



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LOS
BOSQUES EN EL ÁREA NÚCLEO DE OBRAS DEL PROYECTO
HIDROELÉCTRICO REVENTAZÓN, SIQUIRRES, COSTA RICA.**

DANILO TORRES GÓMEZ

CARTAGO NOVIEMBRE, 2012

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LOS BOSQUES EN EL ÁREA NÚCLEO DE OBRAS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO REVENTAZÓN, SIQUIRRES, COSTA RICA.

Danilo Torres Gómez¹

RESUMEN

Este estudio se realizó en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón en un área de 2126,92 hectáreas. El proyecto se ubica en la cuenca del Río Reventazón en la comunidad del Coco de Moravia, cantón de Siquirres, Limón, Costa Rica.

Se clasificó en una imagen satelital ASTER del año 2010, la cobertura del suelo del área de estudio con una clasificación supervisada. Se determinó el valor ecológico de las clases bosque maduro y bosque secundario; se evaluó la calidad y la composición florística con el establecimiento de 30 unidades de muestreo, se hizo el análisis de las métricas del paisaje, se determinó el estado de conservación de las especies de flora y fauna, la presencia de aves migratorias y sitios únicos, amenazados o en peligro de extinción.

Se encontró un total de nueve clases de cobertura del suelo; las clases bosque maduro y bosque secundario abarcaron el 57,68% del territorio. El bosque secundario presentó mayor conectividad en el corto y mediano plazo.

El bosque maduro presentó un total de 211 especies, el promedio del área basal fue de 31,93 m²/ha y en promedio se encontró 563,16 árboles por hectárea. En el bosque secundario se encontró 103 especies, un área basal promedio de 17,83 m²/ha y se encontró un total de 289,70 árboles por hectárea. Los bosques presentaron especies de flora y fauna amenazadas a nivel nacional y global. Se encontró que el bosque maduro y el bosque secundario tuvieron el mismo valor ecológico, no obstante, el bosque maduro es más diverso en especies florísticas.

Palabras claves: Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, cobertura del suelo, composición florística, bosque maduro, bosque secundario, especies amenazadas.

¹Torres, D. 2012. Evaluación de la calidad y la composición florística de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica. Tesis de licenciatura. Cartago, C.R: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 134 p.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LOS BOSQUES EN EL ÁREA NÚCLEO DE OBRAS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO REVENTAZÓN, SIQUIRRES, COSTA RICA.

Danilo Torres Gómez¹

ABSTRACT

This study was conducted in the core area of Reventazón Hydroelectric Project which covers an area of 2126.92 hectares. The project is located in the basin of Río Reventazón in the community of Coco de Moravia, Siquirres canton, Limon, Costa Rica.

A land cover map of the area of study was prepared using a supervised classification of an ASTER satellite image of year 2010. The ecological value of the mature forest and secondary forest was done by assessing their structure and floristic composition in 30 sampling units. The study also estimated landscape metrics of the area, the conservation status of the species flora and fauna, the presence of migratory birds and threatened or endangered unique sites.

We found a total of nine land cover classes, where mature forest and secondary forest covered 57.7% of the territory. The secondary forest showed greater connectivity in the short and medium term.

The mature forest presented a total of 211 species, the average basal area was 31.9 m²/ha and has on average 563 trees per hectare. In the secondary forest we found 103 species, an average basal area of 17.8 m²/ha and a total of 290 trees per hectare. These forests included species of flora and fauna threatened nationally and globally. We found that mature forest and secondary forest had the same ecological value, however, the mature forest is more diverse in species of flora.

Keywords: Reventazón Hydroelectric Project, land cover, species composition, mature forest, secondary forest, endangered species.

¹ Torres, D. 2012. Evaluación de la calidad y la composición florística de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica. Tesis de licenciatura. Cartago, C.R: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 134 p.

Este trabajo ha sido aceptado por el tribunal evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobado por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LOS BOSQUES EN EL ÁREA NÚCLEO DE OBRAS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO REVENTAZÓN, SIQUIRRES, COSTA RICA.

Miembros del Tribunal Evaluador



Lic. Casia Soto Montoya
Directora de tesis



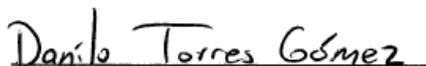
MSc. Braulio A. Vílchez Alvarado
Escuela de Ingeniería Forestal



Ph.D. Edgar Ortiz Malavassi
Escuela de Ingeniería Forestal



Lic. Jonathan Vallejos Salazar
Proyecto Hidroeléctrico
Reventazón, ICE



Danilo Torres Gómez
Estudiante

Dedicatoria

A Dios y a la Virgen de los Ángeles por permitirme concluir este trabajo y mis estudios.

A mis padres por su ejemplo de superación, esfuerzo y apoyarme siempre durante todo este proceso hasta culminar mis estudios.

A toda mi familia que siempre me ha apoyado.

“Nadie llega a nada sin ayuda de alguien más”.

Franklin Chang Díaz

Agradecimientos

A Dios, a la Virgen de los Ángeles, a mis padres, a mis hermanos y mi familia por todo....

Al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y a todo el personal de la unidad forestal del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón; especialmente al Ing. Alejandro Fallas Castillo por el esfuerzo realizado para poder desarrollar este trabajo.

A los funcionarios y a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica por contribuir con mi educación; especialmente a Marvin Castillo Ugalde y Braulio Vílchez Alvarado.

Al profesor Alexander Rodríguez por la ayuda brindada en la identificación de la flora.

A mi tutora Lic. Casia Soto Montoya por su apoyo y consejos durante este trabajo.

A todos los compañeros de forestal, a los que me ayudaron en este proceso y demás personas que forman parte de mi vida.

A todas las demás personas que contribuyeron con el proyecto.

Índice general

	Pág.
RESUMEN	II
ABSTRACT	IV
Dedicatoria	VII
Agradecimientos.....	VIII
Índice general.....	IX
Índice de cuadros	XIII
Índice de figuras	XVI
Índice de anexos	XVIII
1. Introducción.....	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. Revisión de literatura.....	3
3.1. Clasificación digital de imágenes satelitales	3
3.1.1. Imágenes satelitales.....	3
3.1.2. Tipos de imágenes satelitales para determinar cobertura forestal	4
3.1.3. Características de los sensores remotos	4
3.1.4. Imágenes ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).....	6
3.1.5. Importancia de realizar estudios de cobertura	7
3.1.6. Clases de coberturas	8
3.2. Valor ecológico de los bosques.....	10
3.2.1. Características generales de los bosques tropicales	10

3.2.2.	Bosques primarios.....	12
3.2.3.	Bosques secundarios	12
3.2.4.	¿Cómo se determina el valor ecológico de un bosque?.....	13
3.2.5.	Usos que se le brinda al valor ecológico de un bosque	14
3.3.	Caracterización de los bosques	15
3.3.1.	Composición florística del bosque.....	15
3.3.2.	Estructura horizontal del bosque	15
3.3.3.	Estructura vertical del bosque	16
3.3.4.	Índice de Valor de Importancia.....	16
3.3.5.	Gremios ecológicos.....	17
3.3.6.	Estado de conservación de la flora y fauna.....	18
3.4.	Inventarios forestales	19
3.4.1.	Muestreo forestal	19
3.4.2.	Tamaño y forma de las parcelas	20
3.4.3.	Intensidad de muestreo.....	21
3.4.4.	Distribución de la muestra	22
4.	Metodología	24
4.1.	Descripción del área de estudio	24
4.2.	Condiciones del sitio	25
4.3.	Clasificación de la cobertura del suelo con imagen satelital ASTER	25
4.3.1.	Obtención de la imagen satelital	26
4.3.2.	Análisis de la imagen	26
4.3.3.	Toma datos de campo.....	27
4.3.4.	Digitalización de las áreas de entrenamiento.....	27
4.3.5.	Clasificación supervisada.....	27

4.3.6.	Validación de la clasificación.....	28
4.4.	Análisis de métricas del paisaje	28
4.5.	Evaluación de la composición florística de los bosques.....	30
4.5.1.	Muestreo	31
4.5.2.	Variables registradas en cada unidad de muestreo	32
4.5.3.	Estructura horizontal	32
4.5.4.	Estructura vertical.....	33
4.5.5.	Determinación del Índice de Valor de Importancia (I.V.I), índice de Shannon – Wiener, índice de Margalef e índice cualitativo de Sorensen.....	33
4.5.6.	Gremios ecológicos.....	35
4.6.	Componente faunístico	35
4.7.	Estado de conservación de las especies de flora y fauna.....	35
4.8.	Componente arqueológico	36
4.9.	Evaluación de los indicadores de la dimensión ecológica.....	37
5.	Resultados	39
5.1.	Cobertura del suelo en el área núcleo de obras del P.H. Reventazón	39
5.2.	Validación de la clasificación supervisada	41
5.3.	Métricas del paisaje.....	42
5.4.	Evaluación de la composición florística.....	45
5.4.1.	Estructura horizontal	45
5.4.2.	Estructura vertical.....	48
5.4.3.	Índice de Valor de Importancia (I.V.I).....	52
5.4.4.	Riqueza y similitud	55
5.4.5.	Gremios ecológicos.....	55
5.5.	Estado de conservación de las especies de flora y fauna.....	56

5.6.	Especies de aves migratorias	64
5.7.	Componente arqueológico	66
5.8.	Evaluación de la dimensión ecológica.....	68
6.	Discusión.....	70
6.1.	Cobertura del suelo en el área núcleo de obras del P.H. Reventazón	70
6.2.	Validación de la clasificación de la imagen ASTER	71
6.3.	Análisis de las métricas de paisaje	71
6.4.	Evaluación de la composición florística.....	73
6.4.1.	Estructura horizontal	73
6.4.2.	Estructura vertical.....	75
6.4.3.	Índice de Valor de Importancia.....	76
6.4.4.	Riqueza y similitud	76
6.4.5.	Gremios ecológicos.....	77
6.5.	Estado de conservación de las especies de flora y fauna.....	78
6.6.	Componente arqueológico	79
6.7.	Evaluación de la dimensión ecológica.....	80
7.	Conclusiones.....	81
8.	Recomendaciones.....	85
9.	Bibliografía	86
10.	Anexos	98

Índice de cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Características del sensor ASTER.	7
Cuadro 2. Intensidades mínimas y otros parámetros de muestreo en función de la superficie poblacional.	21
Cuadro 3. Métricas de paisaje que se analizaron en el área seleccionada, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	29
Cuadro 4. Fórmulas de los índices utilizados para comparar la composición florística de los bosques del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	34
Cuadro 5. Categorías de los indicadores ecológicos de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	37
Cuadro 6. Indicadores ecológicos de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	38
Cuadro 7. Número de hectáreas y porcentajes de las clases de cobertura del suelo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	41
Cuadro 8. Matriz de error para evaluar los resultados finales de la clasificación supervisada para el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	42

Cuadro 9. Valores de las métricas de paisaje para cada clase de cobertura del suelo, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	43
Cuadro 10. Especies con mayor Índice de Valor de Importancia (I.V.I) en el bosque maduro del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	53
Cuadro 11. Especies con mayor Índice de Valor de Importancia (I.V.I) en el bosque secundario del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	54
Cuadro 12. Especies florísticas en diferentes estados de conservación y endémicas por tipo de bosque en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	57
Cuadro 13. Especies de aves encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	58
Cuadro 14. Especies de mamíferos encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	60
Cuadro 15. Especies de anfibios encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	61
Cuadro 16. Especies de reptiles encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	63

Cuadro 17. Lista de aves reportadas como migratorias en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	64
Cuadro 18. Cantidad de piezas de cerámica y líticas por periodos de tiempo en cada clase de cobertura del suelo, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	67
Cuadro 19. Evaluación de los indicadores ecológicos por tipo de bosque del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	68

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	24
Figura 2. Ubicación de las unidades de muestreo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	31
Figura 3. Cobertura del suelo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	39
Figura 4. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque maduro, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	45
Figura 5. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque secundario, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	46
Figura 6. Distribución diamétrica del área basal por hectárea (m ² /ha) en el bosque maduro, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	47
Figura 7. Distribución diamétrica del área basal por hectárea (m ² /ha) en el bosque secundario, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	48

Figura 8. Distribución del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque maduro, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	49
Figura 9. Distribución del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque secundario, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	50
Figura 10. Distribución del área basal por hectárea (m ² /ha) en el bosque maduro, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	51
Figura 11. Distribución del área basal por hectárea (m ² /ha) en el bosque secundario, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	52
Figura 12. Porcentaje de especies por gremio ecológico, según tipo de bosque en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	56
Figura 13. Cantidad de piezas arqueológicas encontradas, según cobertura del suelo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	66

Índice de anexos

	Pág.
Anexo 1. Imagen ASTER 2010.	98
Anexo 2. Formulario de campo para la toma de puntos de control.	99
Anexo 3. Área para el análisis de las métricas de paisaje.	100
Anexo 4. Coordenadas en CRTM 05 de cada una de las unidades de muestreo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.	101
Anexo 5. Número de individuos por hectárea (n/ha) y área basal por hectárea (m ² /ha) de cada una de las unidades de muestreo por tipo de bosque.	102
Anexo 6. Abundancia y dominancia para cada una de las especies encontradas en el bosque maduro.	103
Anexo 7. Abundancia y dominancia para cada una de las especies encontradas en el bosque secundario.	108
Anexo 8. Análisis de varianza y prueba de Tuckey para comparar la riqueza de los dos tipos de bosque con el programa InfoStat.	111
Anexo 9. Análisis de varianza y prueba de Tuckey para comparar el porcentaje de especies en cada gremio entre tipo de bosque con el programa InfoStat.	112
Anexo 10. Comparación de los indicadores ecológicos mediante la Prueba de Friedman con el programa InfoStat.	113

Anexo 11. Puntos de los muestreo arqueológicos de la etapa II, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.....	114
Anexo 12. Comparación de los esquemas de secuencia cultural más atinentes al registro arqueológico del Valle de Turrialba.	115

1. Introducción

Diversas actividades se han desarrollado en la cuenca del Río Reventazón, que van desde explotaciones agropecuarias hasta la generación de hidroelectricidad. Esta cuenca posee características especiales que la hacen apta para la generación de hidroelectricidad, así desde 1963 a la actualidad, el ICE ha construido tres proyectos de ese tipo (Río Macho, Cachí y Angostura), produciendo el 25% de la hidroelectricidad del país (Campos 2010).

En la parte baja de esta cuenca es dominante la producción de banano, actividad orientada hacia el mercado externo. El pasto y la ganadería son actividades importantes en diversos sectores de la cuenca media y baja. Estos usos del suelo cubren una gran extensión territorial, pero sus rendimientos nunca han sido significativos (Arce 2004). PREVDA (2008), agrega que en la parte baja las actividades agropecuarias se presentan en las planicies de inundación, destacándose los cultivos de banano y piña en grandes extensiones de terreno.

Campos (2010), reportó una cobertura forestal de un 59% en la cuenca media-alta del Reventazón. PREVDA (2008), agrega que el uso de la cuenca del Reventazón es 54,1% antrópico y un 45,9% forestal; correspondientes a bosques maduros pocos alterados, mayormente presentes en el margen derecho del río.

Actualmente, en la cuenca baja del Río Reventazón se encuentra el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón en fase constructiva, donde el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) ha ido adquiriendo fincas para construir las obras del proyecto. Al unificar todas las propiedades adquiridas y por adquirir, se presenta una matriz de uso del suelo con diferentes coberturas como: bosques en diferentes estados de sucesión, potreros arbolados, pastos, urbano, entre otros. Ante esto, el ICE solicitó determinar la cobertura del suelo detalladamente utilizando imágenes satelitales ASTER y realizar una evaluación de la calidad, la composición florística y el valor ecológico de los bosques para tomar decisiones de manejo del área en el corto, mediano y largo plazo.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad y la composición florística de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.

2.2. Objetivos específicos

- Clasificar la cobertura del suelo con imágenes satelitales ASTER.
- Determinar las métricas de paisaje de la cobertura del suelo determinada.
- Determinar la composición, estructura y diversidad florística de los bosques.
- Determinar el estado de conservación de las especies de flora y fauna.
- Determinar la cantidad de especies de aves migratorias.
- Identificar las coberturas del suelo que contengan sitios y recursos únicos, amenazados o en peligro de extinción.
- Determinar el valor ecológico de los bosques.

3. Revisión de literatura

3.1. Clasificación digital de imágenes satelitales

3.1.1. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales ofrecen una perspectiva única de la Tierra y sus recursos, la información extraída de ellas muestran una cobertura global y periódica de la superficie terrestre. En los últimos años se ha divulgado el uso de estas imágenes para una gran variedad de aplicaciones como: desarrollo y planificación urbana, catastro, infraestructura, usos del suelo, estudios ambientales y de recursos naturales, agricultura, desastres naturales, entre otros (APN y SIB 2005).

GEO SAT (2012), menciona algunas ventajas de las imágenes satelitales, entre ellas:

- **Digital:** casi todas las imágenes procedentes de satélites se adquieren en formato digital.
- **Rápido:** un satélite levanta de manera rápida bosques, ciudades enteras, en comparación a imágenes aéreas y equipos fotográficos.
- **Económico:** para zonas extensas, las imágenes de satélite resultan normalmente más económicas que las fotografías aéreas.
- **Global:** los satélites no están limitados por fronteras políticas ni geográficas.
- **Actualizado:** se puede disponer de una imagen de satélite días después de su toma.
- **Sinóptico:** los satélites captan en una sola imagen, detalles de la cobertura del suelo, carreteras e infraestructuras que se extienden por cientos y miles de kilómetros cuadrados.

- **Preciso:** la información obtenida es una representación precisa, objetiva e imparcial de los objetos y detalles de la superficie terrestre.
- **Flexible:** se pueden sacar datos complejos y combinar las imágenes con datos geográficos distintos, con la capacitación en el manejo de programas informáticos de aplicaciones geográficas y procesamiento de imágenes.

3.1.2. Tipos de imágenes satelitales para determinar cobertura forestal

Para la generación de mapas de cobertura forestal, existen diferentes tipos de imágenes satelitales como las Landsat 5 utilizadas por Milla (2008), para determinar el cambio de uso de la tierra en Costa Rica: para el Área de Conservación Osa (1992-2005) y del Área de Conservación Tempisque. También imágenes de satélite LANDSAT TM3, TM5 y TM7 utilizadas para estudios sobre la dinámica de la cobertura forestal en Costa Rica (Calvo 2008). Además se han utilizado sensores de muy alta resolución espacial como IKONOS (Astola *et al.* 2004) y QuickBird (Laliberte *et al.* 2004), de alta resolución como ASTER (Muukkonen y Heiskanen 2005), SPOT (Desclée *et al.* 2006) e IRS (Srinivas *et al.* 2004).

3.1.3. Características de los sensores remotos

Los sensores remotos, permiten detectar a distancia las características físicas o biológicas de los objetos o elementos de la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo, mediante fotografías, registros eléctricos, magnéticos, electromagnéticos u otras formas de datos (Vargas 2008). Pueden ser valorados por una serie de características propias, lo cual hace que sean adecuados para una u otra labor, por eso es de suma importancia considerar estos aspectos a la hora de trabajar con un determinado sensor (Campos 2010). Estas características se mencionan a continuación:

- **Resolución espacial**

Es el tamaño medio del píxel. Depende de varios factores como la altura orbital, la velocidad de exploración y el número de detectores. Cuanto menor es el tamaño del píxel, mejor resolución tiene la imagen y es posible discriminar más objetos (Sobrino 2000; citado por Campos 2010). CATIE (2002), agrega que esta resolución es la que permite separar e identificar un objeto de su entorno. Esta resolución se expresa en metros e indica la capacidad del sensor para crear píxeles de diferentes medidas (5m x 5m, 10m x 10m, 30m x 30m y 80m x 80m).

- **Resolución espectral**

Es la capacidad del sensor para distinguir energías provenientes de diferentes longitudes de ondas. Los sensores con alta resolución espectral y que tengan una alta resolución espacial (15m x 15m ó 10m x 10m) son más útiles (CATIE 2002). Sobrino (2000) citado por Campos (2010), agrega que esta resolución indica el número y la anchura de bandas espectrales en que un sensor registra la radiación. Por ello, cuanto mayor sea el número de bandas y más estrechas, mejor es la resolución espectral y en consecuencia, aumenta la posibilidad de discriminar coberturas.

- **Resolución radiométrica**

Es la capacidad del sensor para registrar pequeñas diferencias de energía (CATIE 2002). Esta resolución hace referencia a la sensibilidad de un sensor y expresa su aptitud para diferenciar señales electromagnéticas de energía. El número máximo de niveles digitales de la imagen suele identificarse con la resolución radiométrica y oscila entre 64, 128, 256, 1024 bits. Cuanto mayor sea el número de niveles, mejor es la resolución radiométrica y mejor la información (Sobrino 2000; citado por Campos 2010).

- **Resolución temporal**

Es la periodicidad con que adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación) y diseño del sensor (ángulo de observación y abertura) (Sobrino 2000; citado por Campos 2010).

3.1.4. Imágenes ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

ASTER, es un importante sensor comercial y captador de imágenes multispectrales de avanzada, fue colocado a bordo de la nave espacial Terra de la NASA en diciembre de 1999 para estudiar diferentes aspectos de la superficie terrestre, especialmente recursos minerales. (Abrams y Hook 2000; citado por Karimpour y Stern 2009).

Una escena ASTER, cubre 61,5 km x 63 km, contiene datos de 14 bandas espectrales. Está compuesta por tres subsistemas de instrumentos separados que capturan a diferentes resoluciones imágenes de la Tierra (Cuadro 1): tres bandas en el espectro visible e infrarrojo cercano (VNIR, 0,5-1,0 μm) con 15 metros de resolución espacial, seis bandas en el espectro infrarrojo de onda corta (SWIR, 1,0-2,5 μm) con 30 metros de resolución y cinco bandas en el infrarrojo térmico (TIR, 8-12 μm) con 90 metros de resolución (Kamp *et al.* 2003).

Cuadro 1. Características del sensor ASTER.

Características	Subsistemas		
	VNIR	SWIR	TIR
Rango espectral (μm)	Banda 1: 0,52-0,60	Banda 4: 1,60-1,70	Banda 10: 8,125-8,475
	Banda 2: 0,63-0,69	Banda 5: 2,145-2,185	Banda 11: 8,475-8,825
	Banda 3N: 0,76-0,86	Banda 6: 2,185-2,225	Banda 12: 8,925-9,275
	Banda 3B: 0,76-0,86	Banda 7: 2,235-2,285	Banda 13: 10,25-10,95
		Banda 8: 2,295-2,365	Banda 14: 10,95-11,65
		Banda 9: 0,360-2,430	
Resolución espacial (m)	15	30	90
Cubrimiento (km)	60	60	60
Resolución radiométrica (bits)	8	8	12

Fuente: Yamaguchi *et al.* 1999; citado por Pour *et al.* 2011.

3.1.5. Importancia de realizar estudios de cobertura

La conversión humana de los hábitats naturales es una de las causas de pérdida de diversidad biológica, funciones ecológicas y alteraciones del ciclo hidrológico. El balance entre el hábitat natural y el paisaje humano, podría determinar el futuro de la conservación de la diversidad biológica en grandes áreas del planeta; por lo que, es importante mapear y cuantificar el grado de conversión humana del hábitat natural perturbado o dominado por el hombre (Lee *et al.* 1995).

Los estudios que se realicen sobre los cambios que se dan en la cobertura y usos del suelo, pueden ser mecanismos que apoyen la toma de decisiones en la planeación del desarrollo futuro de una zona. Los estudios sobre la cobertura y uso del suelo analizan y clasifican los diferentes tipos de cobertura y usos asociados, que el hombre práctica en una zona o región determinada.

Actualmente, los cambios en el uso del suelo están transformando a la cobertura rápidamente, sin que se tenga cuantificado este cambio a escala global, regional y local (López y Bocco S.F).

3.1.6. Clases de coberturas

De acuerdo al Instituto Meteorológico Nacional (1996) citado por Campos (2010), se recomienda agrupar las clases de cobertura del suelo para Costa Rica en:

- Bosque Natural

Cobertura vegetal conformada por especies con tallo y tronco leñoso; que se encuentran tanto en el bosque tropical lluvioso como el tropical seco. El bosque lluvioso es muy denso, en el que se pueden distinguir tres estratos principales. El dosel o estrato superior, compuesto de unos pocos árboles relativamente grandes y normalmente aislados, con grandes copas. El estrato medio se caracteriza por presentar árboles con copas presionadas unas contra otras. El estrato menor compuesto de árboles y arbustos cuyas copas llenan todo el espacio remanente.

- Bosque secundario

Es la cobertura vegetal que se ha desarrollado mediante un proceso de regeneración natural, después de haberse eliminado la cobertura de bosque original o gran parte de ella por actividades antrópicas o catástrofes naturales (erupciones volcánicas, deslizamientos, etc.). El rango de crecimiento de las especies varía entre los dos y cinco años, con estructuras muy heterogéneas.

- Charral

Es el primer estado de crecimiento de las especies en un proceso de regeneración natural de aquellas áreas que han sido abandonadas por las actividades agropecuarias; la edad de crecimiento de las especies es de cero a dos años. Está constituido por especies herbáceas y leñosas que no sobrepasan los cinco metros.

- Cultivos anuales

Aquellos cultivos que presentan un ciclo vegetativo (germinación, inflorescencia, fructificación y senectud) de un año o menos y sólo producen una cosecha durante ese período, entre estos se citan: el algodón, la papa, las hortalizas y granos (arroz, maíz, frijoles, otros).

- Cultivos permanentes

Cultivos cuyo ciclo vegetativo dura más de dos años y ofrecen durante este período más de dos cosechas, entre éstos: la caña de azúcar (que se corta o se quema, pero el rizoma permanece en el suelo volviendo a regenerar), el café, el banano, la palma africana y los cítricos.

- Lagunas/Embalses

Las lagunas son depósitos de agua naturales; algunas de estas son dinámicas porque están conectadas con un río, como por ejemplo: la laguna de Corcovado y la laguna de Caño Negro, otras como las lagunas cratéricas son relativamente estáticas.

Los embalses son cuerpos de agua; artificiales y estáticos, destinados principalmente a la producción de energía; tales como: Arenal, Angostura y Cachí.

- Páramo

Comunidad vegetativa compuesta por líquenes y musgos, así como de algunas especies arbustivas con hojas muy coriáceas; presenta un rango de precipitación anual de 2300 a 3500 mm y una temperatura que puede bajar hasta los -2°C (regiones más frías de Costa Rica). Estas comunidades vegetales, se ubican específicamente en las zonas altas y áreas abiertas de la Cordillera de Talamanca.

- Pastos

Formaciones vegetales compuestas por gramíneas y en ocasiones acompañadas con árboles y arbustos esparcidos; frecuentemente son dedicadas a la ganadería extensiva pero en algunos casos no presentan ningún uso.

- Urbano

Es el fraccionamiento y habilitación de un terreno para fines urbanos, mediante la apertura de calles y provisión de servicios, trazados de vías públicas y áreas a reservar para usos o servicios comunales. Presentan un arreglo geométrico.

3.2. Valor ecológico de los bosques

3.2.1. Características generales de los bosques tropicales

De la superficie forestal del mundo, un 52% corresponde a bosques tropicales que cubren solo el siete por ciento de la superficie del planeta, pero albergan más de la mitad de la riqueza mundial de especies (FAO 2005). De acuerdo con la última evaluación de bosques realizada por la FAO (2011), a nivel mundial existen un poco más de 4000 millones hectáreas de superficie boscosa, de las cuales América latina posee aproximadamente un 24% de estos bosques.

Los bosques de América Latina y del Caribe, son los bosques tropicales más importantes del mundo, tanto por su extensión geográfica como por su riqueza biológica y complejidad ecológica. Son ecosistemas dinámicos sujetos a la influencia de un amplio espectro de procesos ambientales; incluyendo desde formaciones de montañas, que pueden tardar millones de años y cubrir miles de kilómetros cuadrados, hasta las fluctuaciones que se observan en la intensidad de luz que llega al sotobosque (Guariguata y Kattan 2002).

Los bosques húmedos tropicales cumplen muchas funciones ecológicas, sin embargo, rápidamente pierden terreno por diversas razones, entre las que se incluyen: la situación socioeconómica de los países, las políticas gubernamentales de muchos países en relación con la explotación forestal y usos competitivos de las tierras boscosas (CATIE 2001).

Las funciones primarias de un bosque incluyen: la producción, la protección y la conservación de la diversidad biológica y de los recursos hídricos, aunque la población que vive en sus cercanías tenga distintas percepciones sobre el valor del mismo. Las funciones productivas son más fáciles de conceptualizar, ya que, comunidades pueden atribuir un valor tangible a los beneficios directos madereros y no madereros que obtienen del bosque (Ofosu 1997).

Costa Rica, en su Ley Forestal N° 7575 del año 1996, define bosque como un ecosistema nativo u autóctono, intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa una superficie de dos o más hectáreas, caracterizado por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del setenta por ciento (70%) de esa superficie y donde existan más de sesenta árboles por hectárea de quince o más centímetros de diámetro medido a la altura de pecho (DAP) (Asamblea Legislativa de Costa Rica 1996).

De acuerdo al estudio de cobertura forestal de Costa Rica del año 2009-2010, realizado por FONAFIFO, con apoyo de la cooperación financiera de Alemania, el país cuenta con una cobertura forestal del 52,3%, aumentando un 0,94% con respecto al mapa elaborado para el año 2005. Muchas de las áreas con cobertura forestal se encuentran en las zonas montañosas del país (MINAET y FONAFIFO 2012).

3.2.2. Bosques primarios

Los bosques primarios tienen un papel muy importante en el mantenimiento de la biodiversidad y protección de especies en peligro de extinción. Para estos bosques es recomendable no hacer intervenciones que podrían causar efectos negativos en la biodiversidad (CATIE 2001).

América Latina posee aproximadamente el 57% de los bosques primarios del mundo. De 891 millones de hectáreas de bosque estimadas, el 75% corresponde a bosques primarios (FAO 2011). Costa Rica dedica alrededor del 25% del territorio nacional a la preservación de ecosistemas. Fuera de las área protegidas, el área de bosques primarios es de aproximadamente 180000 hectáreas. Alrededor del 60% de estos bosques se encuentran en las tres zonas de mayor aprovechamiento comercial: Península de Osa, Zona Norte y Baja Talamanca, el 40% restante se encuentra distribuido en pequeñas áreas (Vásquez 2007).

3.2.3. Bosques secundarios

El bosque secundario abarca estadios de sucesión, desde el bosque inicial, en una superficie abierta natural o antropógena, hasta su fin, excluyendo el estadio de bosque climácico (Lamprecht 1990). Los bosques secundarios corresponden al 35% del total de los bosques tropicales del mundo. Existen alrededor de 850 millones de hectáreas de bosques secundarios en el mundo, de los cuales, 335 millones de hectáreas se ubican en América (Chacón 2006).

Algunos estudios han demostrado, el valor de los bosques secundarios, en cuanto a la protección y conservación de la biodiversidad vegetal. Estos bosques son valiosos por la relación que tienen con la reducción del carbono en la atmósfera. Durante sus primeras dos décadas se encuentran en una fase acelerada de crecimiento y es cuando son adecuados para fijar carbono. La acumulación de carbono en dichos bosques oscila entre 2 y 3,5 ton/ha/año (Berti 2001).

Los rendimientos de crecimiento para bosques secundarios en la zona norte de Costa Rica, se asemejan al de las plantaciones forestales, con valores que oscilan entre los 10 y 20 m³/ha/año en algunas especies presentes en las etapas de sucesión secundaria. Para un bosque de 18 años en la misma zona, el 56,7% del área basal (11,56 m²/ha) pertenece a especies comerciales. Por otro lado, un bosque secundario seco de 25 años ubicado en la Estación Experimental Forestal Horizontes en Guanacaste presentó volúmenes comerciales de 22 m³/ha y que en etapas más avanzadas de la sucesión (50 años) se encontraron volúmenes comerciales de 108 m³/ha (Berti 2001).

3.2.4. ¿Cómo se determina el valor ecológico de un bosque?

Debido a la preocupación por la conservación de los recursos naturales y en relación con el desarrollo sostenible, la FSC (Forest Stewardship Council) dentro de sus principios y criterios ha promovido el concepto de Bosques con Alto Valor para la Conservación (BAVC). Estos bosques constituyen ecosistemas que poseen atributos ecológicos, económicos y sociales especiales, importantes de mantener o incrementar a fin de procurar el uso sostenible de los recursos y el mantenimiento de valores relevantes de biodiversidad (Ordoñez 2009).

Los Bosques de Alto Valor para la Conservación, contienen valores significativos de biodiversidad, constituyen un refugio para especies en peligro, ofrecen servicios críticos a nivel de ecosistema, son fundamentales para satisfacer las necesidades o para aspectos de identidad de las comunidades locales (PROARCA *et al.* 2004).

Los seis tipos de Bosques de Alto Valor de Conservación (BAVC), según los principios y criterios del FSC (Ordoñez 2009) son:

BAVC 1: Concentraciones significativas de valores de biodiversidad a nivel global, regional o nacional. Esto incluye: áreas protegidas, especies endémicas, especies raras o amenazadas y concentraciones estacionales de especies.

BAVC 2: Grandes bosques a escala de paisaje significativos a nivel global, regional o nacional.

BAVC3: Áreas forestales dentro de, o que contiene, ecosistemas raros, amenazados, o en peligro.

BAVC4: Áreas forestales que proporcionan servicios básicos de ecosistema en situaciones críticas. Esto incluye: protección de cuencas, y protección contra la erosión e incendios.

BAVC 5: Áreas forestales fundamentales para satisfacer las necesidades básicas de comunidades locales.

BAVC 6: Áreas forestales críticas para la identidad cultural tradicional de comunidades locales.

3.2.5. Usos que se le brinda al valor ecológico de un bosque

El valor ambiental, desde el punto de vista ecológico, puede representarse a través de la biodiversidad contenida en un territorio, siendo un valor a conservar. La biodiversidad se expresa en tres niveles: genes, especies, ecosistemas o paisajes; siendo los atributos fundamentales de este último, su composición, estructura y función. Complementariamente al análisis de la biodiversidad a través del paisaje, el estudio de la vegetación puede resultar útil como herramienta de gestión ambiental, dado que informa sobre las características globales del paisaje,

de su madurez en términos de la sucesión ecológica, del grado de intervención antrópica y de la capacidad de albergar fauna nativa (De la Barrera *et al.* 2011).

Los resultados son aplicados para la toma de decisiones en el ámbito del ordenamiento territorial y planificación urbana, en la incorporación de recomendaciones para la protección a la escala de paisajes y ecosistemas, la protección de especies singulares y la entrega de resultados rápidos y bien fundados (De la Barrera *et al.* 2011).

3.3. Caracterización de los bosques

3.3.1. Composición florística del bosque

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. Una de las características de los bosques tropicales húmedos es alta diversidad de especies vegetales, tanto arbóreas como de otros componentes arbustivos y hierbas (CATIE 2001).

3.3.2. Estructura horizontal del bosque

La estructura horizontal refleja la distribución de los árboles por clase diamétrica. Está determinada por las características del suelo y del clima, las características y estrategias de las especies y los efectos de disturbios sobre la dinámica del bosque. Esta estructura es el resultado de la respuesta de las plantas al ambiente, a las limitaciones y amenazas que este presenta (CATIE 2001). Además, las reservas de árboles pequeños son suficientemente abundantes como para

sustituir a los árboles grandes cuando mueren. En ese sentido, naturalmente el rendimiento sostenido está asegurado (Lamprecht 1990).

3.3.3. Estructura vertical del bosque

La estructura vertical es determinada por la distribución de los organismos, tanto plantas como animales, a lo alto del perfil. Responde a las características de las especies que la componen y a las condiciones microambientales presentes en las diferentes alturas del perfil. Las diferencias en el microambiente, permiten que especies con diferentes requerimientos de energía, se ubiquen en los niveles que mejor satisfagan sus necesidades (CATIE 2001).

IUFRO hace una simple clasificación de la estructura vertical del vuelo, en las que se distinguen: piso superior (altura mayor a dos terceras partes de la altura superior de vuelo), piso medio (altura mayor a un tercio y menor a dos tercios de la altura superior de vuelo) y piso inferior (menor a un tercio de la altura superior de vuelo) (Leinbundgut 1958; citado por Lamprecht 1990).

3.3.4. Índice de Valor de Importancia

El Índice de Valor de Importancia (I.V.I) es calculado para cada especie, a partir de la suma de abundancia relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa; con este índice es posible comparar el peso ecológico de cada especie, dentro del tipo de bosque correspondiente. Índices similares para especies indicadoras, sugieren la igualdad o por lo menos la semejanza del rodal en su composición, en sus estructuras (Lamprecht 1990).

3.3.5. Gremios ecológicos

Los gremios ecológicos son una agrupación propuesta por Finegan en el año 1993 y Finegan y Delgado en el año 1997, donde el principal determinante es el comportamiento de las especies ante las gradientes ambientales más importantes dentro de los ecosistemas boscosos: luz y suelo. Los autores mencionados contemplan tres gremios; heliófitas efímeras, heliófitas durables y esciófitas (CATIE 2001). Finegan (1993) citado por Morales (2010), realiza una clasificación más detallada de estos grupos ecológicos, donde el factor luz es determinante, los cuales son:

- Heliófitas efímeras

Especies intolerantes a la sombra. Generalmente su reproducción es masiva y precoz; el crecimiento es rápido en buenas condiciones de luz y tienen una vida corta; son aptas para la colonización de espacios abiertos, las semillas mantienen su viabilidad por largo tiempo.

- Heliófitas durables

Especies intolerantes a la sombra, de vida relativamente larga. Las semillas mantienen la viabilidad por menos tiempo que las heliófitas efímeras. Además colonizan espacios abiertos, pueden regenerar en claros más pequeños del bosque, aunque requieren altos niveles de luz para poder establecerse y sobrevivir.

- Esciófitas parciales

Especies tolerantes a la sombra, aunque la mayoría de ellas aumentan su crecimiento como reacción a la apertura del dosel. Generalmente tienen un crecimiento más lento que las heliófitas, con mayor esfuerzo asignado a la

producción de estructuras permanentes, que favorecen una vida larga. Las semillas y frutos de estas especies, generalmente son de tamaño mediano a grande. Requieren necesariamente de un grado de iluminación para alcanzar el dosel y pasar de etapas intermedias hacia la madurez.

- Esciófitas totales

Especies que son tolerantes a la sombra, no tienen la capacidad de aumentar significativamente su crecimiento si se abre el dosel, por lo que no requieren algún grado de iluminación directa para alcanzar la madurez.

3.3.6. Estado de conservación de la flora y fauna

La tasa de extinción de especies a nivel global es mayor que la tasa natural y la gran mayoría de especies amenazadas continúan en declive, esta problemática de pérdida de especies a nivel nacional y mundial, obliga a desarrollar estrategias dirigidas a la conservación biológica, basadas en la interpretación y aplicación del conocimiento científico disponible hasta el momento, además de la comprensión y ataque de las causas (INBio 2006).

La asignación de una categoría de amenaza, obedece a una evaluación de la probabilidad de extinción de una especie en las circunstancias actuales, lo cual representa información relevante en términos de conservación biológica para los tomadores de decisión. En el país existen varias listas de especies amenazadas, que necesariamente no coinciden por tener diferentes objetivos y proceder de diferentes fuentes. Las más importantes son: la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la del Convenio Internacional para Tráfico de Especies en Peligro (CITES), de las que se extrae la lista de especies globalmente amenazadas para Costa Rica (especies en peligro, estado crítico y vulnerables) (INBio 2006).

En Costa Rica, se consideran en peligro de extinción aquellas especies forestales que están presentes solamente en cinco o menos localidades conocidas y con muy pocos individuos en cada localidad. Las especies amenazadas son aquellas que sólo están presentes en seis a veinte localidades conocidas y con pocos individuos en cada localidad. Especies raras son las que existen en densidades poblacionales muy bajas, es decir, son muy escasas en comparación con otras (Jiménez 1999).

3.4. Inventarios forestales

Los inventarios forestales se pueden definir como un “sistema de recolección y registro cuali-cuantitativo de los árboles y de las características del área sobre la cual se desarrolla el bosque, de acuerdo a un objetivo previsto y en base a métodos apropiados y confiables” (Dirección de Fomento Forestal 2006).

3.4.1. Muestreo forestal

El muestreo forestal es el acto de tomar o seleccionar una parte del bosque (muestra), realizar mediciones sobre ella e inferir o aplicar los resultados a todo el bosque (población) (Rivas 2006).

Los muestreos, permiten determinar las características de una población con respecto a diferentes variables, a un costo apropiado y dentro de los límites de tiempo razonables. La muestra es una parte representativa de la población con lo cual pueden hacerse inferencias correctas acerca de los valores de la población (CATIE 2002).

Según Rivas (2006), la FAO distingue principalmente dos tipos de muestreos; el muestreo al azar simple, donde se escoge una muestra de “n” unidades en que se

encuentre dividida una población, cada una de ellas debe tener la misma oportunidad de ser elegida; el muestreo al azar estratificado, donde las unidades de la población se agrupan de acuerdo a semejanza en alguna característica y luego se muestrea cada grupo o estrato para obtener la estimación de la población. CATIE (2002), menciona que además existen muestreos selectivos, aleatorios con y sin reemplazos y sistemáticos.

El muestreo sistemático es el método más aplicado en los inventarios para la elaboración de planes de manejo en bosques tropicales y el que se recomienda utilizar para concesiones forestales. El diseño implica una distribución regular con distancias igualmente distribuidas entre las unidades de muestreos (Carrera 1996; citado por Talley y Gutiérrez 2006).

3.4.2. Tamaño y forma de las parcelas

En bosques naturales latifoliados es recomendable establecer parcelas largas y angostas para cubrir una mayor área de terreno. La decisión de la forma ideal debe basarse en lograr máxima eficiencia y minimizar el sesgo. No es recomendable utilizar parcelas circulares ni cuadradas debido a que demandan un mayor tiempo para su levantamiento (CATIE 2002).

El tamaño de las parcelas estará en función del objetivo del inventario, de la variabilidad del bosque, del tamaño de la población y de la precisión deseada (CATIE 2002). En bosques de clima templado-frío es posible utilizar parcelas circulares, con un radio de 17,84 metros. Para bosques de clima cálido-húmedo las unidades de muestreo se delimitan con forma rectangular, generalmente con dimensiones de 20 m x 50 m (Rivas 2006).

En Centroamérica es común emplear parcelas rectangulares. El tamaño de las parcelas varía de un país a otro, por ejemplo, en Costa Rica se emplean parcelas

30 m x 100 m, mientras en Nicaragua y Honduras es común el empleo de parcelas de 20 m x 50 m (CATIE 2002).

3.4.3. Intensidad de muestreo

Mientras mayor es el área muestreada en relación al área total, mayor será la exactitud del valor obtenido. El tamaño de la muestra, puede estimarse aplicando un porcentaje de área total, se requiere experiencia y habilidad para fijar el porcentaje, el método no deja de ser subjetivo y arbitrario (Ferreira 1990; citado por Talley y Gutiérrez 2006).

Cuadro 2. Intensidades mínimas y otros parámetros de muestreo en función de la superficie poblacional.

Superficie total de los estratos forestales (ha)	Intensidad mínima (%)	Superficie muestreada (ha)	Tamaño de las unidades de muestreo (ha)
100	8,00	8	0,08
500	2,00	10	0,10
1 000	1,50	15	0,15
2 000	1,20	25	0,25
5 000	0,80	40	0,40
10 000	0,50	50	0,50
15 000	0,35	50	0,50
20 000	0,28	55	0,55
25 000	0,24	60	0,60
30 000	0,22	65	0,65

Superficie total de los estratos forestales (ha)	Intensidad mínima (%)	Superficie muestreada (ha)	Tamaño de las unidades de muestreo (ha)
50 000	0,20	100	1,00
100 000	0,15	150	1,50
200 000	0,10	200	2,00

Fuente: Dauber (1995); citado por CATIE (2002) y la Dirección de Fomento Forestal de Nicaragua (2006).

3.4.4. Distribución de la muestra

La representatividad de la muestra es fundamental para lograr resultados fidedignos. Una muestra pequeña bien distribuida, es mucho más eficiente que muestras de gran tamaño mal distribuidas. Las fórmulas estadísticas parten del hecho de que, las muestras son representativas; lo cual, se logra con una buena distribución. Se recomienda que ésta sea distribuida sistemáticamente en la superficie a inventariar en líneas de levantamiento paralelas equidistantes (Dauber 1995; citado por Dirección de Fomento Forestal 2006).

La distancia entre los puntos de la cuadrícula se puede calcular según la fórmula:

$$d = \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{n}}$$

Donde;

d= distancia entre los puntos centrales de las parcelas en Km.

A= superficie total del inventario en Km².

n= número de unidades de muestreo.

Para reducir las líneas de levantamiento y los costos, se puede aumentar la distancia entre ellas, multiplicando “d” por un factor entre 1 y 1,5, y reducir al mismo tiempo, la distancia entre los puntos centrales de las unidades sobre las líneas, dividiendo “d” por el mismo factor (CATIE 2002).

Quirós y Quesada (2003) y Tenorio *et al.* (2009), en inventarios florísticos en bosques húmedos establecieron parcelas distribuidas sistemáticamente con arranque aleatorio. En ambos muestreos, el error fue menor al 20% con una intensidad del cinco por ciento.

En el muestreo aleatorio, la muestra es tomada aleatoriamente de la población, los resultados tienen una alta confiabilidad, son imparciales y consistentes. Las unidades seleccionadas en una oportunidad no se vuelven a seleccionar en oportunidades sucesivas. Las parcelas de medición pueden aglomerarse o quedar áreas del bosque sin muestrear (CATIE 2002).

4. Metodología

4.1. Descripción del área de estudio

El Proyecto Hidroeléctrico Reventazón se ubica en la cuenca del Río Reventazón de la vertiente Caribe, comunidad del Coco de Moravia, cantón de Siquirres, provincia de Limón, aproximadamente a unos ocho kilómetros al suroeste de la ciudad de Siquirres camino a Turrialba (ICE 2008).

Este estudio se realizó en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, entre las coordenadas CRTM 05, latitud norte: 1106900 y 1116100; longitud oeste: 542000 y 549300 (Figura 1).

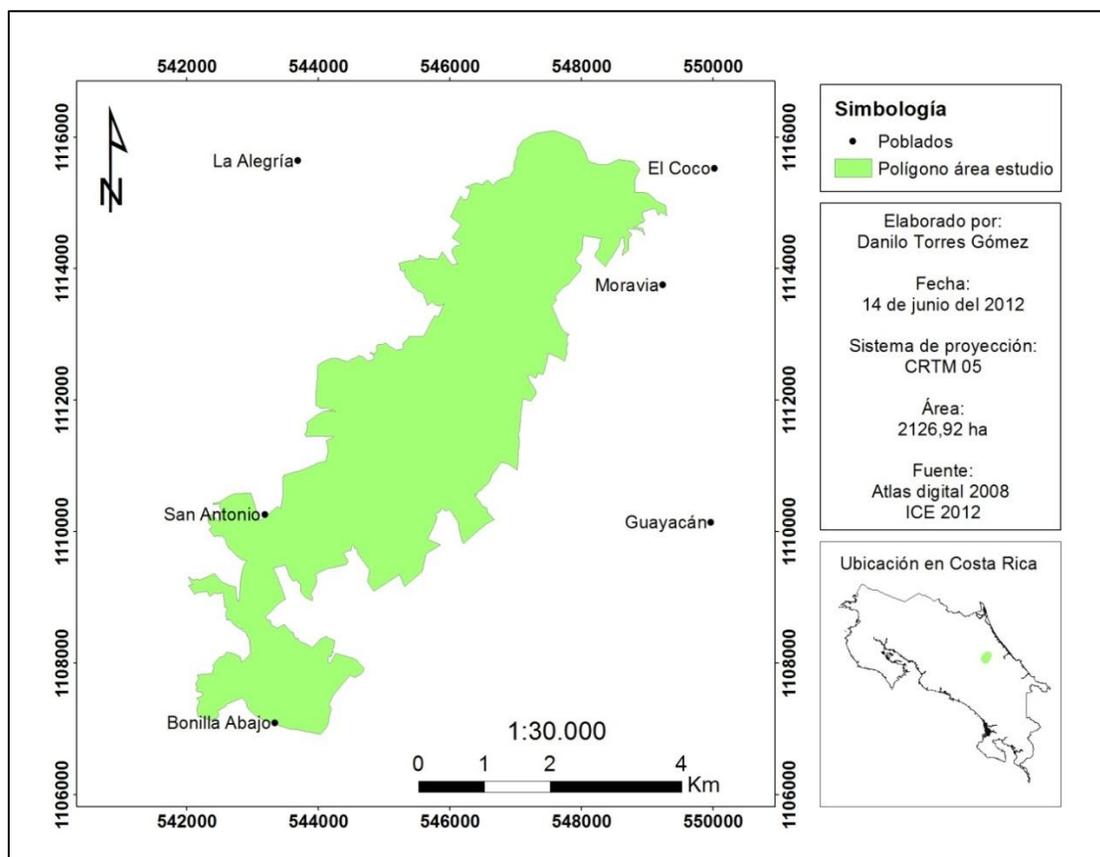


Figura 1. Área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

4.2. Condiciones del sitio

De acuerdo al Atlas Digital del año 2008 y con base en el sistema de clasificación de Holdridge, el área de estudio presenta dos zonas de vida: bosque muy húmedo premontano transición a basal y bosque muy húmedo tropical transición a premontano (ITCR 2008).

La estación 75002 Siquirres que se encuentra en la cuenca del Río Pacuare a una elevación de 70 m.s.n.m, reportó una precipitación media anual de 3846,4 mm, una temperatura promedio anual de 26,1 °C y una humedad relativa del 83%. La lluvia calculada hasta el sitio presa del proyecto, mediante isoyectas medias anuales para el período de 1970 al 2002 fue de 3317 mm (ICE 2008).

Aproximadamente el 20% de los suelos son del orden inceptisol: suelo joven con horizonte B cámbico (apenas se forma un horizonte B), presencia de humus, terrenos planos con pendientes de 0 a 2 % y moderadamente ondulados con pendientes de 15 a 30% (ITCR 2008).

Los suelos del orden ultisol representan aproximadamente el 80%, siendo generalmente profundos, bien drenados, terrenos fuertemente ondulados con pendientes de 30 a 60%, de color rojo o amarillo y relativamente de baja fertilidad (ITCR 2008).

4.3. Clasificación de la cobertura del suelo con la imagen satelital ASTER

Para clasificar la cobertura del suelo se realizó una clasificación supervisada. A continuación se detalla el procedimiento:

4.3.1. Obtención de la imagen satelital

Se utilizó una imagen ASTER del año 2010, suministrada por el proyecto Atlas Digital 2014 del Instituto Tecnológico de Costa Rica, proveniente del Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC). La imagen se encontraba georeferenciada en el sistema de proyección UTM zona 17.

4.3.2. Análisis de la imagen

Para clasificar la cobertura del suelo, primero se realizó un preprocesamiento de la imagen que se detalla a continuación:

- **Cambiar el sistema de proyección:** se proyectó la imagen satelital del sistema de proyección UTM zona 17 a CRTM 05 con la herramienta Project raster disponible en ArcToolbox de ArcGis 10.0. Se verificó la georeferenciación con las capas de ríos, red de caminos y poblados del Atlas Digital de Costa Rica 2008.
- **Seleccionar área de trabajo:** se realizó un clip con la herramienta Raster processing disponible en ArcToolbox para recortaren la imagen ASTER el área de trabajo seleccionada.
- **Creación de imágenes falso color:** cada banda de la imagen fue exportada con una misma resolución espacial de 15 metros. Posteriormente, con la herramienta Composite bands disponible en ArcToolbox de ArcGis 10.0. se elaboró la imagen compuesta.

4.3.3. Toma datos de campo

Se realizó giras de campo dentro y fuera del área de estudio, donde se localizaron zonas de cobertura homogénea para evitar confusiones entre clases de cobertura. En cada tipo de cobertura se tomó un punto de control (área de entrenamiento) empleando una unidad de GPS (marca Garmin, modelo GPS map 76CSx).

Se procuró obtener puntos con un error de aproximación menor a siete metros. Se tomaron puntos de control, tanto para dibujar las áreas de entrenamiento como para validar la clasificación supervisada. En total fueron tomadas 153 áreas de entrenamiento.

4.3.4. Digitalización de las áreas de entrenamiento

Con las áreas de entrenamiento se dibujaron polígonos para la creación de las firmas espectrales.

4.3.5. Clasificación supervisada

Con los polígonos de las áreas de entrenamientos, se procedió a crear las firmas espectrales de las diferentes coberturas con la herramienta Create signatures disponible en ArcToolbox de ArcGis 10.0

Comprobadas las firmas, se procedió a realizar la clasificación supervisada. Para esto se utilizó el algoritmo Maximum Likelihood, disponible en ArcToolbox de ArcGis 10.0.

Maximum Likelihood, supone que cada clase tiene una distribución normal y calcula la probabilidad de que un píxel pertenezca a una clase específica. A menos que se seleccione un umbral de probabilidad, todos los píxeles se clasifican. Cada píxel es asignado a la clase que tiene la máxima probabilidad de pertenecer (ENVI 2005).

4.3.6. Validación de la clasificación

Para realizar la validación, se utilizó un total de 76 puntos de control seleccionados aleatoriamente del total de puntos tomados en las visitas de campo.

Seleccionados los puntos, se creó una matriz de error; conformada por filas y columnas, donde se ubicó la cantidad de puntos de control asignados a una categoría en particular, en relación con la verdadera categoría verificada con la información de los puntos de control.

4.4. Análisis de métricas del paisaje

Con la clasificación de la cobertura del suelo, se analizaron las métricas de paisaje usando la extensión Patch Grid disponible en ArcGIS 10.0 en formato raster (Cuadro 3). Se seleccionó una superficie mayor al área de estudio para tener una mejor comprensión de las características espaciales del paisaje (Anexo 3).

Cuadro 3. Métricas de paisaje que se analizaron en el área seleccionada, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Métricas del paisaje	Explicación
Área total del paisaje	Área que ocupa el total de fragmentos, es decir, área correspondiente a todo el territorio representado, se expresa en hectáreas (ha).
Área por clase	Área correspondiente al conjunto de fragmentos que constituyen una clase determinada, se expresa en hectáreas (ha).
Porcentaje de paisaje	La suma de las áreas de todos los parches de cada clase en el total de área de paisaje (%).
Número de parches	Número de fragmentos que posee una determinada clase. Se representa en números enteros.
Densidad de parches	El número de parches de cada clase por cada 100 hectáreas.
Tamaño promedio de los parches	Relación entre el área ocupada por una clase y el número de fragmentos correspondientes a aquella clase. Se representa en hectáreas (ha).
Desviación estándar del tamaño promedio de los parches	Medida de la variabilidad de tamaños de los fragmentos. Se expresa en hectáreas (ha).
Borde total	La suma total de todas las longitudes de borde de una clase. Se expresa en metros (m).
Densidad de borde	Borde total de una clase dividido entre el área total del paisaje. Se expresa en metros por hectárea (m/ha)

Métricas del paisaje	Explicación
Total de área núcleo	Superficie de hábitat interior correspondiente a cada fragmento. Se expresa en hectáreas (ha). Igual a cero cuando la clase carece de área núcleo.
Distancia más cercana al parche de la misma clase	Distancia al fragmento de la misma clase más próximo. Se representa en metros (m). Valores altos implica que los parches están aislados, por lo que existe más fragmentación.
Índice de forma	Analiza la complejidad de la forma de los fragmentos en comparación a una forma estándar. Valores cercanos a uno, los patrones de forma no son circulares, por lo que son áreas fragmentadas, menos irregulares y con formas simples.
Índice de intercalación y yuxtaposición	Valores de cero, los parches son pocos abundantes, alrededor de 50 implica que tienen buena distribución y cercanos a 100 los parches están bien distribuidos por todo el territorio. Se representa en porcentajes (%).
Índice de diversidad de Shannon	Valora la diversidad paisajística, es decir, la heterogeneidad, a partir de la diversidad de fragmentos. Es igual a cero cuando el paisaje contiene sólo una clase dentro del paisaje. Aumenta conforme incrementa el número de clases por lo que existe más riqueza.

*clase es igual a un tipo de cobertura que puede ser bosque, pastos, urbano, etc.

4.5. Evaluación de la composición florística de los bosques

Se realizó en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón un muestreo florístico en la cobertura forestal remanente; según la clasificación de la cobertura del suelo, determinada en la clasificación supervisada.

4.5.1. Muestreo

Se realizó un muestreo florístico estratificado a una intensidad del 0,37% para todo el bosque presente (bosque maduro y secundario). Se establecieron parcelas temporales de 1500 m² (30 m x 50 m). Las parcelas 14, 15, 16, 23, 24, 29 y 30 fueron establecidas en el margen izquierdo del Río Reventazón (Figura 2). Cada unidad de muestreo fue georeferenciada con un punto de GPS (GPS map 76 CSx) y marcada con cinta topográfica de color anaranjado.

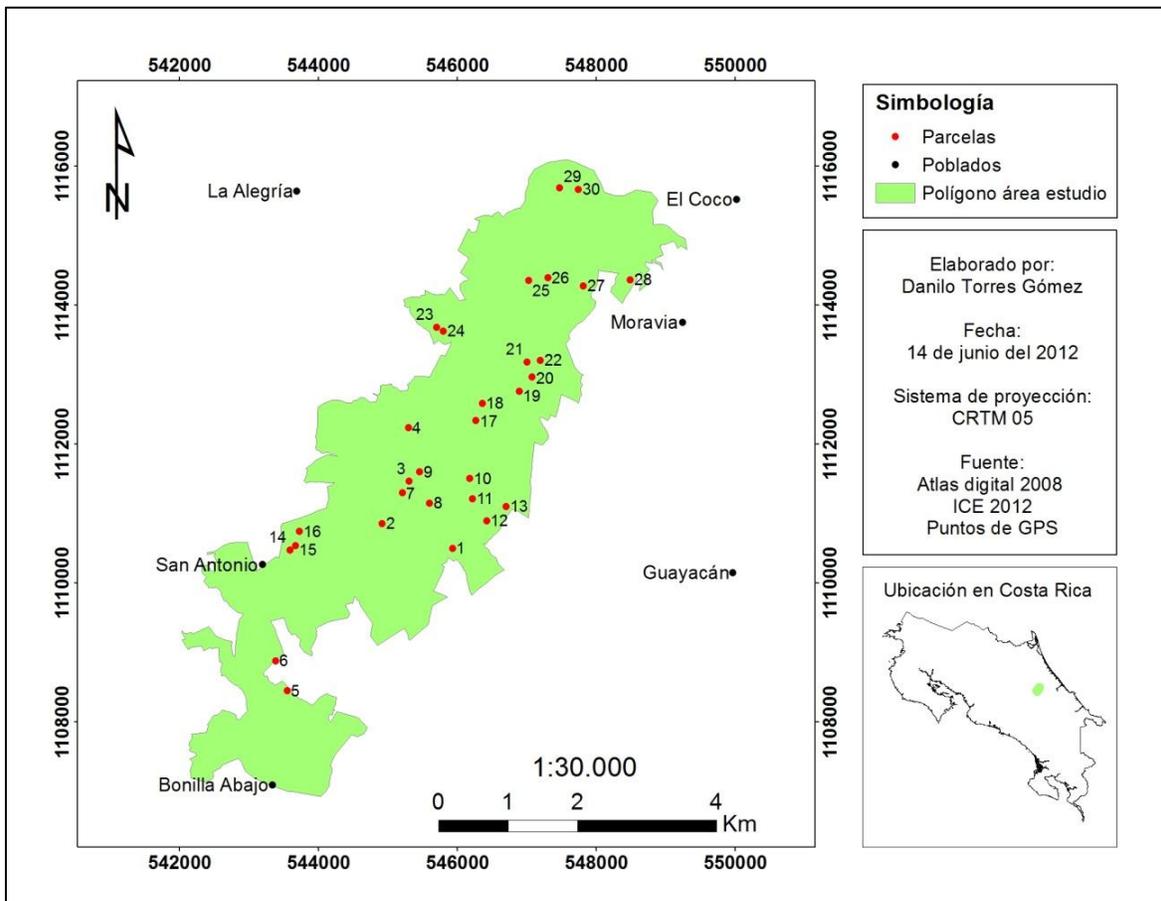


Figura 2. Ubicación de las unidades de muestreo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

4.5.2. Variables registradas en cada unidad de muestreo

Dentro de cada parcela, se procedió a medir todos los individuos con diámetro \geq a 10 cm a una altura de 1,3 metros del suelo con cinta diamétrica y en los casos donde no fue posible realizar la medición en esta parte del árbol, se realizó según la metodología expuesta por CATIE (2000) y se estimó la altura total de cada individuo en metros (m).

Cada individuo muestreado fue identificado a nivel de familia, género, especie y nombre vernáculo; para las especies desconocidas se recolectó muestras de hojas para identificarlas por medio de expertos taxónomos, uso claves taxonómicas, libros, páginas de internet, entre otras fuentes.

4.5.3. Estructura horizontal

La estructura horizontal de los bosques se determinó con el número de árboles (n) y área basal (m^2) extrapolados a hectárea, según su distribución diamétrica.

- Cálculo de área basal

Para el cálculo del área basal de los individuos muestreados, se empleó la siguiente fórmula:

$$G = \frac{\pi}{4} * d^2$$

Donde:

G = área basal en metros cuadrados

d = diámetro basimétrico en metros

4.5.4. Estructura vertical

La estructura vertical de los bosques se determinó utilizando la metodología IUFRO (Leibundgut 1958; citada por Lamprecht 1990), en la que se distinguen tres estratos de altura:

- Piso superior: número de individuos por especie que se encuentran a una altura mayor a dos terceras partes de la altura superior del vuelo del bosque en estudio.
- Piso medio: número de individuos por especie que se encuentran entre las dos terceras partes y una tercera parte de la altura superior del vuelo del bosque en estudio.
- Piso inferior: número de individuos por especie que se encuentran en una altura menor a un tercio de la altura superior de vuelo del bosque en estudio.

4.5.5. Determinación del Índice de Valor de Importancia (I.V.I), índice de Shannon – Wiener, índice de Margalef e índice cualitativo de Sorensen

La composición florística se analizó con diferentes índices (Cuadro 4). La diferencia de diversidad en los bosques, se determinó usando la prueba estadística de Tuckey con el programa InfoStat a un nivel de significancia de 0,05.

Cuadro 4. Fórmulas de los índices utilizados para comparar la composición florística de los bosques del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Índice	Fórmula	Variables
Índice Valor de Importancia (I.V.I)	$I.V.I = \%DR + \%AR + \%FR$	$\%DR = \frac{G \text{ de la especie por ha}}{\sum G \text{ de cada especie por ha}} * 100$; G= área basal $\%AR = \frac{\# \text{ individuos de una especie por ha}}{\sum \text{ de individuos de cada especie por ha}} * 100$ $\%FR = \frac{\text{Frecuencia de una especie}}{\text{Frecuencia total para todas las especies}} * 100$
Shannon-Wiener	$H = -\sum P_i \ln P_i$	H= Índice de Shannon-Wiener P_i = Abundancia relativa de cada una de las especies
Índice de Margalef	$D_{MG} = (S-1) / \ln N$	D_{MG} = Índice de Margalef S= número de especies encontradas N= número total de individuos
Índice cualitativo de Sorensen	$S = (2C / (A+B)) * 100$	A= número total de especies en la comunidad A B= número total de especies en la comunidad B C= número de especies comunes en A y B

4.5.6. Gremios ecológicos

Se determinó la cantidad y el porcentaje de especies por gremio ecológico; de manera que, se pudo caracterizar los bosques en proporción de especies heliófitas efímeras, heliófitas durables y esciófitas. La clasificación utilizada fue la propuesta por Finegan (1993) citado por Morales (2010) y la utilizada en los “Estándares de Sostenibilidad para Manejo de Bosques Naturales” de Costa Rica. Además se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el programa estadístico InfoStat para encontrar si existían diferencias significativas en cada gremio ecológico por tipo de bosque.

4.6. Componente faunístico

Se evaluó el componente biológico mediante una base de datos suministrada por la unidad de biología del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. La información contenía especies de grupos faunísticos como: mamíferos, aves, reptiles y anfibios encontradas en los muestreos realizados: monitoreo de redes, monitoreo de puntos, monitoreos diurnos y nocturnos y especies rescatadas. Estos muestreos se realizaron en los sitios de obras del proyecto como las escombreras, caminos, patios de trozas, vertedor, sitio presa, entre otros. Con esta base de datos se determinó el estado de conservación de las especies de fauna y la cantidad de especies de aves migratorias.

4.7. Estado de conservación de las especies de flora y fauna

Se clasificó las especies de flora y fauna, según su estado de conservación de acuerdo a las siguientes fuentes:

1. Lista Roja de especies amenazadas de la UICN (2012).

2. Apéndices CITES (2012).
3. Evaluación y categorización del Estado de Conservación de Plantas en Costa Rica (Estrada *et al.* 2005).
4. Especies de flora vedadas por el Decreto ejecutivo No. 25700–MINAE.
5. Lista de especies endémicas utilizada por Grúas II(SINAC 2007).
6. Decreto ejecutivo No. 32633-MINAE, para categorizar la fauna.

Las especies vedadas, son aquellas que tienen una protección total de corta y las especies endémicas son aquellas que solo crecen, se desarrollan y tienen una distribución restringida a un área geográfica específica.

4.8. Componente arqueológico

Se evaluó el componente arqueológico, mediante una base de datos suministrada por la unidad de arqueología del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón de la etapa II; donde se incluyó los sitios: camino a sitio presa, tubería de alta presión, escombreras (3, 7, 8, 11 y 12), casa de máquinas, patios de trozas I y II, vertedor, camino 1 MD, camino 2-etapa I y III, camino 3 y camino 3 MD (Anexo 11).

La base de datos contenía cada pozo de muestreo georeferenciado en el sistema de proyección CRTM 05 con sus respectivos hallazgos (cantidad de piezas de cerámica y líticas). Las piezas encontradas fueron ubicadas en períodos culturales para el valle de Turrialba (Anexo 12), como:

- Período La Selva, entre 1000 y 1500 años antes del presente.
- Período El Bosque, entre 1500 y 2300 años antes del presente.
- Período Formativo, entre 1500 y 3500 años antes del presente.
- Período Arcaico tropical, entre 3000 y 10000 años antes del presente.
- Período Paleoindio, entre 10000 y 11200 años antes del presente.

4.9. Evaluación de los indicadores de la dimensión ecológica

Los resultados obtenidos en el análisis de métricas de paisaje, la determinación de la estructura y composición florística de los bosques, el estado de conservación de las especies de flora y fauna, la lista de aves migratorias y la presencia de material arqueológico; sirvieron como base para evaluar los indicadores de la dimensión ecológica del bosque maduro y secundario para la determinación del valor ecológico. Se utilizó y se modificó la definición de Bosques de Alto Valor de Conservación, según los principios y criterios del FSC y las directrices presentadas por Rayden (2008). Las diferencias encontradas en la evaluación de los indicadores fueron probadas mediante el análisis de Friedman con el programa estadístico InfoStat. Las categorías e indicadores medidas se describen en los cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Categorías de los indicadores ecológicos de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Valor	Condición
4	Estado deseado, no se necesitan acciones para mejorar las condiciones.
3	Por encima del promedio, requiere menos acciones para alcanzar los objetivos.
2	Promedio, requieren algunas acciones para alcanzar los objetivos.
1	Pobres, requieren muchas acciones para alcanzar los objetivos.
0	Inaceptable para el logro de los objetivos.
N/A	No se aplica a la zona.

Cuadro 6. Indicadores ecológicos de los bosques en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

-
- | | |
|-----|---|
| I | El área y tipo de regeneración del hábitat, aumenta la conectividad entre el núcleo de las áreas en el corto y mediano plazo. |
| II | El área incluye ecosistemas o hábitats únicos, que no están representados o sin protección. |
| III | El área contiene poblaciones de especies de interés para la conservación. |
| IV | El nivel de intensidad en las acciones para que necesitan ser incluidos como BAVC. |
| V | El área provee servicios ecosistémicos importantes. |
| VI | La ubicación en el paisaje, incluye rutas de especies migratorias y/o vías tradicionales de desplazamiento. |
-

5. Resultados

5.1. Cobertura del suelo en el área núcleo de obras del P.H. Reventazón

La mayor concentración de bosques se encontró en el margen derecho del Río Reventazón; en el margen izquierdo el bosque maduro es muy escaso, con parches aislados, predominó el bosque secundario, potrero arbolado y potrero. Mediante la clasificación supervisada se obtuvo nueve clases de cobertura del suelo (Figura 3).

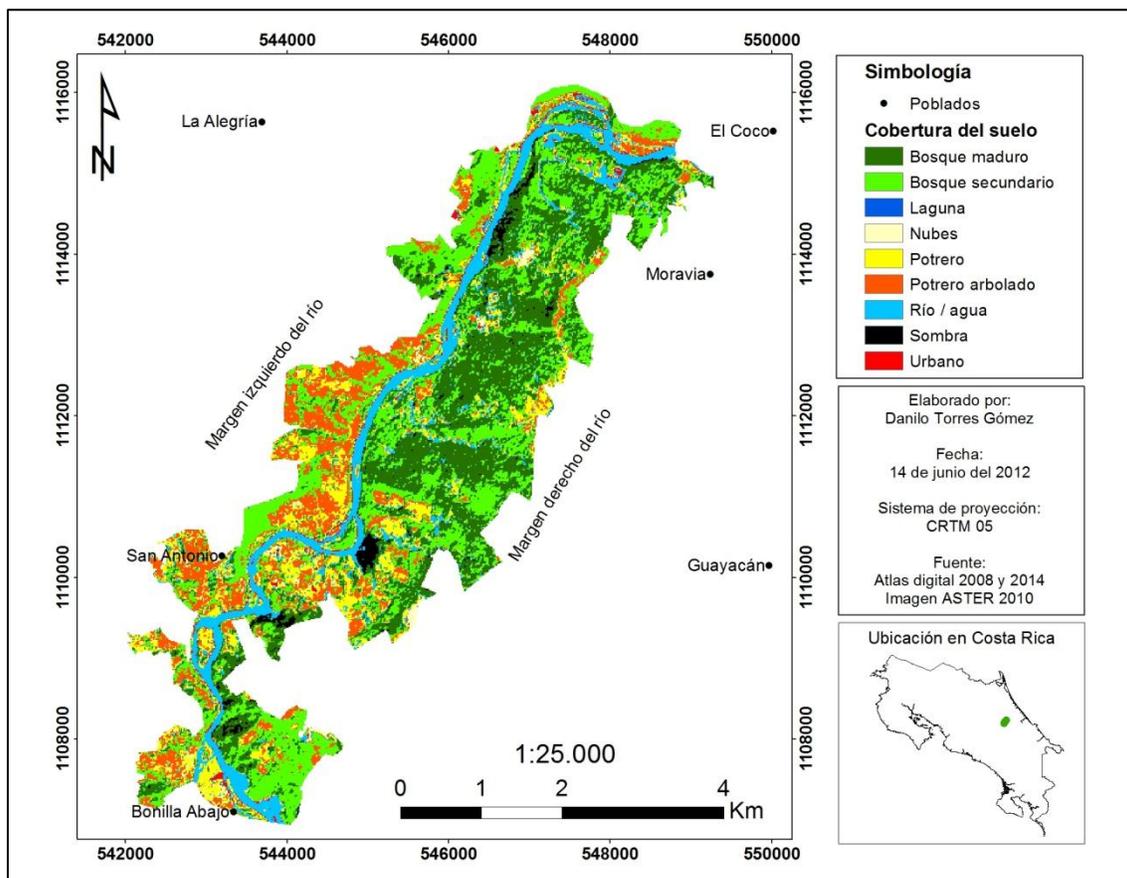


Figura 3. Cobertura del suelo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

En la categoría de bosque maduro, se incluyó coberturas como bosque primario, bosque primario intervenido y bosque secundario en estado sucesional avanzado, que por su estructura y composición no fue posible diferenciar del bosque primario y primario intervenido.

La categoría bosque secundario, abarcó clases de cobertura forestal con estados sucesionales menos avanzados y plantaciones abandonadas donde el sotobosque presentó especies de bosques secundarios jóvenes e intermedios.

La clase potrero arbolado, incluyó potreros con árboles dispersos; los pastos sin árboles fueron categorizados en la clase potrero. La clase urbano, se refiere a casas, calles pavimentadas y caminos de lastre. La cobertura río / agua, se refiere al río principal “Río Reventazón” y a las microcuencas de ambos márgenes del río donde fue posible detectar agua.

Cabe destacar que, el área de estudio, no presentó áreas con cultivos anuales o perennes, pues la mayoría de las propiedades antes de ser adquiridas por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), se dedicaban a la ganadería; al norte y fuera del área de estudio, a pocos kilómetros de distancia se encontró cultivos de piña y banano. El área de estudio, presentó una pequeña laguna de aproximadamente media hectárea; en la parte sur del margen derecho del Río Reventazón en propiedad privada y fuera del área de estudio se encontró una laguna más grande, conocida como “Laguna Lankaster”.

El 57,68% (1226,86 ha) del área de estudio presentó cobertura forestal (Bosque maduro + Bosque secundario); la categoría bosque secundario abarcó el 29,49% del área total de estudio, seguida por la clase bosque maduro con el 28,19% del área (Cuadro 7).

El potrero arbolado presentó 299,16 ha (14,07%). El recurso hídrico (clase agua) representó un porcentaje importante dentro del área estudiada con 291,44 ha (13,70%). Otra cobertura importante a destacar es la de potreros, ya que fue de 241,54 ha (11,36%).

Cuadro 7. Número de hectáreas y porcentajes de las clases de cobertura del suelo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Cobertura del suelo	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque maduro	599,60	28,19
Bosque secundario	627,26	29,49
Potrero arbolado	299,16	14,07
Potrero	241,54	11,36
Río / agua	291,44	13,70
Urbano	1,96	0,09
Laguna	0,52	0,02
Nubes	31,46	1,48
Sombra	33,98	1,60
Total	2126,92	100

5.2. Validación de la clasificación supervisada

Se validó la clasificación supervisada mediante una matriz de error. Se obtuvo un 94,7% de exactitud entre lo clasificado y la cobertura real existente. Además, se logró un 100% de exactitud para la clasificación de bosque y no bosque.

Cuadro 8. Matriz de error para evaluar los resultados finales de la clasificación supervisada para el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Clasificación	Cobertura real							Total
	BM	BS	PA	CB	CP	RA	UR	
BM	25	1						26
BS	3	23						26
PA			2					2
CB				6				6
CP					5			5
RA						6		6
UR							6	6
Total	28	24	2	6	5	6	6	76

Donde: BM: Bosque maduro BS: Bosque secundario PA: Potrero arbolado
 CB: Cultivo de banano CP: Cultivo de piña RA: Río/agua
 UR: Urbano

La clase bosque maduro fue clasificada en una ocasión como bosque secundario y el bosque secundario se clasificó en tres ocasiones como bosque maduro; esto se debió a que, el bosque secundario en estadios sucesionales avanzados en algunos casos, fue similar en estructura y composición florística a los bosques primarios y primarios intervenidos, lo cual los hizo espectralmente similares y por tanto, fue difícil separarlos. La validación coincidió para las demás clases de cobertura del suelo.

5.3. Métricas del paisaje

Se analizó el paisaje en un matriz de uso del suelo de 9801,98 hectáreas. La clase bosque maduro cubrió un área de 1967,56 ha (20,07%), el bosque secundario

2808,74 ha (28,65%), el potrero arbolado 2216,40 ha (22,61%) y el potrero 1687 ha (17,22%) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores de las métricas de paisaje para cada clase de cobertura del suelo, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Métricas del paisaje	Bosque	Bosque	Potrero	
	maduro	secundario	arbolado	Potrero
Área por clase (ha)	1967,56	2808,74	2216,40	1687,50
Porcentaje en el paisaje (%)	20,07	28,65	22,61	17,22
Número de parches	4716	4960	4262	5548
Densidad de parches	48,11	50,60	43,48	56,60
Tamaño promedio de los parches (ha)	0,042	0,057	0,052	0,030
Desviación estándar del promedio de los parches (ha)	5,96	4,44	5,14	1,67
Borde total (Km)	1587,57	2036,46	1736,88	1734,27
Densidad de borde (m/ha)	161,96	207,76	177,20	176,93
Total de área núcleo (ha)	690,59	112,84	803,12	408,51
Distancia más cercana al parche de la misma clase (m)	280,80	229,70	245,00	237,80
Índice de forma	1,31	1,38	1,39	1,39
Índice de intercalación y yuxtaposición (%)	52,58	55,31	58,60	71,81

La mayor cantidad de parches se presentó en la clase potrero con un total de 5548, seguido por el bosque secundario con 4960 parches, el bosque maduro con 4716 parches y potrero arbolado con 4262 parches. La categoría potrero presentó una densidad de parches de 56,60, seguido por el bosque secundario con 50,60, el bosque maduro con 48,11 y el potrero arbolado con 43,48. Estos valores altos se debieron a que en los alrededores del área de estudio se encontraron fincas en comunidades como: La Alegría, San Antonio, Florida, entre otras; cuyos propietarios se dedican a la ganadería de leche y engorde, que a través de los años fragmentaron el paisaje.

El tamaño promedio de los parches; para la clase bosque secundario fue de 0,057 ha con una desviación estándar de 4,44 ha; el de potrero arbolado fue de 0,052

ha, con una desviación estándar de 5,14 ha; el bosque maduro presentó un área promedio de parche de 0,042 ha, con una desviación estándar de 5,96 ha; y la clase potrero presentó 0,30 ha, con una desviación estándar de 1,67 ha, menor a las otras clases. Estas desviaciones estándares indican que existe variabilidad en el tamaño de los fragmentos para cada clase.

La sumatoria de la longitud de borde de los parches; para la categoría bosque secundario fue la mayor, con un aproximado de 2036,46 Km y una densidad de borde de 207,76 m/ha, lo que ayuda a aumentar la conectividad con otros parches de bosques secundarios y/o maduros; facilitando el intercambio de genes.

La clase potrero arbolado presentó 803,12 ha de área núcleo, el bosque maduro 690,59 ha, la clase potrero 408,51 ha y bosque secundario con un área de 112,84 ha. Para el índice de forma, el bosque maduro posee la forma más simple con un valor de 1,31 en comparación al bosque secundario, potrero arbolado y potrero, los cuales presentaron formas más irregulares.

La clase bosque secundario presentó una distancia promedio a su vecino más cercano de la misma clase de 229,70 metros, la clase potrero arbolado presentó 237,80 metros, la clase potrero 245 metros y el bosque maduro presentó la mayor distancia entre parches, la cual fue de 280,80 metros, lo que indicó que los fragmentos de esta clase estaban más aislados con respecto a las demás categorías

Para el índice de intercalación y yuxtaposición, la clase potrero presentó parches bien distribuidos por todo el territorio, con un valor de 71,81%. La clase bosque maduro, bosque secundario y potrero arbolado presentaron una buena distribución dentro del territorio, ya que sus valores fueron superiores a 50%. Por otro lado, se obtuvo un valor de 1,70 para el índice de diversidad de Shannon, de acuerdo a este índice, el paisaje analizado presentó poca diversidad paisajística, ya que el valor es cercano a uno y se tienen nueve clases de cobertura del suelo.

5.4. Evaluación de la composición florística

En total se midieron 2083 individuos distribuidos en 60 familias y 231 especies. El bosque maduro presentó 211 especies, un área basal promedio de 31,93 m²/ha y 563,16 individuos por hectárea; el bosque secundario registró 103 especies, un área basal promedio de 17,83 m²/ha y 289,70 individuos por hectárea. Para el muestreo realizado se obtuvo un error relativo para el área basal del 9,68%.

5.4.1. Estructura horizontal

Las figuras 4 y 5 muestran la distribución del número de individuos por hectárea, según clase diamétrica para el bosque maduro y secundario. Esta distribución diamétrica asemeja a una jota invertida, donde la mayor cantidad de árboles se concentró en las clases diamétricas inferiores y muy pocos en diámetros mayores.

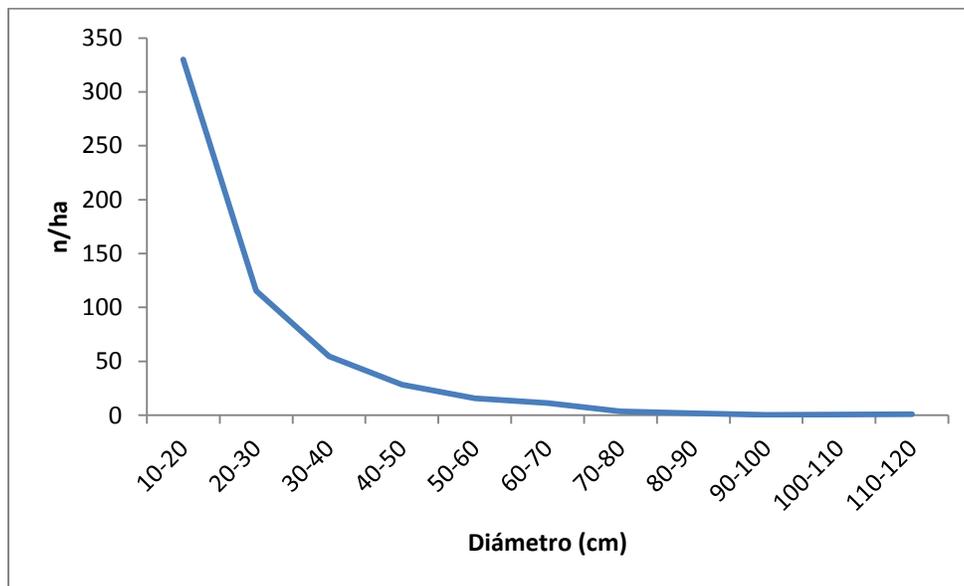


Figura 4. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque maduro, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

En la clase de 10 a 20 cm se encontró el 58,63% (330,18 n/ha) de los individuos. En las primeras tres clases diamétricas se presentaron el 88,85 % (500,35 n/ha) de los árboles. Se encontraron especies como: *Rollinia pittieri*, *Luehea seemannii*, *Quararibea asterolepis*, entre otras con diámetros superiores a 80 cm.

En el bosque secundario, la clase diamétrica de 10 a 20 cm presentó el 53,77% (155,76 n/ha) de los individuos. El 87,87% (254,55 n/ha) de los árboles se encontraron en las primeras tres clases diamétricas. Se encontraron árboles de especies remanentes como: *Erythrina poeppigiana*, *Albizia carbonaria*, *Rollinia pittieri* y *Goethalsia meiantha* con diámetros superiores a 70 cm. Es importante destacar que no se encontraron individuos con diámetros entre 90 y 100 cm.

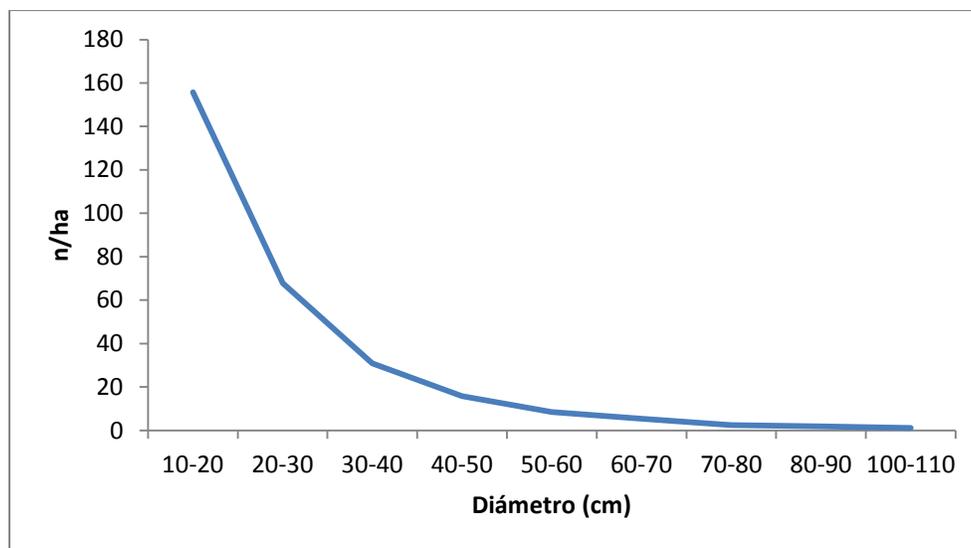


Figura 5. Distribución diamétrica del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque secundario, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

En el bosque maduro y secundario se encontró la mayor área basal por hectárea en las primeras clases diamétricas; debido a que también en estas clases de diámetro fue donde se presentó la mayor cantidad de individuos por hectárea.

El bosque maduro presentó un área basal promedio de 31,93 m²/ha, distribuida en 11 clases diamétricas (Figura 6). En las clases de 100 a 110 cm y de 110 a 120 cm se encontró un aumento del área basal, debido a que se presentaron cuatro individuos de *Luehea seemannii* y uno de *Bursera simaruba*.

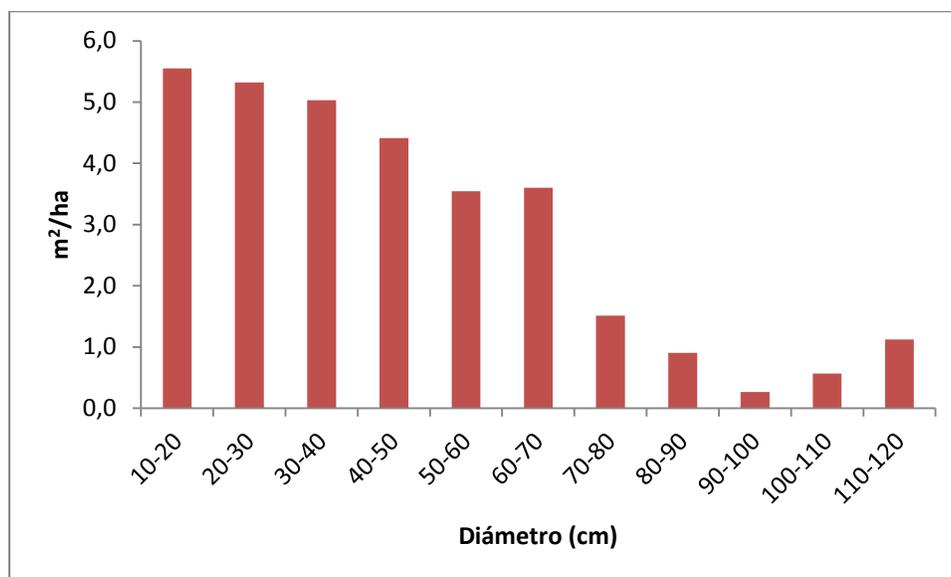


Figura 6. Distribución diamétrica del área basal por hectárea (m²/ha) en el bosque maduro, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

El bosque secundario presentó un área basal promedio de 17,83 m²/ha, distribuida en nueve clases diamétricas; no se encontraron árboles en la clase diamétrica de 90 a 100 cm (Figura 7). Conforme aumentaron la clases diamétricas, decreció el área basal, sin embargo, las últimas tres clases de diámetro presentaron valores de área basal similares.

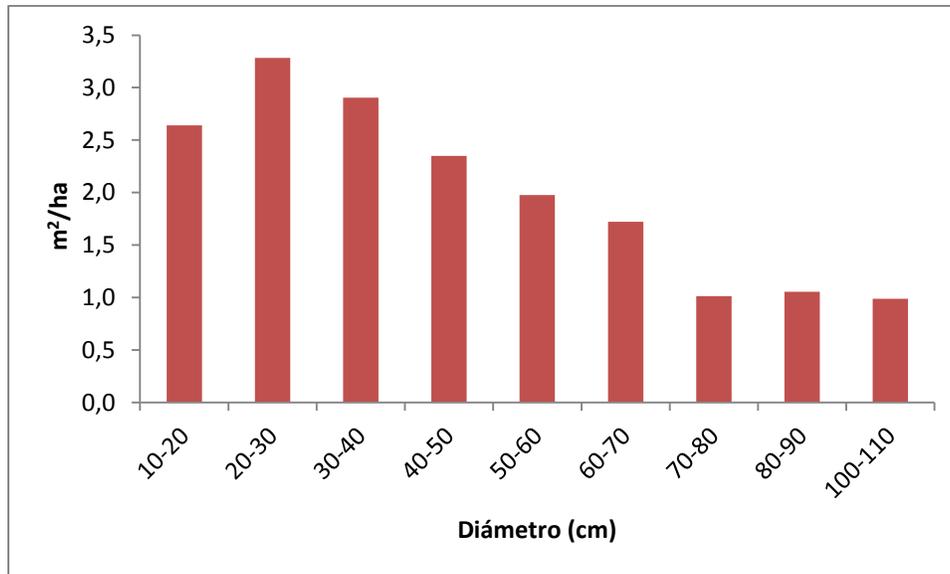


Figura 7. Distribución diamétrica del área basal por hectárea (m²/ha) en el bosque secundario, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

En la clase de 100 a 110 cm se encontraron dos árboles remanentes de *Erythrina poeppigiana* y *Rollinia pittieri* que aportaron de manera significativa al área basal. Otras especies que presentaron individuos remanentes con diámetros superiores a 60 cm son: *Albizia carbonaria*, *Inga oerstediana*, *Cordia bicolor* y *Goethalsia meiantha*.

5.4.2. Estructura vertical

El bosque maduro presentó en el piso inferior (PI) una altura que osciló entre los 0 a 11,7 metros, el piso medio (PM) varió entre los 11,7 a 23,4 metros y el piso superior (PS) entre 23,4 a 35,0 metros.

El bosque secundario en el piso inferior (PI) presentó una altura que osciló entre los 0 a 10,7 metros de altura, el piso medio (PM) entre los 10,7 a 21,4 metros y el piso superior (PS) entre 21,4 a 32,0 metros.

El bosque maduro concentró la mayor cantidad de individuos en el piso inferior, seguido del piso medio y superior respectivamente. El piso inferior presentó 289,47 n/ha, el piso medio 241,75 n/ha y el piso superior 31,93 n/ha (Figura 8).

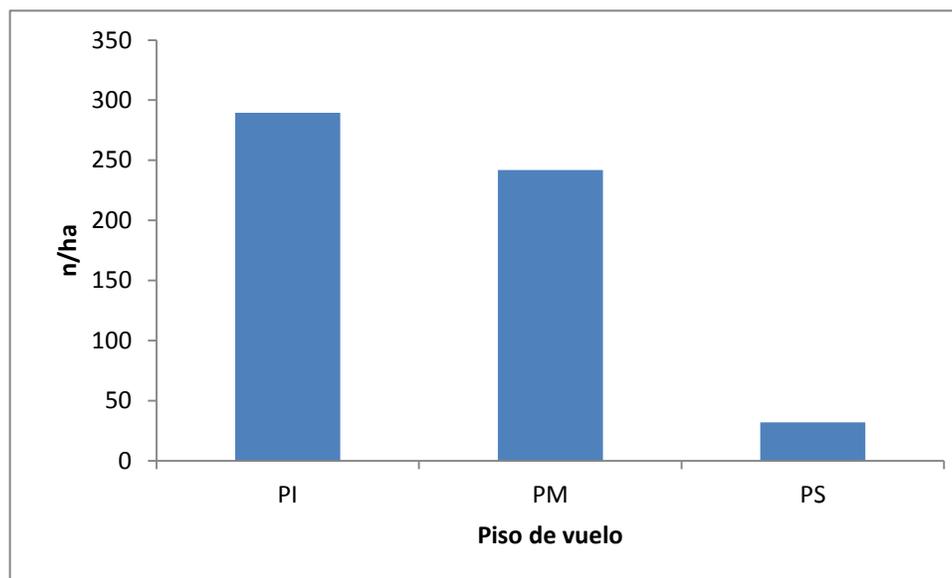


Figura 8. Distribución del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque maduro, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

En el piso superior se encontró árboles de especies como *Carapa nicaraguensis*, *Virola koschnyii*, *Virola sebifera*, *Poulsenia armata*, *Sacoglottis trichogyna*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Karwinskia sp*, *Hyeronima alchorneoides*, entre otras.

El bosque secundario concentró la mayor cantidad de individuos en el piso medio, seguido del piso inferior y superior respectivamente. El piso medio presentó 136,36 n/ha, el piso inferior 121,21 n/ha y el piso superior 32,12 n/ha (Figura 9).

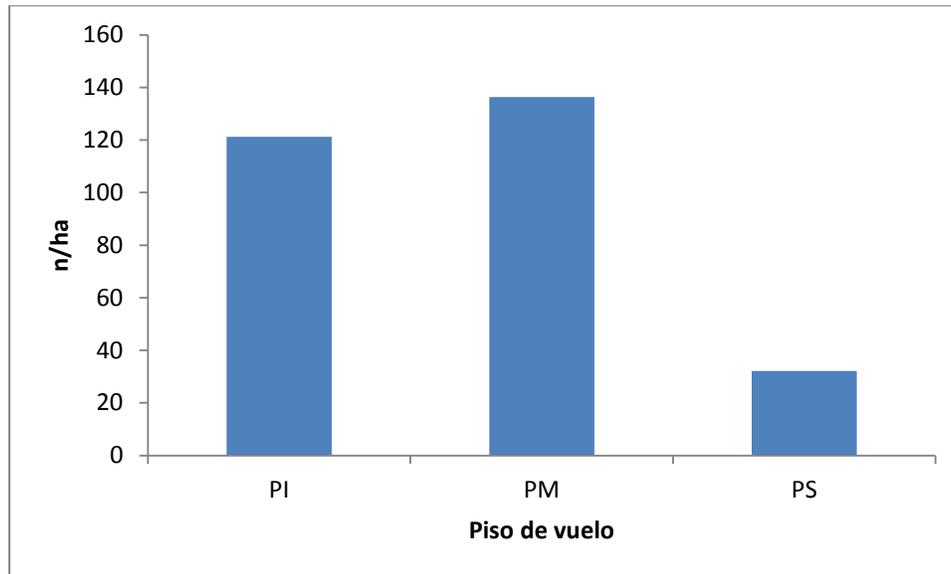


Figura 9. Distribución del número de individuos por hectárea (n/ha) en el bosque secundario, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

En el piso superior se encontró árboles de especies como *Albizia carbonaria*, *Erythrina poeppigiana*, *Cordia alliodora* y *Acacia ruddiae* con alturas superiores e iguales a 28 metros. En el piso medio algunas de las especies encontradas son: *Inga sapindoides*, *Goethalsia meiantha*, *Virola sebifera*, *Castilla elastica*, *Ochroma pyramidale*, *Heliocarpus appendiculatus*, entre otras.

En cuanto al área basal por piso de vuelo, se encontró en el piso inferior del bosque maduro la menor área basal (Figura 10). De acuerdo a la Figura 8, este piso presentó la mayor cantidad de individuos por hectárea; esta variación se debió a que los árboles en el piso inferior tuvieron diámetros pequeños.

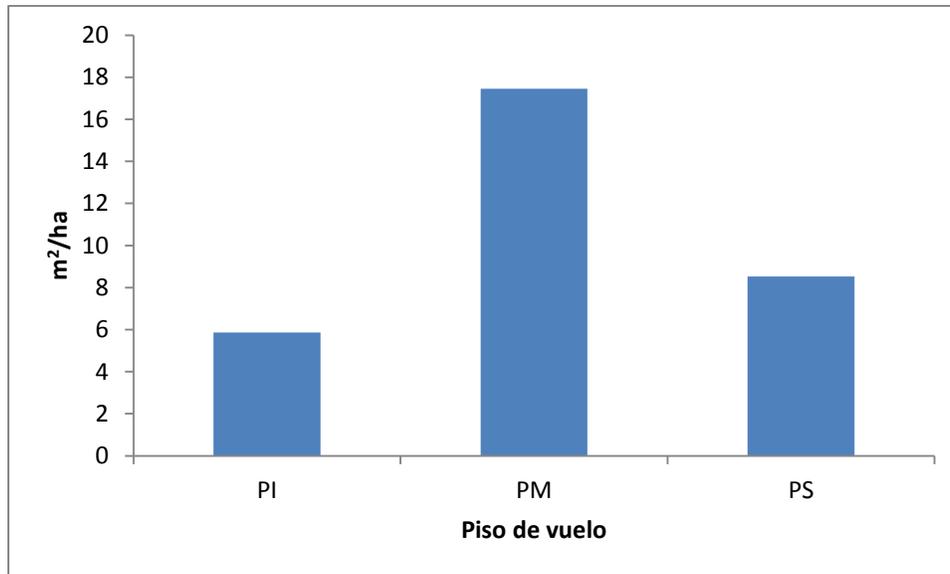


Figura 10. Distribución del área basal por hectárea (m^2/ha) en el bosque maduro, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

El piso medio presentó una área basal de $17,46 \text{ m}^2/\text{ha}$, el piso superior $8,52 \text{ m}^2/\text{ha}$ y el piso inferior $5,86 \text{ m}^2/\text{ha}$. En el piso medio se encontró una cantidad significativa de individuos en las clases diamétricas medias; razón por la cual se concentró la mayor área basal. El piso superior presentó un área basal considerable, esto se debe a la presencia de árboles de gran porte y con diámetros superiores a 50 cm.

En el bosque secundario, el piso medio presentó un basal de $8,62 \text{ m}^2/\text{ha}$ (Figura 11), al igual que el bosque maduro, es donde se encontró la mayor cantidad de área basal. En el piso superior se obtuvo $7,21 \text{ m}^2/\text{ha}$ y en el piso inferior $2,10 \text{ m}^2/\text{ha}$; esto se debe a que el piso superior presentó gran número de árboles remanentes y de diámetros grandes que aportaron significativamente al área basal en este estrado del bosque.

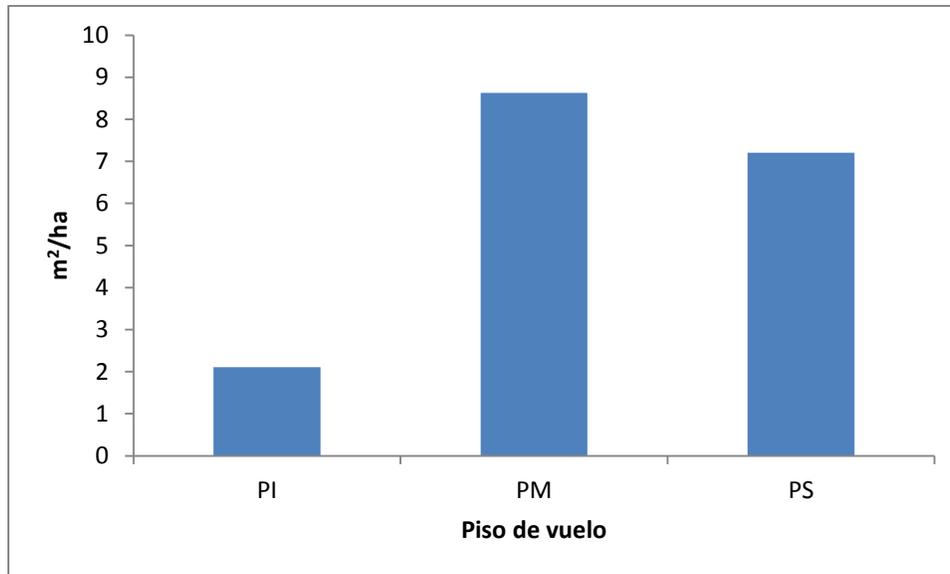


Figura 11. Distribución del área basal por hectárea (m²/ha) en el bosque secundario, según piso de vuelo, área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

5.4.3. Índice de Valor de Importancia

Las especies con mayor peso ecológico en el bosque maduro fueron: *Cordia alliodora*, *Rollinia pittieri* y *Socratea exorrhiza* respectivamente (Cuadro 10). En este bosque *C. alliodora* se presentó de manera dominante y abundante, ya que en un inicio fue sembrada en plantaciones forestales que luego fueron abandonadas y la sucesión natural siguió su camino hasta generar un ecosistema de bosque secundario con una sucesión avanzada.

Cuadro 10. Especies con mayor Índice de Valor de Importancia (I.V.I) en el bosque maduro del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Especie	Dominancia relativa (%)	Abundancia relativa (%)	Frecuencia relativa (%)	I.V.I
<i>Cordia alliodora</i>	4,55	5,55	0,40	10,49
<i>Rollinia pittieri</i>	4,93	3,61	1,32	9,86
<i>Socratea exorrhiza</i>	1,85	5,73	1,98	9,56
<i>Otoba novogranatensis</i>	2,92	3,24	1,84	8,00
<i>Virola sebifera</i>	3,00	2,31	1,71	7,02
<i>Astrocaryum alatum</i>	1,27	4,24	1,32	6,83
<i>Carapa guianensis</i>	1,55	2,55	1,71	5,82
<i>Cordia cymosa</i>	2,53	1,62	1,58	5,73
<i>Iriartea deltoidea</i>	1,43	3,49	0,79	5,70
<i>Cecropia insignis</i>	1,95	1,99	1,71	5,66
<i>Tapirira myriantha</i>	2,70	1,68	1,19	5,57
<i>Luehea seemannii</i>	4,77	0,37	0,40	5,54
<i>Chimarrhis parviflora</i>	2,53	1,06	1,58	5,17
<i>Goethalsia meiantha</i>	2,75	1,25	0,79	4,79
<i>Poulsenia armata</i>	1,83	1,06	1,45	4,33
<i>Dendropanax arboreus</i>	1,15	1,81	1,32	4,27
<i>Carapa nicaraguensis</i>	2,08	0,87	1,32	4,27
<i>Colubrina spinosa</i>	0,49	1,74	1,98	4,21
<i>Nectandra sp</i>	1,78	1,00	1,32	4,09
<i>Apeiba membranacea</i>	1,01	1,25	1,32	3,57
Subtotal 20 especies	47,06	46,42	27,01	120,49
Subtotal 191 especies	52,94	53,58	72,99	179,51
Total	100,00	100,00	100,00	300,00

El 40,16% del I.V.I está representado en 20 especies. En este grupo se encontraron tres especies de palmas: *S. exorrhiza*, *Astrocaryum alatum* e *Iriartea deltoidea* y especies como: *Carapa guianensis*, *Carapa nicaraguensis*, *Chimarrhis parviflora*, *Goethalsia meiantha*, *Luehea seemannii*, entre otras.

Especies con un menor peso ecológico en el bosque maduro fueron: *Theobroma simiarum*, *Chrysophyllum venezuelanense*, *Tetrorchidium euryphyllum*, *Gloeospermum diversipetalum*, *Ilex skutchii*, *Macrolobium costaricense*, *Sterculia allenii*, *Stauranthus perforatus*, entre otras.

En el bosque secundario *Erythrina poeppigiana* es la especie que presentó el mayor peso ecológico con un valor de 40,86 (Cuadro 11), representando un 13,62% del I.V.I total. Esta especie se encontró en la mayoría de estos bosques de manera dominante, abundante y frecuente.

Cuadro 11. Especies con mayor Índice de Valor de Importancia (I.V.I) en el bosque secundario del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Especie	Dominancia relativa (%)	Abundancia relativa (%)	Frecuencia relativa (%)	I.V.I
<i>Erythrina poeppigiana</i>	24,09	13,18	3,59	40,86
<i>Castilla elástica</i>	8,77	9,62	3,59	21,98
<i>Albizia carbonaria</i>	8,60	2,93	1,54	13,07
<i>Rollinia pittieri</i>	7,21	2,51	3,08	12,80
<i>Inga oerstediana</i>	4,98	4,39	3,08	12,45
<i>Inga sapindoides</i>	1,98	3,35	4,10	9,42
<i>Goethalsia meiantha</i>	3,34	1,46	2,05	6,86
<i>Cecropia insignis</i>	1,66	3,14	1,03	5,82
<i>Nectandra sp</i>	1,77	2,30	1,54	5,61
<i>Dendropanax arboreus</i>	1,13	2,30	2,05	5,49
<i>Cecropia obtusifolia</i>	1,00	1,88	2,05	4,94
<i>Isertia laevis</i>	0,85	3,14	0,51	4,50
<i>Cupania dentata</i>	1,40	1,46	1,54	4,40
<i>Trema intergerrima</i>	1,44	0,84	2,05	4,33
<i>Ochroma pyramidale</i>	1,39	1,26	1,54	4,18
<i>Acacia ruddiae</i>	1,31	1,05	1,54	3,89
<i>Cordia bicolor</i>	1,58	1,26	1,03	3,86
<i>Sapium glandulosum</i>	0,67	1,05	2,05	3,77
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	0,47	1,67	1,54	3,68
<i>Ficus insípida</i>	0,37	1,26	2,05	3,67
Subtotal 20 especies	74,01	60,04	41,54	175,59
Subtotal 83 especies	25,99	39,96	58,46	124,41
Total	100,00	100,00	100,00	300,00

El 58,53% del I.V.I fue representado por 20 especies. Algunas con un valor de I.V.I considerable son: *Castilla elastica* (21,98), *Albizia carbonaria* (13,07), *Rollinia pittieri* (12,80), *Inga oerstediana* (12,45), *Inga sapindoides* (9,42).

Especies que presentaron un peso ecológico menor en estos bosques fueron: *Trichilia septentrionalis*, *Pterocarpus officinalis*, *Sloanea guapilensis*, *Vochysia guatemalensis*, *Miquartia guianensis*, *Ceiba pentandra*, *Brosimum alicastrum*, *Virola koschnyii*, *Psychotria grandis*, *Dichapetalum axillare*, entre otras.

Se encontró a *R. pittieri*, *G. meiantha*, *Dendropanax arboreus* y *Cecropia insignis* con un peso ecológico importante en el bosque maduro y secundario, ya que se ubicaron entre las primeras 20 especies en cada tipo de bosque.

5.4.4. Riqueza y similitud

El bosque maduro presentó valores para los índices de Shannon-Wiener y Margalef de 4,59 y 28,44 respectivamente, siendo estos mayores con respecto al bosque secundario, el cual presentó un valor para Shannon-Wiener de 3,93 y para el índice de Margalef de 16,53.

El bosque maduro compartió el 50,96% de las especies con el bosque secundario, según índice cualitativo de Sorensen, pero se encontró diferencias significativas en riqueza florística, siendo el bosque maduro más diverso y rico en especies de flora a un 95% de confiabilidad.

5.4.5. Gremios ecológicos

El bosque maduro presentó un 7,98% de especies heliófitas efímeras, el 64,79% correspondió a heliófitas durables, el 22,10% a esciófitas y el 5,16% de las especies se encontraron con gremio indeterminado. El bosque secundario presentó un 12,62% de especies heliófitas efímeras, un 66,99% de heliófitas durables, un 18,44% de esciófitas y un 1,94% de las especies se encontraron con gremio indeterminado (Figura 12).

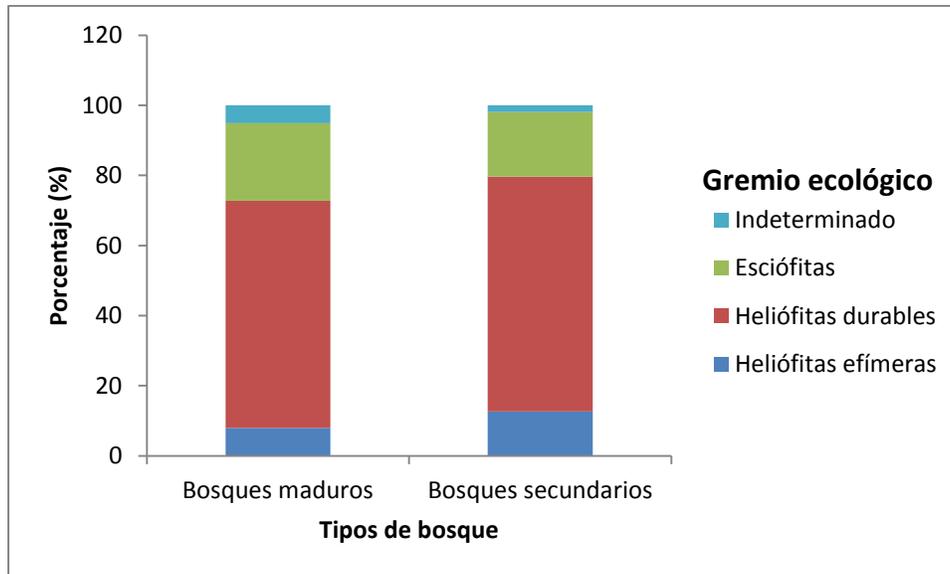


Figura 12. Porcentaje de especies por gremio ecológico, según tipo de bosque en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

No se encontró diferencia significativa en el porcentaje de especies de cada gremio por tipo de bosque, es decir, es igual el porcentaje de especies para un mismo gremio en cada bosque a una significancia del 5%. Esto se debe a que el bosque maduro contiene bosques secundarios en avanzados estados de sucesión y por tanto, muchas especies se encontraron en los dos tipos bosque.

5.5. Estado de conservación de las especies de flora y fauna

El bosque maduro presentó una mayor cantidad de especies florísticas con algún grado de peligro y/o amenaza, con respecto a las especies encontradas en el bosque secundario (Cuadro 12). Se encontró un total de 13 especies con algún de estado de conservación y tres especies endémicas de Costa Rica.

Cuadro 12. Especies florísticas en diferentes estados de conservación y endémicas por tipo de bosque en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Especie	Bosque maduro	Bosque secundario	IUCN	Estrada et al. 2005	Decreto No. 25700	SINAC (2007) Endémica
<i>Astrocaryum alatum</i>	X	X	NT			
<i>Cecropia obtusifolia</i>	X	X	LC			
<i>Ceiba pentandra</i>		X		VU		
<i>Hernandia didymantha</i>	X	X	NT			
<i>Hernandia stenura</i>	X		NT			
<i>Ilex skutchii</i>	X			NT		
<i>Lacunaria panamensis</i>	X		EN			
<i>Maranthes panamensis</i>	X			VU		
<i>Minuartia guianensis</i>	X	X	NT	VU	Amenazada	
<i>Otoba acuminata</i>	X		NT			
<i>Sacoglottis trichogyna</i>	X			VU		
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	X	X		LC		
<i>Vitex cooperi</i>	X		EN			
<i>Sterculia allenii</i>	X					✓
<i>Croton megistocarpus</i>	X					✓
<i>Sloanea guapilensis</i>	X	X				✓

Donde: NT=Casi amenazada LC=Preocupación menor EN= En peligro VU= Vulnerable

Se encontraron ocho especies en la lista roja de la UICN, de las cuales cinco están en categoría “Casi amenazada”, por ejemplo: *Astrocaryum alatum*, *Minuartia guianensis* y *Otoba acuminata*; dos especies están categorizadas “En peligro” como *Lacunaria panamensis* y *Vitex cooperi* y en “preocupación menor” se encontró a *Cecropia obtusifolia*.

En las lista de Estrada et al. (2005), se encontraron cuatro especies clasificadas como “Vulnerables”: *Ceiba pentandra*, *Maranthes panamensis*, *M. guianensis* y *Sacoglottis trichogyna*; “En peligro” y en “Preocupación menor” se encontró a *Ilex skutchii* y *Stemmadenia donnell-smithii* respectivamente.

Se encontró a *M. guianensis* en la categoría de “Amenazada” por el Decreto ejecutivo No. 25700-MINAE. Esta especie se encontró en tres listas diferentes.

Se encontraron tres especies endémicas de acuerdo a la lista utilizada por Grúas II; *Sloanea guapilensis*, *Sterculia allenii* y *Croton megistocarpus*. La especie *S. guapilensis* fue encontrada en el bosque maduro y secundario. Estas especies presentaron abundancias muy bajas, por ejemplo *C. megistocarpus* y *S. allenii* con 0,35 n/ha.

Por otro lado, de 226 especies de aves encontradas, 20 están protegidas y reguladas por la legislación costarricense; dos en peligro de extinción (*Ara ambigua* y *Eurypyga helias*) y 18 especies amenazadas, a causa de la pérdida del hábitat por la deforestación (Cuadro 13).

Cuadro 13. Especies de aves encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Nombre científico	Nombre común	Decreto No. 32633-MINAE	CITES	UICN
<i>Accipiter superciliosus</i>	Gavilán enano	Amenazada	II	LC
<i>Amazona autmnalis</i>	Lora copete rojo	Amenazada		
<i>Aratinga finschi</i>	Perico de palmera	Amenazada		
<i>Aratinga nana</i>	Perico azteca	Amenazada		
<i>Brotojeris jugularis</i>	Catano	Amenazada		
<i>Buteogallus urubitinga</i>	Gavilán silvero	Amenazada		
<i>Eurypyga helias</i>	Gallina de agua	Peligro de extinción		
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	Amenazada	I	
<i>Falco ruficularis</i>	Halcón cuelliblanco	Amenazada		
<i>Leucopternis semiplumbea</i>	Gavilán dorsiplomiso	Amenazada		
<i>Lophornis helenae</i>	Colibrí	Amenazada		
<i>Lophostrix cristata</i>	Búho penachudo	Amenazada		
<i>Micrastur semitorquatus</i>	Halcón de monte collarejo	Amenazada		LC
<i>Bucco tectus</i>	Buco pinto	Amenazada		LC
<i>Penelope purpurascens</i>	Pava	Amenazada	III (Honduras)	LC
<i>Pionopsitta haematotis</i>	Loro cabecipardo	Amenazada		
<i>Pionus senilis</i>	Chucuyo	Amenazada		LC
<i>Sarcoramphus papa</i>	Zopilote rey	Amenazada	III (Honduras)	LC
<i>Spizastur tyrannus</i>	Aguillillo negro	Amenazada		LC
<i>Tinamus major</i>	Gallina de monte			NT

Nombre científico	Nombre común	Decreto No. 32633-MINAE	CITES	UICN
<i>Vermivora chrysoptera</i>	Reinito alidorada			NT
<i>Accipiter striatus</i>	Gavilán pajarero			LC
<i>Nyctibius griseus</i>	Pájaro estaca			LC
<i>Pandion haliaetus</i>	Gavilán pescador			LC
<i>Pipra mentalis</i>	Sargento			LC
<i>Piranga rubra</i>	Cardenal			LC
<i>Psarocolius montezuma</i>	Oropéndola			LC
<i>Psarocolius wagleri</i>	Oropéndola			LC
<i>Pulsatrix perspicillata</i>	Oropopo			LC
<i>Turdus grayi</i>	Yiguirro			LC
<i>Ara ambigua</i>	Lapa verde	Peligro de extinción	I	

NT: Casi amenazada LC: Preocupación menor

En la lista roja de la UICN se encontró dos especies en la categoría de “Casi amenazada”: *Tinamus major* y *Vermivora chrysoptera* y 16 especies en “Preocupación menor”, como por ejemplo: *Sarcoramphus papa*, *Nyctibius griseus* y *Turdus grayi*.

En el apéndice I de CITES, se encontró dos especies: *Falco peregrinus* y *Ara ambigua*; especies en peligro de extinción y se prohíbe el comercio internacional de especímenes de estas especies, salvo y cuando la importación se realice con fines de investigación.

Se encontró *Accipiter superciliosus* en el apéndice II; especie que no está amenazada de extinción, pero podría llegar a estarlo sino se controla su comercio. En el apéndice III, se encontró dos especies: *Penelope purpurascens* y *Sarcoramphus papa*; incluidas en este apéndice a solicitud de Honduras para evitar la explotación insostenible o ilegal de la especie y que necesita la cooperación de otros países.

De 50 especies de mamíferos registradas, siete se encuentran protegidas y reguladas por la legislación costarricense, debido a la pérdida de los hábitats. Tres especies están en peligro de extinción: *Leopardus pardalis*, *Leopardus wiedii* y *Alouatta palliata*. (Cuadro 14).

Cuadro 14. Especies de mamíferos encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Nombre científico	Nombre común	Decreto No. 32633-MINAE	CITES	UICN
<i>Alouatta palliata</i>	Mono congo	Peligro de extinción	I	LC
<i>Bassaricyon gabbii</i>	Olingo	Amenazada	III (Costa Rica)	
<i>Bradypus variegatus</i>	Perezoso de tres dedos			
<i>Cabassous centralis</i>	Armadillo zopilote		III (Costa Rica)	
<i>Cebus capucinus</i>	Mono cara blanca	Amenazada		
<i>Choloepus hoffmanni</i>	Perezoso de dos dedos	Amenazada	III (Costa Rica)	
<i>Dasyprocta punctata</i>	Guatuza		III (Honduras)	
<i>Eira barbara</i>	Tolomuco		III (Honduras)	
<i>Galictis vittata</i>	Grisón		III (Costa Rica)	
<i>Leopardus pardalis</i>	Manigordo	Peligro de extinción	I	
<i>Leopardus wiedii</i>	Caucel	Peligro de extinción	I	
<i>Lontra longicaudis</i>	Nutria	Amenazada		
<i>Nasua narica</i>	Pizote		III (Honduras)	LC
<i>Orthogeomys cherriei</i>	Taltuza			LC
<i>Philander oposum</i>	Zorro cuatro ojos			LC
<i>Phyllostomus discolor</i>	Murciélago			LC
<i>Phyllostomus hastatus</i>	Murciélago			LC
<i>Potos flavus</i>	Martilla		III (Honduras)	LC
<i>Procyon lotor</i>	Mapache			LC
<i>Reithrodontomys mexicanus</i>	Rata de monte			LC
<i>Saccopteryx bilineata</i>	Murciélago			LC
<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla mediana			LC
<i>Sciurus variegatoides</i>	Chiza			LC
<i>Sphiggurus mexicanus</i>	Puercoespín		III (Honduras)	LC
<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero		III (Guatemala)	
<i>Thyroptera tricolor</i>	Murciélago			LC
<i>Vampyressa nymphaea</i>	Murciélago			LC

LC: Preocupación menor

Se encontraron 15 especies en la lista roja de la UICN categorizadas en “Preocupación menor”, por ejemplo: *Alouatta palliata*, *Nasua narica*, *Philander oposum*, *Procyon lotor*, *Sphiggurus mexicanus*, entre otras.

Tres especies se encontraron en el apéndice I de CITES, *Alouatta palliata*, *Leopardus pardalis* y *Leopardus wiedii*, especies en peligro de extinción y se prohíbe el comercio internacional. Diez especies registradas en el apéndice III a petición de países como Guatemala, Honduras y Costa Rica, que necesitan de la ayuda de otros países para evitar la explotación insostenible e ilegal de especies como: *Tamandua mexicana*, *Nasua narica*, *Choloepus hoffmanni*, entre otras.

Se encontraron 42 especies de anfibios y 11 de reptiles en diferentes estados de conservación (Cuadros 15 y 16). De las especies de anfibios tres se categorizaron amenazadas por el Decreto No. 32633-MINAE, las cuales son: *Bolitoglossa colonea*, *Dendrobates auratus* y *Phyllobates lugubris*

Se encontraron tres especies en el apéndice II de CITES, *Agalychnis callidryas*, *D. auratus* y *P. lugubris*, especies que no están amenazadas de extinción, pero podrían llegar a estarlo sino se controla su comercio.

En la lista roja de la UICN se encontraron 39 especies en “Preocupación menor”. *Craugastor persimilis* está categorizada como “Vulnerable”, *Oedipina gracilis* como “En peligro” y la especie *Caecilia volceni* categorizada como “Datos insuficientes”.

Cuadro 15. Especies de anfibios encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Nombre científico	Nombre común	Decreto No. 32633-MINAE	CITES	UICN
<i>Agalychnis callidryas</i>	Rana calzonuda		II	LC
<i>Allobates talamancae</i>				LC
<i>Bolitoglossa colonea</i>	Salamandra	Amenazada		LC
<i>Bolitoglossa striatula</i>	Salamandra			LC
<i>Caecilia volceni</i>				DD
<i>Cochranella granulosa</i>	Rana de vidrio			LC
<i>Craugastor bransfordii</i>	Ranita, sapito			LC
<i>Craugastor crassidigitus</i>	Ranita, sapito			LC
<i>Craugastor fitzingeri</i>	Ranita, sapito			LC
<i>Craugastor megacephalus</i>	Ranita, sapito			LC

Nombre científico	Nombre común	Decreto No. 32633-MINAE	CITES	UICN
<i>Craugastor mimus</i>	Ranita, sapito			LC
<i>Craugastor noblei</i>	Ranita, sapito			LC
<i>Craugastor persimilis</i>	Ranita, sapito			VU
<i>Dendrobates auratus</i>	Sapito venenoso	Amenazada	II	LC
<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	Rana			LC
<i>Dendropsophus phlebodes</i>	Rana			LC
<i>Diasporus diastema</i>	Ranita, martillito			LC
<i>Engystomops pustulosus</i>	Rana tungara			LC
<i>Gymnopsis multiplicata</i>	Solda con solda			LC
<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i>	Rana de vidrio			LC
<i>Hyalinobatrachium valerioi</i>	Rana de vidrio			LC
<i>Hyloscirtus palmeri</i>	Rana			LC
<i>Incilius melanochlorus</i>	Sapo			LC
<i>Leptodactylus melanonotus</i>	Rana			LC
<i>Leptodactylus savagei</i>	Rana toro			LC
<i>Lithobates taylori</i>	Rana leopardo			LC
<i>Lithobates vaillanti</i>	Rana			LC
<i>Lithobates warszewitschii</i>	Rana			LC
<i>Nelsonophryne aterrima</i>	Sapo			LC
<i>Oedipina gracilis</i>	Salamandra			EN
<i>Oophaga pumilio</i>	Sapito venenoso			LC
<i>Phyllobates lugubris</i>	Sapito venenoso	Amenazada	II	LC
<i>Pristimantis cerasinus</i>	Sapito			LC
<i>Pristimantis ridens</i>	Sapito			LC
<i>Rhaebo haematiticus</i>	Sapo			LC
<i>Scinax boulengeri</i>	Rana			LC
<i>Smilisca baudinii</i>	Rana			LC
<i>Smilisca phaeota</i>	Rana			LC
<i>Smilisca puma</i>	Rana			LC
<i>Smilisca sórdida</i>	Rana			LC
<i>Teratohyla spinosa</i>	Rana de vidrio			LC
<i>Tlalocohyla loquax</i>	Rana			LC

LC: Preocupación menor DD: Datos insuficientes VU: Vulnerable EN: En peligro

Para la clase reptilia, en el Decreto No. 32633-MINAE se encontró la especie *Boa constrictor* categorizada en peligro de extinción y tres especies en estado de

amenaza, las cuales son: *Caiman crocodylus*, *Corallus annulatus* y *Thecadactylus rapicaudus* (Cuadro 16).

Cuadro 16. Especies de reptiles encontradas en diferentes estados de conservación en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Nombre científico	Nombre común	Decreto No. 32633-MINAE	CITES	UICN
<i>Boa constrictor</i>	Boa	Peligro de extinción		
<i>Caiman crocodylus</i>	Caimán	Amenazada	I	
<i>Corallus annulatus</i>	Coral	Amenazada		
<i>Iguana iguana</i>	Iguana verde		II	
<i>Nothopsis rugosus</i>	Culebra ranera			LC
<i>Porthidium nasutum</i>	Tamagá			LC
<i>Pseustes poecilonotus</i>	Pajarera			LC
<i>Rhinoclemmys annulata</i>	Tortuga de bosque café			NT
<i>Rhinoclemmys funerea</i>	Tortuga de bosque negra			NT
<i>Thecadactylus rapicauda</i>	Geco escorpión	Amenazada		
<i>Urotheca guentheri</i>	Cola de vidrio rayada			LC
LC: Preocupación menor	NT: Casi amenazada			

Se encontró en el apéndice I de CITES a *Caiman crocodylus*; especie que está en peligro de extinción y se prohíbe el comercio internacional de especímenes de esta especie, salvo y cuando la importación se realice con fines de investigación. La especie *Iguana iguana* se encontró en el apéndice II; especie que no está amenazada de extinción, pero podría llegar a estarlo sino se controla su comercio.

En la lista roja de la UICN, se encontraron dos especies de tortugas en la categoría de “Casi amenazada” y cuatro especies de serpientes en “Preocupación menor”.

5.6. Especies de aves migratorias

De las 226 especies de aves, se encontraron 53 especies migratorias (23,45%) que pasan por nuestro país provenientes de las partes neárticas y que encuentran en el área de estudio recursos para alimentarse y refugiarse para mientras continúan su ruta hacia el sur del continente (Cuadro 17).

Cuadro 17. Lista de aves reportadas como migratorias en los sitios de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Familia	Nombre científico	Nombre común
Accipitridae	<i>Accipiter striatus</i>	Gavilán pajarero
Scolopacidae	<i>Actitis macularius</i>	Alzacolita
Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	Garza real
Ardeidae	<i>Ardea herodias</i>	Garza ceniza
Accipitridae	<i>Buteo jamaicensis</i>	Gavilán colirrojo
Accipitridae	<i>Buteo platypterus</i>	Gavilán pollero
Accipitridae	<i>Buteo swainsoni</i>	Gavilán de Swainson
Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote
Turdidae	<i>Catharus minimus</i>	Zorzal carigrís
Turdidae	<i>Catharus ustulatus</i>	Zorzal de Swainson
Apodidae	<i>Chaetura pelagica</i>	Venceno de paso
Caprimulgidae	<i>Chordeiles minor</i>	Añapero zumbón
Tyrannidae	<i>Contopus cooperi</i>	Pibí boreal
Tyrannidae	<i>Contopus sordidulus</i>	Pibí occidental
Tyrannidae	<i>Contopus virens</i>	Pibí oriental
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote negro
Parulidae	<i>Dendroica castanea</i>	Reinita castaña
Parulidae	<i>Dendroica fusca</i>	Reinita gorginaranja
Parulidae	<i>Dendroica pensylvanica</i>	Reinita de costado castañas
Parulidae	<i>Dendroica petechia</i>	Reinita amarilla
Mimidae	<i>Dumetella carolinensis</i>	Pájaro – gato gris
Ardeidae	<i>Egretta rufescens</i>	Garceta rojiza
Ardeidae	<i>Egretta thula</i>	Garza
Ardeidae	<i>Egretta tricolor</i>	Garceta tricolor
Accipitridae	<i>Elanoides forficatus</i>	Gavilán tijerilla
Tyrannidae	<i>Empidonax alnorum</i>	Mosquerito de charral

Familia	Nombre científico	Nombre común
Tyrannidae	<i>Empidonax flaviventris</i>	Mosquerito vientriamarillo
Tyrannidae	<i>Empidonax traillii</i>	Mosquerito de traill
Tyrannidae	<i>Empidonax virescens</i>	Mosquerito verdoso
Falconidae	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino
Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Klis-Klis
Parulidae	<i>Helmitheros vermivorum</i>	Reinita gusanera
Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina
Turdidae	<i>Hylocichla mustelina</i>	Zorzal de bosque
Icteridae	<i>Icterus gálbula</i>	Cacique veranero
Tyrannidae	<i>Myiarchus crinitus</i>	Copetón viajero
Tyrannidae	<i>Myiodynastes luteiventris</i>	Pecho amarillo
Parulidae	<i>Oporornis formosus</i>	Reinita cachetinegra
Parulidae	<i>Oporornis philadelphia</i>	Reinita enlutada
Accipitridae	<i>Pandion haliaetus</i>	Gavilán pescador
Cardinalidae	<i>Pheucticus ludovicianus</i>	Calandria
Cardinalidae	<i>Piranga olivácea</i>	Tangara escarlata
Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	Cardenal
Hirundinidae	<i>Riparia riparia</i>	Golondrina
Parulidae	<i>Seiurus aurocapilla</i>	Reinita hornera
Parulidae	<i>Seiurus motacilla</i>	Menea cola
Parulidae	<i>Seiurus noveboracensis</i>	Menea cola
Parulidae	<i>Setophaga ruticilla</i>	Raya roja
Parulidae	<i>Vermivora chrysoptera</i>	Reinito alidorada
Parulidae	<i>Vermivora peregrina</i>	Reinita verdilla
Vireonidae	<i>Vireo olivaceus</i>	Vireo ojirrojo
Parulidae	<i>Wilsonia canadensis</i>	Reinita pechirrayada
Parulidae	<i>Wilsonia pusilla</i>	Reinita gorrinegra

Fuente: INBio

Además se encontraron 173 especies de aves residentes, algunas realizan migraciones altitudinales dentro de Costa Rica, como por ejemplo: *Ara ambigua* que es considerada como una de las especies migratorias en nuestro país, temporalmente ha sido localizada en altitudes arriba de los 1000 m.s.n.m en el área de la Cordillera Volcánica Central y Tilarán (Monge *et al.* 2003).

5.7. Componente arqueológico

El sitio de estudio presentó gran cantidad de material arqueológico. De 10581 piezas arqueológicas, 8542 corresponden a piezas de cerámica y 2039 a líticas (piedra). El bosque maduro presentó 3861 piezas de cerámica, el bosque secundario 2121, el potrero arbolado 1181 y el potrero 1379 piezas. Las piezas líticas se encontraron distribuidas de la siguiente manera: 768 en el bosque maduro, 376 en el bosque secundario, 458 en el potrero arbolado y 437 en potreros (Figura 13).

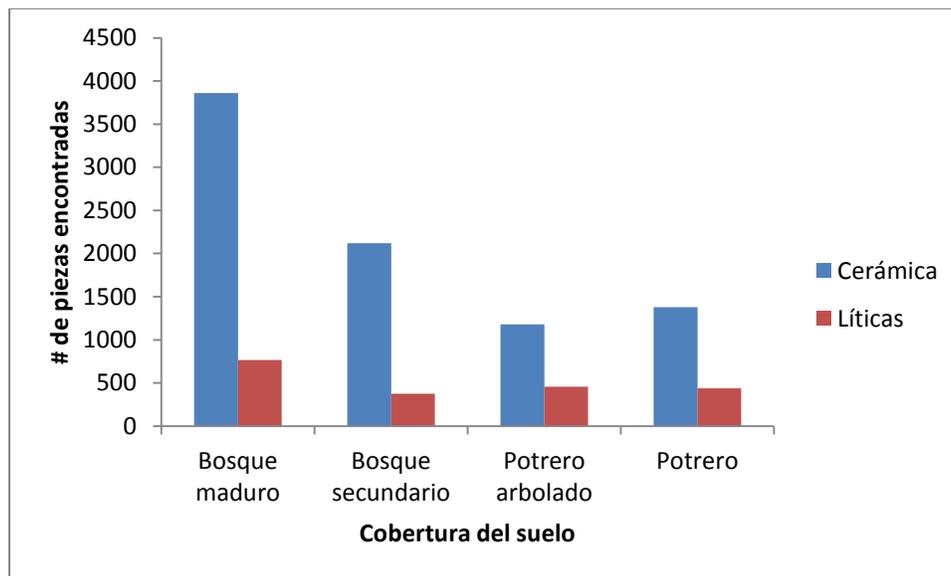


Figura 13. Cantidad de piezas arqueológicas encontradas, según cobertura del suelo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Se encontró material arqueológico de diferentes períodos culturales, como: período “La Selva” con una antigüedad de 1000 a 1500 años, “El Bosque” con una antigüedad de aproximadamente 1500 a 2300 años, el “Formativo” con 1500 a

3500 años, el “Arcaico tropical con 3000 a 10000 años, el “Paleoindio de 10000 a 11200 años de antigüedad (Cuadro 18).

Cuadro 18. Cantidad de piezas de cerámica y líticas por periodos de tiempo en cada clase de cobertura del suelo, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Período	Cobertura del suelo								Total
	Bosque				Potrero				
	Bosque maduro		Bosque secundario		Potrero arbolado		Potrero		
	Cerámica	Lítica	Cerámica	Lítica	Cerámica	Lítica	Cerámica	Lítica	
La Selva	809	87	307	52	188	40	132	90	1705
El Bosque	276	30	202	44	125	110	75	97	959
Formativo	1797	375	1101	190	614	247	715	170	5209
Arcaico tropical	9	9	0	0	0	0	0	0	18
Paleoindio	12	26	0	0	0	0	0	0	38
No identificado	958	241	511	90	254	61	457	80	2652
Total	3861	768	2121	376	1181	458	1379	437	10581

Se encontró en el bosque maduro las piezas más antiguas; del período “Paleoindio” y las del período “Arcaico tropical”. El período “Formativo” presentó la mayor cantidad de piezas, un total de 5290 (aprox. 50%), el periodo “La Selva” aproximadamente 1705 piezas, “El Bosque” 959 piezas y se encontraron 2652 piezas (25%) sin identificar su período cultural en el tiempo.



Pieza lítica, Unidad de arqueología del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.



Pieza de cerámica, Unidad de arqueología del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.

5.8. Evaluación de la dimensión ecológica

De acuerdo a los indicadores ecológicos, el bosque maduro presentó la más alta calificación con respecto al bosque secundario, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre ellos; por tanto, ambos bosques tienen el mismo valor ecológico a un nivel de confianza del 95% (Cuadro 19).

Cuadro 19. Evaluación de los indicadores ecológicos por tipo de bosque del área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

#	Indicador	Bosque maduro	Bosque secundario
I	El área y tipo de regeneración del hábitat aumenta la conectividad entre el núcleo de las áreas en el corto y mediano plazo.	2	3
II	El área incluye ecosistemas o hábitats únicos.	3	2
III	El área contiene poblaciones de especies de interés para la conservación.	4	3
IV	El nivel de intensidad en las acciones para que necesitan ser incluidos como BAVC.	3	2
V	El área provee servicios ecosistémicos importantes.	4	2
VI	La ubicación en el paisaje incluye rutas de especies migratorias y/o vías tradicionales de desplazamiento.	4	4
Total		20	16

El bosque maduro presentó más especies de interés para la conservación y protegidas por las diferentes listas de estados de conservación, en comparación con el bosque secundario. Estos bosques se ubican dentro del paisaje, como rutas de paso para especies de aves migratorias y el desplazamiento de fauna de la zona.

El bosque secundario presentó mayor conectividad de sus fragmentos en el corto y mediano plazo, con respecto a los parches del bosque maduro; ya que, en el bosque secundario se encontró una mayor área y porcentaje de cobertura del suelo, se obtuvo una mayor cantidad y densidad de parches, mayor distancia del perímetro de borde, lo que beneficia para el intercambio de genes y presentó menor distancia promedio a su vecino más cercano de la misma clase. Estos aspectos benefician al bosque secundario para que en el corto y mediano plazo aumente su conectividad.

El bosque maduro necesita menos intensidades de acciones para ser considerado como bosques de alto valor de conservación; debido a que, presentó un estado de madurez mayor, según estructura, composición y riqueza de especies.

El bosque maduro presentó más sitios únicos y de interés para conservar; esto por, la cantidad de material arqueológico que evidencian sitios muy viejos con una antigüedad de hasta 10 mil años o más, además contienen terrenos con altas pendientes, algunos superiores al 60 %.

El bosque maduro provee más servicios ecosistémicos a las comunidades vecinas como: recursos hídricos, belleza escénica, biodiversidad, tienen almacenado más CO₂, control de erosión en las altas pendiente, protección de cuencas, alimento y refugio para la fauna local y migratoria. Los bosques secundarios también proveen servicios ambientales importantes, uno muy considerable es la fijación de CO₂, ya que tienen tasas mayores de crecimiento con respecto a los bosques maduros.

6. Discusión

6.1. Cobertura del suelo en el área núcleo de obras del P.H. Reventazón

El área de estudio (2126,92 ha) correspondió al 2,50% de la superficie del cantón de Siquirres, el cual posee un total de 85180,75 ha y una cobertura forestal del 43,19% que incluye bosque, bosque secundario, bosque de palmas y plantaciones forestales. El 57,68% de cobertura forestal y el 25,43% de potreros del área de estudio corresponden al 1,44% y 0,63% del cantón de Siquirres respectivamente (ITCR 2008).

El 25,43% de potreros, tiene su origen a mediados de los años 80, donde se dió en Costa Rica la incentivación para la ganadería extensiva de carne; disminuyendo la cobertura forestal del país a un 41% en esa década. Luego se dió la caída del precio internacional de la carne, advenimiento del turismo, intensificación de actividades agropecuarias, programas forestales y con ello la cobertura forestal aumentó (Calvo 2008), reportándose un 51,4% de cobertura forestal en el año 2005 y un 52,3% para el año 2010 (MINAET y FONAFIFO 2012).

Las actividades agropecuarias de la cuenca se concentran en el margen izquierdo del río Reventazón y la mayor parte del margen derecho del río está ocupado por áreas boscosas (PREVDA 2008). Lo mencionado anteriormente coincide con lo encontrado en el área de estudio, donde se encontró más área con actividades agropecuarias en el margen izquierdo y mayor cantidad de área boscosa en el margen derecho.

6.2. Validación de la clasificación de la imagen ASTER

Calvo *et al.* (1999), empleó imágenes Landsat TM y reportó una precisión del 88% utilizando 456 puntos de control. Milla (2008), reportó una exactitud de 92,5% utilizando imágenes satelitales Landsat 5y 100 puntos de control. Campos (2010), usó imágenes ASTER y utilizó 200 puntos de control (44,44%) escogidos al azar para validar la clasificación de 151637 hectáreas y obtuvo una exactitud final del 91%. En el presente estudio se utilizó el 50% (76) de los puntos de control para realizar la validación y se obtuvo una exactitud de 94,70% en la clasificación supervisada; superior a la reportada por los diferentes autores.

6.3. Análisis de las métricas de paisaje

Se encontró que los bosques maduros y secundarios están rodeados de potreros arbolados y pasturas. Sánchez y Azofeifa (2000) citado por Bouroncle (2008), mencionan que entre 1986 y 1991 la deforestación en Costa Rica produjo un incremento significativo de fragmentos de bosque pequeños (3 a 50 ha) rodeados de una matriz de cultivos anuales y pasturas. Wagner (2000), Montoya (2004) citado por Aguilar y Jiménez (2008), agregan que la principal causa de la destrucción de grandes áreas boscosas en los trópicos es la transformación de estas zonas en terreno de uso agrícola y ganadero.

Monedero y Gutiérrez (2001), mencionan que densidades de parches altas se esperarían encontrar en áreas intervenidas y muy fragmentadas. En la clase potrero arbolado y potrero, se encontró respectivamente densidades de parches de 43,48 y 56,60 por cada 100 hectáreas. Además, la clase potrero presentó un índice de yuxtaposición de 71,81%, lo que indicó que esta clase tiene una muy buena distribución dentro del paisaje; por tanto, el área de estudio se encontró fragmentada.

La clase bosque maduro, presentó el índice de forma más bajo (1,31), tendiendo los parches de ésta clase a una forma simple (cuadrada); índices de formas más irregulares se encontró para las clases de bosque secundario, potrero arbolado y potrero. Sandoval y Castillo (2011), mencionan que el índice de forma tiene un gran impacto en los procesos ecológicos y ambientales, principalmente en hábitats lineales (bosques riparios) y fragmentos pequeños.

Son preferibles fragmentos circulares y con un menor efecto de borde, debido que disminuyen el efecto península; siendo estos los diseños óptimos para la conservación de especies. Para algunas especies de animales, el tamaño y forma de su fragmento puede ser determinante para su presencia y establecimiento (Sandoval y Castillo 2011).

Resultados obtenidos por el Programa de Dinámica Biológica de Fragmentos de Bosque establecido en la amazonia brasileña, muestran el aumento de las tasas de mortalidad, daño y recambio a distancias del borde menores a 60 metros, un aumento de la tasa de reclutamiento en los bordes de individuos de familias asociadas a hábitats disturbados, pero no, el reclutamiento de individuos de familias de crecimiento lento asociados a bosques primarios y el aumento de la mortalidad de árboles con diámetros mayores a 60 cm en los bordes; lo cual, produce una fuerte reducción de la biomasa de los fragmentos y el aumento de la abundancia de especies de árboles demandantes de luz y lianas (Bouroncle 2008).

Se encontró en el área de estudio mamíferos grandes como: *Leopardus pardalis* y *Leopardus wiedii*; especies a las que la fragmentación de bosques les afecta directamente, ya que necesitan un hábitat continuo de gran tamaño para poder mantener poblaciones viables. Sin embargo, una especie encontrada como *Alouatta palliata*, herbívora y sedentaria va a tener una mayor tolerancia a la fragmentación que aquellas insectívoras y móviles (Clarke *et al.* 1986, Kattan 2002; citado por Carrillo 2009).

También la fragmentación afecta a los árboles tropicales, en la reducción de individuos; debido que, son frecuentemente auto-incompatibles y dependientes del mutualismo con animales para la polinización y dispersión de semillas (Bouroncle 2008), tal es el caso de las palmas encontradas, *Carapa nicaraguensis* y otras especies.

6.4. Evaluación de la composición florística

Quirós y Quesada (2003), encontraron 140 especies en ocho parcelas permanentes de 2500 m² de bosque primario en Pital de San Carlos, Costa Rica. Morales (2010), encontró en media hectárea de bosque primario del Corredor Biológico Osa 111,6 especies y 72 especies en bosques mayores a 30 años. En el presente estudio, el bosque maduro presentó 211 especies en 19 parcelas de 1500 m².

En bosques secundarios, Morales (2010) encontró en el Corredor Biológico Osa 50,3 especies en media hectárea de bosque con una edad de 15 a 30 años y 37,7 especies en un bosque entre 5 y 15 años de edad. El área de estudio presentó 103 especies en 11 parcelas.

6.4.1. Estructura horizontal

De acuerdo a las figuras cuatro y cinco, se presentó una estructura discetánea irregular en forma de J invertida en el bosque maduro y secundario (Louman *et al.* 2001; citado por Carrillo 2009); con lo cual, la reserva de árboles pequeños de las primeras clases de diámetro, son lo suficientemente abundantes para asegurar el equilibrio y sostenibilidad del bosque en un futuro (Lamprecht 1990).

Lamprecht (1990), señala que para bosques húmedos siempre verdes de tierras bajas los valores de número de individuos por hectárea son de aproximadamente 600. Quirós y Quesada (2003), reportan para un bosque primario de la región Huetar Norte 452 n/ha. En el presente estudio, se encontró 563,16 n/ha en el bosque maduro y 287,70 n/ha en el bosque secundario.

Se encontró que la mayor concentración del área basal ocurre en las clases de diámetro, menores a 30 cm; lo que demuestra, una alta dinámica entre individuos por alcanzar el dosel superior (Santander 1980, Alpízar 1981, Brenes 1986 y Ortiz 1985; citados por Vílchez *et al.* 2004).

Morales (2010), reportó para bosques mayores a 30 años de edad en el Corredor Biológico Osa un área basal de 27,76 m²/ha y para bosque primario 34,98 m²/ha. Quirós y Quesada (2003), reportaron para un bosque primario de la región Huetar Norte un área basal de 30,1 m²/ha. Finegan y Guillén (1992), Camacho *et al.* (1999), Guariguata *et al.* (1997); citados por Vílchez *et al.* (2004), reportan para bosques primarios de la región de Sarapiquí, áreas basales de 30,8 m²/ha y 28,83 m²/ha. El bosque maduro del área de estudio, presentó una área basal promedio de 31,93 m²/ha. Lamprecht (1990), señala que para bosques húmedos siempre verdes de tierras bajas, los valores de área basal oscilan entre 30 y 40 m²/ha.

Los bosques secundarios presentan un ámbito de 8,5 a 27,4 m²/ha de área basal para individuos con diámetros mayores a 10 cm (Redondo *et al.* 2001; citado por Carrillo 2009). En bosques secundarios de la zona norte de Costa Rica se encontró que el área basal máxima estaba entre 17 y 27 m²/ha a los 12 años de edad; entre 8,5 a 26,8 m²/ha a los 15 años; entre 20,9 a 27,4 m²/ha a los 20 años y entre 17,4 a 25 m²/ha a los 25 años (Finegan y Guillén 1992, Camacho *et al.* 1999, Guariguata *et al.* 1997; citados por Vílchez *et al.* 2004). Morales (2010), para el Corredor Biológico Osa, reportó para individuos mayores e iguales a 5 cm de diámetro en bosques secundarios de 15 a 30 años de edad, un área basal de 19,12 m²/ha. El bosque secundario del presente estudio, presentó un área basal promedio de 17,83 m²/ha.

6.4.2. Estructura vertical

En el bosque secundario, el piso medio presentó la mayor cantidad de árboles, seguido por el piso inferior y piso superior. Morales (2010), encontró en bosques mayores a 30 años en la Península de Osa, que el piso inferior acumula la mayor cantidad de árboles, seguido por piso medio y piso superior; lo que coincide con lo presentado en el bosque maduro, donde el mayor número de individuos se presentó en el piso inferior, piso medio y piso superior respectivamente.

En bosque secundario, Morales (2010), reportó que la mayor cantidad de árboles se concentró en el piso medio, piso inferior y piso superior respectivamente en estados de 5 a 15 años y de 15 a 30 años de edad; lo que coincide con los resultados del bosque secundario del presente estudio.

Quirós y Quesada (2003), reportaron para un bosque primario, una altura máxima del piso superior de 40 metros, 27 metros para el piso medio y 13 metros para el piso inferior. Morales (2010), reportó para bosques primarios una altura máxima promedio del piso superior de 39,6 metros, para el piso medio 26,4 metros y para el piso inferior 13,2 metros y para bosques mayores a 30 años reportó una altura máxima del piso superior de 29 metros, para el piso medio 19,3 metros y 9,7 metros para el piso inferior. En el presente estudio el bosque maduro presentó en el piso inferior, una altura máxima de 11,7 metros, en el piso medio de 23,4 metros y 35 metros en el piso superior.

Morales (2010), reportó para bosques secundarios de 15 a 30 años una altura máxima del piso superior de 23,7 metros, 15,8 metros para el piso medio y 7,9 metros para el piso inferior y para bosques secundarios de 5 a 15 años reportó en el piso superior una altura máxima de 17 metros, 11,3 metros en el piso medio y 5,7 metros en el piso inferior. En este estudio el bosque secundario presentó en el piso inferior una altura máxima de 10,7 metros, en el piso medio de 21,4 metros y 32 metros en el piso superior.

Lamprecht (1990), indica que el mayor número de especies y árboles se encuentran en el piso inferior y/o medio. La mayoría de las especies del piso medio o inferior de vuelo, pertenecen al grupo de árboles menores de segundo o tercer porte, los cuales, no son capaces de alcanzar el piso superior y no son tan interesantes para la producción de madera.

6.4.3. Índice de Valor de Importancia

En el bosque maduro, la especie *Cordia alliodora* presentó una conglomeración local de árboles en grupos distanciados unos de otros. La especie *Rollinia pittieri* presentó una distribución horizontal continua al igual que *Socratea exorrhiza*, ambas especies se encontraron por todo el bosque maduro, se pueden considerar como especies reinantes al presentar altos valores de abundancia y frecuencia (Lamprecht 1990).

En el bosque secundario, *Erythrina poeppigiana* es la especie dominante seguida de *Castilla elastica*; debido a que presentaron altos valores de dominancia, abundancia y frecuencia. La especie *Albizia carbonaria*, tendió a la conglomeración local con árboles grandes y en grupos (Lamprecht 1990).

6.4.4. Riqueza y similitud

Carrillo (2009), encontró para bosques propiedad de Maderas Preciosas en Guanacaste, Costa Rica, índices de Shannon-Wiener superiores a 3,5 en dos fincas: Santa Cecilia y Garza, la primera presentó bosques primarios; por lo que era de esperarse que presentará una mayor acumulación de especies. En este estudio el bosque maduro presentó un valor de 4,59 y el bosque secundario de 3,93.

Estos bosques del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón son considerados como muy diversos; ya que un sitio como poco diverso es aquel que presenta valores de Shannon-Wiener cercanos a cero y uno muy diverso cuando los valores son cercanos a cinco, sin embargo, el rango más común es entre 1,5 y 3,5 y solo pocas veces sobrepasa 4,5 (Velásquez S.F).

El bosque secundario presentó un 85,62% de la riqueza del bosque maduro, según el índice de Shannon-Wiener. Berti (2001), menciona que la riqueza de especies para bosques secundarios jóvenes de la zona norte de Costa Rica, corresponde a índices entre 63 a 68% de la diversidad de un bosque primario y bosques de 17 a 18 años muestran valores entre 72 y 87% de la diversidad de un bosque primario.

6.4.5. Gremios ecológicos

Morales (2010), encontró para bosques primarios del Corredor Biológico Osa, que el 79,39% de las especies correspondían al grupo de esciófitas, el 19,53% a heliófitas durables y el 1,08% a heliófitas efímeras y para bosques mayores a 30 años de edad, el porcentaje de especies esciófitas corresponde a 45,83%, el 48,19% a heliófitas durables y el 6,53% a heliófitas efímeras. Quirós y Quesada (2003), encontraron para un bosque primario en Boca Tapada de Pital, San Carlos, Costa Rica, que el 32,14% de las especies correspondían a esciófitas totales, el 15% a esciófitas parciales, el 28,57% a heliófitas durables y el 24,29% eran heliófitas efímeras. En el presente estudio el bosque maduro presentó un 22,10% de especies esciófitas, un 64,79% de heliófitas durables y un 7,98% de heliófitas efímeras. Lamprecht (1990), menciona que en un bosque primario se encuentra hasta el 75% de especies esciófitas.

La diferencia de los porcentajes de especies en cada gremio con respecto a los demás autores, se debe a que, en la clase bosque maduro se tuvo bosques

secundarios en estados de sucesión avanzados, los cuales, aportan gran cantidad de especies heliófitas durables.

Para bosques secundarios del Corredor Biológico Osa de 5 a 15 años de edad se reportó un 18,57% de especies esciófitas, un 60,21% de heliófitas durables y un 21,22% de heliófitas efímeras y para bosques secundarios de 15 a 30 años de edad, el porcentaje de especies esciófitas correspondió a 31,15%, el 58,93% a heliófitas durables y el 9,92% a heliófitas efímeras (Morales 2010). En el área de estudio, el bosque secundario presentó un 18,44% de especies esciófitas, similar al bosque de 5 a 15 años de edad en Osa, un 66,99% de heliófitas durables y un 12,62% de heliófitas efímeras.

6.5. Estado de conservación de las especies de flora y fauna

Una categoría de amenaza, ofrece una evaluación de la probabilidad de extinción de una especie en circunstancias actuales. En el bosque maduro y secundario se encontraron 13 especies arbóreas, 30 de aves, 27 de mamíferos, 42 de anfibios y 11 de reptiles categorizadas en algún estado de conservación. No obstante, una categoría de amenaza, no es suficiente para determinar prioridades en términos de acciones de conservación, ya que se debe tener en cuenta otros factores: costos, logística, posibilidades de éxito y otras características biológicas de la especie (UICN 2001; citado por Estrada *et al.* 2005).

En cuanto al endemismo, el 10% de las plantas se consideran endémicas en Costa Rica y se reconocen cinco áreas de endemismo: la región de Talamanca, la Isla del Coco, las tierras altas de la Cordillera Volcánica Central, la región de Golfo dulce y el Pacífico Central (Obando 2007). En el área de estudio se encontraron tres especies endémicas, *Sterculia allenii*, *Croton megistocarpus* y *Sloanea guapilensis*.

En cuanto a aves migratorias, en el área se encontraron 53 especies, la mayoría provenientes de las partes neárticas que pasan por la vertiente Caribe, la cual es considerada de gran importancia para la migración de aves, ya que Costa Rica funciona como un gran “embudo” por donde se canaliza el grueso de la migración desde Norte América hacia el Sur. La parte más ancha del embudo comprende desde Maleku-Caño Negro hasta la desembocadura del río San Juan en el mar Caribe y la parte más estrecha del “embudo” se da prácticamente en la frontera con Panamá (Criado *et al.* 2007).

6.6. Componente arqueológico

La cerámica fue el material arqueológico más abundante; debido a sus condiciones especiales de conservación. En el bosque maduro se encontró 3861 piezas de cerámicas y 2121 en el bosque secundario. Lo más frecuente es, que aparezca fragmentada y ampliamente distribuida por la superficie de los yacimientos. Fue utilizada como recipientes para contener y transportar distintos productos, sobre todo líquidos (Eiroa *et al.* 1999).

Los materiales de cerámica son uno de los indicadores más claros de las diferencias culturales, afinidades y desarrollo. En Costa Rica se han recuperado muchas piezas producto de investigaciones realizadas por científicos nacionales y extranjeros. Algunas piezas datan de hace aproximadamente 2000 años antes de Cristo. Entre los lugares en donde se han encontrado estas piezas están: Guácimo de Limón (vasijas de cerámica), Guanacaste y Turrialba (Museo Nacional de Costa Rica 2012) y ahora en Siquirres.

Las piezas líticas encontradas, son materiales que tienen como materia prima la piedra (Museo Nacional de Costa Rica 2012). En el bosque maduro se encontraron 768 piezas líticas y 376 en el bosque secundario. Estos materiales se refieren a un objeto de piedra que el hombre haya utilizado, con o sin modificaciones previas, como herramienta para trabajar otros materiales o en la

propia producción de los objetos de piedra, o que se haya elaborado para un uso que no se realizó (Winchkler 2006).

Algunas de las piezas líticas encontradas en Costa Rica son: hachas, puntas de flecha, raspadores, metates, manos de moler, cinceles, colgantes, orejeras, esferas, figuras antropomorfas o zoomorfas. En nuestro país, las primeras evidencias materiales de trabajos sobre piedra son las puntas de flecha elaboradas hace aproximadamente 12 mil años. Estas piezas se han encontrado en lugares como: Palmar Sur (esferas de piedra), Turrialba (manuscritos en piedra), Guácimo de Limón (hachas de piedra), entre otros (Museo Nacional de Costa Rica 2012).

6.7. Evaluación de la dimensión ecológica

Carrillo (2009), encontró para bosques en diferentes estadios de sucesión en varias fincas de la empresa Maderas Preciosas de Costa Rica en Guanacaste, que no existieron diferencias significativas en cuanto a la valoración de la dimensión ecológica, es decir, estos bosques presentaron el mismo valor ecológico, al igual que el bosque maduro y secundario del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, que no presentaron diferencias significativas entre ellos y tienen el mismo valor ecológico.

Alcanzar el estado deseado (4) en el bosque maduro, es mínima para los indicadores dos y cuatro (Cuadro 18), esto deberá enfocarse al mantenimiento de la conectividad de los parches dentro del bosque, en la protección de las áreas en regeneración, en el cumplimiento de la legislación nacional en cuanto al respeto de las áreas de protección en ríos, quebradas, nacientes y zonas de alta pendiente, como lo sugiere Carrillo (2009).

7. Conclusiones

✓ Cobertura del suelo en el área de estudio

1. El área de estudio presentó una cobertura forestal del 57,68%; donde, la mayor cantidad de bosque se encontró en el margen derecho del Río Reventazón.
2. La exactitud final de la clasificación supervisada fue de 94,7%.
3. La clasificación de la cobertura del suelo podrá ser un mecanismo futuro para la toma de decisiones en la planeación del área.

✓ Análisis de las métricas de paisaje

1. El bosque secundario presentó mayor conectividad de sus parches y son los principales conectores del bosque maduro en el corto y mediano plazo, porque se encontró una mayor área (ha), mayor longitud de borde, menor distancia al parche de la misma clase y los parches presentaron buena distribución dentro del paisaje.
2. Los bosques del margen izquierdo del río se encontraron más fragmentados y en menor cantidad de área (ha); lo que implicaría, una menor posibilidad de conectarse en el corto plazo.

✓ **Composición florística**

1. El bosque maduro presentó 211 especies, un área basal de 31,93 m²/ha y 563,16 árboles por hectárea.
2. En el bosque secundario se encontró 103 especies, un área basal de 17,83 m²/ha y 289,70 árboles por hectárea.
3. El piso superior del bosque maduro osciló entre 23,4 a 35 metros, el piso medio entre 11,7 a 23,4 y el piso inferior de 0 a 10,7 metros.
4. El bosque secundario presentó un piso superior cuya altura osciló de 21,4 a 32 metros, el piso medio de 10,7 a 21,4 metros y el piso inferior de 0 a 10,7 metros.
5. La mayor área basal del bosque maduro y secundario se encontró en el piso medio.
6. En el bosque maduro, *Cordia alliodora* y *Rollinia pittieri* fueron las especies con mayor peso ecológico. En el bosque secundario *Erythrina poeppigiana* y *Castilla elastica*.
7. El bosque maduro presentó mayor diversidad florística y compartió el 50,96 % de las especies con el bosque secundario.
8. Se encontró un total de 13 especies forestales en algún estado de conservación y tres especies endémicas.

✓ **Componente faunístico y arqueológico**

1. Se encontró un total de 30 especies de aves, 27 de mamíferos, 42 de anfibios y 11 de reptiles categorizadas en algún estado de conservación y 53 especies de aves migratorias.
2. En el sitio se encontró la especie *Ara ambigua*; la cual realiza migraciones altitudinales dentro de Costa Rica.
3. El bosque maduro presentó materiales arqueológicos con una antigüedad de hasta 11200 años.
4. El bosque maduro presentó 3861 piezas de cerámica y 768 piezas líticas, en el bosque secundario se obtuvo 2121 piezas de cerámica y 376 de líticas.
5. El período Formativo fue el que presentó la mayor cantidad de piezas arqueológicas.

✓ **Evaluación de la dimensión ecológica**

1. Se obtuvo el mismo valor ecológico para el bosque maduro y secundario, sin embargo, por estructura y composición florística, el bosque maduro presentó mayor diversidad.
2. Los fragmentos de bosque maduro y secundario son necesarios para proveerles a las especies migratorias de aves, a los mamíferos y a las especies de flora y fauna amenazadas; un ecosistema para refugiarse, alimentarse y reproducirse para que perduren en el tiempo y espacio.

3. Los dos tipos bosques presentaron sitios y especies de interés para la conservación.
4. El bosque maduro requiere de menos acciones para alcanzar el estado deseado (4), ya que presentó un estado de madurez mayor.
5. Estos bosques se encuentran en rutas de aves migratorias y de desplazamiento de la fauna.

8. Recomendaciones

1. Proteger el recurso hídrico; fuente principal que se utilizará para la generación de energía hidroeléctrica, mediante la reforestación de las áreas de potreros, manteniendo la regeneración de los bosques secundarios y la conservación de los bosques maduros.
2. Los esfuerzos del ICE deben ir dirigidos hacia la protección y mejoramiento de la conectividad de los parches de bosques maduros y secundarios dentro y fuera del área de estudio.
3. Determinar el valor ecológico que tienen los potreros arbolados, puesto que, cumplen diversas funciones ecológicas dentro del paisaje, como sitio de refugio y alimento para aves, conectan parches de bosques maduros con secundarios, poseen especies de interés para la conservación, poseen fuentes de agua, entre otras.
4. Reproducir y plantar las especies arbóreas endémicas y las encontradas en las diferentes categorías de conservación.
5. Darle seguimiento a la especie arbórea *Karwinskia sp*, para identificarla a nivel de especie, ya que este género solo está registrado en la región de Guanacaste. En caso de ser una especie nueva, establecer estrategias de conservación in situ y ex situ para protegerla.

9. Bibliografía

Aguilar, V; Jiménez, F. 2008. Diversidad y distribución de palmas (Arecaceae) en tres fragmentos de bosque muy húmedo en Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. 57 (1): 83-92. San José, C.R: Universidad de Costa Rica. 10 p.

APN (Administración de Parques Nacionales); SIB (Sistema de Información de Biodiversidad). 2005. Protocolo para el procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la Administración de Parques Nacionales. (en línea). Buenos Aires, AR. Consultado el 14 de noviembre del 2011. Disponible en: http://www.sib.gov.ar/archivos/Protocolo_img_Landsat.pdf.

Arce, R. 2004. Resumen diagnóstico de la Cuenca Reventazón. Consultoría para Proyecto Redes Comunitarias para la Gestión del Riesgo Costa Rica. 15 p.

Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. 1996. Ley Forestal N° 7575. 8va ed. San José, CR: Editorial IJSA. 48 p.

Astola, H; Bounsaythip, C; Ahola, J; Häme, T; Parmes, E; Sirro, L; Veikkanen, B. (2004). Highforest-forest parameter estimation from high resolution remote sensing data. XXth ISPRS Congress. Commission 7, Istanbul, Turkey.

Beck, P; Atzberger, C; Hogda, K.A; Johansen, B; Skidmore, A. K. 2006. "Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI." *Remote Sensing of Environment* 100(3): 321- 334.

- Berti, G. 2001. Estado actual de los bosques secundarios en Costa Rica: perspectivas para su manejo productivo. *Revista Forestal Centroamericana*. 35: 29-34.
- Bouroncle, C. 2008. Efectos de la fragmentación en la ecología reproductiva de especies y grupos funcionales del bosque húmedo tropical de la zona atlántica de Costa Rica. Tesis de maestría. Turrialba, C.R: CATIE. 99 p.
- Calvo, J; Watson, V; Bolaños, R; Quesada, C; Sánchez, A; González, P; Ramírez, M. 1999. Estudio de cobertura forestal de Costa Rica empleando imágenes Landsat 1986/87 y 1996/97 (en línea). XI Congreso Nacional Agronómico 1999. Consultado 20 ju. 2012. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-III_461.pdf.
- Calvo, J. 2008. Bosque, cobertura y recursos forestales 2008. Informe final: Decimoquinto informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible. San José, CR. 26 p.
- Campos, C. 2010. Análisis de los cambios cobertura de la cuenca alta y media del Río Reventazón, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. 81 p.
- Carrillo, P. 2009. Evaluación de los atributos de alto valor de conservación en bosques naturales propiedad de maderas preciosas, Guanacaste, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Cartago, C.R: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 119 p.

- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Eds. Lorena Orozco, Cecilia Brumér. Turrialba, C.R.: CATIE. 264p. (Serie técnica. Manual técnico/ CATIE; no. 50).
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Eds. Bastiaan Louman, David Quirós, Margarita Nilsson. Turrialba, C.R.: CATIE. 265 p. (Serie técnica. Manual técnico/ CATIE; no. 46).
- Chacón, P. 2006. Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. Tesis de licenciatura. Guácimo, C.R: Universidad EARTH. 44 p.
- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas Flora y Fauna Silvestre). 2012. Apéndices I, II y III. Ginebra, CH: Chatelaine. 47 p.
- Criado, J; Sánchez, J; Sandoval, L. 2007. Informe sobre aves migratorias en las áreas importantes para las aves en Costa Rica. Unión de ornitólogos de Costa Rica. 57 p.
- De la barrera, F; Reyes, S; Meza, L. 2011. Análisis del paisaje para la evaluación ecológica rápida de alternativas de relocalización de una ciudad devastada. Revista chilena de historia natural 84. Santiago, CL: Pontificia Universidad Católica de Chile. p 181-194.

Desclée, B; Bogaert, P; Defourny, P. 2006. "Forest change detection by statistical object-based method " Remote Sensing of Environment 102(1-2): 1-11.

Dirección de Fomento Forestal. 2006. Manejo forestal. Elaboración de planes de manejo y planes operativos de aprovechamiento en bosques húmedos latifoliados. Instituto Nacional Forestal, NI: Departamento de Fomento Forestal. 165 p.

Eiroa, J; Bachiller, J; Castro, L; Lomba, J. 1999. Nociones de tecnología y tipología en prehistoria. Barcelona, ES, Editorial Ariel S.A. 386 p.

ENVI. 2005. Applying Maximum Likelihood Classification. (en línea). Consultado el 6 de marzo del 2012. Disponible en: http://geol.hu/data/online_help/ApplyingMaximumLikelihoodClassification.html

·

Estrada, A; Rodríguez, A; Sánchez, J. 2005. Evaluación y categorización del estado de conservación de plantas en Costa Rica. Anexo 1. 229 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. Situación de los bosques del mundo 2011. (En línea). Roma, IT: FAO. 169 p. Consultado 04 mar 2012. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s00.htm>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).2005. Situación de los bosques del mundo. Roma, IT: FAO. 153 p.

GEO SAT. 2012. Imágenes satelitales: ventajas y sus aplicaciones. (en línea). Consultado 18 jul. 2012. Disponible en <http://geo-sat.com.ar/es/content/view/18/62/>.

Guariguata, M; Kattan, G.2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. El bosque neotropical desde una perspectiva jerárquica. 1ª ed. Cartago, CR. Ediciones LUR. p 23-41.

Guariguata, M; Kattan, G. 2002. Ecología y conservación de bosques neotropicales. Biogeografía de los bosques neotropicales. 1ª ed. Cartago, CR. Ediciones LUR. p 59-81.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2008. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Declaratoria de impacto ambiental. Expediente N° 0331-08-SETENA. Siquirres, Limón, CR. 55 p.

INBio (Instituto Nacional de Biodiversidad, CR). 2006. Consultoría: Evaluación de la situación actual de la biodiversidad y la sostenibilidad / representatividad ecológica del Sistema de Áreas Silvestres Protegidas. Resultados alcanzados. Informe final. Heredia, CR: INBio. p 49-55.

ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2008. Atlas digital de Costa Rica 2008. (CD-ROM). Cartago, CR: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 1 CD-ROM.

IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, UK). 2012. The IUNC Red List of Threatened Species. (en línea). Cambridge, UK. Consultado el 17 jul. 2012. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/>.

Jiménez, Q. 1999. Árboles maderables en Peligro de Extinción en Costa Rica. INBio, SIDA. San José, Costa Rica. 187 p.

Kamp, U; Bolch, T; Olsenholler, J. 2003. Dem generation from ASTER satellite data for geomorphometric analysis Cerro Sillajhuy, Chile/Bolivia. Alaska, USA: Anchorage. 9 p.

Karimpour, M; Stern, C. 2009. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer mineral mapping to discriminate high sulfidation, reduced intrusion related and iron oxide gold deposits, eastern Iran. *Journal of applied sciences*.9(5): 815-829.

Laliberte, A; Rango, A; Havstad, K.; Paris, J; Beck, R; McNeely, R; Gonzalez, A. 2004. "Object-oriented image analysis for mapping shrub encroachment from 1937 to 2003 in southern New Mexico " *Remote Sensing of Environment*. 93(1-2): 198-210.

Lamprecht H. 1990. Silvicultura en los trópicos. La silvicultura aplicada en los trópicos. Instituto de Silvicultura de Gottingen. Antonio (Trad.) Cooperación Técnica, República Federal de Alemania. p 115-122.

Lamprecht H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Las formaciones forestales tropicales. Instituto de Silvicultura de Gottingen. Antonio (Trad.) Cooperación Técnica, República Federal de Alemania. p 36-106.

Lee, H; Carr, J; Lankerani, A. 1995. Human disturbance and natural habitat: a biome level analysis of a global data set. Biodiversity and conservation. 4: 128-155.

López, E; Bocco, G. s.f. Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo. Consultado el 12 noviembre del 2011. Disponible en: http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/PDF/CAMBIO/2USODEL_SUELO.PDF.

Milla, V. 2008. Utilización de sensores remotos para determinar cambio de uso de la tierra en Costa Rica: caso del Área de Conservación Osa (1992-2005) y del Área de Conservación Tempisque. Informe de Práctica de Especialidad para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería Forestal. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 82 p.

MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía, CR). 1997. Decreto Ejecutivo N° 25700-MINAE. La Gaceta. Diario Oficial (CR). ene. 16:9-10. (Vol. 119, no. 11. Veda de 18 especies forestales).

MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, CR); FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal, CR). 2012. Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2009-2010. Proyecto: Programa Forestal Huetar Norte Contrato de Aporte Financiero N° 1999 66 268. San José, C.R: FONAFIFO. 26 p.

Monedero, C; Gutiérrez, M. 2001. Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical El Ávila. *Ecotrópicos*. 14(1):19-30. Caracas, VE: Universidad Central de Venezuela. 12 p.

Monge, G; Chassot, O; Powell, G; Palminteri, S; Alemán, U; Wright, P. 2003. Ecología de la lapa verde (*Ara ambigua*) en Costa Rica. San José, C.R: Centro Científico Tropical. 5 p.

Morales, M. 2010. Composición florística, estructura, muestreo diagnóstico y estado de conservación de una cronosecuencia de bosques tropicales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 115 p.

Museo Nacional de Costa Rica. 2012. Lítica y cerámica.(en línea). Consultado el 27 de julio de 2012. Disponible en http://www.museocostarica.go.cr/es_cr/antropolog-a-y-arqueolog-a/litica.html?Itemid=100.

- Muukkonen, P; Heiskanen, J. 2005. "Estimating biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with standwise forest inventory data " *Remote Sensing of Environment* 99(4): 434-447.
- Obando, V. 2007. *Biodiversidad de Costa Rica en cifras*. Ed. Diana Ávila. Heredia, C.R.: Instituto Nacional de Biodiversidad. 15 p.
- Ofosu, A.1997. *Bosques húmedos tropicales: El intercambio de experiencias y situación del conocimiento sobre la ordenación forestal sostenible de los bosques tropicales húmedos*. XI Congreso Forestal Mundial. p 249-267.
- Ordoñez, Y. 2009. *Identificación de bosques de alto valor de conservación dentro del Consolidado Orotongo, Puerto Maldonado, Perú. Introducción y consideraciones generales*. Puerto Maldonado, PE: Consolidado Forestal Orotongo. 33 p.
- Pour, A; Hashim, M; Marghany, M. 2011. *Using spectral mapping techniques on short wave infrared bands of ASTER remote sensing data for alteration mineral mapping in SE Iran*. *International journal of the physical sciences*. 6(4). Johor Bahru, MY: Institute of Geospatial Sciences and Technology. p 917-929.
- Presidente de la República; MINAE (Ministerio del Ambiente y Energía, CR). 2005. *Decreto Ejecutivo No. 32633-MINAE*. *La Gaceta*. Diario Oficial (CR). mar. 10:2-19

PREVDA (Programa de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental). 2008. Plan de cuenca del Río Reventazón-Parísmiña 2008-2010. San José, C.R: Unidad de Gestión Nacional. 196 p.

PROARCA (Programa Ambiental Regional para Centro América); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR); Oregon State University. 2004. Monitoreo ecológico del manejo forestal en el trópico húmedo: una guía para operadores forestales y certificadores con énfasis en bosque de alto valor de conservación. Anexo A: principios 6,8 y 9 del FSC. 1era impresión. WWF Centroamérica. 124 p.

Quirós, K; Quesada, R. 2003. Composición florística y estructural de un bosque primario. Cartago, C.R: Instituto Tecnológico de Costa Rica. 15 p.

Rayden, T. 2008. Assessment, management and monitoring of High Conservation Value Forest (HCVF): A practical guide for forest managers (en línea). Oxford, U.K. Consultado el 07 de junio del 2012. Disponible en <http://www.proforest.net/objects/publications/HCVF/hcvf-toolkit-part-1-final-updated.pdf>.

Rivas, D. 2006. Evaluación de los recursos forestales. Chapingo, MX: Universidad Autónoma de Chapingo. 26 p.

Sandoval, I; Castillo, M. 2011. Áreas protegidas de Costa Rica: Fragmentación, tamaño y forma. Métodos en ecología y sistemática. 6(1-2):21. Heredia, C.R: Universidad Nacional de Costa Rica.

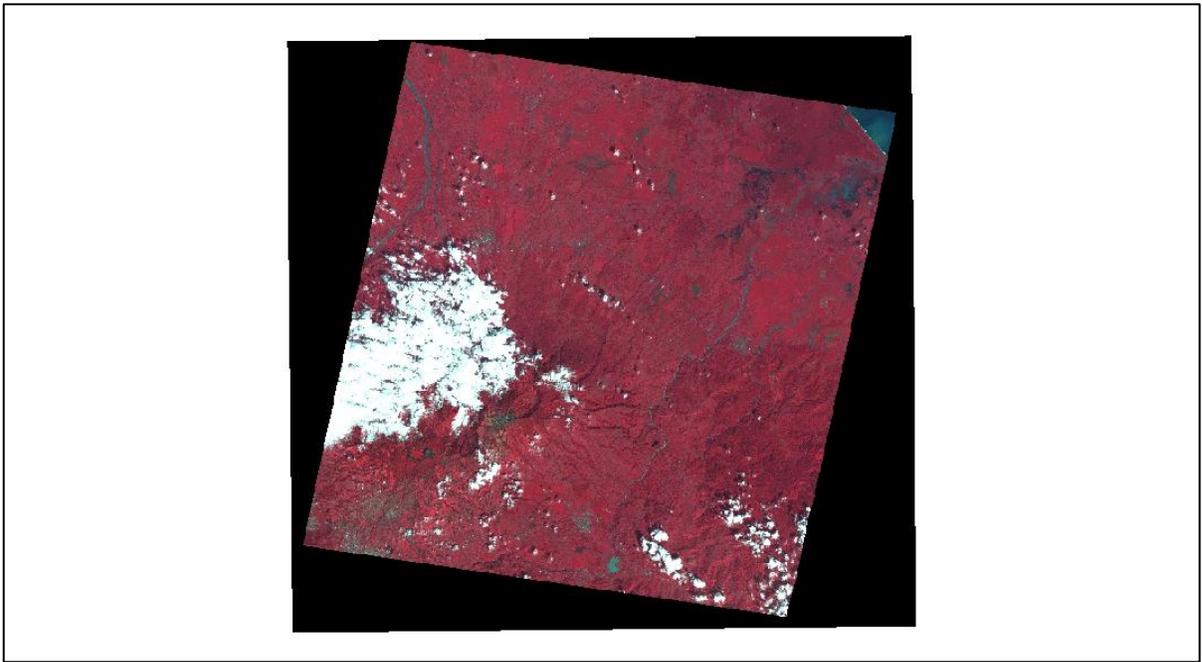
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2007. GRÚAS II: Propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Vol. 1: Análisis de vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad terrestre. Eds. M Coto, G Induni y B Herrera. 1 ed. San José, C.R. 100 p.
- Srinivas, P; Das, B; Saibaba, J; Krishnan, R. 2004. Application of Distance Based Vegetation index por agricultural crops discrimination. XXth ISPRS Congress.Commission 7, Istanbul, Turkey.
- Talley, L; Gutiérrez, T. 2006. Estudios florísticos de especies forestales y su uso potencial para el establecimiento del sistema agroforestal Quesungual en la microcuenca hidrográfica La Danta, Somotillo, Chinandega. Managua, NI: Universidad Nacional Agraria. 42 p.
- Tenorio, C; Solano, J; Castillo, M. 2009. Evaluación de la composición florística y estructural en un bosque primario intervenido en la zona norte de Costa Rica. Kuru: Revista forestal. 6(16). 11 p.
- Vargas, G. 2008. La teledetección en la conservación, estudio y monitoreo de la Tierra. Innovación y ciencia: Revista de divulgación científica y tecnológica. 16 (3): 107-117. (Bogotá, CO: Asociación colombiana para el avance de la ciencia).
- Vásquez, A. 2007. Producción forestal. Situación del sector forestal costarricense y su importancia. 1 reimp. de la 1 ed. San José, CR: EUNED. p 71-94.

Velázquez, M. S.F. Curso ecología udea: La diversidad de especies. (en línea). Consultado el 21 jul. 2012. Disponible en http://es.scribd.com/doc/75238713/Curso-ecologia-udea#archive_trial.

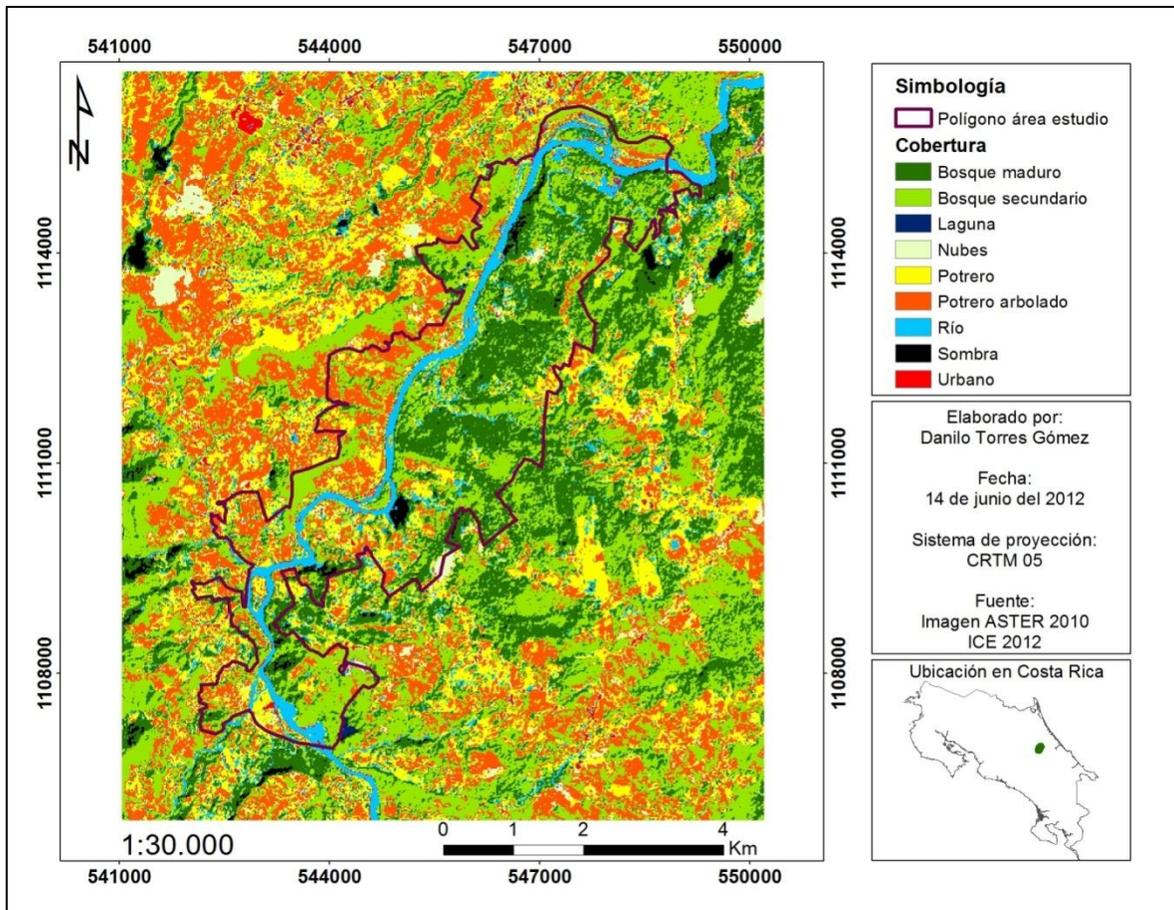
Vílchez, B; Chazdon, R; Milla, V. 2004. Dinámica de la regeneración en cuatro bosques secundarios tropicales de la región huetar norte, Costa Rica: Su valor para la conservación o uso comercial. Recursos naturales y ambiente. 55:118-128.

Winckler, G. 2006. Diccionario de uso para la descripción de objetos líticos. Parte 2. p 136-278.

10. Anexos



Anexo 1. Imagen ASTER 2010.



Anexo 3. Área para el análisis de las métricas de paisaje.

Anexo 4. Coordenadas en CRTM 05 de cada una de las unidades de muestreo en el área núcleo de obras del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Parcela	Longitud (m)	Latitud (m)
1	545932	1110501
2	544919	1110859
3	545307	1111467
4	545298	1112236
5	543552	1108450
6	543385	1108884
7	545210	1111300
8	545603	1111155
9	545458	1111601
10	546180	1111507
11	546224	1111214
12	546424	1110901
13	546709	1111107
14	543593	1110478
15	543669	1110542
16	543727	1110743
17	546267	1112339
18	546361	1112588
19	546892	1112765
20	547077	1112969
21	547006	1113186
22	547199	1113211
23	545708	1113687
24	545798	1113630
25	547028	1114355
26	547305	1114396
27	547816	1114279
28	548493	1114369
29	547473	1115694
30	547743	1115671

Anexo 5. Número de individuos por hectárea (n/ha) y área basal por hectárea (m²/ha) de cada una de las unidades de muestreo por tipo de bosque.

Bosque maduro			Bosque secundario		
Parcela	n/ha	m ² /ha	Parcela	n/ha	m ² /ha
5	720,36	36,62	1	206,77	11,11
6	446,89	33,03	2	280,14	17,69
7	593,63	26,51	3	226,78	14,10
8	526,93	31,48	4	280,14	18,52
9	540,27	26,75	11	386,86	17,61
10	633,65	40,35	12	166,75	7,77
13	646,99	26,99	14	206,77	13,89
17	406,87	30,19	15	326,83	17,24
18	593,63	34,03	16	386,86	28,56
19	660,33	36,49	28	453,56	19,08
20	553,61	30,89	29	266,8	30,53
21	707,02	34,23			
22	593,63	26,81			
23	426,88	26,99			
24	553,61	41,46			
25	633,65	33,01			
26	680,34	27,60			
27	513,59	27,57			
30	273,47	35,75			

Anexo 6. Abundancia y dominancia para cada una de las especies encontradas en el bosque maduro.

Especie	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m²/ha)
<i>Adelia triloba</i>	0,3509	0,0059
<i>Aegiphila falcata</i>	3,5088	0,0805
<i>Alchornea costaricensis</i>	1,0526	0,0332
<i>Allophylus psilospermus</i>	0,3509	0,0152
<i>Ampelocera macrocarpa</i>	0,3509	0,0084
<i>Amphitecna sp</i>	1,7544	0,1552
<i>Anaxagorea sp</i>	0,7018	0,0653
<i>Andira inermis</i>	0,3509	0,0030
<i>Annonaceae</i>	0,3509	0,0084
<i>Apeiba membranacea</i>	7,0175	0,3205
<i>Ardisia sp</i>	0,3509	0,0133
<i>Aspidosperma spruceanun</i>	1,4035	0,0532
<i>Astrocaryum alatum</i>	23,8596	0,4049
<i>Billia rosea</i>	0,7018	0,1777
<i>Brosimum alicastrum</i>	4,5614	0,2688
<i>Brosimum giuanensis</i>	1,4035	0,0423
<i>Brosimum lactescens</i>	2,4561	0,0636
<i>Bursera simaruba</i>	0,3509	0,3326
<i>Byrsonima artropoda</i>	1,0526	0,0559
<i>Calatola costaricensis</i>	4,9123	0,2438
<i>Carapa guianensis</i>	14,3860	0,4931
<i>Carapa nicaraguensis</i>	4,9123	0,6623
<i>Casearia arborea</i>	2,1053	0,1364
<i>Casearia sp</i>	1,0526	0,1359
<i>Casearia sylvestris</i>	1,0526	0,0200
<i>Castilla elastica</i>	3,1579	0,3547
<i>Cecropia insignis</i>	11,2281	0,6205
<i>Cecropia obtusifolia</i>	3,5088	0,3067
<i>Celtis schiipi</i>	1,0526	0,0268
<i>Cheilochlinium cognatum</i>	1,4035	0,1014
<i>Chimarrhis parviflora</i>	5,9649	0,8069
<i>Chione venosa</i>	0,7018	0,0159
<i>Chomelia spinosa</i>	1,4035	0,0882
<i>Chrysophyllum sp</i>	3,8596	0,4815
<i>Chrysophyllum venezuelanense</i>	0,3509	0,0036
<i>Clarisia biflora</i>	0,3509	0,0156
<i>Cleidion castaneifolium</i>	1,0526	0,0183
<i>Clethra hondurensis</i>	0,3509	0,1335

Espece	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m ² /ha)
<i>Cojoba cf valeroi</i>	0,7018	0,0178
<i>Colubrina spinosa</i>	9,8246	0,1569
<i>Cordia alliodora</i>	31,2281	1,4481
<i>Cordia bicolor</i>	1,7544	0,0663
<i>Cordia cymosa</i>	9,1228	0,8066
<i>Cordia sp</i>	1,4035	0,0706
<i>Coussarea hondensis</i>	0,3509	0,0034
<i>Croton billbergianus</i>	0,7018	0,0163
<i>Croton megistocarpus</i>	0,3509	0,0407
<i>Croton schiedeanus</i>	4,2105	0,1107
<i>Cryosophila warscewiczii</i>	0,3509	0,0031
<i>Cupania dentata</i>	1,0526	0,0332
<i>Dendropanax arboreus</i>	10,1754	0,3650
<i>Desconocido</i>	0,7018	0,0364
<i>Dichapetalum axillare</i>	1,0526	0,0199
<i>Diospyros digyna</i>	2,4561	0,1841
<i>Erythrina cochleata</i>	1,4035	0,3371
<i>Erythrina poeppigiana</i>	1,4035	0,1399
<i>Esenbeckia sp</i>	0,3509	0,1154
<i>Eugenia sp</i>	0,3509	0,0038
<i>Euterpe precatoria</i>	0,3509	0,0040
<i>Faramea occidentalis</i>	1,0526	0,0211
<i>Ficus insipida</i>	1,7544	0,0616
<i>Ficus maxima</i>	0,3509	0,0036
<i>Ficus sp1</i>	0,3509	0,0032
<i>Ficus sp2</i>	0,3509	0,0376
<i>Ficus sp3</i>	0,3509	0,0043
<i>Ficus tonduzii</i>	1,0526	0,0254
<i>Garcinia madruno</i>	1,4035	0,0873
<i>Genipa americana</i>	4,2105	0,1108
<i>Gloeospermum diversipetalum</i>	0,3509	0,0041
<i>Goethalsia meiantha</i>	7,0175	0,8763
<i>Grias cauliflora</i>	1,7544	0,0655
<i>Guarea gentreyii</i>	0,7018	0,0089
<i>Guarea grandifolia</i>	1,0526	0,0145
<i>Guarea guidonia</i>	0,3509	0,0142
<i>Guarea kunthiana</i>	0,3509	0,0097
<i>Guarea pterorhachis</i>	6,3158	0,1579
<i>Guarea rhopalocarpa</i>	0,3509	0,0056
<i>Guarea sp1</i>	3,8596	0,2250
<i>Guarea sp2</i>	1,0526	0,0538
<i>Guarea sp3</i>	0,7018	0,1215

Espece	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m ² /ha)
<i>Guarea sp4</i>	0,3509	0,0045
<i>Guarea sp5</i>	1,7544	0,1688
<i>Guazuma sp</i>	0,7018	0,0495
<i>Hampea appendiculatus</i>	3,8596	0,1437
<i>Hedyosmum scaberrimum</i>	0,3509	0,0046
<i>Heisteria concinna</i>	0,3509	0,0064
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	2,4561	0,0474
<i>Hernandia didymantha</i>	1,7544	0,0597
<i>Hernandia stenura</i>	1,4035	0,1181
<i>Hippotis albiflora</i>	7,7193	0,1604
<i>Hirtella racemosa</i>	0,7018	0,0325
<i>Hirtella trianda</i>	0,7018	0,0226
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1,4035	0,0843
<i>Ilex skutchii</i>	0,3509	0,0075
<i>Inga ciliata</i>	0,3509	0,0076
<i>Inga densiflora</i>	0,3509	0,0360
<i>Inga leiocalycina</i>	1,0526	0,0852
<i>Inga marginata</i>	0,7018	0,0175
<i>Inga samanensis</i>	2,1053	0,0532
<i>Inga sapindoides</i>	6,6667	0,2256
<i>Inga sertulifera</i>	0,3509	0,0038
<i>Inga sp</i>	2,1053	0,1985
<i>Inga umbellifera</i>	2,4561	0,0688
<i>Iriartea deltoidea</i>	19,6491	0,4538
<i>Isertia laevis</i>	0,3509	0,0131
<i>Jacarathia dolichaula</i>	1,0526	0,0258
<i>Jacarathia spinosa</i>	3,1579	0,1861
<i>Karwinskia sp</i>	1,0526	0,1165
<i>Lacistema aggregatum</i>	2,1053	0,0550
<i>Lacmellea panamensis</i>	0,3509	0,0397
<i>Lacunaria panamensis</i>	0,3509	0,0157
<i>Lecointea amazonica</i>	1,4035	0,2449
<i>Lonchocarpus aff lacirotrophys</i>	0,7018	0,0091
<i>Lonchocarpus ferrugineus</i>	2,1053	0,0855
<i>Lonchocarpus macrophyllus</i>	0,3509	0,1339
<i>Lonchocarpus oliganthus</i>	1,4035	0,0284
<i>Lonchocarpus sp</i>	4,9123	0,4338
<i>Luehea seemannii</i>	2,1053	1,5175
<i>Lunania mexicana</i>	1,4035	0,0189
<i>Macrolobium costaricense</i>	0,3509	0,0145
<i>Maranthes panamensis</i>	1,0526	0,0121
<i>Marila laxiflora</i>	2,8070	0,0802

Especie	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m²/ha)
<i>Meliosma sp</i>	0,7018	0,0230
<i>Miconia argentea</i>	0,7018	0,0064
<i>Miconia sp</i>	1,0526	0,0317
<i>Minquartia guianensis</i>	4,2105	0,1958
<i>Mollinedia costaricensis</i>	4,2105	0,0722
<i>Mortoniiodendron anisophyllum</i>	6,3158	0,2993
<i>Myriocarpa longipes</i>	0,3509	0,0028
<i>Naucleopsis naga</i>	1,0526	0,0228
<i>Nectandra nitida</i>	2,1053	0,0887
<i>Nectandra sp</i>	5,6140	0,5661
<i>Ochroma pyramidale</i>	0,7018	0,0239
<i>Ocotea atirrensis</i>	0,3509	0,0062
<i>Ocotea mollifolia</i>	1,0526	0,1598
<i>Ocotea sp1</i>	2,8070	0,1346
<i>Ocotea sp2</i>	0,3509	0,0029
<i>Ocotea sp3</i>	0,3509	0,0184
<i>Ocotea sp4</i>	1,0526	0,0173
<i>Ocotea sp5</i>	0,3509	0,0043
<i>Ocotea valeroi</i>	0,3509	0,0247
<i>Ormosia coccinea</i>	0,3509	0,0055
<i>Otoba acuminata</i>	2,8070	0,1385
<i>Otoba novogranatensis</i>	18,2456	0,9298
<i>Pachira aquatica</i>	0,7018	0,2100
<i>Palicourea guianensis</i>	1,0526	0,0106
<i>Parathesis pallida</i>	2,4561	0,0413
<i>Pentagonia sp</i>	0,3509	0,0097
<i>Persea americana</i>	0,3509	0,0089
<i>Phyllanthus skutchii</i>	0,3509	0,0832
<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	1,7544	0,1083
<i>Posoqueria panamensis</i>	6,6667	0,2024
<i>Poulsenia armata</i>	5,9649	0,5814
<i>Pouruma bicolor</i>	1,0526	0,0484
<i>Pouruma minor</i>	0,3509	0,0490
<i>Pouteria reticulata</i>	3,5088	0,3956
<i>Pouteria sp</i>	5,2632	0,4400
<i>Pouteria torta</i>	4,2105	0,2641
<i>Protium costaricense</i>	1,7544	0,0230
<i>Protium panamensis</i>	7,0175	0,1731
<i>Protium sp1</i>	0,3509	0,0096
<i>Protium sp2</i>	0,3509	0,0028
<i>Pseudolmedia spuria</i>	2,1053	0,0855
<i>Psychotria grandis</i>	0,3509	0,0045

Especie	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m ² /ha)
<i>Psychotria panamensis</i>	0,3509	0,0033
<i>Pterocarpus hayesii</i>	5,6140	0,3124
<i>Pterocarpus officinalis</i>	1,7544	0,0346
<i>Quararibea asterolepis</i>	2,4561	0,2985
<i>Quararivea cordata</i>	0,7018	0,0358
<i>Rollinia pittieri</i>	20,3509	1,5684
<i>Rubiaceae</i>	0,7018	0,0058
<i>Sacoglottis trichogyna</i>	2,1053	0,3313
<i>Sapium glandulosum</i>	1,0526	0,1044
<i>Saurauia yasicae</i>	3,5088	0,1144
<i>Senna papilosa</i>	0,3509	0,0035
<i>Simarouba amara</i>	1,4035	0,0807
<i>Simira maxonii</i>	6,6667	0,1057
<i>Siparuna sp</i>	0,7018	0,0079
<i>Sloanea guapilensis</i>	1,7544	0,0931
<i>Socratea exorrhiza</i>	32,2807	0,5889
<i>Sorocea pubivena</i>	0,7018	0,0089
<i>Spondias mombin</i>	3,5088	0,1598
<i>Stauranthus perforatus</i>	0,3509	0,0230
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	0,7018	0,0240
<i>Stenostomum turrialbanum</i>	1,0526	0,1076
<i>Sterculia allenii</i>	0,3509	0,0147
<i>Sterculia costaricana</i>	1,7544	0,0585
<i>Sterculia recordiana</i>	2,4561	0,1958
<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	1,4035	0,2784
<i>Tabebuia rosea</i>	0,3509	0,0239
<i>Tapirira myriantha</i>	9,4737	0,8604
<i>Tetragastris panamensis</i>	3,1579	0,1373
<i>Tetrorchidium euryphyllum</i>	0,3509	0,0039
<i>Theobroma angustifolium</i>	1,7544	0,0253
<i>Theobroma simiarum</i>	0,3509	0,0034
<i>Tovomita longifolia</i>	0,3509	0,0063
<i>Trema intergerrima</i>	1,4035	0,2124
<i>Trichilia adolfi</i>	0,3509	0,0290
<i>Trichilia pleeana</i>	0,7018	0,0099
<i>Trichilia septentrionalis</i>	1,0526	0,0396
<i>Trichilia sp1</i>	1,0526	0,0636
<i>Virola koschnyii</i>	4,5614	0,5273
<i>Virola multiflora</i>	4,9123	0,2221
<i>Virola sebifera</i>	12,9825	0,9557
<i>Vismia ferruginea</i>	0,3509	0,0121
<i>Vitex cooperi</i>	1,4035	0,1473

Especie	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m²/ha)
<i>Vochysia ferruginea</i>	0,3509	0,0682
<i>Vochysia guatemalensis</i>	2,8070	0,5237
<i>Welfia regia</i>	1,7544	0,0563
<i>Xylopia bocatorena</i>	1,0526	0,0164
<i>Zanthoxylum sp</i>	2,1053	0,0543
Total	563,16	31,93

Anexo 7. Abundancia y dominancia para cada una de las especies encontradas en el bosque secundario.

Especie	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m²/ha)
<i>Acacia ruddiae</i>	3,0303	0,2347
<i>Aegiphila falcata</i>	3,0303	0,0341
<i>Albizia carbonaria</i>	8,4848	1,5420
<i>Amphitecna sp</i>	0,6061	0,1557
<i>Anacardium excelsum</i>	1,8182	0,1357
<i>Apeiba membranacea</i>	1,2121	0,1800
<i>Astrocaryum alatum</i>	3,0303	0,0574
<i>Bactris gasipaes</i>	4,2424	0,0915
<i>Brosimum alicastrum</i>	0,6061	0,0349
<i>Brosimum lactescens</i>	1,8182	0,0537
<i>Carapa guianensis</i>	3,0303	0,1011
<i>Casearia arborea</i>	1,2121	0,0504
<i>Casearia sylvestris</i>	0,6061	0,0048
<i>Castilla elastica</i>	27,8788	1,5726
<i>Cecropia insignis</i>	9,0909	0,2969
<i>Cecropia obtusifolia</i>	5,4545	0,1798
<i>Ceiba pentandra</i>	0,6061	0,0321
<i>Cestrum racemosum</i>	1,8182	0,0706
<i>Chimarrhis parviflora</i>	1,2121	0,0147
<i>Chrysophyllum sp</i>	0,6061	0,2024
<i>Clethra hondurensis</i>	0,6061	0,0767
<i>Colubrina spinosa</i>	3,0303	0,0480
<i>Cordia alliodora</i>	0,6061	0,1346
<i>Cordia bicolor</i>	3,6364	0,2835
<i>Cordia cymosa</i>	1,8182	0,1018
<i>Cordia sp</i>	0,6061	0,0247
<i>Croton billbergianus</i>	4,8485	0,0842
<i>Croton schiedeanus</i>	2,4242	0,0328
<i>Cupania dentata</i>	4,2424	0,2510

Especie	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m²/ha)
<i>Dendropanax arboreus</i>	6,6667	0,2034
<i>Dichapetalum axillare</i>	0,6061	0,0094
<i>Erythrina poeppigiana</i>	38,1818	4,3197
<i>Eucalyptus saligna</i>	4,8485	0,1765
<i>Fab/Papilinoideae</i>	0,6061	0,2695
<i>Ficus insipida</i>	3,6364	0,0657
<i>Ficus maxima</i>	1,2121	0,0369
<i>Ficus tonduzii</i>	0,6061	0,0389
<i>Goethalsia meiantha</i>	4,2424	0,5995
<i>Guarea kunthiana</i>	1,8182	0,0428
<i>Guarea rhopalocarpa</i>	1,2121	0,1142
<i>Gymnanthes riparia</i>	0,6061	0,0173
<i>Hampea appendiculatus</i>	1,8182	0,0950
<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	3,0303	0,0862
<i>Hernandia didymantha</i>	1,2121	0,0149
<i>Hura crepitans</i>	2,4242	0,0358
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,6061	0,0729
<i>Inga leiocalycina</i>	1,2121	0,0625
<i>Inga marginata</i>	0,6061	0,0155
<i>Inga oerstediana</i>	12,7273	0,8938
<i>Inga punctata</i>	0,6061	0,0751
<i>Inga ruiziana</i>	0,6061	0,0478
<i>Inga samanensis</i>	1,2121	0,0326
<i>Inga sapindoides</i>	9,6970	0,3542
<i>Inga sp</i>	0,6061	0,0048
<i>Isertia laevis</i>	9,0909	0,1531
<i>Jacarathia dolichaula</i>	1,8182	0,0300
<i>Jacarathia spinosa</i>	2,4242	0,0315
<i>Lecointea amazonica</i>	0,6061	0,0224
<i>Lonchocarpus ferrugineus</i>	0,6061	0,0494
<i>Lonchocarpus sp</i>	1,2121	0,0188
<i>Luehea seemannii</i>	3,6364	0,0889
<i>Miconia argentea</i>	0,6061	0,0083
<i>Minuartia guianensis</i>	0,6061	0,0168
<i>Myriocarpa longipes</i>	4,8485	0,0443
<i>Nectandra sp</i>	6,6667	0,3176
<i>Ochroma pyramidale</i>	3,6364	0,2486
<i>Ocotea atirrensis</i>	1,2121	0,0164
<i>Ocotea holdridgiana</i>	1,8182	0,0441
<i>Ocotea sp1</i>	1,2121	0,0368
<i>Ocotea sp6</i>	1,8182	0,0994
<i>Ocotea sp7</i>	0,6061	0,0431

Especie	Abundancia (n/ha)	Dominancia (m²/ha)
<i>Ocotea sp8</i>	0,6061	0,0238
<i>Ocotea sp9</i>	0,6061	0,0243
<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	0,6061	0,0408
<i>Posoqueria panamensis</i>	1,8182	0,0291
<i>Poulsenia armata</i>	1,8182	0,1920
<i>Pouruma bicolor</i>	0,6061	0,0069
<i>Pouteria sp</i>	0,6061	0,0126
<i>Pouteria torta</i>	0,6061	0,1295
<i>Protium sp1</i>	0,6061	0,0115
<i>Pseudolmedia spuria</i>	0,6061	0,0173
<i>Psychotria grandis</i>	0,6061	0,0063
<i>Pterocarpus hayesii</i>	1,2121	0,0152
<i>Pterocarpus officinalis</i>	0,6061	0,0060
<i>Rollinia pittieri</i>	7,2727	1,2936
<i>Sapium glandulosum</i>	3,0303	0,1207
<i>Simarouba amara</i>	0,6061	0,0370
<i>Sloanea guapilensis</i>	0,6061	0,0069
<i>Socratea exorrhiza</i>	3,0303	0,0741
<i>Sorocea pubivena</i>	1,2121	0,0126
<i>Spondias mombin</i>	2,4242	0,0684
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	4,8485	0,0837
<i>Sterculia costaricana</i>	0,6061	0,0123
<i>Tapirira myriantha</i>	1,2121	0,0449
<i>Tetragastris panamensis</i>	1,2121	0,0939
<i>Trema intergerrima</i>	2,4242	0,2587
<i>Trichilia septentrionalis</i>	0,6061	0,0058
<i>Trichilia sp2</i>	0,6061	0,0059
<i>Vernonia patens</i>	0,6061	0,0049
<i>Virola koschnyii</i>	0,6061	0,0094
<i>Virola sebifera</i>	2,4242	0,2165
<i>Vochysia guatemalensis</i>	0,6061	0,0166
<i>Zanthoxylum sp</i>	0,6061	0,0160
Total	289,70	17,83

Anexo 8. Análisis de varianza y prueba de Tuckey para comparar la riqueza de los dos tipos de bosque con el programa InfoStat.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Respuesta	4	0,92	0,76	42,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	371,65	2	185,83	5,87	0,2801
Bloque	39,50	1	39,50	1,25	0,4648
Tratamiento	332,15	1	332,15	10,50	0,1906
Error	31,64	1	31,64		
Total	403,29	3			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00000

Error: 31,6406 gl: 1

Bloque	Medias	n	E.E.
Bosque maduro	16,52	2	3,98 A
Bosque secundario	10,23	2	3,98 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Anexo 9. Análisis de varianza y prueba de Tuckey para comparar el porcentaje de especies en cada gremio entre tipo de bosque con el programa InfoStat.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Respuesta	6	0,99	0,99	9,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3515,57	3	1171,86	128,80	0,0077
Bloque	1,69	1	1,69	0,19	0,7089
Tratamiento	3513,89	2	1756,94	193,10	0,0052
Error	18,20	2	9,10		
Total	3533,77	5			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=10,58777

Error: 9,0986 gl: 2

Bloque	Medias	n	E.E.
Bosque secundario	32,68	3	1,74 A
Bosque maduro	31,62	3	1,74 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=17,76880

Error: 9,0986 gl: 2

Tratamiento	Medias	n	E.E.
HD	65,89	2	2,13 A
E	20,27	2	2,13 B
HE	10,30	2	2,13 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Anexo 10. Comparación de los indicadores ecológicos mediante la Prueba de Friedman con el programa InfoStat.

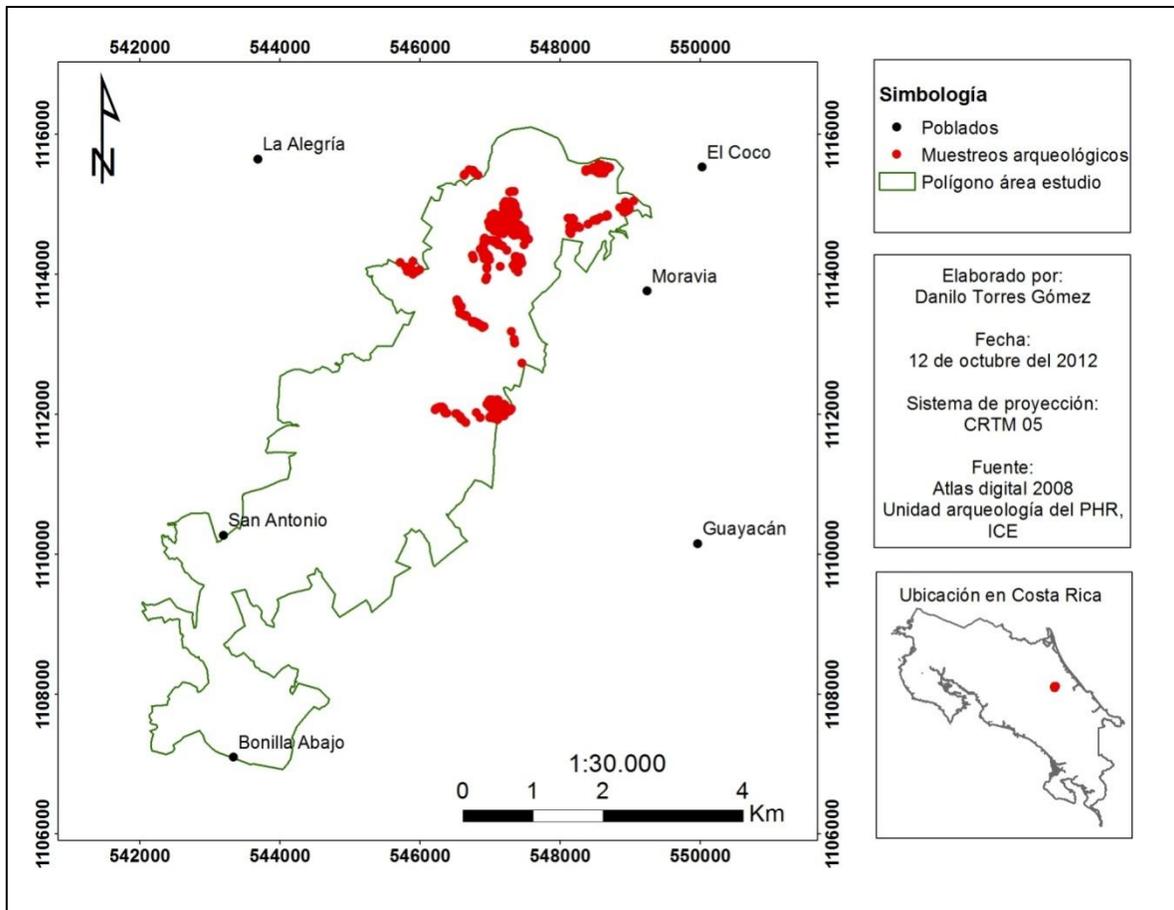
Prueba de Friedman

Bosque maduro	Bosque secundario	T ²	p
1,75	1,25	2,14	0,2031

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 5,268

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n
Bosque secundario	7,50	1,25	6 A
Bosque maduro	10,50	1,75	6 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,050$)



Anexo 11. Puntos de los muestreo arqueológicos de la etapa II, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, Siquirres, Costa Rica, 2012.

Anexo 12. Comparación de los esquemas de secuencia cultural más atinentes al registro arqueológico del Valle de Turrialba.

