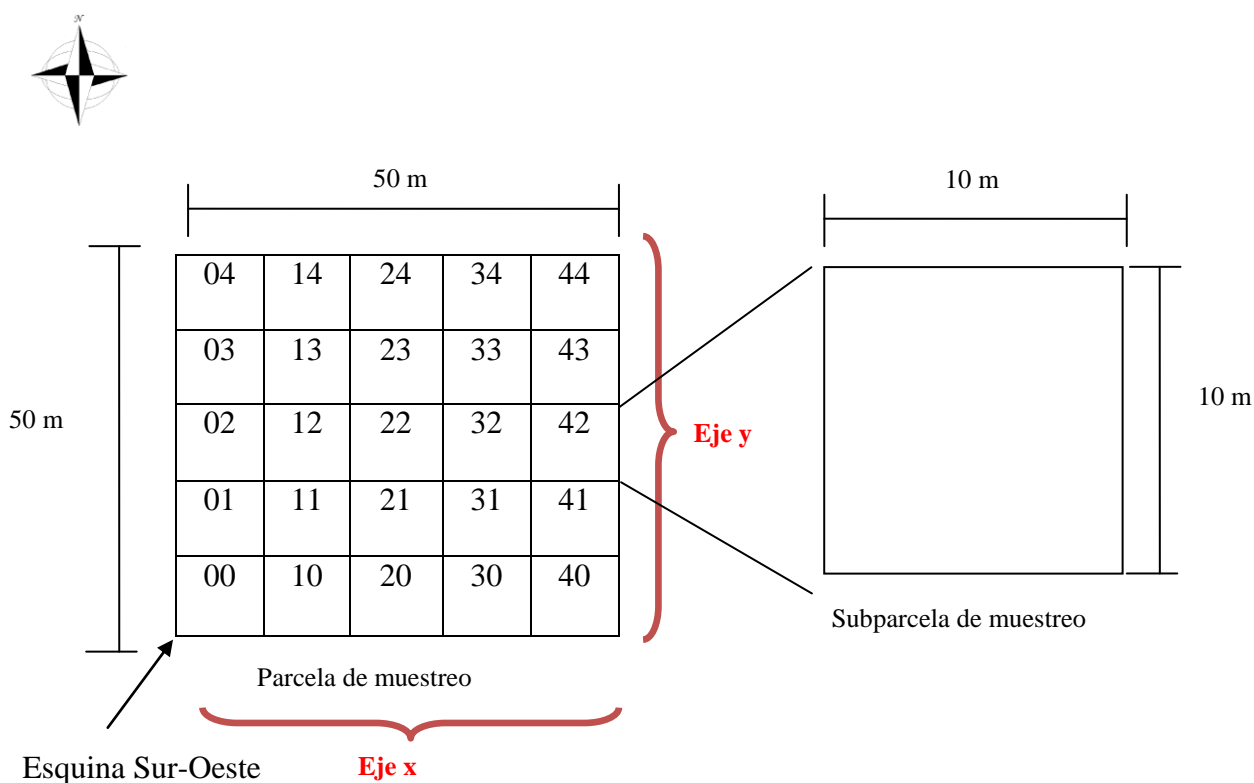
Dentro de cada parcela se identificaron todos los individuos con diámetros mayores a 10 cm a los cuales se les midió y se marcó en forma permanente el punto de medición a 1,3 m de suelo (en la medida de lo posible), se estimó la altura total, punto de inversión morfológica, posición de copa, forma de copa, presencia de lianas e identificación.

Cada árbol identificado se marcó con pintura indicando el punto en el fuste del diámetro para asegurar que las mediciones posteriores sean tomadas en el mismo sitio, además el número de subparcela en cada parcela permanente de muestreo y el número de árbol. La

ubicación espacial de las parcelas se realizó por medio del GPS para obtener las coordenadas X y Y respectivas.

Además se dejó una zona de amortiguamiento de ancho igual o superior a la altura máxima del dosel para evitar el efecto de borde en el área efectiva de la parcela permanente de muestreo, en la cual no se tomaron mediciones de la vegetación.

La demarcación de las parcelas se realizó a partir de un levantamiento topográfico de los linderos del área efectiva de medición, tomando en cuenta la pendiente del terreno. Para la delimitación de las subparcelas se colocó una estaca en el terreno cada 10 m sobre el lindero del área efectiva. Posteriormente se medieron solo los carriles que van de este a oeste, demarcando con estacas los linderos de las subparcelas.



**Figura 1. Forma y dimensiones de las parcelas y subparcelas a utilizar con su respectiva numeración.**



La ubicación del punto de inicio de las parcelas y subparcelas fue la esquina suroeste, que sirvió como base para la numeración de las subparcelas. El tipo de numeración que se utilizó fue de dos dígitos, cada uno del 0 al 4, que identifican el eje horizontal (eje X) y el eje vertical (eje Y) en la parcela muestreada (figura 2).

## **Determinación y análisis de la estructura del bosque**

### **Estructura horizontal**

En este caso se utilizó la información de área basal para la dominancia; número de árboles por hectárea para la abundancia y frecuencia.

Donde se definen los siguientes términos:

**Dominancia:** Se define como las sumas de las proyecciones horizontales de los árboles sobre el suelo. Es determinada por medio del área basal de las especies. De esta manera la dominancia absoluta es la suma de las áreas asimétricas de una especie expresada en metros cuadrados y la relativa como el cociente entre el área basal de una especie entre la suma del área basal de todas las especies, se expresa como un porcentaje (Lamprecht, 1990).

**Abundancia:** Es el número de árboles por especie. La abundancia absoluta es el número de individuos de una especie; la relativa es una proporción porcentual del número de individuos de una especie entre la sumatoria de los individuos de todas las especies (Lamprecht, 1990).

**Frecuencia:** Es la existencia o falta de una especie dentro de una determinada parcela y se expresa como un porcentaje (Lamprecht, 1990).

Una vez obtenidos los valores de dominancia, abundancia y frecuencia tanto en forma absoluta y relativa, se determinó:

Distribución diamétrica de los individuos: Esta es una representación gráfica de la disminución del número de individuos conforme se aumenta en el diámetro de los mismos. El modelo general de la distribución del número de árboles por clase diamétrica es la de una J invertida (Valerio & Salas, 1997).

Distribución del área basal por clase diamétrica: Es una representación gráfica que indica la productividad del sitio por medio de la distribución del área basal (m<sup>2</sup>/ha).

Clases de frecuencia: A partir de la agrupación de las especies de acuerdo a frecuencias absolutas distribuidas en cinco clases, se determinó si una especie tiene distribución horizontal continua (frecuencia absoluta mayor al 60 %) o no (Lamprecht, 1990).

Estas clases de frecuencia son:

<b>Clase</b>	<b>Frecuencia absoluta</b>
I	1 - 20%
II	21 - 40%
III	41 - 60%
IV	61 - 80%
V	81 - 100%

Índice de Valor de Importancia (IVI): Corresponde a la suma de la dominancia, la abundancia y la frecuencia (relativas). Este índice indica el peso ecológico de cada especie dentro del tipo de bosque correspondiente. Así, índices similares en las especies indicadoras, sugieren la igualdad o por lo menos la semejanza del bosque en su composición, estructura, en lo referente al sitio y su dinámica (Lamprecht, 1990).

### **Curva especie / área**

Esta relación es utilizada para determinar el área mínima de muestreo. Esto es, obtener un área mínima que asegure que dentro de ella van a estar representadas casi la totalidad de las especies arbóreas de un bosque en particular. Lamprecht (1990), da como criterio para

determinar el área mínima de muestreo el momento en el cual un aumento del 10% del área, corresponda un aumento en el número de especies menor al 10%. Para el cálculo de la curva especie/área se siguen los siguientes pasos:

1. Selección aleatoria de una parcela de área conocida
2. Determinación del número de especies presentes dentro de la parcela.
3. Adición de una segunda parcela.
4. Se incluyen dentro del listado de la primera parcela todas las especies nuevas.
5. De esta manera se repiten los pasos 3 y 4, hasta un punto donde la adición de especies por unidad de área no es significativa.

## **Índices y coeficientes**

Los índices a utilizar son los de diversidad y de riqueza así como los coeficientes de mezcla y homogeneidad. Estos se utilizan para determinar la diversidad de un sitio específico (Índice de Shannon), o bien expresan la probabilidad que al tomar una muestra al azar corresponda a una determinada especie.

En el caso de los coeficientes se utilizan para determinar las similitudes o disimilitudes en los bosques tropicales, según el coeficiente puede tomar las especies totales dentro de un sitio, así como las especies en común y diferentes entre dos inventarios.

## **Índice de diversidad**

El índice de diversidad de Shannon, permite calcular la suma de probabilidades de las especies, también es posible calcular la homogeneidad de la distribución para una cantidad de especies. Toma valores entre 1,5 a 3,5, donde los valores más cercanos a 3,5 corresponden a sitios de alta diversidad (Magurran, 1988).

La fórmula de cálculo es:

$$H = - \sum p_i \log (p_i)$$

Donde:

$p_i$  = Abundancia proporcional (relativa) de la especie “i” respecto al total.

### Índice de equidad o Uniformidad de Shannon

El resultado de este índice corresponde a la homogeneidad exhibida por la comunidad que equivale a la proporción entre la diversidad y la diversidad máxima (Melo y Vargas, 2003).

$$E = \frac{H'}{H_{\max}}$$

Donde:

$H'$  = Índice de Shannon

$H_{\max}$  =  $\log K$

$K$  = Número total de especies en el muestreo

### Índice de Simpson

Este índice es especialmente sensible a los valores de abundancia de las principales especies, asimismo se refiere a la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una misma población, pertenezcan a una misma especie. Toma valores entre cero y uno, donde los valores cercanos a cero corresponden a sitios muy diversos (Quesada, 1997)

$$D = \frac{\sum [n_i (n_i - 1)]}{[N (N - 1)]}$$

Donde:

$n_i$  = número de individuos de la especie i

$N$  = Total de individuos

## **Coefficiente de afinidad de Sørensen**

En éste, valores cercanos a 100%, indica ecosistemas con composiciones florísticas heterogéneas (Quirós, 2002).

Se determina de la siguiente forma:

$$K = \frac{2c}{a + b} * 100$$

Donde:

a = Número de especies en el muestreo A

b = Número de especies en el muestreo B

c = Número de especies comunes en los muestreos A y B

## **Coefficiente de mezcla**

Se refiere al grado de intensidad de la mezcla de especies en una superficie dada (Quirós, 2002). Se determina por:

$$CM = \text{Número de especies} / \text{número total de individuos}$$

## **Estructura vertical**

### **Clases de altura**

El análisis de la estructura vertical se realizará por medio de la distribución del número de individuos por clase de altura.

Las clases de altura se definen según las categorías de IUFRO (1968) citado por Lamprecht (1990):

- Piso superior (altura > 2/3 de la altura superior)
- Piso medio (entre 2/3 y 1/3 de la altura superior)
- Piso inferior (altura < 1/3 de la altura superior)

Otra clasificación para las clases de altura, se da por medio de las exigencias de luz que presentan las diferentes especies (gremio ecológico al que pertenecen), para ello se toma el individuo que presenta la mayor altura por especie, el cual ha logrado desarrollarse por completo al disponer de la energía necesaria para realizar sus actividades biológicas y así incrementar sus dimensiones (tanto en altura y diámetro) al máximo.

### **Posición de copa**

Se refiere a la posibilidad que tienen las copas de recibir luz, ligado a su vez con otras variables como la altura, tolerancia y cantidad de estratos en el bosque.

La propuesta original de clasificación es hecha por Dawkins (1958); y más tarde modificada por Hutchinson (1993). La clasificación consta de cinco categorías según el grado de iluminación de las copas, estas son:

1. *Emergente, iluminación vertical plena, además de lateral*: La parte superior de la copa totalmente expuesta a la luz vertical y libre de competencia, al menos en un cono invertido de 90° con el vértice en el punto de la base de la copa.
2. *Iluminación vertical plena*: La parte superior de la copa está expuesta a la luz vertical, pero está adyacente a otras copas de igual tamaño dentro del cono de 90°.
3. *Iluminación vertical parcial*: La parte superior de la copa está parcialmente expuesta a la luz vertical, parcialmente sombreada por otras copas.
4. *Iluminación oblicua únicamente*: La parte superior de la copa enteramente sombreada en forma vertical.
5. *Sin ninguna iluminación directa*: La parte superior de la copa enteramente sombreada en forma lateral y vertical.

## **Forma de copa**

Esta variable refleja en buena medida la condición silvicultural del bosque. Para su clasificación se utiliza la propuesta por Dawkins (1958), la cual se presenta a continuación:

1. *Círculo completo, perfecto*: Corresponde a copas que presentan el mejor tamaño y forma que se observa, generalmente amplia, plana y simétrica.
2. *Círculo irregular, bueno*: Copas que se acercan mucho al ideal, pero con algún defecto leve de simetría o algún extremo de rama muerta.
3. *Media copa, tolerante*: Asimétrica o rala.
4. *Menor de media copa, pobre*: Presenta muerte regresiva en forma extensa, fuertemente asimétrica.
5. *Una o pocas ramas, muy pobre*: Degradada o suprimida, muy dañada.

## **Presencia de lianas en el fuste y la copa**

La presencia de de lianas y trepadoras puede tener un efecto importante en el crecimiento y sobrevivencia de los árboles. La clasificación recomendada es una adaptación de la de Alder y Synnott (1992), y se presenta a continuación:

1. Sin lianas
2. Lianas que no alcanzan el nivel de la copa del árbol huésped.
3. Lianas que alcanzan la copa del árbol y comienzan a competir por luz .
4. Lianas dominando la copa del árbol huésped.
5. Lianas estrangulando y oprimiendo el árbol huésped.

## Análisis de datos

Se presentan por medio de tablas, figuras, donde se analizaron y discutieron los resultados obtenidos. Para ello se utilizarán Excel 2007.

Para caracterizar la estructura del bosque (árboles por hectárea y área basal por hectárea) se utilizarán los estadísticos según Maginnis y Sánchez, (1995) para muestreos aleatorios simples, estos estadísticos son presentados en la Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Estadísticos utilizados para el análisis de las parcelas permanentes de muestreo, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

Estadístico	Símbolo	Fórmula
Tamaño de población	N	A/a
Promedio	X	$\sum (x_i) / n$
Desviación estándar	S	$\sqrt{n \sum (x_i^2) - (\sum x_i)^2 / n(n-1)}$
Coefficiente de variación	% CV	$(S/X)*100$
Error estándar (muestra)	$S_x$	$\sqrt{S^2 \times (1-(n/N)) / n}$
Error de muestreo absoluto	E	$S_x * t_{\alpha/2, n-1}$
Error de muestreo relativo	% EM	$(E/ X) \times 100$

Donde:

A = Área efectiva (ha).

a = Tamaño de parcela (ha).

n = Tamaño de la muestra.



## **Monitoreo de la calidad del aguas superficiales de la cuenca del río Carbón.**

Para establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua superficial se realizaron dos visitas de campo a los sitios seleccionados donde se recolectaron muestras de agua para el análisis químico de laboratorio (bacteriológico y físico/químico básico), las cuales se les analizara en el laboratorio las siguiente variables, siguiendo los procedimientos de análisis establecidos y aceptados internacionalmente:

Demanda Química de Oxígeno Disuelta (DQO)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

A nivel de campo se analizará las siguientes variables

Oxígeno Disuelto (OD)

La Temperatura del cuerpo de agua y del ambiente

La humedad relativa del ambiente.

Presión Atmosférica

pH del agua del río.

Con esta información se obtuvo los valores de contaminación de las aguas de la cuenca del río Carbón y se iniciará el programa de control y mejora de la calidad de las aguas de esta cuenca.

### **Análisis químico**

Las tomas de las muestras de aguas se realizó en cinco diferentes puntos de la cuenca, considerando diferentes condiciones dos muestras fueron tomadas antes de las comunidades Carbón 1 y Carbón 2 y dos muestras inmediatamente después. La otra muestra fue tomada debajo del puente del Río Carbón en la carretera principal a Bibrí, cercano a Hone Creek.

Para tomar la muestra en las obras de tomas de agua se introdujo un frasco destapado boca abajo a una profundidad de 20 cm, tomándolo por su base, con los extremos de los dedos. En seguida se dio vuelta hacia arriba y hacia delante cuidando que la mano del recolector quede aguas abajo en relación con la boca del frasco; luego se procedió a taparlo y guardarlo en la hielera. Las muestras se colocaron en una hielera donde se mantuvieron a una temperatura de 5 °C esto para evitar la multiplicación de bacterias y gérmenes.

Todas las muestras se les agregó un formulario con información acerca de la procedencia, dirección exacta donde se tomó la muestra, día mes y hora exacta del envasado en el momento de la toma y hora de llegada al laboratorio. Este análisis se realizó en el Laboratorio de suelos y foliares del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

#### **Análisis microbiológico.**

En el mismo sitio donde se recolectó las muestras de aguas para realizar el Análisis químico se tomó las muestras para el Análisis microbiológico, utilizando empaques esterilizados. Igualmente las muestras se colocaron en una hielera donde se mantuvieron a una temperatura de 5 °C esto para evitar la multiplicación de bacterias y gérmenes.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

En el sitio de estudio se establecieron diez parcelas permanentes de muestreo de 50 x 50 m. Una vez establecidas las parcelas en ocho diferentes propiedades de la Cuenca del Río Carbón, se procedió a ordenar la base de datos y derivar la información necesaria a través de los cálculos expuestos anteriormente, esto con el fin de cumplir con los objetivos propuestos al inicio de este trabajo. A continuación se detallan y discuten dichos resultados.

### **Parcelas permanentes de muestreo-PPM**

Para el estudio de los bosques en general se requiere desarrollar herramientas y procesos que brinden información; esto solo puede obtenerse por medio de parcelas permanentes de muestreo que son dispositivos de investigación a largo plazo, permanentemente demarcados y periódicamente medidos (CATIE, 2000), a partir de las cuales se puede recolectar información mas exacta sobre la diversidad y riqueza de especies a nivel local, su proporción y distribución, así como la dinámica y el crecimiento o desarrollo del bosque (Melo y Vargas, 2003). Además estas unidades de muestreo sirven para evaluar el efecto de variables ambientales (sitio) en la dinámica, estructura y composición del bosque, monitorear cambios y pronosticar tendencias en la estructura y composición del bosque (CATIE, 2000).

### **Ubicación de parcelas permanentes de muestreo**

Se establecieron diez parcelas permanentes de muestreo (de 2500 m<sup>2</sup>), distribuidas de manera aleatoria en el área efectiva que permitieron determinar las condiciones para caracterizar la flora del bosque. En el cuadro 2 se presenta la información sobre área, altitud y ubicación geográfica.

**Cuadro 2.** Ubicación en coordenadas Lambert Costa Rica Norte, propietario y tipo de bosque de las parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

Parcela	Propietario	Tipo de bosque	Coordenadas geográficas Lambert Costa Rica Norte	
			Horizontal	Vertical
1	Enrique Sosa 01	Bosque intervenido	661165	183122
2	Enrique Sosa 02	Bosque intervenido	660951	183143
3	Gerardo Agüero 01	Bosque intervenido	663738	186782
4	Gerardo Agüero 02	Bosque intervenido	663501	186296
5	Luis Zuñiga	Bosque intervenido	663389	185717
6	Luis Valerio	Bosque secundario de 30 años de edad	661922	187605
7	Vianey Montero	Bosque intervenido	657542	188942
8	Facundo Villareal	Bosque intervenido	656638	188209
9	Julio Lobo	Bosque intervenido	657044	187548
10	Julio Gongora	Bosque secundario de 25 años de edad	668130	183053

De acuerdo al cuadro anterior, se lograron establecer en total 25 000 m<sup>2</sup> equivalente a 2,5 ha de muestreo, distribuidas equitativamente en diez parcelas. Según Lamprecht (1990), las áreas de muestreo mínimas requeridas son de 10 000 m<sup>2</sup> (1 ha) y aún mayores para tipos de bosques ricos en especies, siendo el área efectiva de este bosque mayor a la reportada por este autor.

Por otro lado Acosta (1998) utilizó 1,61 ha de muestreo, distribuidas en siete parcelas en el bosque de La Cangreja ubicado en Mastatal de Puriscal, siendo esta área igualmente mayor al área mínima recomendada por Lamprecht (1990).

### ***Parcela 1 (Finca Propiedad de Enrique Sosa)***

La propiedad se localiza en la localidad de Carbón 1, a aproximadamente unos 8 km de la comunidad de Hone Creek. El bosque se encuentra en un extremo de la propiedad, el área de bosque es de aproximadamente unas 30 ha, el bosque fue intervenido en el año 2001, a lo interno se observan caminos de extracción y evidencia de un aprovechamiento. La topografía del sitio es inclinado con pendientes que puede superar el 45 %. La parcela se instaló un sitio con topografía planas y un sector de la misma se encuentra en una loma con una pendiente promedio de 15% (un 20% de la parcela). Se encuentra cerca de un camino interno dentro del bosque y además no tiene cercanía con ninguna quebrada permanente.

Por otra parte, la parcela presenta un sotobosque ralos, dominado por algunas palmas de las especies *Bactris spp* y *Asterogyne martiana*. Además presenta una dominancia de dos especies de palmas de la familia Arecaceae, *Iriartea deltoidea* y *Socratea exorrhiza*.

El dosel superior alcanza alturas de 30 a 35 m donde es posible observar árboles de la especie *Dussia macrophyllata* (Frijolón), *Brosimum alicastrum* (Ojoche) y *Pentaclethra macroloba*, esta última dominando el dosel superior.

### ***Parcela 2 (Finca Propiedad de Enrique Sosa)***

Esta parcela se localiza a unos 100 m del sitio donde se localiza la parcela 1, dentro de la propiedad de Enrique Sosa. La topografía del sitio es inclinado con pendientes que puede superar el 45 %. La parcela se instaló un sitio con topografía plano-ondulada y un sector de la misma se encuentra en una loma con una pendiente promedio de 15% (un 20% de la parcela). Se encuentra cerca de un camino interno dentro del bosque y además esta cercana a quebrada permanente.

Por otra parte, al igual que la parcela 1, esta presenta un sotobosque ralo, dominado por algunas palmas de las especies *Bactris spp* y *Asterogyne martiana* y la dominancia de dos especies de palmas de la familia Arecaceae, principalmente *Iriartea deltoidea*, *Socratea exorrhiza*.

El dosel superior alcanza alturas de 30 m, donde es posible observar árboles de *Pentaclethra maculosa*, que domina el sitio, también se observan individuos de *Rollinia pittieri* que alcanzan esas alturas.

### ***Parcela 3 (Finca Propiedad de Gerardo Aguero)***

La propiedad se localiza en la localidad de Carbón 2, a aproximadamente unos 2 km antes de llegar a la comunidad. El bosque se encuentra muy cercano al camino de acceso y se encuentra cerca de un área de potreros. Este bosque también fue intervenido en el año 2002, el área de bosque es de aproximadamente unas 10 ha. La topografía del sitio es plano ondulado con pendientes que puede superar el 15 %. La parcela se instaló en un sitio de topografía plana.

El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de algunas palmas de los géneros *Geonoma spp* y *Asterogyne martiana*. En el estrato medio se observa la dominancia de palmas de la familia Arecaceae, principalmente *Iriartea deltoidea*, *Socratea exorrhiza*.

El dosel superior alcanza alturas de 30 m, donde es posible observar árboles de *Pentaclethra maculosa*, que domina el sitio, también se observan individuos de *Virola koschnyi* que alcanzan esas alturas.

### ***Parcela 4 (Finca Propiedad de Gerardo Aguero)***

El bosque se encuentra en una zona plana, inundable, con características de bosque ripario, alterado. Este bosque también fue intervenido en años anteriores, el área de bosque es de aproximadamente unas 10 ha. La topografía del sitio es totalmente plano y se inunda en la época lluviosa.

El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de algunas heliconias, como *Heliconia latispatha* y *Heliconia spp*. En el estrato medio se observa la dominancia de palmas de la familia Arecaceae, principalmente *Astrocaryum alatum* y *Iriartea deltoidea*, *Socratea exorrhiza*.

El dosel superior alcanza alturas de 30 m, donde es posible observar árboles de *Pouteria filipe*, *Quararibea Asterolepsis*, *Hieronyma alchorneoides*, que domina el sitio.

#### ***Parcela 5 (Finca Propiedad de Luis Zúñiga)***

La propiedad se localiza en la localidad de Carbón 2, la misma es colindante con la propiedad de Gerardo Agüero. El bosque se encuentra cercano a un área de potrero. Este bosque también fue intervenido en años anteriores, el área de bosque es de aproximadamente unas 40 ha. La topografía del sitio es plano ondulado con pendientes que puede superar el 15 %. La parcela se instaló un sitio con topografía plano-ondulada.

El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de algunas palmas de los géneros *Geonoma spp* y *Asterogyne martiana*. En el estrato medio se observa la dominancia de palmas de la familia Arecaceae, principalmente *Iriarteia deltoidea*, *Socratea exorrhiza*.

El dosel superior alcanza alturas de más de 30 m, donde es posible observar árboles de *Abarema macradenia*, *Brosimum alicastrum* y *Pentaclethra macroloba*, que domina el sitio, también se observan individuos de *Cordia bicolor* que alcanzan esas alturas.

#### ***Parcela 6 (Finca Propiedad de Luis Valerio)***

La propiedad se localiza en la localidad de Carbón 2, a aproximadamente un 1 km, del centro de la comunidad. El sitio donde se estableció la parcela corresponde a un bosque secundario de unos 30 años, dominado por árboles de *Pentaclethra macroloba*, que ocupan casi el 90 % de la totalidad de la parcela. La topografía del sitio es plano ondulado con pendientes que puede superar el 15 %. La parcela se instaló un sitio con topografía plano-ondulada. El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de *Pentaclethra macroloba*.

El dosel superior alcanza alturas de no más de 25 m, donde es posible observar árboles de *Cordia dwyeri*, y *Pentaclethra macroloba*, que domina el sitio.

### ***Parcela 7 (Finca Propiedad de Vianey Montero)***

La propiedad se localiza en la localidad de San Rafael de Pandora, a aproximadamente unos 5 km, de la carretera principal que conduce a Cahuita. El bosque se encuentra muy cercano al camino de acceso y se encuentra cerca de un área de bosque secundario e intervenido. Este bosque también fue intervenido en años anteriores, el área de bosque es de aproximadamente unas 20 ha. La topografía del sitio es plano ondulado con pendientes que puede superar el 15 %. La parcela se instaló un sitio con topografía plana.

El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de algunas palmas de los géneros *Geonoma spp* y *Asterogyne martiana*. En el estrato medio se observa la dominancia de palmas de la familia Arecaceae, principalmente *Euterpe precatória* y *Welfia georgii*.

El dosel superior alcanza alturas de 35 m, donde es posible observar árboles de *Hasseltia floribunda* y otras especies como *Pentaclethra macroloba* y *Cordia bicolor* que domina el sitio.

### ***Parcela 8 (Finca Propiedad de Facundo Villareal)***

La propiedad se localiza en la localidad de unos 2 km de San Rafael de Pandora. El bosque se encuentra muy cercano al camino de acceso y se encuentra cerca de un área de bosque secundario e intervenido y se localiza cercano a un área de potrero. Este bosque también fue intervenido en años anteriores, el área de bosque es de aproximadamente unas 20 ha. La topografía del sitio es ondulado con pendientes que puede superar el 15 %. La parcela se instaló un sitio con topografía ondulada.

El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de algunas palmas de los géneros *Geonoma spp* y *Asterogyne martiana*. En el estrato medio se observa la dominancia de palmas de la familia Arecaceae, principalmente *Euterpe precatória*, *Iriarteia deltoidea* y *Socratea exorrhiza*.



El dosel superior alcanza alturas de 35 m, donde es posible observar árboles de *Apeiba membranacea* y otras especies como *Pentaclethra macroloba*, *Carapa guianensis* y *Rollinia pittieri* que domina el sitio.

#### ***Parcela 9 (Finca Propiedad de Julio Lobo)***

La propiedad se localiza en la localidad de unos 2 km de San Rafael de Pandora. El bosque se encuentra muy cercano al camino de acceso y se encuentra cerca de un área de bosque secundario e intervenido y se localiza cercano a un área de potrero. Este bosque también fue intervenido en años anteriores, el área de bosque es de aproximadamente unas 20 ha. La topografía del sitio es plano-ondulado con pendientes que puede superar el 15 %. La parcela se instaló un sitio con topografía ondulada.

El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de algunas palmas de los géneros *Geonoma spp* y *Asterogyne martiana*. En el estrato medio se observa la dominancia de palmas de la familia Arecaceae, principalmente *Welfia georgii*, *Iriarteia deltoidea* y *Socratea exorrhiza*.

El dosel superior alcanza alturas de 35 m, donde es posible observar árboles de *Lonchocarpus sp* y otras especies como *Pentaclethra macroloba*, *Pouteria filipes* y *Licania arborea* que domina el sitio.

#### ***Parcela 10 (Finca Propiedad de Julio Gongora)***

La propiedad se localiza en la localidad en la comunidad de Hone Creek. El bosque se encuentra muy cercano a la carretera que conduce a Puerto Viejo de Limón, y cercano al río Carbón. Este es un bosque secundario dominado por *Inga oerstediana*, ya que el sitio anteriormente se encontraba sembrado de *Theobroma cacao* también fue intervenido en años anteriores, el área de bosque es de aproximadamente unas 10 ha. La topografía del sitio es plana. La parcela se instaló un sitio totalmente plano.

El bosque presenta un sotobosque ralo con la presencia de árboles cultivados de *Theobroma cacao*.

El dosel superior alcanza alturas de 30 m, donde es posible observar árboles de *Castilla elastica*, *Spondias mombim* y *Inga oerstediana* que domina el sitio.

### **Composición florística del sitio**

La composición florística y riqueza de especies de los bosques tropicales constituyen uno de los ecosistemas más diversos y complejos del mundo. 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 factores como el clima, tipo de suelo, competencia intra e interespecífica entre individuos, de la ocurrencia de claros dentro del bosque y de la capacidad que tenga el bosque para recuperar estas áreas por otras especies invasoras (heliófitas). (Richards , 1996 citado por Leiva, 2001).

La riqueza de especies depende de la ubicación geográfica del sitio por las variaciones climáticas (temperatura, precipitación, disponibilidad de luz, etc) que se presentan de un sitio a otro. Así, conforme aumenta la altitud y latitud disminuye la diversidad de especies (Richards, 1996 citado por Leiva, 2001).

En el cuadro 3 se presentan las especies (con diámetros  $\geq 10$  cm) identificadas en las diez parcelas de 2500 m<sup>2</sup> en los bosques de la Cuenca del Río Carbón.

En este sitio los individuos encontrados se distribuyen en: 49 familias, 124 géneros y 175 especies. A continuación se incluye un listado de las especies encontradas en las parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón.

**Cuadro 3.** Listado de especies encontradas en diez parcelas permanentes de muestreo en el bosque húmedo tropical de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

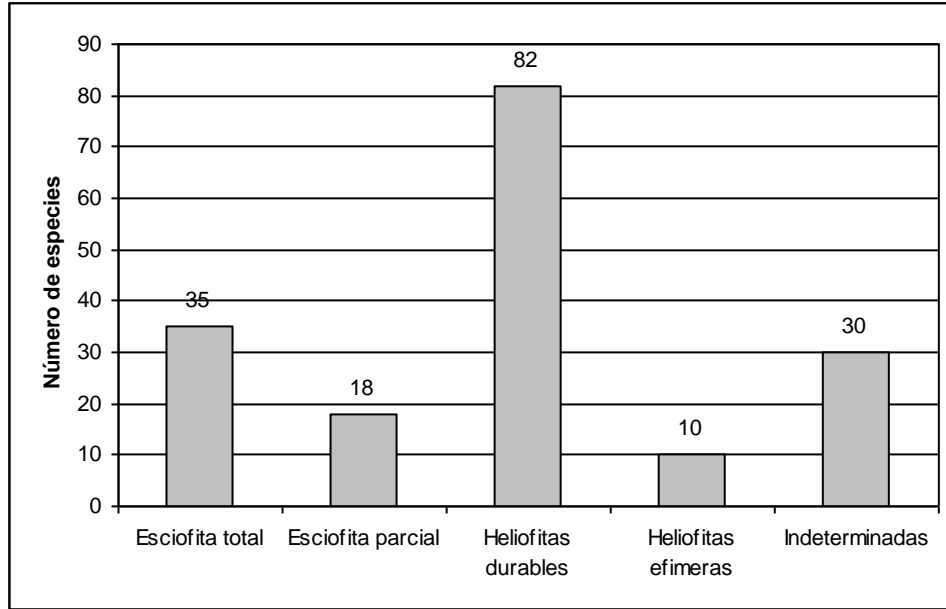
<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Grupo Ecológico</b>
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i>	HD
Annonaceae	<i>Anaxagorea crassipetala</i>	ET
	<i>Annonaceae</i>	ID
	<i>Duguetia panamensis</i>	ET
	<i>Guatteria aeruginosa</i>	HD
	<i>Guatteria diospyroides</i>	HD
	<i>Rollinia pittieri</i>	HD
	<i>Unonopsis storkii</i>	EP
Apocynaceae	<i>Stemmadenia sp</i>	ID
Aquifoliaceae	<i>Ilex skutchii</i>	ET
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	HD
Arecaceae	<i>Astrocaryum alatum</i>	HD
	<i>Bactris sp</i>	ID
	<i>Cryosophila guagara</i>	ET
	<i>Cryosophila warscewiczii</i>	ET
	<i>Euterpe precatória</i>	ET
	<i>Iriartea deltoidea</i>	ET
	<i>Socratea exorrhiza</i>	ET
	<i>Welfia georgii</i>	ET
Bignoniaceae	<i>Amphitecna sp</i>	ID
	<i>Amphytecna sp2</i>	ID
Bombacaceae	<i>Pachira aquatica</i>	HD
	<i>Quararibea asterolepis</i>	HD
	<i>Quararibea obliquifolia</i>	HD
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i>	HD
	<i>Cordia bicolor</i>	HD
	<i>Cordia cymosa</i>	HD
	<i>Cordia dwyeri</i>	HD
	<i>Cordia lucidula</i>	HD
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	HD
	<i>Protium costaricense</i>	HD
	<i>Protium glabrum</i>	HD
	<i>Protium pittieri</i>	HD
	<i>Protium sp</i>	ID
	<i>Trattinnickia aspera</i>	HD
Capparidaceae	<i>Capparis pittieri</i>	HD
Caricaceae	<i>Jacaratia dolichaula</i>	HE
	<i>Jacaratia spinosa</i>	HE
Cecropiaceae	<i>Cecropia insignis</i>	HE
	<i>Cecropia obtusifolia</i>	HE
	<i>Pourouma bicolor</i>	HD
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella aff lensii</i>	ET
	<i>Hirtella triandra</i>	ET
	<i>Licania sp</i>	EP

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Grupo Ecológico</b>
	<i>Licania hypoleuca</i>	EP
	<i>Maranthes panamensis</i>	ET
Clusiaceae	<i>Dystovomita paniculata</i>	ET
	<i>Garcinia intermedia</i>	ET
	<i>Garcinia madruno</i>	ET
	<i>Marila pluricoustata</i>	HD
	<i>Tovomita croatii</i>	EP
Desconocido	<i>Desconocido</i>	HE
Dichapetalaceae	<i>Dichapetalum rugosum</i>	ET
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea pica pica</i>	EP
Euphorbiaceae	<i>Adelia triloba</i>	HD
	<i>Alchornea costaricensis</i>	HD
	<i>Alchorneopsis floribunda</i>	HD
	<i>Croton schiedeanus</i>	HE
	<i>Drypetes standleyi</i>	EP
	<i>Hura crepitans</i>	HD
	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	HD
Fabaceae/Caes.	<i>Macrolobium costaricensis</i>	ET
Fabaceae/Mim.	<i>Abarema macradenia</i>	EP
	<i>Inga (11/2)</i>	ID
	<i>Inga alba</i>	HD
	<i>Inga chocoensis</i>	HD
	<i>Inga coruscans</i>	HD
	<i>Inga densiflora</i>	HD
	<i>Inga oerstediana</i>	HD
	<i>Inga marginata</i>	HD
	<i>Inga sapindoides</i>	HD
	<i>Inga sp.</i>	ID
	<i>Inga spectabilis</i>	HD
	<i>Inga thibaudiana</i>	HD
	<i>Inga umbellifera</i>	HD
	<i>Pentaclethra macroloba</i>	EP
	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	HD
Fabaceae/Pap.	<i>Dipteryx panamensis</i>	HD
	<i>Dussia macrophyllata</i>	HD
	<i>Lecointea amazónica</i>	ET
	<i>Papilionaceae</i>	ID
	<i>Pterocarpus hayesii</i>	HD
	<i>Pterocarpus sp</i>	ID
	<i>Swartzia simplex</i>	EP
.	<i>Lonchocarpus sp</i>	ID
Flacourtiaceae	<i>Casearia arborea</i>	HD
	<i>Casearia commersoniana</i>	HD
	<i>Casearia coronata</i>	HD
	<i>Hasseltia floribunda</i>	HD
	<i>Hasseltiopsis dioica</i>	HD
	<i>Laetia procera</i>	HD
	<i>Ryania speciosa</i>	HD

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Grupo Ecologico</b>
Hernandiaceae	<i>Hernandia didymantha</i>	HD
Hippocastanaceae	<i>Billia rosea</i>	ET
Humiriaceae	<i>Sacoglothis trichogina</i>	ET
Lauraceae	<i>Licaria sarapiquensis</i>	ET
	<i>Ocotea ira</i>	HD
	<i>Ocotea sp</i>	ID
	<i>Ocotea sp1</i>	ID
	<i>Ocotea sp2</i>	ID
	<i>Ocotea sp3</i>	ID
	<i>Ocotea veraguensis</i>	HD
	<i>Persea sp</i>	ID
	<i>Pleurothyrium sp.</i>	ID
Lecythidaceae	<i>Eschweilera calyculata</i>	ET
	<i>Eschweilera sp</i>	ID
Malvaceae	<i>Hampea appendiculata</i>	HE
Melastomataceae	<i>Melastomataceae</i>	ID
	<i>Miconia argentea</i>	HE
	<i>Miconia sp</i>	ID
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i>	EP
	<i>Guarea bullata</i>	ET
	<i>Guarea guidonia</i>	ET
	<i>Guarea kunthiana</i>	ET
	<i>Guarea macrophylla</i>	ET
	<i>Guarea sp.</i>	ID
	<i>Trichilia septentrionalis</i>	HD
Monimiaceae	<i>Mollinedia viridiflora</i>	HD
	<i>Siparuna aff guianensis</i>	HD
	<i>Siparuna cuspidata</i>	HD
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	ET
	<i>Brosimum guianense</i>	ET
	<i>Brosimum lactescens</i>	EP
	<i>Brosimum sp</i>	ID
	<i>Castilla elastica</i>	HD
	<i>Ficus sp</i>	ID
	<i>Naucleopsis naga</i>	ET
	<i>Perebea hispidula</i>	HD
	<i>Poulsenia armata</i>	HD
	<i>Pseudolmedia spuria</i>	EP
	<i>Sorocea pubivena</i>	HD
	<i>Trophis racemosa</i>	HD
Myristicaceae	<i>Otoba acuminata</i>	HD
	<i>Otoba novogranatensis</i>	HD
	<i>Virola koschnyi</i>	HD
	<i>Virola sebifera</i>	HD
	<i>Virola surinamensis</i>	HD
Myrsinaceae	<i>Ardisia sp</i>	ID
	<i>Myrcia sp</i>	ID
Myrtaceae	<i>Eugenia sp</i>	ID

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Grupo Ecologico</b>
Nyctaginaceae	<i>Neea aff psycotrifolia</i>	ET
	<i>Heisteria coccinea</i>	EP
Polygalaceae	<i>Moutabea sp</i>	ET
Rubiaceae	<i>Chimarrhis parviflora</i>	HD
	<i>Coussarea impetolaris</i>	HD
	<i>Duroia costaricensis</i>	ET
	<i>Faramea occidentalis</i>	HD
	<i>Psychotria grandis</i>	HD
	<i>Psychotria panamensis</i>	EP
	<i>Rubiaceae</i>	ID
	<i>Rudgea cornifolia</i>	EP
	<i>Warszewiczia coccinea</i>	HD
Rutaceae	<i>Zanthoxylum ekmanii</i>	HD
Sabiaceae	<i>Meliosma grandiflora</i>	HD
Sapindaceae	<i>Cupania glabra</i>	HD
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum venezuelanenses</i>	ET
	<i>Micropholis crotonoides</i>	ET
	<i>Pouteria filipes</i>	ET
	<i>Pouteria reticulata</i>	ET
	<i>Pouteria sp</i>	ID
	<i>Pouteria torta</i>	ET
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i>	HD
Sterculiaceae	<i>Sterculia costaricana</i>	HD
	<i>Sterculia recordiana</i>	HD
	<i>Theobroma cacao</i>	HD
	<i>Theobroma angustifolium</i>	HD
Tiliaceae	<i>Apeiba membranaceae</i>	HD
	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	HE
	<i>Luehea seemannii</i>	HD
	<i>Tiliaceae</i>	ID
Ulmaceae	<i>Ampelocera macrocarpa</i>	HD
	<i>Celtis schiippi</i>	HD
	<i>Trema integerrima</i>	HE
Violaceae	<i>Rinorea crenata</i>	HD
	<i>Rinorea sp.</i>	ID

Del total 175 de especies encontradas en los bosque de la Cuenca de Río Carbón, según su grupo ecológico 37 especies se clasifican como esciófitas totales, 15 especies como esciófitas parciales, 83 especies como heliófitas durables, 10 especies como heliófitas efímeras y además un grupo de 30 especies que no se identifico a nivel de especie por lo que clasificó como indeterminadas, en la figura 4 se muestra esta distribución.



**Figura 4.** Clasificación de especies según grupo ecológico para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

Las especies se agrupan de acuerdo a sus características botánicas en familias. Según las especies reportadas, se tiene que la familia Fabaceae subfamilia Mimosoidae y Meliaceae son las que presentan mayor cantidad, con un total de ses especies. La distribución de otras especies según la familia a la que pertenece se presenta en el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Distribución de especies de las diez familias más abundantes en el bosque húmedo tropical, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

<b>Familia</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Fabaceae - Mim.	15	8,57
Moraceae	12	6,86
Lauraceae	9	5,14
Rubiaceae	9	5,14
Fabaceae - Pap	8	4,57
Meliaceae	7	4,00
Flacourtiaceae	7	4,00
Arecaceae	7	4,00
Annonaceae	7	4,00
Sapotaceae	6	3,43
Otras 39 familias	87	49,71
<b>TOTAL</b>	<b>175</b>	<b>100,00</b>

Se observa que existe el dominio de la familia Fabaceae-Mimosoidae y de las Moraceae en particular en este bosque de la Cuenca del Río Carbón; todas las otras especies que lo constituyen se encuentran distribuidas en forma proporcional en las 49 familias reportadas.

Un inventario florístico realizado por Acosta (1998) en la Zona de la Cangreja, determinó que dentro de las familias más importantes por número de especies se mencionan a las Meliaceae y Mimosaceae, las cuales resultan ser las de mayor abundancia en ese bosque.



## Caracterización de la estructura del bosque

Las parcelas permanentes de muestreo proporcionan información de composición florística y estructura del bosque, productibilidad y posibles usos para su manejo.

A continuación se presentan los valores de área basal y número de individuos por hectárea y por parcela, las cuales son variables de importancia para conocer la estructura de este bosque, o bien para caracterizarlo.

**Cuadro 2. Resumen del área basal y número de individuos por parcela y por hectárea, junto con los estadísticos calculados para los bosques intervenidos, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.**

Parcela	Área (m <sup>2</sup> )	Datos por parcela		Datos por hectárea	
		Árboles	Área basal (m <sup>2</sup> )	Árboles	Área basal (m <sup>2</sup> )
Enrique Sosa 01	2500	169	7,92	676	31,66
Enrique Sosa 02	2500	175	7,95	700	31,80
Facundo Villareal	2500	119	7,95	476	31,79
Gerardo Agüero 01	2500	131	6,73	524	26,91
Gerardo Agüero 02	2500	107	5,99	428	23,95
Julio Lobo	2500	152	6,61	608	26,45
Luis Zuñiga	2500	120	6,87	480	27,48
Vianey Montero	2500	137	5,90	548	23,61
<b>Datos</b>			<b>X</b>	555,00	27,96
Tamaño parcela (ha) = 0,250			<b>S</b>	98,18	3,42
Tamaño muestra (n) = 8			<b>CV</b>	0,18	0,12
T $\alpha/2$ = 2,306			<b>S<sub>x</sub></b>	33,25	1,21
			<b>E</b>	82,08	2,86
			<b>% EM</b>	14,79	10,22

De acuerdo al cuadro anterior el porcentaje de error para el área basal y el número de individuos por hectárea fueron de 10,22% y 14,79% respectivamente que representan valores situados dentro del parámetro de aceptación para inventarios realizados en bosque natural, el cual debe ser menor al 20%, según lo establecido en el artículo 18 del

Reglamento a la Ley Forestal 7575, lo cual evidencia que los datos determinados son confiables.

En los capítulos siguientes, se analizará con detalle las variables número de árboles y área basal, como dos variables de suma importancia en la caracterización silvicultural del ecosistema (bosque).

**Cuadro 3. Resumen del área basal y número de individuos por parcela y por hectárea, junto con los estadísticos calculados para los bosques secundarios, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.**

Parcela	Área (m <sup>2</sup> )	Datos por parcela		Datos por hectárea	
		Árboles	Área basal (m <sup>2</sup> )	Árboles	Área basal (m <sup>2</sup> )
Julio Gongora	2500	120	5,20	480	20,80
Luis Valerio	2500	180	5,73	720	22,91
Datos			<b>X</b>	600,00	21,86
Tamaño parcela (ha) = 0,250			<b>S</b>	169,71	3,42
Tamaño muestra (n) = 2			<b>CV</b>	0,28	0,12

De acuerdo al cuadro anterior para los bosques secundarios no es posible determinar un error de muestreo por el número tan pequeños de sitios muestreados, pero es evidente que ambos sitios pueden alcanzar valores superiores a los 11 m<sup>2</sup>/ha .

### **Estructura horizontal**

Para entender la distribución espacial de las diferentes especies en el bosque, es necesario comprender la dinámica originada por la caída de los árboles y los microambientes que éstos forman, permitiendo el establecimiento y desarrollo de diferentes especies, siendo un generador de diversidad y un factor que mantiene la dinámica del bosque (Siteo, 1992); además la presencia de una especie en un sitio determinado responde, por una parte, a las exigencias ambientales y la estrategia de supervivencia de la especie, y por otra parte, a las características del sitio y la estructura del bosque (Louman, 2001).

## **Coefficiente de mezcla e índices indicadores de composición florística**

El coeficiente de mezcla proporciona una indicación somera de la intensidad de mezcla, que se presenta al nivel de interacción intra e interespecífica en el ámbito de ecosistemas o de bloques de bosques o bien al nivel de parcelas dentro de un bosque. Los valores dependen fuertemente del diámetro menor de medición y del tamaño de la muestra (Lamprecht, 1990), y de la distancia entre las parcelas o bien la fragmentación del ecosistema.

El cociente de mezcla para el bosque transicional en estudio fue de 1:8; esto indica que por cada 8 individuos muestreados aproximadamente, es posible encontrar una nueva especie, por lo que este bosque puede considerarse con una alta diversidad. Este coeficiente se puede comparar con un bosque seco tropical ubicado en el Parque Nacional Guanacaste, el cual registró para la parcela 3 (individuos mayores a 10 cm) un coeficiente de mezcla de 1:11 (Fonseca *et al*, 2002), siendo éste valor muy similar al reportado por este bosque. Otro estudio en un bosque seco tropical ubicado en el Valle del Magdalena, Colombia, se encontró un coeficiente de mezcla de 1:7 para individuos con diámetros mayores a 10 cm, mientras que un bosque lluvioso de colinas bajas ubicado en la región del Litoral Pacífico, Colombia registró un valor de 1:3,98, presentando una mayor proporción de mezcla respecto al bosque seco (Melo y Vargas, 2003), y por consiguiente a este bosque transicional

En bosques secundarios en la Estación Biológica la Selva, reportan coeficientes de mezcla entre 1:6 y 1:7 según Leiva (2001). En Carare, Colombia, el coeficiente de mezcla aproximado es de 1:7 (Lamprecht, 1990). Quesada (1997), reporta para bosques intervenidos en la Región Huertar Norte coeficientes de 1:8, y Valverde (1997), encontró valores de 1:3 para bosques primarios en la región de Talamanca-Bibri.

Por otro lado, Lamprecht (1990) señala que para bosques amazónicos el coeficiente de mezcla varía entre 1:3 y 1:4, observándose una gran diferencia entre estos bosques y el estudiado.

El índice de Shannon ( $H$ ) dio un valor de 1,67, el cual define la diversidad del sitio como media, ya que según Magurran (1988) el índice de diversidad de Shannon – Wiener varía entre 1,5 y 3,5, y rara vez alcanza valores de 4,5, por lo que valores cercanos a 3,5 reflejan sitios muy diversos, resultando este bosque medianamente diverso de acuerdo a este rango establecido. Por otra parte el índice de equidad o uniformidad de Shannon fue de 0,72, el cual varía entre 0 y 1 siendo la unidad el máximo valor, por lo que la distribución de individuos entre las especies no es completamente equitativo para este bosque, puesto que para lograr esto el  $H$  ha de ser máximo cuando el reparto es completamente equitativo (Díaz, 2007).

Por su parte el índice de Simpson es determinado por la abundancia de las especies más importantes, a su vez da la probabilidad de que dos individuos tomados al azar pertenezcan a la misma especie. Sus valores varían entre 0 y 1, de este modo a valores más bajos corresponden sitios más diversos (Quesada, 1997). En este caso en particular el valor de 0,09, indica que de cada 100 veces que se tome al azar un par de individuos en nueve oportunidades corresponderán a la misma especie. Por lo tanto según el planteamiento de este índice este sitio resulta poco diverso. Un caso contrario ocurre en el bosque húmedo tropical ubicado en el Zona de la Cangreja que registró un valor de 0,03, indicando que de cada 100 veces que se tome al azar un par de individuos en tres oportunidades los individuos serán de la misma especie y las restantes serán de especies diferentes, por lo que el sitio se caracteriza como diverso (Acosta, 1998).

En el siguiente cuadro se presenta el resumen en forma de matriz, de las especies presentes dentro de cada parcela, así como el valor del índice de Sørensen.

**Cuadro 4. Número de especies presentes en cada parcela y especies en común entre las parcelas para el cálculo del índice de Sørensen, en las parcelas permanentes de muestreo en el bosque húmedo tropical, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.**

Propiedad	No de Especies	Enrique Sosa 01	Enrique Sosa 02	Gerardo Agüero 01	Gerardo Agüero 02	Luis Zuñiga	Luis Valerio	Vianey Montero	Facundo Villareal	Julio Lobo	Julio Gongora
Enrique Sosa 01	34		15	14	8	13	7	10	7	13	1
Enrique Sosa 02	39	15		12	8	16	6	11	13	12	4
Gerardo Agüero 01	49	14	12		13	18	10	11	12	12	4
Gerardo Agüero 02	49	8	8	13		12	5	7	13	8	5
Luis Zuñiga	44	13	16	18	12		8	13	16	16	1
Luis Valerio	17	7	6	10	5	8		7	5	9	2
Vianey Montero	34	10	11	11	7	13	7		10	16	5
Facundo Villareal	40	7	13	12	13	16	5	10		15	3
Julio Lobo	45	13	12	12	8	16	9	16	15		2
Julio Gongora	18	1	4	4	5	1	2	5	3	2	

**Cuadro 5. Índice de Sørensen, en las parcelas permanentes de muestreo en el bosque húmedo tropical, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010**

Propiedad	No de Especies	Enrique Sosa 01	Enrique Sosa 02	Gerardo Agüero 01	Gerardo Agüero 02	Luis Zuñiga	Luis Valerio	Vianey Montero	Facundo Villareal	Julio Lobo	Julio Gongora
Enrique Sosa 01	34	0,00	41,10	33,73	19,28	33,33	27,45	29,41	18,92	32,91	3,85
Enrique Sosa 02	39	41,10	0,00	27,27	18,18	38,55	21,43	30,14	32,91	28,57	14,04
Gerardo Agüero 01	49	33,73	27,27	0,00	26,53	38,71	30,30	26,51	26,97	25,53	11,94
Gerardo Agüero 02	49	19,28	18,18	26,53	0,00	25,81	15,15	16,87	29,21	17,02	14,93
Luis Zuñiga	44	33,33	38,55	38,71	25,81	0,00	26,23	33,33	38,10	35,96	3,23
Luis Valerio	17	27,45	21,43	30,30	15,15	26,23	0,00	27,45	17,54	29,03	11,43
Vianey Montero	34	29,41	30,14	26,51	16,87	33,33	27,45	0,00	27,03	40,51	19,23
Facundo Villareal	40	18,92	32,91	26,97	29,21	38,10	17,54	27,03	0,00	35,29	10,34
Julio Lobo	45	32,91	28,57	25,53	17,02	35,96	29,03	40,51	35,29	0,00	6,35
Julio Gongora	18	3,85	14,04	11,94	14,93	3,23	11,43	19,23	10,34	6,35	0,00

De acuerdo al cuadro anterior y teniendo en cuenta que valores cercanos a 1 indican alta homogeneidad, se tiene que la mayoría de valores son menores al 40 %, por lo que las parcelas comparadas que mostraron estos valores son diferentes, puesto los valores obtenidos indican que comparten entre el 3,0% y un 40 % de las especies. Por ejemplo en el caso de las parcelas comparadas Enrique Sosa 01 y Enrique Sosa 02, aunque se determinó un 41,10 % de similitud, siendo el valor más alto obtenido. Mientras que las parcelas ubicadas en las propiedades de Luis Zuñiga y Julio Góngora reporta el valor de similitud más bajo de 3,23%. Lo cual nos indica que pese a ubicarse las parcelas en una misma cuenca los sitios presentan una composición florística muy diferente.

Es interesante mencionar, que en un estudio realizado en un bosque primario localizado en Boca Tapada, San Carlos, Costa Rica, se obtuvo a partir de las comparaciones de las parcelas valores de homogeneidad menores al 50 %, esto se atribuye al hecho de que se presenta una alta heterogeneidad en todo el bosque (Quirós, 2002), siendo este caso muy diferente al bosque analizado.

Guariguata & Ostertag (2001), mencionan que el incrementó del grado de semejanza de los bosques secundarios con los bosques primarios (especialmente en estructura y riqueza de especies) se da conforme aumentan su edad de desarrollo. No sucede así con la composición florística, la cual se cree que necesita varios siglos para llegar a ser valores similares.

Según Wadsworth (2000), la riqueza de los bosques húmedos tropicales primarios se debe en parte, a que la coevolución y sucesión han progresado hasta un punto de estabilidad relativa, donde las especies obtienen provecho de su interdependencia con otros individuos.

### **Índice de Valor de Importancia (IVI)**

Este índice describe la importancia de las especies dentro del 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).

Así, se tiene que a mayores valores de IVI mayor será la importancia de la especie dentro del bosque con respecto a las demás especies y por lo tanto mayor concentración de recursos. Sin embargo, no debe perderse la concepción sobre este criterio y debe tenerse claro que todas las especies son de suma importancia para mantener la dinámica del bosque, tanto en estructura como en composición (Lamprecht, 1990).

En el cuadro 4 se muestra el comportamiento de la abundancia, frecuencia y abundancia para las diez especies dominantes en cada criterio.

**Cuadro 6.** Abundancias, frecuencias y dominancias (relativas) para las diez especies con valores más altos en los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

<b>Especie</b>	<b>Abundancia Relativa (%)</b>	<b>Frecuencia Relativa (%)</b>	<b>Dominancia Relativa (%)</b>
<i>Pentaclethra macroloba</i>	15,46	33,38	10,41
<i>Iriartea deltoidea</i>	14,47	7,73	10,21
<i>Socratea exorrhiza</i>	9,15	3,28	8,31
<i>Cordia bicolor</i>	2,27	2,66	2,60
<i>Dendropanax arboreus</i>	2,20	1,56	2,90
<i>Inga oerstediana</i>	1,99	2,91	1,40
<i>Laetia procera</i>	2,41	1,34	2,50
<i>Welfia georgii</i>	2,27	1,11	2,60
<i>Miconia sp</i>	2,91	0,94	1,90
<i>Apeiba membranacea</i>	0,64	3,47	0,90
Subtotal de las 10 especies	53,76	58,39	43,74
Resto de las 165 especies	46,24	41,61	56,26
Total	100,00	100,00	100,00

De acuerdo con los resultados del cuadro 7, *Pentacletra macroloba*, es la especie que presenta los mayores valores de abundancia, frecuencia y dominancia relativa, esta especie presenta una distribución amplia en la Cuenca del Río Carbón, ya que es posible localizar

al menos un individuo en 33,38% de las subparcelas establecidas. Lo anterior nos indica que es una especie con alta capacidad de adaptarse a diferentes condiciones (lumínicas, suelo, pendiente, otras).

*Iriartea deltoidea* fue la especie que reportó el segundo valor más alto de abundancia, frecuencia y dominancia relativa, pese a ser una especie que no alcanza diámetros superiores a los 30 cm , esto demuestra que tiene gran capacidad para aprovechar los nutrimentos disponibles y desarrollarse a plenitud. Esto no quiere decir que es la especie que mejor se está desarrollando dentro del bosque, porque existen otras especies que no necesitan tener grandes dimensiones para satisfacer sus necesidades (esciófitas totales).

El comportamiento de éstas y otras especies se observa en el cuadro 8, donde el Índice de Valor de Importancia representa el valor ecológico de las especies en el bosque.

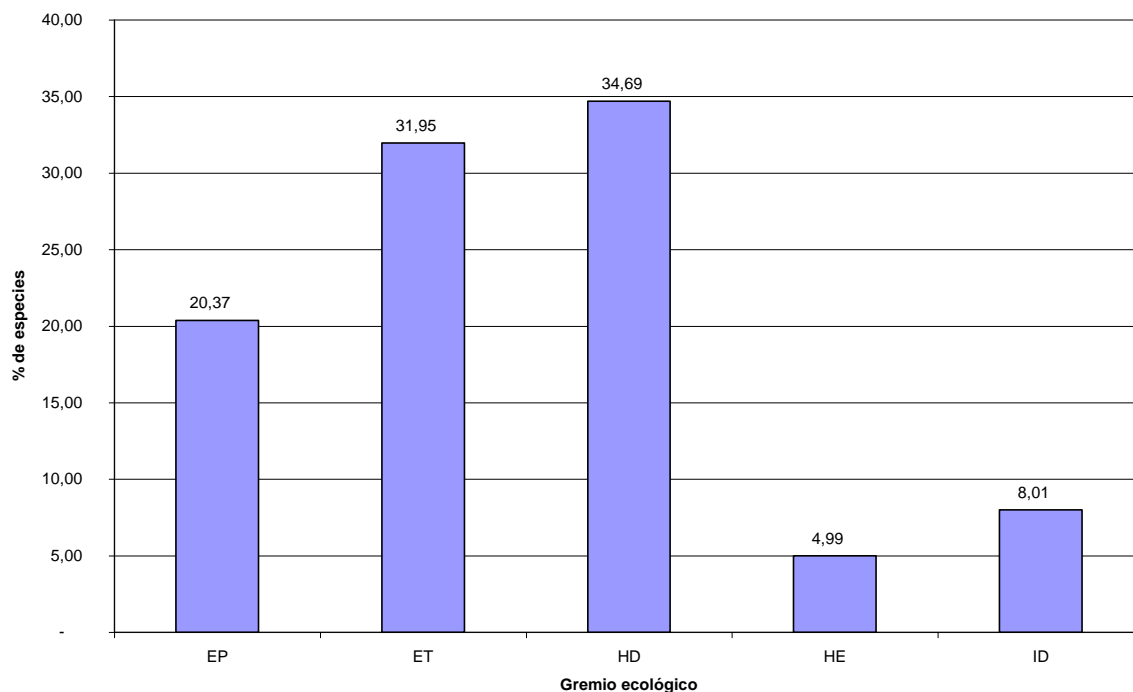
**Cuadro 7.** Índice de Valor de Importancia para las diez especies con valores más altos en los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

<b>Especie</b>	<b>IVI</b>
<i>Pentaclethra macroloba</i>	59,25
<i>Iriartea deltoidea</i>	32,41
<i>Socratea exorrhiza</i>	20,74
<i>Cordia bicolor</i>	7,53
<i>Dendropanax arboreus</i>	6,67
<i>Inga oerstediana</i>	6,30
<i>Laetia procera</i>	6,25
<i>Welfia georgii</i>	5,98
<i>Miconia sp</i>	5,75
<i>Apeiba membranacea</i>	5,01
Subtotal de 10 especies	155,89
Resto de las 165 especies	144,11
Total	300,00



## Tolerancia ecológica

La figura 5 resume la abundancia por hectárea de los individuos presentes en las ocho parcelas en cuanto a las diferentes tolerancias ecológicas determinadas en el bosque en estudio:



**Figura 2. Distribución de la abundancia (N/ha) por grupos ecológicos determinados por los un bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.**

De acuerdo a la figura 5 el grupo ecológico que domina en abundancia son las heliófitas durables con un 34,69 %, seguido por las esciófitas totales con 31,95%, mientras que las esciofitas parciales registraron el 20,37 % de los individuos y las heliófitas efímeras en un 4,99 %, mientras que el grupo de las indeterminadas un 8,01 % del total de especies. Este ultimo grupo de indeterminadas corresponde a especies que no se identificaron a nivel de especie, solo a nivel de genero y/o familia, por lo que no se ubicó en ninguna de los gremios ecológicos

De acuerdo a lo que establece el Código de Prácticas para los Principios, Criterios e Indicadores para el manejo de bosque natural en Costa Rica, un bosque para ser sujeto de aprovechamiento debe encontrarse bajo un Valor de Referencia Máximo (VRMx) de abundancia del gremio de las especies heliófitas efímeras. La abundancia de los árboles del gremio ecológico conformado por las especies heliófitas efímeras no debe superar el 15% del total de árboles arriba de 10 cm, diámetro a 1,3 m del suelo, con base en los resultados del número de árboles del inventario por muestreo.

De acuerdo a los resultados obtenidos para los bosques de la Cuenca del Río Carbón todos cumplen con la condición de presentar un valor de referencia máximo de especies que se ubican por debajo de 15 %, aunque se incluyan las indeterminadas en la categoría de las heliófitas efímeras.

### **Curva especie/área**

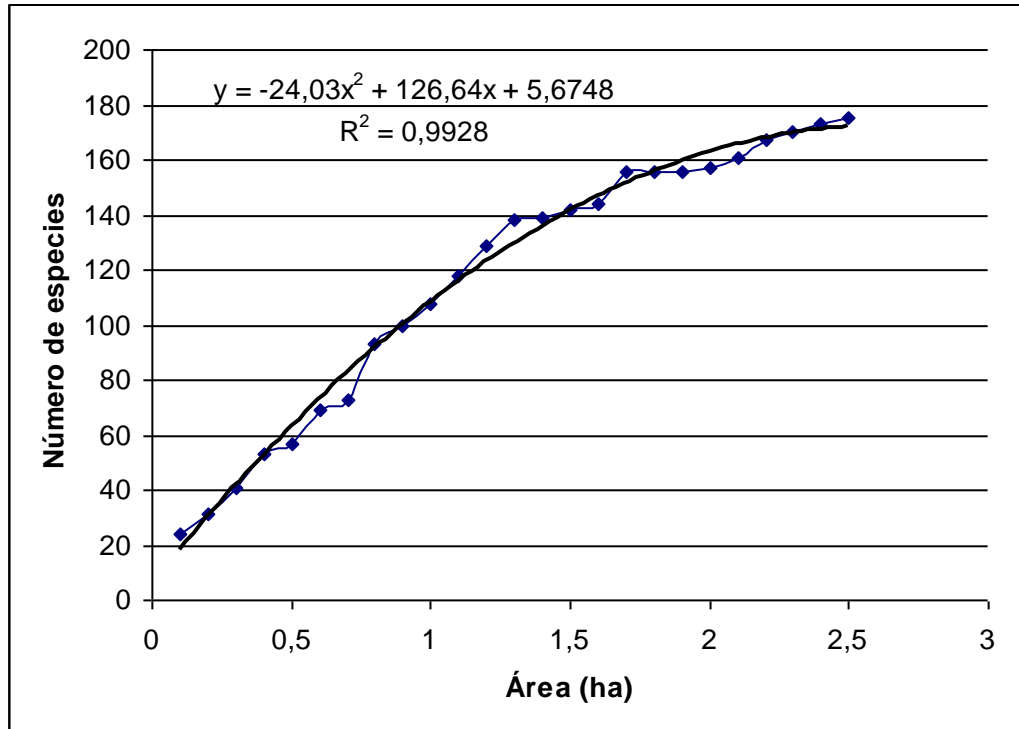
La curva especie por área representa hasta ahora el mejor criterio para la determinación del área florística mínima a muestrear. Al mismo tiempo esta área mínima por especies arbóreas, depende en buen grado de la selección del límite diamétrico inferior de medición, ya que cuanto menor sea este, más pequeña es el área y mayor el trabajo por unidad de superficie a ser realizado debido a que la cantidad de árboles de diámetro reducido se incrementa desproporcionalmente. (Lamprecht 1990).

En el siguiente cuadro se muestran los valores de área y número de especies acumuladas en el bosque en estudio:

**Cuadro 8. Número de especies acumuladas cada 0,1 ha para la elaboración de la curva especie/área, para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica.2010.**

Área (ha)	Especies		Área (ha)	Especies	
	Nuevas	Total		Nuevas	Total
0,1	24	24	1,4	1	139
0,2	7	31	1,5	3	142
0,3	10	41	1,6	2	144
0,4	12	53	1,7	12	156
0,5	5	57	1,8	0	156
0,6	12	69	1,9	0	156
0,7	4	73	2	1	157
0,8	10	93	2,1	4	161
0,9	7	100	2,2	6	167
1	7	108	2,3	3	170
1,1	10	118	2,4	3	173
1,2	11	129	2,5	2	175
1,3	10	138			

En la figura 6 se presenta la gráfica que ilustra la curva especie/área. En ella se grafica el área total muestreada, a la vez que se traza la línea de mejor ajuste entre los puntos, por medio de la cual se puede determinar el área mínima de muestreo por medios matemáticos.



◆—◆ Especies acumuladas      — Polinómica (Especies acumuladas)

**Figura 3. Curva especie/área para el Bosque muy húmedo transición a basal, piso premontano, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica.2010.**

Según la figura anterior, la línea de tendencia correspondiente presenta un  $R^2$  de 99,28, el cual indica que existe una correlación muy alta entre los datos. Al sustituir la X igual a 2,5 ha dentro de la ecuación, es posible encontrar teóricamente 172 especies, tres especie menos a las identificadas en el campo. Además al observar la línea de mejor ajuste, se observa que a partir de 2,0 ha el número de especies se empieza a mantener estable por lo que no ocurre un incremento significativo de las mismas.

La ecuación  $y = -24,03x^2 + 126,64x + 5,6748$ , representa la línea de mejor ajuste a la línea de tendencia de las especies acumuladas. Utilizando el criterio de la primera derivada, se puede obtener el punto de inflexión, el cual para este caso indicaría el área máxima donde se dejarán de muestrearse nuevas especies.

Al derivar la función se tiene que  $f(x)^1 = -48,06x + 126,64$ , al despejar “x” se obtiene el punto de inflexión mismo que corresponde al área, el cual al sustituirlo dentro de la ecuación original se obtiene el número de especies para el área. De esta manera el área es de 2,63 ha dentro de las cuales es posible encontrar 175 especies, siendo el área total muestreada y el número de especies identificadas muy similares a estos valores calculados.

Sin embargo, si se sigue la propuesta de Cain y Castro (1959) citados por Lamprecht (1990), quienes consideran que se ha obtenido el área mínima, cuando una ampliación de ésta en un 10%, produce un incremento en especies nuevas menor del 10%, por lo que el área mínima para este bosque es de 2 ha, ya que a partir de 2,1 ha el incremento de especies es menor a 3,59 %.

### **Distribución de individuos por clase diamétrica**

La distribución diamétrica de un bosque es reflejo de la interacción de las especies y de su capacidad intrínseca y/o estrategia para mantenerse a lo largo del tiempo y sobrevivir a los cambios a que están sometidos. Es necesario entender la dinámica originada por la caída de los árboles, que forman una variedad de microambientes que permiten el establecimiento y desarrollo de diferentes especies; siendo un generador de diversidad y un factor que mantiene la dinámica del bosque (Siteo, 1992).

La distribución diamétrica permite determinar la capacidad que tienen los bosques de sustituir los árboles grandes que mueren, a través de árboles jóvenes ubicados en las clases diamétricas menores (Lamprecht, 1990). Los individuos que probablemente sustituirán los árboles grandes son aquellos que tienen la capacidad de alcanzar el dosel (heliófitas durables y esciófitas parciales) pues muchos de los individuos que se encuentran creciendo en las clases menores no alcanzan grandes alturas y diámetros debido a su corto periodo de vida, estrategias de perpetuación o requerimientos lumínicos (heliófitas efímeras, esciófitas totales).

Para este bosque transicional, se obtuvo una curva que se ajusta en una forma muy típica a la *J* invertida (Figura 7), que es clásica en la distribución del número de individuos y las

clases diamétricas o bien los tamaños; además presenta una estructura discetánea, ya que los individuos del bosque se encuentran distribuidos en varias clases de tamaño, lo cual es típico de los bosques primarios intervenidos y no intervenidos así como los secundarios maduros (Louman, 2001).

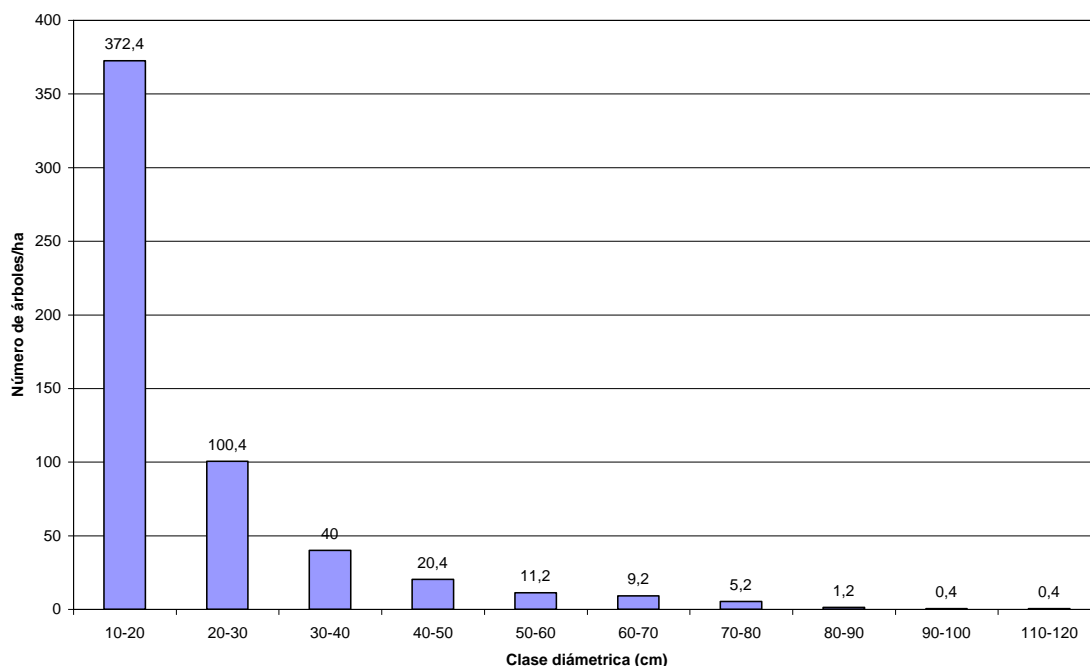
Por un lado esta distribución representa la tendencia del bosque en buscar la fase de homeostasis (equilibrio entre lo que se muere y lo que crece); aspectos representados por los movimientos que se presentan en el paso de individuos entre las clases diamétricas, lo cual es parte de la dinámica natural del bosque.

En total se tiene que la clase diamétrica 10-20 cm presenta la mayor cantidad de árboles con un 66,40 % (372,4) del total de individuos presentes en el bosque, este fenómeno ocurre dada la gran cantidad de individuos que son capaces de establecerse durante los primeros años; sin embargo conforme aumenta la clase diamétrica se nota que la cantidad de individuos disminuye producto de la competencia intra e interespecífica y de las exigencias lumínicas que requieren algunas de las especies para obtener un sitio dentro el bosque, por lo que muchas de las especies que lograron permanecer en esta clase (10-20 cm) no logran adaptarse a nuevas condiciones y mueren, este comportamiento se observa al comparar esta clase con la siguiente (20-30 cm) donde la cantidad de individuos disminuyó de 372,4 a 100,4 árboles (17,9%); en las restantes clases diamétricas se presentan una disminución similar en cuanto al número árboles producto de la misma dinámica del bosque para autoprotgerse.

El número de individuos por hectárea (372,4) es similar al de los bosques primarios de la Estación Biológica La Selva, Costa Rica, en donde la abundancia por hectárea con diámetros mayores a 10 cm es de 446 individuos (Lieberman & Lieberman, 1987; citado por Leiva, 2001).

Además en bosques húmedos deciduos de las tierras bajas de Venezuela se reportan abundancias por hectárea de 284 y 333 individuos, mientras que un bosque pluvial de tierras bajas de Colombia registra un valor de 571 árboles por hectárea (Lamprecht, 1990),

por lo tanto el primer caso presenta cierta similitud con respecto a la abundancia de este bosque muestreado.



**Figura 4. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea, para el Bosque muy húmedo transición a basal, piso premontano, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.**

### **Distribución del área basal para el bosque primario**

El área basal se emplea como una variable directa para cuantificar la capacidad productiva de un sitio, con base en éste se logra determinar el crecimiento de todos los individuos dentro del bosque y por categoría diamétrica inclusive (Quesada, 2002). Además se puede usar como indicador de la aproximación de la vegetación actual a la capacidad de carga de un sitio. Sin embargo, para determinar el estado de desarrollo y la estructura de un bosque se necesita complementar los datos de área basal con información de la composición florísticas y de la distribución de los árboles por clase diamétrica (Louman, 2001).

A continuación se presentan los valores de área basal de las parcelas permanentes de muestreo establecidas en este bosque.

**Cuadro 9.** Distribución diamétrica del área basal por hectárea, para cada parcela permanente de muestreo para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

Propietario	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	>80	Total
Enrique Sosa 01	9,26	4,57	2,87	5,20	2,01	6,00	1,75	0,00	31,66
Enrique Sosa 02	8,26	4,98	2,12	3,45	4,46	5,23	3,31	0,00	31,80
Facundo Villareal	4,85	2,47	2,50	1,37	4,45	6,44	3,08	6,63	31,79
Gerardo Agüero 01	6,73	3,14	2,21	4,73	2,52	1,25	6,34	0,00	26,91
Gerardo Agüero 02	3,94	4,20	5,62	3,19	4,33	1,13	1,54	0,00	23,95
Julio Góngora	4,33	4,46	6,60	3,60	0,00	0,00	1,81	0,00	20,80
Julio Lobo	6,63	5,84	6,32	1,15	1,83	2,41	0,00	2,27	26,45
Luis Valerio	7,77	8,02	3,39	2,91	0,82	0,00	0,00	0,00	22,91
Luis Zuñiga	6,05	2,60	4,26	3,33	3,57	3,81	3,87	0,00	27,48
Vianey Montero	6,84	4,08	1,61	3,64	0,79	2,52	1,54	2,60	23,61
Promedio	6,47	4,44	3,75	3,26	2,48	2,88	2,32	1,15	26,74

Se determinó un área basal promedio a partir de 10 cm es de 26,74 m<sup>2</sup>; con variaciones que van desde los 20,84 m<sup>2</sup>, en la parcela de la propiedad de Julio Góngora hasta 31,80 m<sup>2</sup> en la parcela 02, propiedad de Enrique Sosa.

Según Hartshorn (1983), en la zona Atlántica de Costa Rica el área basal con individuos mayores a 10 cm de diámetro ( $d$ ) oscila entre 24 y 32 m<sup>2</sup>/ha. Además Quirós (2002) señala que en el bosque primario del Hotel la Laguna del Lagarto Lodge ubicado en Boca Tapada, San Carlos, Costa Rica, el valor de área basal para individuos superiores a 10 cm es de 30,1 m<sup>2</sup>/ha.

Para el bosque transicional en estudio el área basal fue de 31,4 m<sup>2</sup>/ha ( $d \geq 10$  cm), lo que supone la similitud entre los bosques de la zona Atlántica y zona Norte de Costa Rica en términos de área basal, puesto que en el bosque primario de Boca Tapada se reportaron un mayor número de especies e individuos en comparación con este bosque, por lo que ese valor de área basal se debe principalmente a la presencia de individuos de grandes dimensiones.



Otro valor de área basal es el reportado para el bosque primario intervenido ubicado en Tocontín, Honduras que fue de 32,8 m<sup>2</sup>/ha para individuos con diámetros superiores a 10 cm (Louman, 2001), mientras que un bosque primario tropical en África reportó un área basal entre 23 y 37 m<sup>2</sup>/ha (Lamprecht, 1990).

### **Valor de referencia Mínimo de área basal por tipo de bosque.**

Por encontrarse los bosques de la Cuenca del Río Carbón dentro de zonas de producción es importante determinar si el valor de referencia mínimo de área basal puede ser utilizado para estos bosques.

Un determinado bosque para ser sujeto de aprovechamiento debe contar con un Valor de Referencia Mínimo (VRM) de área basal de los individuos arriba de 30 cm. de d.a.p. para las especies comerciales y no comerciales. Dicho umbral puede variar para diferentes tipos de bosque dentro de cada Subregión del Sistema Nacional de Áreas de Conservación, definidos con la participación de expertos tanto del sector público como del sector privado forestal y del sector académico. En la actualidad se cuenta con Valores de Referencia Mínimos para una sección de la Región Huetar Norte y Atlántica y un Valor de Referencia Mínimo común para el resto del país de 11 m<sup>2</sup>/ha.

**Cuadro 10.** Distribución diamétrica del área basal por hectárea, para cada parcela a partir de 30 cm de diámetro a 1,3 m del suelo, para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

Propietario	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	>80	Total
Enrique Sosa 01	2,87	5,20	2,01	6,00	1,75	0,00	17,83
Enrique Sosa 02	2,12	3,45	4,46	5,23	3,31	0,00	18,57
Facundo Villareal	2,50	1,37	4,45	6,44	3,08	6,63	24,47
Gerardo Agüero 01	2,21	4,73	2,52	1,25	6,34	0,00	17,04
Gerardo Agüero 02	5,62	3,19	4,33	1,13	1,54	0,00	15,81
Julio Gongora	6,60	3,60	0,00	0,00	1,81	0,00	12,01
Julio Lobo	6,32	1,15	1,83	2,41	0,00	2,27	13,99
Luis Valerio	3,39	2,91	0,82	0,00	0,00	0,00	7,13
Luis Zuñiga	4,26	3,33	3,57	3,81	3,87	0,00	18,84
Vianey Montero	1,61	3,64	0,79	2,52	1,54	2,60	12,69
Promedio	3,75	3,26	2,48	2,88	2,32	1,15	15,84

Como se observa del cuadro anterior los bosques de la Cuenca del Río Carbón, presentan valores superiores a los 11 m<sup>2</sup> de área basal por hectárea a partir de 30 cm de diámetro a 1,3 m del suelo, ha excepción del bosque de la propiedad de Luis Valerio, que se encuentra por debajo del Valor mínimo de referencia, lo cual evidencia que ese sitio aun no se recuperado por completo, además debe indicarse que este sitio corresponde a un bosque secundario de unos 20 años de edad, dominado por *Pentaclethra maculosa*.

A continuación se realizará un ejercicio con el fin de recomendar un Valor mínimo de referencia para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, con los datos de las parcelas establecidas.

**Cuadro 11.** Estadísticos para determinar el valor mínimo de referencia para a utilizar en los bosques de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica. 2010.

<b>Variable</b>	<b>Formula</b>	Area basal (m <sup>2</sup> /ha)
<b>Promedio</b>	<b>X</b>	15,84
<b>Desviación estandar</b>	<b>S</b>	4,72
<b>Error estandar la muestra</b>	<b>S<sub>x</sub></b>	1,49
<b>Error estandar</b>	<b>E</b>	3,36
<b>% de Error</b>	<b>% EM</b>	21,25
<b>Limite inferior</b>	<b>L- inferior</b>	12,48
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>% C.V</b>	29,79

De acuerdo al análisis anterior es evidente que el utilizar como base 11 m<sup>2</sup>/ha de Valor mínimo de referencia es muy bajo, ya que ese parámetro lo obtendría la mayoría de los bosques de la Cuenca.

De ahí que se recomienda el utilizar un valor superior a 12,48 m<sup>2</sup>/ha, como Valor mínimo de referencia para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, ya que es evidente que la propiedad de Luis Valerio no cumple con las condiciones mínima. Lo mismo sucedería con los bosque de Julio Góngora y Vianey Montero, que bajo las condiciones actuales referidas en el Código de práctica de 11 m<sup>2</sup>/ha, si se obtendría un valor superior de área basal, pero las condiciones actuales del bosque no permitirán un aprovechamiento.

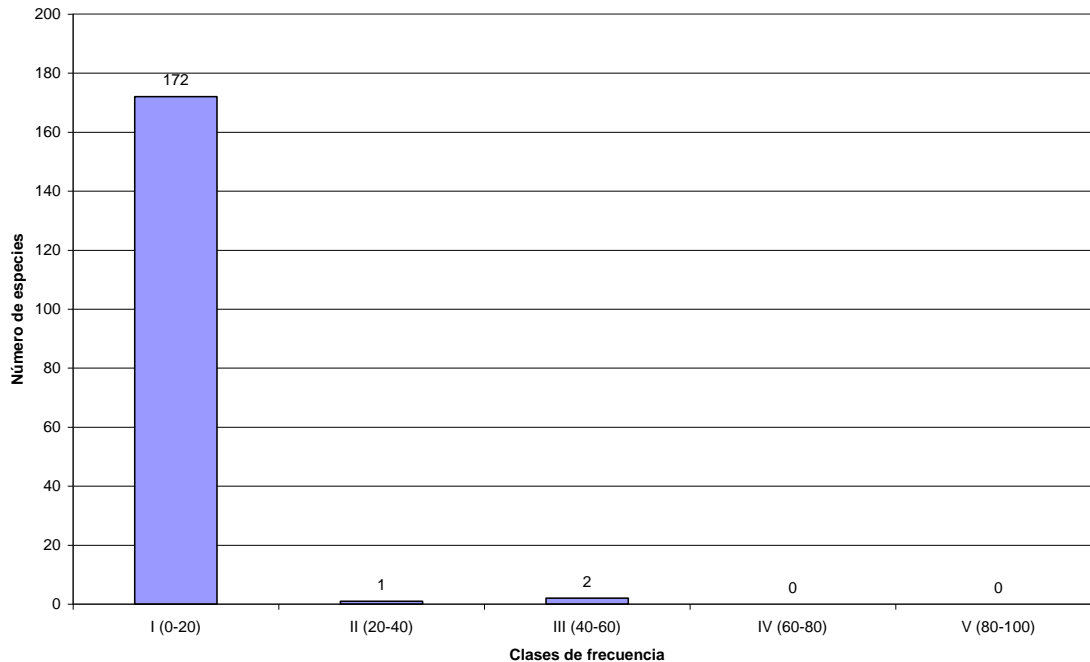
## Clases de frecuencia

Las frecuencias dan una idea sobre la homogeneidad que se presenta en un determinado bosque. Así, valores altos en las clases de frecuencia IV–V y valores bajos en las clases de frecuencia I-II, indican la existencia de una composición florística homogénea. Altos valores en las clases de frecuencia I-II significan que existe una alta heterogeneidad dentro de la composición florística del bosque (Lamprecht, 1990).

En este bosque transicional húmedo a seco se determinó a través de las clases de frecuencia que es un sitio con una heterogeneidad acentuada, dado que la mayoría de especies (172) se concentra en la clase de frecuencia I (0-20%); reportándose únicamente una especie para la clase de frecuencia II (21-40) y dos especies para la clase de frecuencia III (41-60%) a saber *Pentaclethra macroloba* y *Iriartea deltoidea*, y ninguna para las clases de frecuencia IV (61-80%) y V (81-100%). Además se puede indicar que no se encuentran especies con distribución horizontal continua, ya que la totalidad de las especies se concentran en las clases de frecuencia I y II.

Según Lamprecht (1990), los valores de las frecuencias también dependen del tamaño de las subparcelas; cuanto más grandes sean éstas, mayor cantidad de especies tendrán acceso a clases altas de frecuencia, por lo tanto, solo son estrictamente comparables los diagramas de frecuencias obtenidos a partir de parcelas de muestreo con igual tamaño de subparcelas

Al ser un sitio con una composición florística heterogénea, según este análisis, se puede indicar la importancia del mismo como área de conservación y protección para el banco de germoplasma y la estabilidad misma del bosque, así como la importancia que podría tener como fuente semillera para áreas aledañas donde se estén dando procesos de recuperación por bosque secundario o bien en sitios desnudos donde apenas se inicia el proceso de colonización por especies pioneras.



**Figura 5. Diagrama de frecuencia para el Bosque muy húmedo transición a basal, piso premontano, Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.**

### **Estructura vertical**

La estructura vertical de un bosque se encuentra determinada por la distribución de las especies a lo alto de su perfil, donde las especies se establecen y desarrollan de acuerdo a sus necesidades por captar energía a través de la entrada de luz, varía de acuerdo al estrato del bosque, concentrándose en el estrato superior la mayor cantidad de luz y en el estrato inferior la menor cantidad, lo que produce que se formen diversos microclimas dentro del bosque (Louman, 2001; citado por Leiva, 2001).

### **Distribución de especies por altura total según la clasificación de IUFRO**

La altura máxima que alcanzaron los individuos localizados en las parcelas permanentes de muestreo fue de 35 m, a partir de ésta se determinaron tres estratos según el sistema de clasificación de IUFRO que se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 12.** Alturas por estrato para las parcelas de la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.

<b>Estrato</b>	<b>Altura (m)</b>
Piso superior	> 23 (35 máximo)
Piso medio	11-23
Piso inferior	< 11

En los sitios estudiados de la Cuenca del Río Carbón se presentan tres estratos claramente definidos por la distribución vertical de sus individuos, la formación de estos estratos se debe a los diferentes requerimientos lumínicos de las especies que lo componen, donde especies de menor tamaño (piso inferior) no requieren alcanzar grandes dimensiones para cumplir sus necesidades lumínicas, no así las especies del piso superior que necesitan tener su copa totalmente expuesta para captar la mayor cantidad de energía posible.

#### **Distribución vertical continua según la clasificación de IUFRO**

La distribución de las especies en los pisos se presenta en el cuadro 12, las combinaciones se refieren a especies presentes en los diferentes pisos; por ejemplo el 14,20 % del total de las especies está presente en todos los pisos, Lamprecht (1990) indica que estas especies presentan un comportamiento de “*especies con distribución vertical continua*”, entre éstas se encuentran *Apeiba membranacea*, *Brosimum lactescens*, *Cordia bicolor*, *Hampea appendiculata*, *Iriartea deltoidea*, *Quararibea asterolepis*, *Pentaclethra macroloba*, *Spondias mombin*, *Virola koschnyi* entre otras..

**Cuadro 13.** Participación de las especies por pisos en el bosque transicional húmedo a seco, Miramar, Puntarenas, Costa Rica, 2010.

	<b>PS</b>	<b>PM</b>	<b>PI</b>	<b>PS+PM+PI</b>	<b>PS+PM</b>	<b>PS+PI</b>	<b>PM+PI</b>
<b>Número de especies</b>	9	43	41	25	14	0	44
<b>Porcentaje (%)</b>	5,11	24,43	23,30	14,20	7,95	0,00	25,00

A continuación se incluye el listado de especies que solamente se ubicaron en el piso superior de los bosques de la Cuenca del Río Carbón, *Brosimum alicastrum*, *Chimarrhis parviflora*, *Cordia dwyeri*, *Dussia macroprophyllata*, *Inga alba*, *Inga coruscans*, *Terminalia amazonia* entre otras.

Algunas especies encontradas solamente en el piso medio de los bosques de la Cuenca del Río Carbón se tienen las siguiente: *Alchorneopsis floribunda*, *Brosimum guianensis*, *Casearia commersoniana*, *Garcinia madruno*, *Inga marginata*, *Inga sapindoides*, *Marila pluricoustata*, *Sterculia recordiana*, *Swartzia simples*, *Trophis racemosa*, *Virola sebifera*, entre otras.

En el piso inferior de los bosques de la Cuenca del Río Carbón, se encuentran: *Adelia triloba*, *Anaxagorea crassipetala*, *Astrocaryum alatum*, *Cryosophila guagara*, *Drypetes standleyi*, *Dystovomita paniculata*, *Guatteria aeruginosa*, *Neea psycotriifolia*, *Pseudolmedia spuria*, *Psychotria grandis*, *Rinorea crenata*, *Siparuna guianensis*, *Sorocea pubivena*, *Theobroma cacao*, *Theobroma angustifolium* *Tovomita croatii*, entre otras.

Se determinó que existen especies que necesitan alcanzar el dosel superior para desarrollarse a plenitud, sin embargo la mayoría de especies para este bosque logra cumplir todo su ciclo de vida en los estratos medio e inferior, lo que se reporta como normal para este tipo de bosques primarios (Lamprecht, 1990).

### **Distribución de especies por altura según gremios ecológicos**

En esta clasificación se obtuvieron tres estratos, el estrato superior alcanza una altura máxima de 35 metros y una mínima de 23 metros; el estrato medio se encuentra entre los 15 y 23 metros; el estrato inferior se encuentra por debajo de los 15 metros de altura (figura 10).

La altura de estratos se reporta de forma similar para la clasificación de IUFRO, coincidiendo el estrato superior y medio con la clasificación por altura máxima para cada

especie por gremio ecológico. La diferencia estriba en que para la clasificación de IUFRO se reporta el estrato inferior con 11 m, mientras el estrato inferior según el gremio ecológico tiene 15 m.

Para la distribución de especies por altura según el gremio ecológico, se obtuvo que las especie heliófita efímera como *Cecropia insignis*, *Cecropia obtusifolia*, *Hampea apendiculata*, se establece en claros con alta disponibilidad de luz, por lo que alcanzan alturas grandes para cubrir sus necesidades lumínicas. Además su periodo de vida es corto por lo que la silvigénesis del bosque les permite no estar sometidas a alta competencia.

Algunas de las especies heliófitas durables como *Zanthoxylum ekmanii*, *Trattinnickia aspera*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Terminalia amazonia*, *Virola koschnyi*, *Hieronyma alchorneoides* entre otras, son más longevas, y por lo tanto debe alcanzar mayores niveles de competencia (intra e interespecífica) su copa reciba la iluminación necesaria para satisfacer sus necesidades. Por otro lado, al presentar la mayoría de especies de este gremio dispersión anemócora, demandan la existencia de corrientes de aire para lograr que sus semillas alcancen terrenos desnudos lejanos al árbol madre. Las condiciones cercanas al árbol (con claros ocupados por otras especies) podrían no permitir la germinación por falta de luz o que murieran por el alto nivel de competencia existente ya que no son buenos competidores.

Respecto a las esciófitas parciales como *Abarema macradenia*, *Carapa guianensis*, *Pentaclethra maculosa*, *Pourouma bicolor* son especies que en etapas adultas necesitan de acceso pleno a la iluminación; para lograrlo deben alcanzar el dosel superior, ubicándose entre los individuos más altos del bosque.

Las esciófitas totales como *Brosimum alicastrum*, *Eschweilera calyculata*, *Pouteria filipes*, son especies que en todo su ciclo de vida toleran la sombra, por lo que no requieren alcanzar el dosel superior para suplir sus necesidades lumínicas. Por ejemplo, la especie *Neea aff psycotriifolia*, *Duguetia panamensis*, *Hirtella triandra*, *Licaria sarapiquensis*, *Moutabea sp* alcanza como máximo 15 metros ya que en el estrato inferior satisface sus requerimientos lumínicos.

Esto demuestra que el crecimiento en altura depende mayormente de necesidades lumínicas, por lo que alturas menores en algunas especies no indican la existencia de árboles suprimidos dentro del bosque, sino que son especies que no requieren de grandes alturas porque tienen la capacidad de desarrollarse a plenitud en estratos inferiores.

### Posición y forma de copas

La clasificación de copas de los individuos se refiere a la posibilidad que tienen de recibir luz y realizar funciones metabólicas, combinado con otras variables como: altura, especie, tolerancia y cantidad de estratos en el bosque; aspectos ligados a la capacidad de crecimiento de los individuos según su disponibilidad de recibir luminosidad en la estructura vertical del bosque (Quesada, 2002).

**Cuadro 14. Distribución diamétrica del número de árboles por hectárea según posición de copa en las diez parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.**

Posición de copa	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	>80	Total	%
1	37,2	29,2	26	15,2	10	8,4	5,2	1,6	132,8	23,31
2	48,4	28,8	11,6	5,2	2,4	1,2	0	0	97,6	17,13
3	53,2	21,6	2,4	0,4	0	0	0,4	0	78	13,69
4	48	7,2	0	0	0	0	0	0	55,2	9,69
5	191,2	14	0,8	0	0	0	0	0	206	36,17
Total	378	100,8	40,8	20,8	12,4	9,6	5,6	1,6	569,6	100,00

De acuerdo con la información mostrada en el cuadro anterior, un 23,31 % de los árboles presentaron posición de copa emergente (posición de copa 1); un 17,13 % de los individuos con iluminación vertical plena (posición de copa 2), los que reciben iluminación vertical parcial (posición de copa 3) concentraron un 13,69 %; árboles con iluminación oblicua únicamente (posición de copa 4) el 9,69 % y los árboles que no reciben iluminación (posición de copa 5) abarcaron el restante 36,17 %, con lo que se observa que los árboles se ubican en el dosel superior y en el dosel inferior, la presencia de muchos individuos en esta categoría se debe a que muchas especies alcanzan su desarrollo bajo sombra.



Con respecto a la forma de copas, los árboles que forman un círculo completo (forma de copa 1) presentaron un valor de 57,65 %, un 31,67 % es para los árboles que forman un círculo irregular (forma de copa 2), los árboles que tienen media copa (forma de copa 3) con 9,20 %, mientras que los árboles que poseen menos de media copa (forma de copa 4) abarcan el 1,40 %, el restante 0,07 % es para aquellos individuos que tienen solo unas o pocas ramas (forma de copa 5).

**Cuadro 15. Distribución diamétrica del número de árboles por hectárea según Forma de copa, encontrados en las parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.**

Forma de copa	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	>80	Total	%
1	234	55,6	20,4	8,4	3,6	3,6	2,4	0,4	328,4	57,65
2	104,4	36,4	14,4	9,6	7,2	4,4	2,8	1,2	180,4	31,67
3	32,8	8	5,2	2,8	1,6	1,6	0,4	0	52,4	9,20
4	6,4	0,8	0,8	0	0	0	0	0	8	1,40
5	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,07
Total	378	100,8	40,8	20,8	12,4	9,6	5,6	1,6	569,6	100,00

### **Presencia de lianas**

Las lianas son un componente importante de la diversidad vegetal de los bosques tropicales con mecanismos y adaptaciones especiales para trepar y obtener así luz y espacio para vivir. Aportan gran parte de la biomasa forestal, así como también compiten con los árboles por luz, agua y nutrientes. Sin embargo pueden ocasionar la mortalidad de árboles por estrangulamiento o por cubrir y sombrear la copa de los árboles y la disminución del crecimiento de los árboles, tanto en diámetro como en altura respectivamente (Clark, 1990).

A continuación, se presenta el resumen de la presencia de lianas por categoría diamétrica para los individuos presentes en este bosque.

**Cuadro 16. Distribución diamétrica de los individuos por hectárea según la presencia de lianas en las diez parcelas establecidas en la Cuenca del Río Carbón, Talamanca, Costa Rica, 2010.**

Presencia de lianas	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	>80	Total	%
1	250,4	62,8	17,2	6,4	3,2	1,6	2,4	1,2	345,2	60,60
2	107,6	31,2	20,4	10	6	5,6	1,6	0,4	182,8	32,09
3	20	6,8	3,2	4,4	3,2	2,4	1,6	0	41,6	7,30
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Total	378	100,8	40,8	20,8	12,4	9,6	5,6	1,6	569,6	100,0

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro anterior la mayor cantidad de individuos (345,2 árboles/ha) no presentan lianas que afecten el crecimiento de los árboles de los bosques de la Cuenca del Río Carbón y 182,8 árboles/ha presentan algunas lianas en el fuste, para un 92,7 %. Solamente un 7,3 % de árboles presentes cuentan con lianas que pueden afectar el crecimiento de estos.

Redondo (1998) establece que las lianas cuando están presentes en el fuste, pueden afectar en los trabajos de medición y contribuir para aumentar el error en medición, especialmente en árboles de grandes diámetros que muchas veces tienen que ser medidos a alturas poco accesibles. Además este autor concluyó que hay una correlación negativa entre éstas y el crecimiento diamétrico, por lo que la competencia de la copa de las lianas con las de los árboles puede reducir considerablemente el crecimiento del árbol.

### **Evaluación de la calidad del agua de la cuenca del Río Carbón**

A continuación se incluyen los datos de los análisis químicos realizados en tres ocasiones en los cinco sitios establecidos para medir la estructura química del agua de la Cuenca del Río Carbón.

**Cuadro 17. Resultados del análisis químico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 08-agosto-2008.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>					
Cloruro	mg/L Cl <sup>-</sup>					
Fluoruro	mg/L F <sup>-</sup>					
Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1	ND	ND	0,2	ND
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>					
Aluminio	mg/L Al <sup>+3</sup>					
Calcio	mg/L Ca <sup>+2</sup>	12,6	22,8	25,9	33,8	36,0
Magnesio	mg/L Mg <sup>+2</sup>	5,4	7,8	8,4	8,7	9,6
Sodio	mg/L Na <sup>+</sup>	8,6	13,4	15,7	16,9	14,9
Potasio	mg/L K <sup>+</sup>	2,8	2,9	3,1	3,2	3,2
Hierro	mg/L Fe	0,3	0,3	0,1	ND	ND
Manganeso	mg/L Mn	ND	0,1	0,1	0,1	ND
Zinc	mg/L Zn	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	mg/L Cu	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Plomo	mg/L Pb					
PH		7,4	7,5	7,6	7,6	7,9

De los resultados obtenidos del primer análisis realizado se observan variaciones y un aumento de las cantidades de los diferentes elementos químicos analizados, ya que la cantidad de estos va en aumento entre más alejados de las comunidades ya que conforme se acerca al punto de aforo, la cantidad de estos elementos va en aumento. Al comparar los valores obtenidos con los recomendados por la Organización Mundial de la salud, publicados en la Gaceta 84 del 3 de mayo de 2005, se puede concluir que el agua de la cuenca del Río Carbón se encuentra por debajo de los límites permisibles de calidad del agua para el consumo humano.

**Cuadro 18. Resultados del análisis químico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 26-noviembre-2008.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>					
Cloruro	mg/L Cl <sup>-</sup>					
Fluoruro	mg/L F <sup>-</sup>					
Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1	ND	ND	0,2	ND
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>					
Aluminio	mg/L Al <sup>+3</sup>					
Calcio	mg/L Ca <sup>+2</sup>	12,1	22,5	25,7	32,8	34,0
Magnesio	mg/L Mg <sup>+2</sup>	5,6	7,7	8,5	8,8	9,7
Sodio	mg/L Na <sup>+</sup>	8,7	13,2	15,5	16,6	13,9
Potasio	mg/L K <sup>+</sup>	2,7	2,9	3,1	3,2	3,1
Hierro	mg/L Fe	0,3	0,3	0,1	ND	ND
Manganeso	mg/L Mn	ND	0,1	0,1	0,1	ND
Zinc	mg/L Zn	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	mg/L Cu	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Plomo	mg/L Pb					
PH		7,3	7,4	7,7	7,6	7,9

Los resultados obtenidos señalan que los valores de los parámetros físicos y químicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, nitratos, sólidos totales en suspensión, sólidos disueltos, calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso) evaluados para el agua del río Carbón, se antienen por debajo de los valores máximos admisibles. Para determinar la calidad del agua para el consumo humano se utilizó lo exigido por la legislación vigente en Costa Rica (del Decreto ejecutivo 32327-7S, publicados en la Gaceta 84 del 3 de mayo de 2005) y en el ámbito internacional (Organización Mundial de la salud, 2001). Los parámetros aceptados se muestran en el cuadro 11.

**Cuadro 19. Parámetros de calidad del agua-segundo nivel de control – N2.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Recomendado</b>	<b>Valor Admisible</b>
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	400	500
Cloruro	mg/L Cl <sup>-</sup>	25	250
Fluoruro	mg/L F <sup>-</sup>		0,7 a 1,5 <sup>a</sup>
Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25	50
Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	25	250
Aluminio	mg/L Al <sup>+3</sup>	0,2	
Calcio	mg/L Ca <sup>+2</sup>	100	
Magnesio	mg/L Mg <sup>+2</sup>	30	50
Sodio	mg/L Na <sup>+</sup>	25	200
Potasio	mg/L K <sup>+</sup>		10
Hierro	mg/L Fe		0,3
Manganeso	mg/L Mn	0,1	
Zinc	mg/L Zn		
Cobre	mg/L Cu	1,0	
Plomo	mg/L Pb		

Tomado de Decreto ejecutivo 32327-7S, publicados en la Gaceta 84 del 3 de mayo de 2005

El análisis bacteriológicos (coliformes totales y fecales) muestra claramente la contaminación del agua de este río con material fecal. Estos resultados sugieren que en la Cuenca del río Carbón, los usos dados a los recursos naturales y diversas modalidades del uso de la tierra permiten aún, que en este río funcionen los procesos naturales de auto limpieza, lo cual permite mantener aguas servidas que se vierten al río sin previo tratamiento y el arrastre de las heces de los animales que se encuentran en pastoreo, están contaminando las aguas del río.

**Cuadro 20. Resultados del análisis microbiológico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 8 de agosto 2008.**

No Muestra	Identificación	Coliformes totales NMP/100 ml	Coliformes fecales NMP/100 ml
1	Antes de Carbón 1	4600	240
2	Después de Carbón 1	15000	380
3	Puente en Hone Creek	15000	300
4	Antes de Carbón 2	11000	1500
5	Después de Carbón 2	11000000000000	210000000

Después de realizar el análisis de las cantidad de coliformes fecales encontrados en las muestras obtenidas en la Cuenca del Río Carbón se puede concluir que ha excepción de las muestras 4 y 5 obtenidas antes y después de Carbón 2, el agua de esta Cuenca puede utilizarse como aguas de Reuso de aguas residuales, ya que los valores de Coliformes fecales están por debajo de los límites máximos permisibles para el reuso de aguas residuales ordinarias según Decreto No 33601 MINAE-S, publicados en La Gaceta 55, Alcance 8, 19 de marzo de 2007, Alcance 8.

Estos resultados respaldan la recomendación para evaluar la calidad natural de las fuentes subterráneas de agua que abastecen a las comunidades de Carbón 1, Carbón 2 y Hone Creek, dado que en la actualidad, las personas de estas comunidades consumen directamente estas aguas, sin ningún tratamiento para su potabilización.

**Cuadro 21. Resultados del análisis microbiológico de aguas, obtenidos en cinco muestras de la Cuenca del Río Carbón, 26 de noviembre 2008.**

No Muestra	Identificación	Coliformes totales NMP/100 ml	Coliformes fecales NMP/100 ml
1	Antes de Carbón 1	4700	250
2	Después de Carbón 1	15000	390
3	Puente en Hone Creek	15000	310
4	Antes de Carbón 2	11000	1500
5	Después de Carbón 2	11000000000000	210000000

Del segundo análisis realizado se observa que no existen variaciones en los resultados del primer muestreo y de este segundo, respaldando recomendación para evaluar la calidad natural de las fuentes subterráneas de agua que abastecen a las comunidades de Carbón 1, Carbón 2 y Hone Creek, dado que en la actualidad, las personas de estas comunidades consumen directamente estas aguas, sin ningún tratamiento para su potabilización.

# Conclusiones

Los bosques evaluados en la Cuenca del Río Carbón, presentaron individuos que se distribuyen en: 49 familias, 124 géneros y 175 especies. Se determinó un total de 564 individuos/ha a partir de 10 cm y con un área basal promedio de 26,74 m<sup>2</sup>.

Para los bosques de la Cuenca del Río Carbón debe utilizarse un Valor mínimo de referencia para el área basal por hectárea de 12,5 m<sup>2</sup>/ha, el utilizar lo establecido en Código de práctica de 11 m<sup>2</sup>/ha, permitiría que se aprovechen bosques que no han recuperado el área basal.

Los valores de referencia máximo (VRMx) de abundancia del gremio de las especies heliófitas efímeras de 15 %, es alto para los bosques de la Cuenca del Río Carbón, ya que aunque se incluyen parcelas en bosque secundarios el valor obtenido incluyendo las indeterminadas no alcanza apenas un 13 %.

Por los valores de calidad del agua de la cuenca del. Río Carbón, esta no debe utilizarse para el consumo humano en forma directa, debe aplicarse un tratamiento de potabilización.

El agua de los ríos y quebradas del Río Carbón, solo pueden utilizarse como aguas de reuso.

# Recomendaciones

Evaluar la calidad natural de las fuentes subterráneas de agua que abastecen a las comunidades de Carbón 1, Carbón 2 y Hone Creek, dado que en la actualidad, las personas de estas comunidades consumen directamente estas aguas, sin ningún tratamiento para su potabilización.

Aprovechar el establecimiento de las parcelas permanentes de muestreo para realizar futuros estudios en este bosque que permitan determinar el crecimiento, la mortalidad e ingresos de individuos, la regeneración que se establece por debajo de los 10 cm de diámetro, entre otros.

Que la Administración Forestal del Estado, mediante una resolución pueda aumentar el Valor mínimo de referencia en área basal para los bosques de la Cuenca del Río Carbón de 11 m<sup>2</sup>/ha a 12,5 m<sup>2</sup>/ha, para evitar el aprovechamiento de bosques que aun no han alcanzado su recuperación.



# Bibliografía

- Acosta, L. 1998. Análisis de la composición florística y estructura para la vegetación del piso basal de la Zona Protectora La Cangreja, Mastatal de Puriscal.
- Alder, D; Synnott, T.J. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. Oxford Forestry Institute. 124 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Extensión). 2000. Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical. Turrialba, CR. CATIE. 52p.
- Clark, D. 1990. Distribution and effects on tree growth of lianas and woody hemiepiphytes in a Costa Rican tropical wet forest. (en línea). *Journal of Tropical Ecology*. (6): 321-331. Consultado 22 julio 2010. Disponible en <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=5255104>
- Clark, D. A. and B. Clark. 1992. Life history diversity of canopy and emergent trees in a Neotropical rain forest. *Ecological Monographs* 62: 315-344.
- Condit, R; Hubbel, S; Foster, B. 1992. Short-term dynamics of a Neotropical forest. *Bioscience* 42: 822-828.
- Dallmeier, F., M. Kabel and R. Rice. 1992. Methods for long-term biodiversity plots in protected tropical forest. in: Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas. MAB Digest 11. F. Dallmeier, eds. Paris, UNESCO. pp. 11-46
- Dawkins, H.C. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Institute Paper, Imperial forestry Institute, University of Oxford. No. 34. 155 p.
- Fonseca, W; Chaves, E; Mora, F; Meza, V.2002. Dinámica y composición del bosque seco tropical. In Seminario sobre Ecosistemas Forestales de Bosques Secos Mesoamericanos, (2002, Heredia, CR). Memoria. Heredia, CR: Universidad Nacional. Instituto de Investigación y Servicios Forestales. p. 154 – 160.

- Gamba, O; Gonzáles, O. 1988. Plan de manejo del bosque natural intervenido de la Hacienda Bahía. Osa, Puntarenas, Informe de Práctica de Especialidad. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 125 pp.
- Gentry, A. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. En: Seasonally dry tropical forests. Editado por: Bullock, S; Mooney, H; Medina, E. Cambridge, UK, Cambridge University Press. p 146 – 194.
- Geotecnología, S.A. 2005. Mapa de la división político administrativo en cantones de Costa Rica. Hojas a escala 1:200000. In Atlas digital 2004. Ed. Ortíz. E. (CD – ROM).
- González, E. 2002. Composición y dinámica de diferentes estados sucesionales en el bosque seco tropical del Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. (2002, Heredia, CR). Memoria. Heredia, CR: Universidad Nacional. Instituto de Investigación y Servicios Forestales. p 146 – 152.
- Guariguata, M; Kattan, G. 2002. Ecología y conservación de Bosques Neotropicales. 1er Ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 692 p.
- Hartshorn, G. 1983. Plants: Introduction: In Janzen, D.H. Costa Rica natural history. University of Chicago. p. 118-157.
- Hernández, Z. 1999. Cronosecuencia del bosque seco tropical en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Costa Rica. Tesis Bach. Cartago, CR: ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 72 p.
- Hubbel, S; Foster B. 1991. The fate of juvenile trees in a neotropical forest: Implications for the natural maintenance of tropical tree diversity in: Reproductive Ecology of Tropical Forest Plants. K. S. Bawa and M. Hadley, eds Paris, Parthenon Publishing Group. pp 317 - 341.
- Hutchinson, I. 1993. Silvicultura y manejo en un bosque secundario tropical: caso de Pérez Zeledón, Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana. 2: 13 – 18.
- Lamprecht, H. 1962. Ensayo sobre unos métodos para el análisis estructural de los bosques tropicales. Acta científica Venezolana. 13 (2): 57 – 65.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento

- sostenido. Carrillo, A. (Trad.). Eschborn. DE. GTZ (Cooperación Técnico Alemana). 335 p.
- Leiva, J. 2001. Comparación de las Estrategias de Regeneración Natural entre los Bosques Primarios y Secundarios en las zonas bajas del Atlántico Costarricense. Tesis Bach. Cartago, CR: ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 102 p.
- Louman, B. 2001. Bases ecológicas. En: Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Editado por: Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. Turrialba, CR, CATIE. 57 – 62 p.
- Magginis, S; Sánchez, M. 1995. Guía técnica del inventario preliminar en los bloques pequeños de bosques tropicales húmedos. Proyecto de manejo integrado del bosque natural. Cartago, Costa Rica. ODA/CODEFORSA/PACTO/MIRENEM/ITCR. 40 p.
- Magurran, A. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA. 179 p.
- Manzanero, J. 1999. Evaluación de la estructura y composición florística de la sucesión secundaria en áreas disturbadas, bosque húmedo subtropical en la Concesión Forestal Comunitaria de Carmelita, San Andrés, Petén. Tesis Lic. Petén, GT: Universidad de San Carlos de Guatemala. Esc. Ingeniería Forestal. 190 p.
- Melo, O; Vargas, R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Ibagué, CO, Universidad del Tolima. 239 p.
- Monge, A. 1999. Estudio de la dinámica del bosque seco tropical a través de parcelas permanentes de muestreo en el Parque Nacional Palo Verde, Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Bach. Cartago, CR: ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 65 p.
- Quesada, R. 2002. Dinámica del bosque muy húmedo tropical diez años después de la intervención forestal en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Informe Final de Proyecto de Investigación. VIE. ITCR.
- Quesada, R. 1997. Determinación de índices de diversidad, homogeneidad, coeficiente de mezcla y riqueza de bosques húmedos tropicales. Material mimeografiado. 8 p.
- Quirós, K. 2002. Composición florística y estructural para el bosque primario del Hotel la Laguna del Lagarto Lodge, Boca Tapada de Pital, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Tesis Bach. Cartago, CR: ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 91 p.

- Redondo A. 1998. Estudio del potencial de uso del recurso forestal maderable del Bosque Secundario Tropical en la Región Huetar Norte, Sarapiquí- Costa Rica. Tesis Bach. Cartago, CR: ITCR. Esc. Ingeniería Forestal. 117 p.
- Sitoe, A. 1992. Crecimiento diamétrico de las especies maderables en un bosque húmedo tropical bajo diferentes intensidades de intervención. Tesis M. Sc. Turrialba, CR: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza.
- Synnott, P. 1979. Permanent plots procedures for tropical rain forest. Unit of tropical Silviculture, Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford. Oxford, G.B. Tropical Forestry Papers n.14., 67 pp.
- Valerio, J; Salas, C. 1997. Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Manual técnico – Proyecto de manejo sostenible (BOLFOR). San Cruz, BO, El País. 85p.
- Wadsworth, F. 2000. Producción Forestal para América Tropical. IUFRO-SPDC Textbook Project N° 3. Departamento de Agricultura de los EE.UU. 603 pp.

# **ANEXOS**

## **Anexo 1. Normas reglamentarias de reuso de aguas residuales.**

Se adjunta la normativa de Reuso de aguas residuales.

### **Reuso de aguas residuales**

Artículo 27.—**Condiciones en que se permite el reuso.** Se permitirá el reuso de aguas residuales tratadas de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales vigente. En ningún caso se podrán utilizar estas aguas para el consumo humano.

Artículo 28.—**Clasificación de los tipos de reuso.** Para efectos del presente Reglamento, se clasificará el reuso de aguas residuales según los siguientes tipos:

#### **Tipo 1: Reuso urbano**

Riego de zonas en donde haya acceso del público (por ejemplo en zona verdes, campos de golf, parques, plazas deportivas y cementerios), lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros usos con similar acceso o exposición al agua.

#### **Tipo 2: Riego con acceso restringido**

Cultivo de césped, silvicultura y otras áreas donde el acceso del público es prohibido o restringido.

#### **Tipo 3: Reuso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta**

Riego superficial o por aspersión, de cualquier cultivo comestible que no se procese previo a su venta, incluyendo aquellos que se consumen crudos.

#### **Tipo 4: Reuso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta**

Riego de cultivos que, previo a su venta al público, han recibido el procesamiento físico o químico necesario para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener.

#### **Tipo 5: Reuso agrícola en cultivos no alimenticios**

Riego de pastos de piso, forrajes, cultivos de fibras y semillas, y otros cultivos no alimenticios.

#### **Tipo 6: Reuso recreativo**

Reúso en cuerpos de agua artificiales donde pueda existir un contacto ocasional (por ejemplo: pesca, canotaje y navegación).

#### **Tipo 7: Reuso paisajístico**

Aprovechamientos estéticos donde el contacto con el público no es permitido, y dicha prohibición esté claramente rotulada.

#### **Tipo 8: Reuso en la construcción**

Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales, producción de concreto.

TABLA 7  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EL REUSO  
DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS

**TIPO DE REUSO PARÁMETROS**

	<b>Nematodos intestinales (promedio aritmético No de huevos por litro)</b>	<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)<sup>(1)</sup></b>
Tipo 1	1	1 000
Tipo 2	1	10 000
Tipo 3	1	1 000 <sup>(2)</sup>
Tipo 4	1	10 000 <sup>(3)</sup>
Tipo 5	1	----- <sup>(4)</sup>
Tipo 6 <sup>(5)</sup>	1	10 000
Tipo 7	1	
Tipo 8	1	1 000

Notas:

(1) Los análisis microbiológicos se practicarán en una muestra compuesta de al menos seis muestras simples distribuidas en el período diario de reuso. Los resultados se reportarán en unidades consistentes con el método de análisis empleado.

(2) Para árboles frutales no se deberá utilizar riego por aspersión. El parámetro para coliformes fecales puede variar hasta 105 NMP/100 mL, siempre y cuando se suspenda el riego dos semanas antes de la cosecha y no se recojan los frutos caídos.

(3) El riego debe cesar dos semanas antes de la cosecha.

(4) Debe evitarse el pastoreo de ganado durante los quince días siguientes a la finalización del riego. Si no se respeta este período, la concentración de coliformes fecales no deberá exceder 1000 NMP/100 mL.

(5) El agua reusada no debe ser irritante para la piel o los ojos. El agua reusada debe ser clara, y no debe presentar olores molestos ni contener sustancias tóxicas por ingestión.