



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Master en Ingeniería de Montes**

Proyecto:

**FORESTERÍA DE INGRESO SOSTENIBLE,  
APORTES DE CARBONO Y EVALUACIÓN  
FINANCIERA EN PLANTACIONES FORESTALES  
DE TECA (*TECTONA GRANDIS L.F.*) CON GANADO  
Y PSA EN LA PROVINCIA DE GUANACASTE,  
COSTA RICA.**

**Alumno: Antonio Lecegui Perepérez**

**Tutor: Dr. Felipe Bravo Oviedo**

Profesor del departamento: Producción Vegetal y Recursos Forestales,  
Universidad de Valladolid (UVA)

**Director: Dr. Ronnie de Camino Velozo**

Profesor del departamento: Programa de Producción y Conservación de Bosques,  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

**Septiembre de 2015**





## **DEDICATORIA**

A mis abuelos, Vitoriano, Ascensión, Pepe y María, quienes me enseñaron la virtud de la  
humildad y la honradez.

A mis padres, Antonio y Ana y mi hermana Iris, por su apoyo, amor y comprensión  
incondicional.

A todos ellos, gracias por todo lo que me dieron.



## AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han colaborado para la realización de este proyecto:

A la Universidad de Valladolid (UVA) y al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por permitirme esta pasantía en Costa Rica que tanto me ha hecho crecer.

A mi director y tutor de proyecto D. Felipe Bravo y D. Ronnie de Camino por toda la confianza depositada en mí, sus aportes, sugerencias y motivaciones.

Un agradecimiento muy especial a D. Luis Fernando Sage y D. Francisco Sage por, además de darme la oportunidad de realizar la fase de campo en sus fincas, apoyarme en todo momento con la logística de campo y por su amistad.

A mi amigo y hermano Cristopher, por toda su ayuda y tiempo dedicado.

A D. Miguel Cifuentes por su atención, rápidas revisiones y aportes a este trabajo.

A D. Sergio Vilchez por el asesoramiento técnico en el análisis estadístico de los datos.

A D. Cristian Brenes por su disponibilidad y ayuda en temas cartográficos

A Dña. Patricia Leandro por su desinteresada colaboración y ayuda con los instrumentos de medición.

A D. Jean Pierre Morales por ayudarme en la coordinación del proyecto.

A D. Leonel Coto y D. Diego Delgado por proporcionarme gran parte del material

A Ronald, Julio, Santos y todos los trabajadores de las fincas en las que he estado por su colaboración, enseñanzas, buenos momentos y por tratarme como a uno más.

A todos mis compañeros de las residencias del CATIE, especialmente a mis queridos compañeros del Andino y la Casa de la Sostenibilidad, con los que he vivido momentos inolvidables.

A los funcionarios del CATIE, en especial a D. Valerino, Jorge, Danny.

A mi familia y amigos de España quienes me apoyaron y empujaron en todo momento.

A todos, gracias de todo corazón. Sin ustedes no hubiese sido posible este proyecto.



# RESUMEN

## RESUMEN

Se evidencia la necesidad de documentar y evaluar las prácticas y resultados financieros de plantaciones forestales manejadas mediante la estrategia de gestión forestal denominada Forestería de Ingreso Sostenible (FIS) en Costa Rica. Entre los objetivos, destaca, el hacer más atractiva la inversión de pequeños productores e inversionistas en plantaciones forestales que colaboren con los objetivos de autoabastecimiento de madera y carbono-neutralidad del país. En este caso, se presentan los efectos del manejo diversificado, incluyendo las aportaciones de carbono, de plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn. F.) con ganado y Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en el cantón de Abangares de la provincia de Guanacaste.

El procedimiento comenzó con la elaboración de un estudio bibliográfico en el que se incluyeron los aspectos que condicionan el entorno social, económico y ambiental de Costa Rica y de la zona de influencia del proyecto, así como las características botánicas, morfológicas, requerimientos ambientales, distribución, agentes patógenos, usos, manejo silvícola, índices de sitio y modelos de crecimiento en Costa Rica de la especie forestal del estudio. A continuación, se caracterizaron las fincas Abangari y Coyolito, donde se desarrollaron los trabajos de este proyecto. Los aspectos que se registraron fueron: localización, límites, accesos, características físicas, sistema de manejo silvopastoril, certificaciones forestales, mecanismos financieros etc.

Los trabajos de campo comenzaron, en la finca Abangari, con la ejecución de un muestreo destructivo de 20 muestras de biomasa aérea total con objeto de validar la ecuación alométrica de biomasa aérea total para teca en Costa Rica propuesta por Pérez *et* Kanninen (2003). Este modelo se utilizó posteriormente para estimar la biomasa de la plantación y demostrar la importancia de utilizar los modelos desarrollados en un sitio para estimar la biomasa de ese sitio. El resultado fue que la ecuación de Pérez *et* Kanninen (2003) explicaba perfectamente los datos de biomasa aérea total observados en la finca. Todos los valores observados se situaron dentro de los límites de confianza del modelo a validar. Además, no se encontraron diferencias significativas al 95% de confianza entre intercepto y pendiente de dicho modelo con el que se ajustó en este proyecto. Las predicciones de ambos modelos resultaron estar correlacionadas al 99,96%. El error relativo de los datos observados y el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) fue de 5,458%, mientras que al utilizar otros modelos este valor fue de hasta 414,453%. La desviación estándar del error relativo fue de 11,589 para el modelo de Costa Rica y hasta 15,490 para los otros modelos.

A continuación se ejecutó el tercer inventario continuo de las parcelas permanentes de muestreo (PPM) instaladas en la finca Coyolito. Se evaluaron un total de 12 PPM. Los resultados mostraron que la densidad media de la finca era  $482,500 \pm 36,302$  p/ha, el área basimétrica media  $14,371 \pm 1,799$  m<sup>2</sup>/ha, el diámetro medio cuadrático  $19,468 \pm 1,394$  cm, el IDR  $309,986 \pm 46,657$  y la altura dominante  $18,55 \pm 0,15$  m. En cuanto a los valores estimados, se obtuvo un volumen total de  $101,351 \pm 13,643$  m<sup>3</sup>/ha, un volumen comercial de  $70,691 \pm 11,091$  m<sup>3</sup>/ha y una biomasa aérea total de  $87,807 \pm 12,654$  t/ha. Además, mediante la comparación de inventarios, se obtuvieron el Incremento Medio Anual (IMA) y el Incremento Corriente Anual (ICA) de estas variables. El IMA medio en volumen comercial a 8 cm en punta delgada fue de  $9,0 \pm 1,99$  m<sup>3</sup>/ha/año. Ésta variable se utilizó

como base para realizar la modelización del crecimiento de la plantación que sirvió para estimar los beneficios económicos por la venta de madera de teca.

Finalmente, se elaboró el estudio financiero y análisis de sensibilidad de la plantación de teca en Coyolito según tres escenarios: “Plantación de teca tradicional”, “plantación de teca con ganado” y “plantación de teca con ganado y PSA”. Los tres escenarios resultaron rentables ( $VAN > 0$ ,  $TIR > i$ ,  $B/C > 1$ ,  $VET > \text{precio de la tierra}$ ). Sin embargo, el VAN resultó del doble si la plantación de teca tradicional se complementa con ganado y casi el triple si además se reciben incentivos financieros (709,88 \$/ha, 1.378,40 \$/ha y 2.056,93 \$/ha, respectivamente). La TIR también resultó superior en el escenario 3 (9,73%) frente al 2 (9,11%) y más aún en comparación con el 1 (8,57%). El PIR fue de 17,09 años para el escenario 1, de 17,03 años para el escenario 2 y de 11,92 años en el escenario 3. El VET, indicador financiero que considera rotaciones sucesivas y permite comparar los proyectos con una actividad alternativa, fue de 8.145,63 \$/ha, 9.037,28 \$/ha y 9.942,29 \$/ha para los tres escenarios respectivamente. El análisis de sensibilidad mostró que el determinante que mayor influencia ejercía en el estudio financiero era el precio de la madera o el crecimiento de la plantación, frente a otros como el precio de la tierra, el precio del ganado o el costo de la mano de obra. Entre escenarios, la variación relativa de los indicadores financieros al variar los determinantes de costos e ingresos fue menor en el escenario 3 frente al 2 y éste que el 1.

Por otra parte, se realizó una comparación de los beneficios obtenidos por los PSA con los de la venta de bonos de carbono en el mercado. Para ello se utilizaron los valores de biomasa aérea estimados mediante la ecuación de Pérez *et* Kanninen (2003) aplicada al inventario en las PPM. El resultado fue que, con precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente en el Mercado Voluntario de Carbono de Costa Rica (MDVCCR) superiores a 5,629\$/tCO<sub>2</sub> es más rentable inscribirse en el MDVCCR frente a los PSA y viceversa.

En definitiva, se demostró que la introducción del ganado en la plantación de teca no solo representa una reducción en los costos de mantenimiento de la plantación, sino que también genera un ingreso adicional a corto plazo cuyos costos fijos de producción (renta de la tierra, administración, manejo...) son muy bajos o se cargan a la reforestación. Además, Aunque la representatividad de los ingresos por PSA es baja (2,34% de los ingresos netos totales al final del ciclo de rotación) estos se perciben en los primeros años de la inversión y ayudan a moderar la inversión inicial, cerrándose, de esta forma, el flujo de caja de cada periodo casi en valores positivos. Esta diversificación de actividades en la plantación también disminuye el riesgo de la inversión, si se modificasen los factores que influyen directamente en los costos e ingresos. Finalmente, se proponen, algunas recomendaciones para la práctica de FIS de plantaciones de teca con ganado.





# INDICE GENERAL DEL PROYECTO

## ÍNDICE GENERAL DEL PROYECTO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE GENERAL DEL PROYECTO .....	v
ÍNDICE MEMORIA.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEJOS Y PLANOS.....	xi

# MEMORIA

# MEMORIA

## ÍNDICES

## ÍNDICE MEMORIA

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>4. MATERIAL Y METODOS.....</b>	<b>7</b>
4.1 Área de estudio .....	7
4.1.1. Caracterización de las fincas.....	9
4.1.1.1. Finca Abancari .....	9
4.1.1.2. Finca Coyolito .....	11
4.2. Breve descripción de la especie forestal ( <i>tectona grandis</i> ) .....	14
4.3. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca ( <i>Tectona grandis</i> ) en Costa Rica .....	16
4.4. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.....	17
4.5. Análisis financiero de las plantaciones.....	18
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
5.1. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca ( <i>Tectona grandis</i> ) en Costa Rica .....	21
5.1.1. Análisis previo y cálculo de variables dependientes.....	21
5.1.2. Evaluación de modelos de biomasa aérea total de teca según sitios.....	22
5.1.3. Elaboración de ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados .....	22
5.1.4. Comparación de modelos logarítmicos.....	24
5.1.5. Ajuste de un modelo logarítmico con todo el conjunto de datos .....	26
5.2. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.....	28
5.2.1. Análisis previo de los datos y resultados dasométricos .....	28
5.2.2. Epidometría.....	29
5.3. Análisis financiero de las plantaciones.....	30
5.3.1. Estudio de mercado: Selección de parámetros de cálculo .....	30
5.3.2. Rendimiento de la plantación e ingresos esperados.....	31
5.3.3. Identificación de actividades de manejo, intensidad y costos asociados .....	33
5.3.4. Flujos de caja e indicadores financieros .....	36
5.3.5. Análisis de sensibilidad.....	40
5.3.6. Comparación de incentivos forestales de PSA y créditos de carbono .....	42
<b>6. DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>

6.1. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca ( <i>Tectona grandis</i> ) en Costa Rica.....	43
6.2. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.....	44
6.3. Análisis financiero de las plantaciones.....	45
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
7.1. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca ( <i>Tectona grandis</i> ) en Costa Rica.....	48
7.2. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.....	48
7.3. Análisis financiero de las plantaciones.....	49
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....</b>	<b>52</b>
9.1. Recursos digitales.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Costa Rica en América y América Central.....	7
Figura 2. Localización del cantón de Abangares en el mapa provincial de Costa Rica, Sistema de proyección CRTM05.....	7
Figura 3. Precipitación acumulada porcentual de la región Pacífico Norte, promedio años 1961-1990.....	8
Figura 4. Distribución de superficies en la finca “Abancari”.....	10
Figura 5. Distribución de superficies en “Coyolito I” y “Coyolito II”.....	13
Figura 6. Distribución mundial de las plantaciones de teca por países.....	15
Figura 7. Distribución natural de la teca en Asia y distribución artificial de las plantaciones de teca en Costa Rica.....	15
Figura 8. Representación de los valores observados en este estudio y el modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) con intervalos de confianza al 95%, para biomasa aérea total de teca en Costa Rica, en su forma logarítmica (Izda.) y con la transformación realizada (Dcha.).....	22
Figura 9. Representación del modelo logarítmico ajustado, con sus intervalos de confianza y predicción al 95%, de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste.....	23
Figura 10. Gráficos de residuos del modelo logarítmico ajustado de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste: Distribución de los residuos, gráfica cuantil-cuantil (QQ plot), gráfica de residuos estudentizados y gráfica de apalancamiento o influencia de los residuos.....	24
Figura 11. Comparación de los valores y los modelos ajustados de la biomasa aérea total en función del diámetro para teca en Costa Rica con los valores observados en Abangares y el modelo propuesto por Pérez <i>et</i> Kanninen (2003).....	25
Figura 12. Representación del modelo logarítmico ajustado y sus intervalos de confianza y predicción al 95% para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez <i>et</i> Kanninen (2003).....	27
Figura 13. Gráficos de residuos del modelo logarítmico ajustado de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho utilizando los valores observados en Abangares y los observados por Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) en Costa Rica: Distribución de los residuos, gráfica cuantil-cuantil (QQ plot), gráfica de residuos estudentizados y gráfica de apalancamiento o influencia de los residuos.....	27
Figura 14. Gráfico de dispersión para la variable diámetro (cm) por lote en la finca Coyolito.....	28
Figura 15. Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca”.....	37
Figura 16. . Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca con ganado”..	38
Figura 17. Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “Plantación de teca con ganado y PSA”.....	39
Figura 18. Variación del VAN en función de la tasa de descuento para los tres escenarios analizados en el estudio financiero.....	41
Figura 19. Variación del VAN en función de la variación de principales determinantes de ingresos y costos para el escenario 3.....	41

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cobertura, área reforestada por sector y por lote y resumen de superficies por categoría en la finca “Abangari”.....	10
Tabla 2. Resumen de superficies por categoría en “Coyolito I” y cobertura, área reforestada por sector y por lote y resumen de superficies por categoría en “Coyolito II”.....	13
Tabla 3. Variables independientes y dependientes obtenidas de los individuos de la muestra: diámetro, altura total y comercial, estimación de biomasa en hojas y resultados de biomasa no comercial, biomasa comercial y biomasa total para teca en finca” Abangari”. .....	21
Tabla 4. Evaluación de los modelos y su ámbito de aplicación con los valores de biomasa aérea de teca observados en Abangares según el error relativo medio y la desviación estándar del error relativo.....	22
Tabla 5. Parámetros del ajuste con el modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste. ....	23
Tabla 6. Estadísticos del ajuste con el modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste. ....	23
Tabla 7. Estadísticos del análisis de regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio con variables indicadoras. ....	25
Tabla 8. Tabla de análisis de varianza adicional para variables según modelo para comprobar la significación de la pendiente y el intercepto de los modelos .....	25
Tabla 9. Estadísticos del análisis de regresión para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez <i>et</i> Kanninen (2003).....	26
Tabla 10. Análisis de varianza para el ajuste regresión para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez <i>et</i> Kanninen (2003).....	26
Tabla 11. Estadísticos del modelo para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez <i>et</i> Kanninen (2003).....	26
Tabla 12. Resultados por hectárea de las variables estudiadas (densidad, diámetro medio, altura media, área basal, diámetro medio cuadrático, volumen total, volumen comercial y biomasa aérea total) por lote, para “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca. ....	28
Tabla 13. Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables diámetro, altura y área basimétrica, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca. ....	29
Tabla 14. Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables estimadas: volumen total y volumen comercial, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.....	30
Tabla 15. Tasas de cambio monetario aplicado en el estudio financiero. ....	31
Tabla 16. Precios asumidos de las variables financieras para el estudio financiero.....	31
Tabla 17. Modelización del crecimiento en volumen comercial y extracción de árboles en una hectárea de plantación de teca en Abangares, Guanacaste.....	32
Tabla 18. Estructura de ingresos del subsistema ganadero.....	32
Tabla 19. Monto y distribución de los ingresos por PSA según modalidades.....	33



Tabla 20. Monto y distribución de los ingresos por PSA en una ha media de 0,6823 ha de plantación de teca y 0,3109 ha de protección.....	33
Tabla 21. Estructura de costos para la plantación de teca en el escenario de plantación de teca con ganado. ....	34
Tabla 22. Resumen de la distribución de costos totales al final del periodo del análisis por escenarios y gran actividad de la plantación de teca. ....	35
Tabla 23. Estructura de costos por hectárea según los dos periodos de diferente carga ganadera para el subsistema ganadero.....	35
Tabla 24. Costos totales, relativos y anuales durante el periodo de rotación de la teca (18 años) y desglose de costos durante el periodo con carga ganadera 0,33 animales/ha (años 3, 4 y 5) y el periodo con carga ganadera de 0,17 animales/ha (años 6-17). ....	36
Tabla 25. Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 1: “Plantación de teca”.....	36
Tabla 26. Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 2. “Plantación de teca con ganado”. ....	37
Tabla 27. Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 3. “Plantación de teca con ganado y PSA”.....	38
Tabla 28. Comparación de beneficio neto según escenarios. ....	39
Tabla 29. Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año. ....	40
Tabla 30. Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año como un costo y en el último año como un activo.....	41
Tabla 31. Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios sin tener en cuenta el coste de la tierra.....	42
Tabla 32. Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios si se contabiliza el valor de la tierra como valor neto de la superficie útil para la plantación.....	42
Tabla 33. Estimación del carbono y CO <sub>2</sub> almacenado medio y en cada lote de la finca Coyalito y valor en el mercado voluntario de carbono de la plantación según precios de la tonelada equivalente de CO <sub>2</sub> .....	42

## ÍNDICE DE ANEJOS Y PLANOS

### ANEJOS

<b>Anejo I.</b> Revisión bibliográfica: Caracterización de la zona de estudio y de la especie forestal de interés.....	63
<b>Anejo II.</b> Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca ( <i>Tectona grandis</i> L.F.) en Costa Rica.....	101
<b>Anejo III.</b> Inventario continuo en las Parcelas Permanentes de Muestreo.....	132
<b>Anejo IV.</b> Análisis financiero de las plantaciones.....	161
<b>Anejo V.</b> Reportaje fotográfico de los trabajos.....	194

### PLANOS.....207

**Plano I.** Situación de las parcelas en el cantón de Abangares, provincia de Guanacaste.

**Plano II.** Localización y distribución de superficies en la finca “Abangari”.

**Plano III.** Localización y distribución de superficies y PPM en la finca “Coyolito I”.

**Plano IV.** Localización y distribución de superficies y PPM en la finca “Coyolito II”.

# MEMORIA

## 1. INTRODUCCIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se está intentando movilizar en algunos países con extensas áreas boscosas la inversión internacional privada o pública, mediante mecanismos de financiación relacionados con la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación del Bosque y Más (REDD+), con los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y con mercados de carbono. Estos mecanismos, según FAO (2014), mejoran, con frecuencia, las competencias, la productividad, la competitividad de los bienes de producción y la provisión de servicios de los ecosistemas. Costa Rica es líder mundial en el tema de PSA, cuyo origen se remonta a la creación de la Ley Forestal N° 7575 y su reglamento en 1996 (Herrera, 2003).

En este marco, las mediciones de las reservas de carbono forestal han adquirido una importancia mayor. Según Picard *et al.* (2012), la precisión en la estimación de la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono tendrá una enorme influencia en las posibles compensaciones financieras. La estimación de carbono en los bosques, habitualmente, se realiza de manera indirecta, mediante la aplicación de modelos de diferentes fracciones de biomasa a los datos de inventario forestal (Ruiz-Peinado *et al.*, 2011). Las ecuaciones alométricas, que permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de las características dendrométricas más fáciles de medir (como diámetro o altura), son una herramienta esencial para la comprensión y estimación del almacenamiento y flujo de carbono (IPCC, 2007; Picard *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2012)

La destrucción de los bosques tropicales es uno de los grandes problemas que más afectan al cambio climático en el mundo, en general, y a América Latina y el Caribe en particular. La superficie boscosa en esta región ha decrecido considerablemente en las últimas décadas. La tasa promedio anual de deforestación entre los años 1990 y 2012 fue de -1,54% (Armenteras *et Rodríguez*, 2014).

Las opciones para reducir la deforestación y promover la conservación estricta de los bosques nativos sin reducir la producción total de productos primarios han de pasar por una alternativa de producción sostenible que permita reducir el impacto ambiental de los sistemas tradicionales de producción (Mahecha *et Zoot*, 2002). A través de sistemas planificados de producción forestal, Costa Rica, puede transformar diversos problemas ambientales y potenciales amenazas en verdaderas oportunidades de desarrollo humano (Sage *et Quiros*, 2001). Algunos de estos problemas ambientales negativos se han producido por la ganadería convencional, a la cual se le asocian problemas como la degradación de pasturas, compactación y erosión del suelo, aumento en el uso de herbicidas, baja rentabilidad, disminución de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo (Salazar, 2012).

Por otra parte, Costa Rica, sufre una crisis de abastecimiento de madera debido a la reducción de la corta en bosques naturales como resultado de una veda institucional y a la corta sin reemplazo de plantaciones forestales, entre las que se incluyen las plantaciones de teca de pequeños propietarios (De Camino *et Detlefsen*, 2008). Las plantaciones forestales, aun siendo rentables, tienen los inconvenientes de alta inversión inicial y largas edades de rotación, que acumulan los beneficios al final del turno, presentando un flujo de caja desfavorable durante largos periodos de tiempo en los que únicamente existen costes y

ningún tipo de ingreso. Este panorama desanima a los pequeños y medianos propietarios y dificulta la economía de las empresas más grandes (De Camino *et al.*, 2013).

Como alternativa se ha detectado a los sistemas multifuncionales como una opción para obtener beneficios económicos adicionales y complementarios en el corto plazo, maximizar el uso de los terrenos y los recursos y ofrecer al productor una gestión más eficiente y sostenible, además de ofrecer multitud de beneficios sociales y ambientales, difícilmente calculables, lo cual está siendo apoyado por aparatos financieros promovidos por el estado. La Forestería de Ingreso Sostenible (FIS) consiste enriquecer los sistemas forestales con otros elementos tales como cultivos agrícolas, pastos ganaderos o PSA para conseguir que el flujo de caja cierre en cada periodo de forma positiva (De Camino *et al.*, 2013).

Entre las maderas duras de alto valor preferidas por los inversionistas y productores están las caobas (*Meliaceae*), el cocobolo (*Dalbergia*) y la teca (*Verbenaceae*). Sin embargo, la teca (*Tectona grandis* Linn. F.) es la especie de madera tropical de calidad más cultivada en el mundo por las excelentes propiedades de su madera, su fácil propagación, establecimiento y manejo, además de sus aceptables cualidades ambientales que, aunque se cultiva como especie exótica en muchos países, no es invasora (De Camino *et Morales*, 2013).

Este proyecto nace de la necesidad de documentar y evaluar las prácticas y resultados financieros de las plantaciones de teca con ganado en FIS de la provincia de Guanacaste y comprobar su aporte a los ciclos de carbono, mediante la evaluación de los modelos de biomasa, para servir de referencia y animar a los pequeños inversionistas. Esto se considera fundamental para hacer más atractiva la inversión de pequeños productores en plantaciones forestales que colaboren a los objetivos de autoabastecimiento de madera y carbono-neutralidad del país, así como, ayudar en las decisiones de manejo y conservación de los sistemas forestales, contribuir a la aplicación de los mecanismos financieros y asistir a postulados de políticas eficientes.

En definitiva, el proyecto consiste en la validación de un modelo de biomasa aérea para teca en Costa Rica, la cuantificación de existencias de madera y carbono y, la caracterización, documentación y evaluación de los resultados financieros de la gestión diversificada de plantaciones de teca en FIS asociadas a producción de ganado y PSA. Además se realiza una comparación desde el punto de vista financiero de éstos resultados con los de plantaciones tradicionales de teca, en fincas localizadas en el cantón de Abangares de la provincia de Guanacaste. Finalmente, se compara el aporte financiero de los PSA con los de la posible inscripción en la venta de bonos en el mercado voluntario de carbono y se proponen algunas recomendaciones para la práctica de FIS en plantaciones de teca con ganado.

# MEMORIA

## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El proyecto fue promovido por una de las líneas de investigación de la unidad de trabajo de la Cátedra de Gestión Forestal Territorial, incluida en el Programa de Producción y Conservación de Bosques que se desarrolla en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), cuya sede se localiza en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica. La línea de investigación que se pretende desarrollar por esta Cátedra es la estrategia de gestión forestal denominada “Forestería de Ingreso Sostenible (FIS)”.

Este concepto puede parecer similar al de “agroforestería”, impulsado por la FAO en 1977, con la creación de Consejo Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF, por sus siglas en inglés), actualmente denominado Centro Mundial de Agroforestería. Esta institución definió la agroforestería como un “sistema sustentable de manejo de cultivos y de tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local” (Consejo Internacional para la Investigación en la Agroforestería 1982). En nuestras latitudes, el ejemplo más claro de agroforestería son los sistemas silvopastoriles de las dehesas españolas y portuguesas.

Sin embargo, la FIS va más allá que la agroforestería y, otorga mayor importancia al sistema forestal, el cuál se complementa o enriquece con los otros elementos productivos. Además de fomentar la multifuncionalidad de los sistemas forestales y optimizar los efectos benéficos de las interacciones de sus componentes (forestal, animal, agrícola etc.), la FIS pretende estudiar el sistema desde el punto de vista económico y mejorar su rentabilidad en el corto plazo, es decir, en los primeros años de la inversión, en la que ésta más pesada. Su fin último, es el de mejorar los flujos de caja de cada periodo, entendidos como diferencia entre ingresos y costos, para facilitar el desahogo económico de los pequeños productores e inversionistas y ayudarlos en sus decisiones.

Entre los elementos estratégicos para formalizar la aplicación de FIS están la identificación e investigación de casos que apliquen esta estrategia de manejo forestal para promover su disseminación y facilitar su asistencia técnica (De Camino et al., 2013). En esta línea, se encuentra el trabajo desarrollado por Álvarez (2014) sobre FIS en plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla*) y cedro (*Cedrela odorata*) con cultivo agrícola de culantro coyote (*Eryngium foetidum*) y ganado en Tres Equis, provincia de Cartago. Otros ejemplos de este sistema de manejo en Costa Rica son los de plantaciones a tres niveles en la región norte, dominadas por gallinazo (*Schizolobium parahiba*) y caoba, un dosel medio con especies como laurel (*Cordia alliodora*), roble sabana (*Tabebuia rosea*) y caobilla (*Carapa guianensis*) y, en el estrato más bajo, cacao, las cuales ofrecen beneficios, de la misma forma, estratificados. También pueden incluirse otros sistemas como los frecuentes en la región central de Eucalipto con café (De Camino et al., 2013).

En este caso, se presenta un sistema de FIS de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) con ganado vacuno e incentivos forestales en forma de PSA en la provincia de Guanacaste. Según Muhammad (2015), el asocio de la producción maderera con herbáceas, manejadas

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

bajo pastoreo, a pesar de ser más común en las zonas templadas, se espera que tome mayor relevancia en el área tropical, por la reforestación en terrenos cubiertos por praderas degradadas. Precisamente esto es lo que ocurre en la provincia de Guanacaste, tras la crisis del sector ganadero de la región en la década de 1970, a partir de la cual, se cambió el modelo productivo ganadero a uno más diversificado centrado en la conservación de bosques, la producción de madera en plantaciones, la inclusión de industrias madereras y la agricultura.

Las fincas Abangari y Coyolito, en el cantón de Abangares de la provincia de Guanacaste presentan un claro ejemplo de plantaciones forestales de teca sobre praderas degradadas de gramíneas, como pastos mejorados africanos, abandonadas tras la crisis del sector ganadero. Los pastos ejercen una fuerte competencia en el componente arbóreo, sobre todo en las primeras edades, y el costo de su control es excesivamente caro bajo los métodos tradicionales. Se ha comprobado que la introducción de ganado reduce considerablemente los costos de mantenimiento y ofrece beneficios alternativos.

Otros ejemplos de la utilización de la teca en FIS se presentan en la región asiática. En Java, se cultivaba arroz durante los primeros años de la plantación para que los agricultores locales pudieran obtener un ingreso durante los años iniciales. En la India, se obtuvieron beneficios económicos en el corto plazo al complementar las plantaciones de teca jóvenes con cacahuete, soya, maíz, algodón y jengibre. En Trinidad se combinaba con especies hortícolas como mango (*Mangifera indica*), papaya (*Carica papaya*) y guayaba (*Psidium guajava*). En la Tailandia, el proyecto “Save the Children”, fomentó la plantación de teca como parte de una estrategia de generación de ingresos a mediano y largo plazo, combinada con cultivos anuales y árboles frutales (Fonseca, 2004).

En Costa Rica, las plantaciones de teca ocupan aproximadamente 40.000 ha distribuidas principalmente en la zona del bosque tropical seco (Guanacaste) en donde la precipitación varía entre 1300 y 1710 mm/año, así como en el bosque tropical húmedo (zona norte, atlántica, pacífico central y sur), donde la precipitación oscila entre 3420 y 6840 mm/año. (Conferencia Mundial de Teca, 2011).

Según la base de datos mundial de la FAO de ecuaciones alométricas, los únicos modelos de biomasa para teca en Costa Rica son los propuestos por Perez *et* Kanninen (2003). En dicho trabajo, se presentan relaciones alométricas de la distribución de la biomasa aérea de teca en Costa Rica por componentes (hojas, ramas, tallo y total) en función del diámetro. Para su elaboración se tomaron 40 árboles repartidos en 16 plantaciones de 10 sitios (2 en la Provincia de Guanacaste, 6 en Puntarenas, 2 en Limón y 1 en Alajuela), representativos de las diferentes condiciones climáticas. Por tanto, estos modelos de Pérez *et* Kanninen (2003) son ampliamente considerados como la mejor aproximación al Carbono de plantaciones de teca en Costa Rica.

Sin embargo, la amplia variabilidad de rangos bioclimáticos en los que se ha instalado la especie podría hacer pensar que pueden existir diferencias predictivas en los diferentes sitios, lo que puede afectar negativamente a los promotores interesados en la evaluación de carbono y biomasa de este tipo de plantaciones. Por esta razón se hace necesaria la validación y evaluación de la exactitud de estos modelos con nuevas observaciones independientes a las usadas para el ajuste del mismo y en diferentes ubicaciones geográficas.



# MEMORIA

## 3. OBJETIVOS

### 3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es documentar, analizar y evaluar los efectos del manejo diversificado, incluyendo la estimación de carbono, de la unidad forestal en las fincas para la generación de un ingreso sostenible al productor de acuerdo al concepto planteado por De Camino *et al.* (2013) conocido como FIS. Se puede afirmar que el proyecto conjuga los intereses científicos, productivos y medioambientales.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

- ♣ Evaluar la precisión predictiva para validar/rechazar el modelo de biomasa aérea total para teca en Costa Rica propuesto por Pérez *et Kanninen* (2003) con los datos observados en la finca “Abangari”. Para ello se pretende:
  - Diseñar una metodología de trabajo que permita obtener datos de biomasa aérea total para teca.
  - Ejecutar un muestreo para recolectar valores de biomasa aérea total de teca en Abangares (Guanacaste).
  - Comprobar las diferencias predictivas de los modelos según el sitio en el que fueron desarrollados. Para ello se compararon los datos observados con los predichos al utilizar el modelo logarítmico de Pérez *et Kanninen* (2003) para la estimación de la biomasa aérea total de teca en Costa Rica y los modelos potenciales de Karmacharya *et Singh* (2006) para la estimación de la biomasa aérea total de teca en una región de bosque tropical seco en la India.
  - Ajustar ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados en este estudio.
  - Comparar el modelo logarítmico ajustado en este trabajo con el modelo propuesto por Pérez *et Kanninen* (2003) por el método de comparación de líneas de regresión.
  - Ajustar una nueva ecuación alométrica de biomasa con los datos observados por Pérez *et Kanninen* (2003) y con los datos observados en este estudio.
- ♣ Suministrar información que ayude a conocer y comprender la situación y evolución de la plantación de teca en “Coyolito” para realizar la gestión forestal más adecuada y poder estimar los beneficios económicos por venta de madera de una forma más precisa y ajustada. Además:
  - Diseñar un inventario que permita obtener las variables independientes (dap y altura) de la plantación.
  - Ejecutar el inventario para recolectar los valores de las variables independientes en campo y reinstalar las parcelas deterioradas.
  - Procesar y analizar los datos recolectados y cuantificar estadísticamente la cantidad de árboles, el área basimétrica el diámetro medio cuadrático, la altura dominante y el Índice de Densidad del Rodal o Índice de Reineke (IDR), así como estimar el volumen total, volumen comercial y biomasa aérea total de la plantación.

- Estudiar la evolución de la masa mediante la comparación de las variables en las parcelas remedidas y posibilitar el estudio de dicha evolución con las que se remedirán en el próximo ciclo.
- ♣ Elaborar y comparar los estudios financieros de una plantación de teca en tres escenarios: plantación de teca tradicional, plantación de teca con ganado y plantación de teca con ganado y PSA en la finca “Coyolito”. Para la cual, es necesario:
  - Realizar un estudio de mercado con objeto de conocer los precios actuales de los parámetros que determinarán los costos e ingresos del sistema en Costa Rica.
  - Identificar y documentar las operaciones realizadas en la finca desde el momento de la plantación de teca y evaluar financieramente los costos e ingresos asociados en cada uno de los escenarios,
  - Elaborar los flujos de caja de cada escenario y calcular los beneficios netos y beneficios acumulados en cada año del proyecto.
  - Determinar los indicadores clásicos de viabilidad económica de proyectos de inversión: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor esperado de la Tierra (VET), relación Beneficio/Coste (B/C) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PIR).
  - Elaborar los análisis de sensibilidad en función de los principales determinantes de los costos e ingresos como: tasa de descuento, precio de la madera, costos de mano de obra, crecimiento medio anual de las plantaciones, precio del ganado etc.
  - Comparar desde el punto de vista financiero los beneficios obtenidos por los mecanismos financieros estatales de PSA con el precio de la tonelada de carbono en el Mercado Voluntario de Carbono.

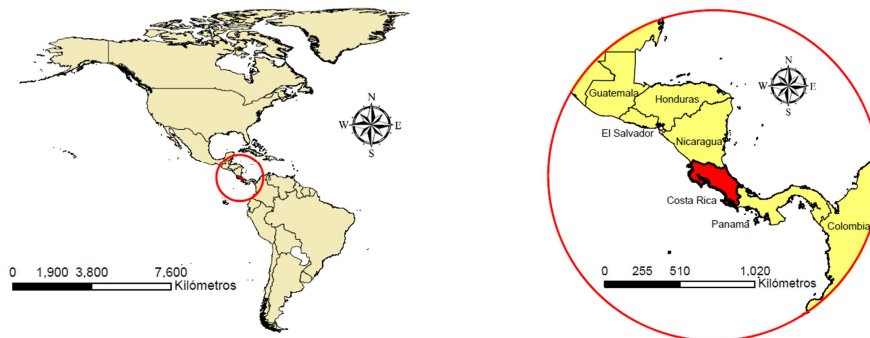
# MEMORIA

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

## 4. MATERIAL Y METODOS

### 4.1 Área de estudio

La República Democrática de Costa Rica, cuya capital es San José, se encuentra situada en el istmo o parte central del continente Americano. Se localiza en el centro de las coordenadas geográficas: 8° y 11°15', de latitud norte, y 82° y 85°, de longitud oeste y ocupa una superficie de 51.000 Km<sup>2</sup>. Limita al norte con Nicaragua, al sur con Panamá, al este con el Mar Caribe y al oeste con el Océano Pacífico (Figura 1).

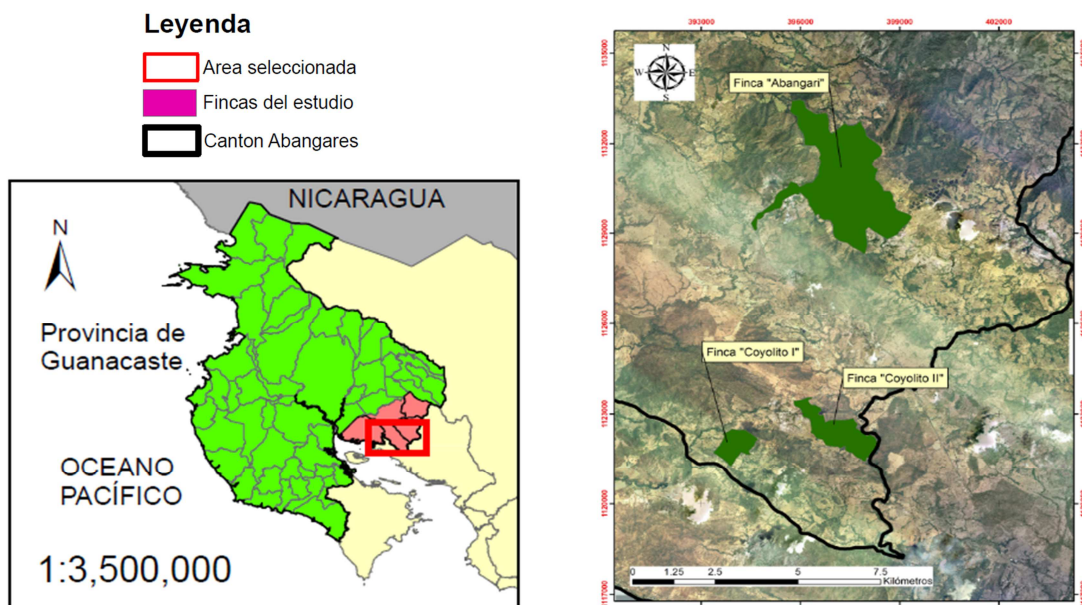


**Figura 1.** Localización de Costa Rica en América (Izda.) y América Central (Dcha.).

**Fuente.** Elaboración propia con capas de GADM (Global Administrative Areas).

Administrativamente, Costa Rica se divide en siete provincias: San José, Alajuela, Heredia, Cartago, Puntarenas, Guanacaste y Limón. Estas provincias se subdividen en 81 cantones y éstos a su vez en 463 distritos. El cantón de Abangares, donde se localiza la zona de este estudio, se encuentra en la provincia de Guanacaste, en la parte noroeste del país. Éste está formado por los distritos de Colorado, Las Juntas, San Juan y Sierra (

Figura 2). Las fincas de este estudio se localizan en la mitad sur del cantón de Abangares.



**Figura 2.** Localización del cantón de Abangares en el mapa provincial de Costa Rica, Sistema de proyección CRTM05.

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014 (TEC).

Según la regionalización del país realizada por el Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN), la provincia de Guanacaste se sitúa en la región natural Pacífico Norte y en la región cultural o humana Chorotega.

El pacífico norte se distingue por su clima más soleado y seco que el resto de regiones de Costa Rica, siendo la temperatura promedio de 27,1°C y la precipitación anual de 1500-2000 mm/año (Quesada, 2007). Además, presenta una fuerte estación seca que se prolonga por cinco o seis meses a partir de diciembre (Figura 3). La hidrografía está dominada por el río Tempisque, el cuál disminuye notablemente durante la estación seca. En esta región predominan los suelos inceptisoles, alfisoles y entisoles y, según el sistema de zonas de Vida de Holdridge (1947), está presente desde el Bosque Tropical Seco hasta Bosque Húmedo Tropical (IMN, 2009).



**Figura 3.** Precipitación acumulada porcentual de la región Pacífico Norte, promedio años 1961-1990.

**Fuente.** IMN, 2009

En cuanto a la regionalización humana, Chorotega es una de las zonas más pobres y con mayores problemas sociales de Costa Rica. Se trata de una región eminentemente ganadera en declive desde la crisis de la década de los setenta a partir de la cual gran parte de la población abandonó sus sistemas productivos. Actualmente, esta región, es la principal productora de granos del país. En ella se cultiva arroz, maíz, frijoles, sorgo, café y otros productos no tradicionales como melón, sandía, cítricos, tomates etc.

Guanacaste tiene una densidad de población de 36 hab/km<sup>2</sup>, la menor de todo el país. El 17,8 % se dedican al sector primario, 13,7 al secundario y 68,5% al sector servicios (PEN, 2014). Según MIDEPLAN et AECID (2015), la tasa de desempleo de la zona es del 10%, la más alta de todo el país, y el 24,1 % de los hogares vive en pobreza. Además, para el año 2013, el 41,6% de las viviendas no se encuentran en buen estado y en el 6,7% de ellas viven hacinados, es decir viven más de tres personas. En esta provincia, únicamente el 32% de las personas tienen acceso a un ordenador, el 21,4% a internet, el 1,8% no tienen electricidad y al menos el 3% de su población es analfabeta (PEN, 2014).

Entre los principales problemas que destacan en la región Chorotenga se encuentran, la desigualdad en la distribución de la tierra que provoca que persistan muchos latifundios, lo que genera una fuerte migración interna de pobladores hacia el Valle Central en búsqueda de oportunidades laborales y mejor calidad de vida. Esto además genera despoblación en la región. También, es una zona altamente deforestada, situación agravada por las condiciones climáticas, que facilitan la extensión de los incendios forestales y el déficit hídrico.

La información climática y socioeconómica detallada de la zona de estudio se encuentra en el Anejo I.

#### 4.1.1. Caracterización de las fincas

Las dos fincas en las que se desarrolló el proyecto se denominan “Abangari” y “Coyolito”. En la finca “Abangari” se realizó el muestreo de biomasa que sirvió para la validación del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003), mientras que, en la finca “Coyolito” se realizaron los inventarios de las PPM y sirvió como modelo para realizar el estudio financiero (Ver Plano I).

Ambas fincas se asienta en terrenos que se dedicaban a la ganadería, hasta la crisis del sector ganadero de los setenta en la región Chorotenga, por esta razón cuentan con los elementos necesarios para la práctica de la actividad ganadera (bebederos, saladeros, cercas...). La superficie de ambas estaba dominada principalmente por pastos mejorados de las gramíneas brizanta (*Brachiaria brizanta*) y mombasa (*Panicum Maximum* cv. *Mombasa*). Además, existían potreros con árboles aislados del bosque original (*Bombacopsis quinatum*, *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia rosea*, *Anacardium excelsum*, *Pithecelobium saman*, *Tabebuia neochrysantha*, *Cordia alliodora*, *Casia grandis*, *Guazuma ulmifolia*) y zonas de protección.

Sin embargo, aunque la actividad ganadera se desarrolló durante muchos años, la compactación del suelo no ha sido un factor limitante para el crecimiento de las plantaciones de teca en ninguna de las fincas. A continuación se describen los aspectos legales, administrativos y de gestión de cada una de ellas.

##### 4.1.1.1. Finca Abancari

La finca “Abancari”, es propiedad de la empresa Ganadería Abancari S.R.L. Se encuentra ubicada en la Hoja Cartográfica a escala 1:50000 de las Juntas 3246 IV. Las coordenadas aproximadas de la finca según el Sistema Universal Transversal de Mercator para Costa Rica (CRTM05) son: 396000-399000 Longitud Oeste y 1129000-1134000 Latitud Norte (Ver plano II).

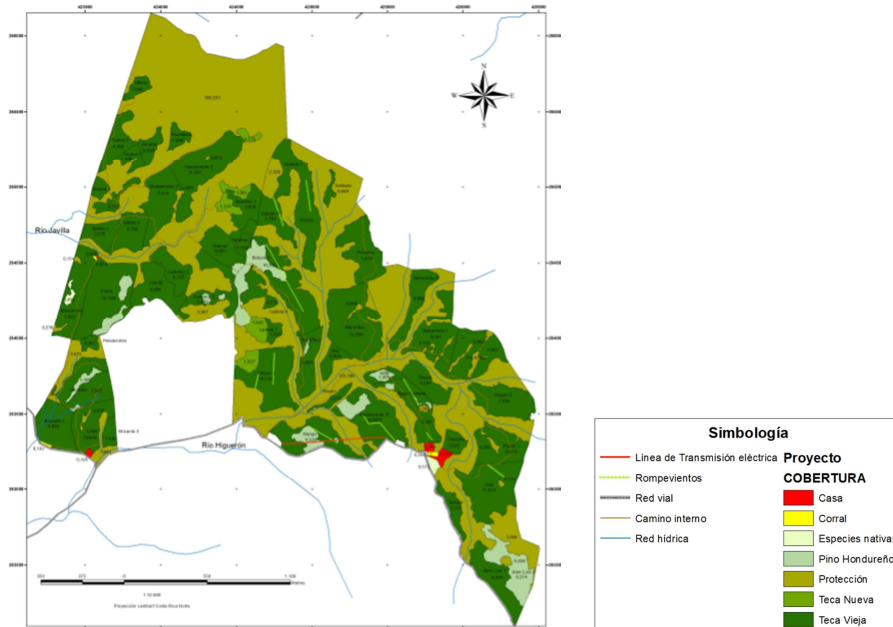
Administrativamente, se ubica en el distrito de Las Juntas, cantón de Abangares, provincia de Guanacaste. La superficie total es de 906,52 ha, de las cuales 502,28 ha son plantaciones de teca con certificación *Forest Stewardship Council* (FSC) a partir del año 2011. Esta superficie se divide en 14 lotes, plantados en diferentes años para tener una producción acorde con la demanda forestal de productos (Tabla 1). Además, cuenta con 387,22 ha de bosque de protección cuyo objeto es evitar la erosión de las zonas con mayor pendiente o cercanas a ríos y arroyos. Existen 10,10 ha de infraestructura en las que se encuentran las viviendas de los trabajadores, caminos interiores y corrales y un aserradero donde se procesa la madera de teca, actualmente rentada a un particular de origen chino. El aserradero tiene una capacidad instalada para procesar un volumen equivalente de 380 m<sup>3</sup> por mes. Las principales máquinas del aserradero son dos sierras de cinta, una sierra múltiple, una reaserradora pequeña y una moldurera. Los principales productos que procesa son artesones, madera de marco y tablilla, los cuales son vendidos en un mercado mayoritariamente local en Guanacaste, parte de Puntarenas y, en ocasiones, en el Valle Central. El resto de la superficie (6,91 ha) son pastizales (Figura 4).

MATERIAL Y MÉTODOS

El acceso es sencillo, desde San José, tomando la carretera panamericana (Interamericana Norte) se circula 185 km hacia el norte hasta llegar a la entrada del camino que entra al hotel “Brisas del Lago”. Allí se debe seguir el camino hasta llegar a dicho hotel, el cuál se encuentra en la entrada de la finca. La finca limita al este con un camino público accesible para vehículo doble tracción durante todo el año y un camino público al oeste que es transitable solo a caballo. Al norte, el límite es con una propiedad privada y al sur con el río Cañamazo, el cual desemboca en la vertiente pacífica. Además, existe una red de caminos internos accesibles con vehículos durante la época seca, los cuales unen los caminos que se sitúan en los límites de los laterales.

**Tabla 1.** Cobertura, área reforestada por sector y por lote y resumen de superficies por categoría en la finca “Abangari”.

Sector/Lote	Cobertura	Área (Ha)	Sector/Lote	Cobertura	Área (Ha)	Sector/Lote	Cobertura	Área (Ha)
<b>Aseradero</b>			<b>Coyolada</b>			<b>Renacientes</b>		
A-2	Teca 2010	0,22	C-2	Teca 1998	4,87	R-1	Teca 2006	40,15
A-3	Teca 2012	2,04	C-3	Teca 1998	3,17	R-2	Teca 2006	10,07
A-5	Teca 2012	0,57	C-4	Teca 1998	1,73	<b>Total Renacientes</b>		
A-6	Teca 2010	2,46	C-5	Teca 2013	3,11	<b>50,22</b>		
A-7	Teca 2008	1,42	C-6	Teca 2013	3,31	<b>Sitios</b>		
A-8	Teca 2008	0,66	C-7	Teca 1998	0,98	S-1	Teca 1999	75,30
A-11	Teca 2008	1,48	<b>Total Coyolada</b>			<b>Total Sitios</b>		
A2-1	Rebrote 2007	0,58	<b>17,17</b>			<b>75,30</b>		
A2-2	Teca 2012	2,53	<b>Democracia</b>			<b>Tejitas</b>		
A2-5	Rebrote 1997	0,66	D-1	Teca 2008	6,94	T-1	Teca 1999	5,44
A2-6	Teca 1997	0,69	D-2	Teca 2010	12,80	T-2	Teca 1999	24,49
A2-7	Teca 2010	2,34	D-3	Teca 2010	6,84	T-3	Teca 1999	10,03
A2-8	Rebrote 1997	1,19	D-5	Teca 2013	3,71	T-4	Teca 1999	0,57
A2-9	Teca 2008	0,79	D-6	Teca 2011	11,90	T-5	Teca 2008	3,10
A2-12	Teca 2013	6,11	<b>Total Democracia</b>			<b>Total Tejitas</b>		
<b>Total Aseradero</b>			<b>42,20</b>			<b>43,63</b>		
<b>23,74</b>			<b>Mangos</b>			<b>La Uva</b>		
<b>Cabo Luis</b>			MG1	Teca 1998	29,98	U-1	Teca 2011	0,77
CL-1	Teca 2000	22,36	<b>Total Mangos</b>			U-2	Teca 2011	0,30
CL-2	Teca 2000	6,87	<b>29,98</b>			U-3	Teca 2001	1,83
<b>Total Cabo Luis</b>			<b>Matias</b>			U-4	Teca 2013	7,01
<b>29,23</b>			M-1	Teca 2003	2,69	U-5	Teca 2012	26,54
<b>Casas Viejas</b>			M-2	Teca 2003	9,38	U-6	Teca 1997	4,30
CV-1	Teca 1998	8,64	M-3	Teca 2003	8,90	U-7	Teca 1997	0,63
<b>Total Casas Viejas</b>			M-4	Teca 2003	4,65	U-8	Teca 2013	3,18
<b>8,64</b>			M-5	Teca 2003	6,98	U-9	Teca 2013	0,38
<b>Corrales Falsos</b>			<b>Total Matias</b>			U-10	Teca 1997	5,37
CF-1	Teca 1999	3,28	<b>32,60</b>			<b>Total La Uva</b>		
CF-2	Teca 1999	36,33	P-1	Teca 2006	6,56	<b>50,31</b>		
<b>Total Corrales Falsos</b>			P-3	Teca 2006	2,62	<b>Volcancillo</b>		
<b>39,60</b>			P-4	Teca 2006	4,13	V-1	Teca 1998	2,20
			P-6	Teca 2006	13,32	V-3	Teca 1998	5,70
			<b>Total Picado</b>			V-4	Teca 1998	10,65
			<b>26,63</b>			V-5	Teca 1998	14,50
						<b>Total Volcancillo</b>		
						<b>33,04</b>		
		<b>Categoría</b>		<b>Área (Ha)</b>				
		Agrícola		1,24				
		Infraestructura		10,10				
		Pasto		5,67				
		Protección		387,22				
		Reforestación		502,28				
		<b>TOTAL</b>		<b>906,52</b>				



**Figura 4.** Distribución de superficies en la finca “Abancari”.

Como ya se ha comentado, la finca se sitúa en la región climática del Pacífico Norte, en la Zonas de Vida de Holdridge (1947) de Bosque Tropical Seco. La temperatura anual



promedio en la finca es de 27,7°C y la precipitación anual acumulada es de 1634 mm (CATIE, 2011). La altitud oscila entre los 80 y 380 msnm y tiene una pendiente de entre el 5% y el 30%.

La textura de los suelos es, en general, moderadamente fina, según la clasificación del Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA), entre franco arenoso, franco, franco arcilloso, arenoso y franco arcilloso (CATIE, 2011). Por estas características físicas del suelo, existe un buen drenaje del agua, no existiendo riesgos de sufrir encharcamientos que provoquen asfixia radicular o inundaciones, pero sí posee una buena capacidad de retención de agua. En cuanto al grado de acidez, el suelo presenta un ph ácido, con valores extremos de 5,94 a 6,98 y valores promedios de 5,6 a 6,5. Éstas características hacen que las especies del genero *Tectona* puedan adaptarse sin limitaciones.

El proceso de plantación comenzó en el año 1998 y, se desarrolló en seis etapas con el fin de hacer un mejor aprovechamiento de la mano de obra disponible en la zona y por las condiciones topográficas del sitio, así como para establecer posteriormente un aprovechamiento programado acorde con la industria forestal. En esta línea, se plantaron 92,3 ha en el año 1998, 89,5 ha en el 1999, 163,2 ha en el 2000, 29,9 ha en el año 2001, 32,9 ha en el 2004 y 79,3 ha en el 2006, además, se establecieron 16,2 ha con plantaciones en varias edades.

Las plantaciones establecidas antes del 2006 se implantaron a un espaciamiento de 3 x 4 m (833 árb./ha) y, a partir del 2006 se plantó a 4 x 4 (625 árb./ha). El Material Forestal de reproducción (MFR) utilizado fue semilla certificada (proveniente de Hermanos Cabalceta de Santa Cruz de Guanacaste, lote 2009/62), las cuales fueron germinadas en vivero y plantadas a los dos meses desde su pregerminación mediante el método de trasplante en bolsas.

El ciclo de rotación de la plantación, en un principio, está fijado en 17 años, tras los cuales se realiza el destocoado y reemplazo. Sin embargo, algunos de los lotes han sido cortados y, tras el rebrote, deshijados (selección de brotes) para practicar un método de beneficio de monte bajo. En estos chirpiales se ha observado un crecimiento inicial mucho mayor que en el método de beneficio de monte alto pues, parten con la ventaja temporal de tener el sistema radicular ya desarrollado. En este caso, habría que comprobar el número de rotaciones que puede aguantar el chirpial antes de que el crecimiento vegetativo empiece a desgastarse y, por tanto, deje de ser económicamente viable. En otros lotes, en lugar de fijar la corta final a los 17 años, se han realizado raleos (claras) para alargar la edad de rotación y tener un producto más grueso y con mayor valor en el mercado.

#### **4.1.1.2. Finca Coyolito**

La finca “Coyolito”, en la que se realizó el tercer inventario de las Parcelas Permanentes de Muestreo y el estudio financiero, pertenece a la empresa Forestal Rio Grande S.A, la cual cuenta con un vivero que produce plántulas de teca para su autoconsumo y para la venta a terceros de la sobreproducción. Esta finca se divide en dos subfincas denominadas “Coyolito I” y “Coyolito II”. Ambas se encuentran localizadas en la Hoja Cartográfica 1:50.000 Chapernal 3246 III. “Coyolito I” ocupa las Coordenadas CRTM05: 394000-395000 Longitud Oeste y 1122000-1123000 Latitud Norte, y “Coyolito II” se ubica en las

Cordenadas CRTM05: 396000-398500 Longitud Oeste y 1122000-1124000 Latitud Norte (Ver Plano III y Plano IV).

Administrativamente, la finca Coyolito se ubica en el distrito de San Juan, cantón de Abangares, provincia de Guanacaste. Como muestra la Tabla 2, tiene una superficie total de 301,05 ha (81,875 ha en “Coyolito I” y 219,175 ha en “Coyolito II”), de las que 205,42 ha se dedican a plantación de teca con certificación FSC y por la que recibe incentivos financieros en forma de PSA en la modalidad de reforestación. Además, existen 93,6 ha que se dedican a protección, por las que se reciben PSA en la modalidad de protección del bosque. La superficie de infraestructura es de 0,54 ha en las que se incluyen caminos, viviendas, almacenes y corrales. Las redes de caminos internos facilitan el acceso del personal a cada uno de los lotes, los cuales, por el tipo de suelo, quedan colapsados en ocasiones durante la época lluviosa, restringiendo el acceso en vehículo a motor. Los dos corrales ganaderos cuentan con una picadora de pasto para complementar la alimentación del ganado en la época seca. Además tiene una línea de transmisión eléctrica que recorre la mitad sur de la finca en dirección noroeste-sureste (Figura 5).

Al tratarse anteriormente de una zona ganadera, la finca cuenta con pequeños saladeros distribuidos por su superficie. Además existe un cerramiento en todo el perímetro compuesto, en su mayoría, por cercas vivas de la especie indio desnudo (*Bursera simaruba*) unidos con alambre de púas. Dentro de esta superficie se encuentran divisiones, compuestas en su mayoría por cercas muertas (postes) con alambre de púas que conforman los potreros los cuales permiten la rotación del ganado por la superficie de la finca.

En cuanto al personal de la finca, actualmente está compuesto por una cuadrilla de unos ocho operarios más el capataz que se dedican a labores selvícolas como chapeas (desbroces), raleos (claras), aprovechamientos de la superficie de plantación, manejo, control y mantenimiento de la cabaña ganadera (limpia de los corrales, asistencia de partos, mantenimiento de cercas etc.). El capataz es el encargado de ejecutar las ordenes planificadas por el administrador de la finca, el cuál suministra los materiales necesarios. Cuando es necesario (operaciones complicadas de nacimientos de terneros o lesiones/enfermedades de animales) se avisa a un veterinario externo. El transporte dentro de la finca se realiza a caballo, en vehículos 4x4 o en tractor.

Esta finca también se sitúa en la región climática del Pacífico Norte, en la Zonas de Vida de Holdridge (1947) de Bosque Tropical Seco. La temperatura anual promedio es de 26,4 °C y la precipitación anual acumulada es de 2.200 mm (CATIE, 2011). La altitud oscila entre los 100 y 200 msnm y tiene una pendiente de entre el 10% y el 25%.

La textura del suelo es, según la clasificación USDA, franco arenoso arcillosos (CATIE, 2011) y el Ph es neutro, cercano a 7. Además, la profundidad efectiva del suelo se estima que es superior a 80 cm en toda la finca. Este tipo de textura del suelo provoca que el drenaje sea lento y, durante la temporada de lluvias, existan algunas pequeñas inundaciones, sobretodo, en la red de caminos, donde se localizan los desagües principales.

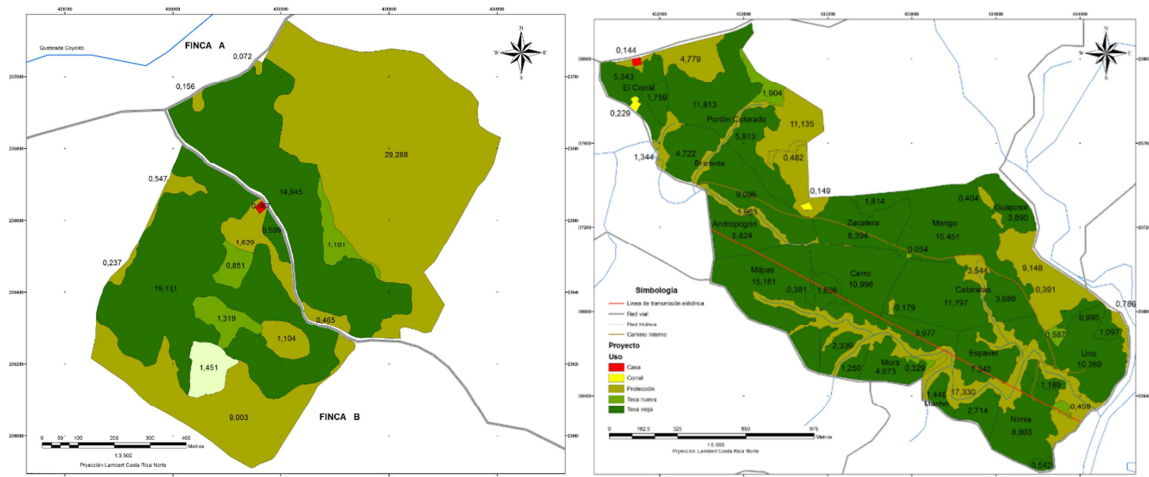
**Tabla 2.** Resumen de superficies por categoría en “Coyolito I” (Dcha) y cobertura, área reforestada por sector y por lote y resumen de superficies por categoría en “Coyolito II” (Izda).

USO	FINCA A	FINCA B	Total	%
Casa	0,067	0,067	0,08	
Protección	29,981	12,520	42,501	51,91
Posible Expansión		1,451	1,451	1,77
Teca nueva (2010)	1,101	2,17	3,271	4,00
Teca vieja (2007)	14,945	19,640	34,585	42,24
<b>Total</b>	<b>46,027</b>	<b>35,848</b>	<b>81,875</b>	<b>100,00</b>

Lote	F. Plantación	Área (Ha)
Mango	jul-07	15,451
Milpas	jul-07	15,542
Uno	jul-07	11,458
Cataratas	ago-07	15,486
Cerro	ago-07	16,441
Espavel	ago-07	10,054
Mora	ago-07	8,050
Nimía	ago-07	8,803
Zacatera	ago-07	10,208
Brizanta	sep-07	13,818
El Corral	sep-07	5,343
<b>Reforestado 2007</b>		<b>130,654</b>

Lote	F. Plantación	Área (Ha)
Andropogón	ago-08	5,824
El Corral	ago-08	1,759
Guapinol	ago-08	4,281
Nimía	ago-08	0,542
Portón Colorado	ago-08	17,626
Uno	ago-08	2,092
Macho	sep-08	1,448
<b>Reforestado 2008</b>		<b>33,572</b>
Uno		0,587
Portón Colorado		1,904
Mora		0,329
Nimía		0,459
Mango		0,054
<b>Replante/reposición</b>		<b>3,333</b>
<b>Área Efectiva Total</b>		<b>167,559</b>
<b>Infraestructura</b>		<b>0,522</b>
<b>Protección</b>		<b>51,094</b>
<b>Área Total</b>		<b>219,175</b>



**Figura 5.** Distribución de superficies en “Coyolito I” (Izda) y “Coyolito II” (Dcha).

La labores de plantación se iniciaron en el año 2007, en el que se instalaron 42,24 ha en “Coyolito I” y 130,654 ha en “Coyolito II”. Éstas se establecieron a un marco de plantación de 3 x 4 m, esto es, una densidad de plantación de 816 p/ha. En ambos casos, la plantación se estableció sobre pastizales (dominados por pastos mejorados africanos de brizanta y mombasa) con árboles aislados del bosque original (coyoles y guanacastes en su mayoría). La plantación se realizó limpiando únicamente las líneas donde se iban a asentar los árboles, dejando el pasto entre líneas y los arboles aislados existentes. Para la plantación se utilizó MFR certificado procedente de viveros de Hojancha en forma de plántulas de 2 meses.

El pasto existente entre líneas ha demostrado ser altamente competitivo con los plántulas de teca en los primeros años hasta llegar a eliminar los rodales si no se combate adecuadamente. Para evitar la alta mortalidad inicial de las plántulas por competencia, se realizan rodajeas (limpieza alrededor de la base de los plántulas para control de malezas) químicas durante las primeras etapas de establecimiento. Cuando los rodales alcanzan los 18 meses de edad, se realiza un método combinado que consiste en la aplicación anual de glifosato en el área de un metro alrededor de cada árbol y la introducción de ganado. En los primeros años de la plantación (3,4 y 5) la carga animal ronda los 0,33 animales por ha y el resto de los años ésta se rebaja hasta los 0,15 ó 0,20 animales por ha.

Las podas se realizan de forma anual, los primeros cuatro años se realizan podas de formación para seleccionar una única yema apical y, a partir del cuarto año predominan las podas de calidad, eliminando las ramas inferiores hasta una altura máxima del 50% de la altura total, para producción de madera libre de nudos. A la par que se realizan las podas, se ejecutan labores de desbejudada (eliminación de lianas). Al quinto año de plantación, se realiza un primer raleo, sin interés comercial, de naturaleza selectiva y con un peso de 208 pies/ha, dejando la densidad en 608 p/ha. El segundo raleo se realiza en el año octavo de la plantación, eliminando el 22% de los pies, es decir, se deja una densidad de 470 p/ha. Se tiene previsto realizar un último raleo en el año 12 de la plantación con un peso del 30% para dejar una densidad final de 146 pies/ha, pies que serán aprovechados en la corta final en el 17 de rotación.

Además, en el año 2007, se estableció una red de PPM con objeto de tener un control y monitoreo del crecimiento de los árboles que ayuden a la futura toma de decisiones en el manejo. En este estudio se presentan los datos del tercer ciclo de inventario, realizado en el año octavo desde la plantación.

En cuanto al sistema ganadero, comenzó al segundo año desde la compra de la finca (en el año 2007). Este se compone de un hato (conjunto de animales) de 100 bovinos, generalmente hembras, procedentes de subasta. El sistema de producción ganadera es el de ganadería de engorde para producción de carne. Para evitar los daños del ganado en las plantaciones jóvenes, las terneras son alimentadas los primeros 8 meses con leche materna, sal mineral, miel, vitaminas y heno procedente del pasto y suplementos como harina de coquito o semolina hasta alcanzar un peso de 150 a 180 kg. En ese momento son introducidas en la plantación a pastorear. Los animales van pasando de un lote a otro, evitando en todo momento el sobrepastoreo que provocaría erosión. Además se les permite entrar al bosque natural, fundamental para la sombra en la temporada seca y la obtención de agua y otros alimentos. Finalmente, los animales se sacan al mercado con un peso de entre 325 y 350 kg, aproximadamente un año después de su introducción. Los productos veterinarios que se suministran al ganado son vitaminas (Vitamina AD3E), vacunas (Antrax y Utrachoice), desparasitantes internos (Ivomec) y desparasitantes externos (Ectoline). Éstos se suministran a los animales con más de 7 meses de edad, con una periodicidad de 2 veces al año.

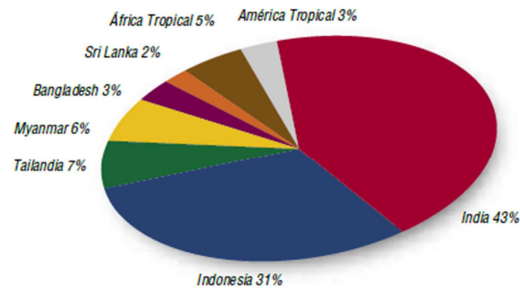
#### **4.2. Breve descripción de la especie forestal (*tectona grandis*)**

La teca (*Tectona grandis*) es una *Verbenacea*, originaria de del sureste asiático donde predomina el bosque tipo monzónico, abarcando bosque seco tropical y bosque húmedo tropical. Su zona de distribución natural (Figura 7, Izda.) se localiza en: Birmania, Tailandia, la India, Malasia, Java, Indochina y la República Democrática Popular Laos, (Fonseca, 2004). Por su fácil propagación, establecimiento, manejo silvícola y las propiedades de su madera se ha introducido en una gran cantidad de lugares de clima tropical (De Camino *et* Morales, 2013): sureste de Asia (Indonesia, Sri Lanka, Vietnam, Malasia, Islas Solomon), algunos países africanos (Costa de Marfil, Nigeria y Togo) y en muchos países de América Latina (Fonseca, 2004).

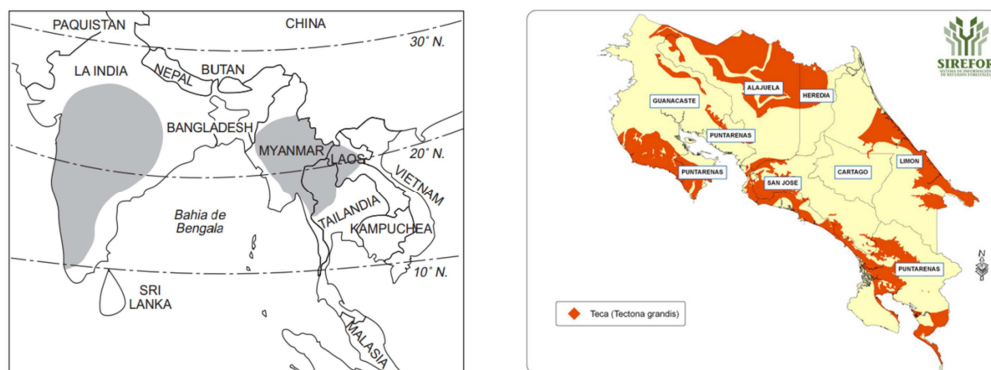
Según De Camino *et* Morales (2013), la superficie mundial de teca se estima en 3.116.650 ha. Asia acumula el 88% de las existencias, y solamente la India tiene más del 40% de las plantaciones (Figura 6). En América Tropical únicamente se encuentran el 3% de estas

MATERIAL Y MÉTODOS

plantaciones. Según la Conferencia Mundial de Teca (2011), las plantaciones de teca en Costa Rica ocupan aproximadamente 40.000 ha distribuidas principalmente en la zona del bosque tropical seco (Guanacaste), así como en el bosque tropical húmedo (zona norte, atlántica, pacífico central y sur), (Figura 7, Dcha.).



**Figura 6.** Distribución mundial de las plantaciones de teca por países.  
**Fuente.** Bhat *et Hwan*, 2004.



**Figura 7.** Distribución natural de la teca en Asia (Izda) y distribución artificial de las plantaciones de teca en Costa Rica (Dcha.)  
**Fuente.** Weaver, 1993 (Izda.) y SIREFOR (Dcha.).

La India, además de ser el mayor productor mundial de teca y consumir localmente su inmensa producción, importa de Malasia, Myanmar e Indonesia y también de África y América Latina más del 80% de la teca comercializada en troza en el mundo (ITTO 2010). Tailandia e Indonesia ocupan los siguientes lugares en consumo de madera de teca. Estos países absorben la totalidad de sus producciones nacionales e importan volúmenes considerables de Myanmar, país que además presenta un activo comercio transfronterizo con China continental (ITTO 2006). Indonesia y Tailandia reportan importaciones cercanas a los 100.000 m<sup>3</sup> anuales cada uno; junto con la India, estos países concentran la importación de un volumen de teca en troza cercano al 98% del comercio internacional (Kollert *et Cherubini* 2005).

En los últimos años, la demanda interna en los países asiáticos productores ha aumentado considerablemente. De acuerdo con la capacidad de producción de madera en troza y con las tendencias del mercado actual, se considera que el mercado de la teca, tanto productor como consumidor seguirá dominado por el mercado asiático (Keogh 2010).

En cuanto a los requerimientos edafoclimáticos de la especie en Costa Rica, Según Fonseca (2004), los mayores crecimientos se dan en sitios con altitudes menores a 600 msnm, con una estación seca marcada de 3 a 6 meses, entre 24 y 30 °C de temperatura y una precipitación de 1300 y 2500 mm/año. La pendiente media debe ser menor al 20%, al

pie de monte o en el fondo de valles para evitar los fuertes vientos, con suelos de textura liviana, bien drenados, fértiles, neutros, con una profundidad efectiva mayor a 80 cm, con alto contenido de calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg) y bajo contenido en Aluminio (Al).

La descripción detallada de las características botánicas, morfológicas, requerimientos ambientales, distribución, agentes patógenos, usos, manejo silvícola, índices de sitio, modelos de crecimiento en Costa Rica se desarrollaron en el Anejo I.

#### **4.3. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica**

Se realizó el diseño y ejecución de un muestreo de biomasa en la finca “Abangari” con objeto de comprobar la precisión predictiva y validar el modelo logarítmico de biomasa aérea total para teca con ámbito de aplicación en todo Costa Rica propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003) para predecir la biomasa aérea en kilogramos en función del diámetro a la altura del pecho (dbh) en centímetros, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\log_{10}(Biomasa) = -0,815 + 2,382 * \log_{10} (dbh)$$

La metodología seguida se basó en la selección aleatoria de 20 muestras destructivas, correspondientes a 20 individuos maduros de teca, 15 procedentes de semilla (brinzales) y 5 procedentes de brotes de raíz (chirpiales) con edades de entre 15 y 17 años los brinzales y de 8 años los chirpiales. Las densidades estaban comprendidas entre 326 y 653 p/ha.

Para la obtención de la biomasa total aérea de cada individuo se partió con un error sistemático, puesto que, por la época del año en la que se realizaron las mediciones, los individuos no presentaban hojas. Éste se solventó estimando el valor de la biomasa de las hojas utilizando la propia ecuación alométrica para hojas propuesta por Pérez *et* Kanninen (2003). Según estos autores, la biomasa de las hojas representa el 4% de la biomasa aérea total.

En cada uno de los árboles muestra se midió el diámetro a la altura del pecho (dap) y, posteriormente se apeó y se midió su altura total. Seguidamente se separó el fuste comercial de la parte no comercial. En el fuste comercial se midió la altura comercial, así como los diámetros de las diferentes secciones cada 2 m del tronco para calcular el volumen comercial con la fórmula de Smalian (Alder, 1980). El valor de la biomasa comercial se obtuvo a partir del volumen comercial y la densidad de la madera de teca (0,6 g/cm<sup>3</sup>). El resto de la biomasa no comercial fue pesada (peso en fresco) en mediciones sucesivas con una balanza romana. Además, se tomaron muestras o alícuotas de 1 kg aprox. de ramas, rodela base del tronco y rodela en punta delgada, las cuales se llevaron a laboratorio donde se introdujeron en un horno para su secado a 65°C hasta peso constante (48 horas aprox.). El valor de la biomasa no comercial se obtuvo por interpolación con el valor del peso en seco medio de la alícuota de ramas y alícuota en punta delgada. El valor de la biomasa total se obtuvo como la suma de la biomasa del tronco comercial, biomasa de la parte no comercial y biomasa de las hojas.

Los datos obtenidos se compararon, mediante el error relativo y desviación estándar del error relativo, con las predicciones del modelo logarítmico de Pérez *et* Kanninen (2003) para la biomasa aérea total de teca en Costa Rica y con las predicciones de los modelos

potenciales de Karmacharya *et* Singh (2006) para la estimación de la biomasa aérea total de teca en la región de bosque tropical seco de Tamil Nadu, en la India (zona occidental y zona meridional). El objeto de esta comparación fue comprobar las diferencias predictivas de los modelos según el sitio en el que fueron desarrollados. Con ello se quiso demostrar la importancia de utilizar los modelos desarrollados en un sitio para estimar la biomasa de ese sitio.

Se ajustaron los datos observados mediante regresión, por el método de mínimos cuadrados, según diferentes modelos, utilizando los programas estadísticos Statgrhapis<sup>®</sup>, InfoStat<sup>®</sup> y R<sup>®</sup>. Los mejores modelos se seleccionaron según las premisas de linealidad de las relaciones, homocedasticidad, normalidad e independencia de los residuos (Menéndez, 2002) y según criterios del coeficiente de determinación y el Criterio de Información de Akaike (AIC).

La validación del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) se realizó por la comprobación de la inclusión de los valores observados dentro de los límites de confianza del modelo, por el procedimiento estadístico de comparación de líneas de regresión del modelo ajustado en este estudio con el de Pérez *et* Kanninen (2003) y por la comparación estadística de las correlaciones de las predicciones de ambos modelos.

Finalmente se realizó un nuevo ajuste de regresión, utilizando el modelo logarítmico, con los valores observados por Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio.

El diseño de muestreo de biomasa, la metodología para el procesado de los datos y los resultados desarrollados se incluye en el Anejo II.

#### **4.4. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.**

El diseño y ejecución del inventario de las PPM en la finca Coyolito se realizó con el objetivo de suministrar información dasométrica que ayude a conocer y comprender la situación y evolución de la plantación de teca, que sirva como base para la gestión forestal más adecuada y poder estimar los beneficios económicos por venta de madera de una forma más precisa y ajustada en el análisis financiero.

El inventario se ejecutó durante los primeros días de febrero de 2015. Se evaluaron un total de 12 PPM, 4 en Coyolito I” y “8 en “Coyolito II”. En cada individuo de la parcela se midió el rumbo y la distancia respecto al centro de la parcela, el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total.

A partir de estas variables independientes, y con ayuda de análisis estadísticos en los programas Statgrhapis<sup>®</sup>, InfoStat<sup>®</sup> y R<sup>®</sup>, se calcularon, para cada uno de los lotes de las fincas, para cada finca y para cada subfinca por clase diámetro las variables: diámetro medio, altura media, densidad de pies, Índice de Densidad del Rodal o Índice de Reineke (IDR), área basimétrica, diámetro medio cuadrático y altura dominante por el método de los cien árboles más altos por hectárea. Además, se estimó el volumen total y volumen comercial con la relaciones alométricas propuestas por Camacho *et* Madrigal (1997) y la biomasa aérea total con la relación alométrica, validada en el epígrafe anterior, propuesta por Pérez *et* Kanninen (2003).

Finalmente, se obtuvo el Incremento Medio Anual (IMA) y el Incremento Corriente Anual (ICA) de todas las variables comentadas, mediante comparación con inventarios anteriores. El IMA en volumen comercial medio de la finca obtenido en este inventario se utilizó para realizar un modelo de crecimiento de la plantación de teca en el análisis financiero.

El diseño del inventario, la metodología en el procesado de los datos y los resultados desarrollados se incluyen en el Anejo III.

#### **4.5. Análisis financiero de las plantaciones**

El análisis financiero se realizó con el objetivo de evaluar económicamente las ventajas en los flujos de caja y en la rentabilidad final de la estrategia de gestión forestal de “Forestería de Ingreso Sostenible” de una plantación de teca con ganado y la influencia de los PSA frente a las plantaciones tradicionales.

Se plantearon tres escenarios “plantación tradicional de teca”, “plantación de teca con ganado” y “plantación de teca con ganado y PSA” para un periodo del análisis de 18 años. Los datos para su elaboración procedieron de datos reales reportados por el dueño de la finca, predicciones basadas en recopilación de datos empíricos (inventarios) y valores actuales de los parámetros de cálculo obtenidos de un estudio de mercado.

Se siguió la metodología propuesta por De Camino *et* Morales (2013), según los cuales, la principal información requerida para determinar la rentabilidad y el valor de las inversiones de teca es: el estudio de mercado, el rendimiento de la plantación y los ingresos esperados, la identificación de las actividades de manejo, su intensidad y los costos asociados y el análisis de los indicadores de rentabilidad y sensibilidad

En el estudio de mercado, se analizaron las principales rutas y precios del comercio de la madera en Costa Rica, haciendo especial hincapié en la madera de teca. Además, se investigaron los precios de la carne de res, los montos por mecanismos financieros de PSA y el Mercado Voluntario de Carbono en Costa Rica.

Los ingresos económicos por los productos y servicios generados en la finca son aditivos según los escenarios. Así para el escenario 1 de “plantación de teca tradicional” los ingresos que se tomaron en cuenta fueron en forma de venta de madera de teca. Para el escenario 2 a los ingresos por venta de madera se le sumaron los ingresos por venta de animales engordados y en el escenario 3 a estos ingresos se le añadieron los de PSA.

Los ingresos en forma de venta de madera se obtuvieron realizando un modelamiento del crecimiento de la plantación según el IMA en volumen comercial estimado en base a la comparación de inventarios de las PPM de la finca. El modelamiento se realizó aplicando un IMA de  $8,1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  de volumen comercial para 7 cm en punta delgada. A este modelamiento se le añadió el régimen de raleos y su peso, reportado por el dueño de la finca para obtener el volumen de madera en troza puesta en contenedor de cada operación. Los raleos se realizaron en los años 4, 8, 12 y la corta final en el año 18, sin embargo, el raleo del año 4 se considera no comercial, por lo que no reporta ningún beneficio. Finalmente este volumen se multiplicó por el precio de la madera de teca según dimensiones, obtenido en el estudio de mercado, para estimar los ingresos por venta de madera en una hectárea. Al raleo del año 8 se le aplicó el precio de madera menor a 8



pulgadas, el del año 12 se consideró madera de entre 8 y 10 pulgadas y la corta final madera superior a 10 pulgadas.

En el sistema ganadero se asumió la constante de que los animales entran al sistema con un peso de 165 kg y a su salida, tras un año, pesan 337,5 kg. Los ingresos por la venta de ganado se calcularon a partir de la capacidad de carga de cada periodo reportado por el dueño de la finca (a la que finalmente se descontó un 5% por la pérdida de animales, muerte o robo), el peso de los animales al final de la etapa de engorde (a la que se le descontó un 6% por la pérdida de peso durante el transporte) y el precio de venta de la carne de res hembra en subasta (descontando el 4% por la comisión de la subasta).

Los montos y distribución de los ingresos por PSA en la modalidad de protección y repoblación se reportaron de la web del Fondo Forestal de Financiamiento Nacional (FONAFIFO) para el año 2014. Estos valores se extrapolaron según el porcentaje de superficie para cada una de estas modalidades para obtener el ingreso de una hectárea media (0,682 ha de plantación de teca y 0,311 ha de protección).

Para cada escenario se documentaron, por medio de encuestas al propietario, las actividades de manejo y sus costes por insumos, servicios o mano de obra según los cinco grandes tipos de actividades requeridas para producir teca (De Camino *et* Morales, 2013): Establecimiento, mantenimiento/manejo, raleos/aprovechamiento, comercialización y administración.

Con la información recopilada sobre el precio de la tierra, los costos de establecimiento, ingresos y gastos anuales generados para cada escenario, se elaboraron los flujos de caja. Éstos se calcularon a partir de una tabla en la que se indicaron, para cada año, los costos e ingresos, la diferencia entre ellos o flujo neto y el flujo acumulado definido como la suma de todos los valores de flujo neto anteriores al año considerado. En el caso del precio de la tierra, se incluyó en el año 0 como un coste su valor actualizado, aunque en el análisis de sensibilidad también se contempló incluirlo como un activo con el mismo valor en el último año.

Los indicadores de viabilidad económica de proyectos de inversión, de tipo dinámico, que se evaluaron son: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor esperado de la Tierra (VET), relación Beneficio/Coste (B/C). También se evaluó el indicador de tipo estático: Periodo de Recuperación de la Inversión (PIR).

El análisis de sensibilidad es el procedimiento por medio del cual se puede determinar cuánto afecta o qué tan sensible son los indicadores financieros ante cambios en determinadas variables de la inversión, considerando que las demás no cambian (Baca, 2006, Morales *et* Morales, 2009, citado por Pérez *et al.*, 2012). Siguiendo los principales factores que influyen en la rentabilidad de las plantaciones propuestos por Walotek (2011), se calculó la variación de los indicadores de rentabilidad modificando porcentualmente en un aumento y descenso del 5 y 10% los determinantes de costos e ingresos del IMA en volumen comercial ( $m^3/ha \cdot año$ ), precio de carne subasta de res hembra de compra y venta (\$/kg), costo de la mano de obra (\$/h) y tasa de descuento (%). Además, siguiendo las recomendaciones de De Camino *et* Morales (2013), se realizó un análisis incluyendo el valor de la tierra al inicio como un costo y en el último año del análisis como un activo. También se realizó el análisis sin tener en cuenta el coste de la tierra y otro extrapolando

los valores de la superficie de la finca a la superficie de plantación neta con objeto de facilitar la comparación de los resultados financieros con otros análisis.

Por último se estimó el beneficio que se obtendría si la plantación participase en el Mercado Doméstico Voluntario de Carbono de Costa Rica (MDVCCR) valorando diferentes precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente y comparando dicho beneficio con el obtenido por los PSA en las modalidades de reforestación y protección de bosques. Para ello, se partió de la estimación de la biomasa que se realizó en el inventario continuo de las PPM, mediante la relación alométrica de biomasa aérea total para teca en Costa Rica propuesta por Pérez et Kanninen (2003). Con los valores de biomasa aérea por hectárea en cada lote se estimó el Carbono almacenado por hectárea siguiendo los criterios de Kollmann (1959), según el cual, la composición de la madera es idéntica en las distintas especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol, en sus diversas partes, tronco y ramas. Por esta razón se admite que todas las maderas en seco contienen un 50% de Carbono. Puesto que los precios del MDVCCR de la literatura están en referencia a las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, se estimó el contenido de CO<sub>2</sub> para cada lote a través de la relación existente entre el peso de la molécula de CO<sub>2</sub> (44) y el del átomo de carbono C (12), lo que equivale a decir que por cada unidad de carbono almacenado en la biomasa seca aérea, se capturan 3,67 unidades de CO<sub>2</sub> atmosférico (Rodríguez *et Cols.*, 2005). Además, se calculó el precio que igualaba los montos recibidos por los incentivos financieros de PSA en la modalidad de reforestación para, finalmente, sacar conclusiones acerca de la conveniencia, desde el punto de vista económico, de adscribirse a PSA o al MDVCCR.

El estudio de mercado completo y los análisis financieros se desarrollan en el Anejo IV.

# MEMORIA

## 5. RESULTADOS

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica

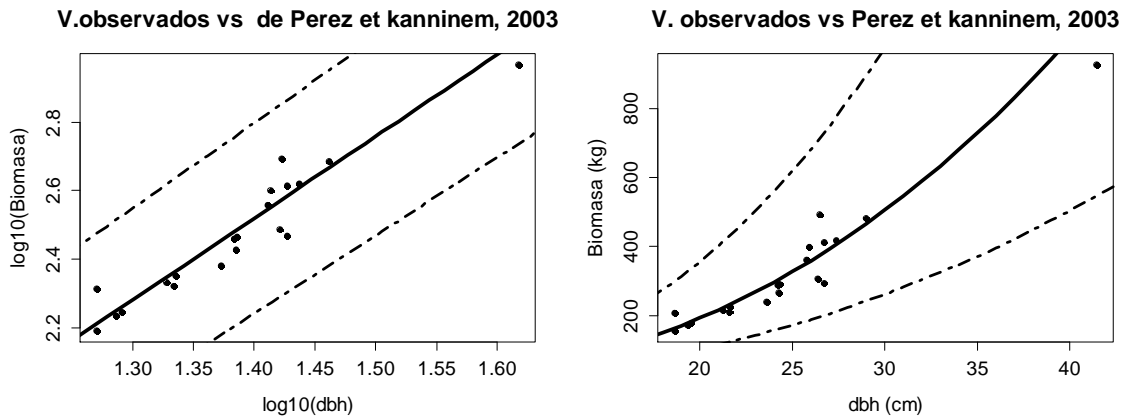
#### 5.1.1. Análisis previo y cálculo de variables dependientes

El tiempo dedicado a la recolección de los datos en cada uno de los árboles varió entre 47 y 89 min, con un promedio de  $61,4 \pm 13,8$  min por árbol. La humedad media de cada individuo fue de  $47,41 \pm 3,81\%$ . El diámetro medio de los arboles medidos fue de 24,64 cm, con valor mínimo de 18,65 cm y máximo de 41,44 cm. Además, la distribución de los diámetros de la muestra fue asimétrica positiva y planticúrtica (sesgo de 3,38 cm y curtosis de 5,37 cm) por la presencia del individuo 2, con valores superiores al resto. Sin embargo, se decidió mantener este dato puesto que se incluía dentro de la trayectoria de los intervalos de confianza de la ecuación alométrica a evaluar (Figura 1) y no ejercía la suficiente influencia estadística en la gráfica de apalancamiento. La biomasa aérea total por árbol tuvo valores extremos de 160,969 kg y 962,527 kg y un valor medio de 338,19 kg (Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables independientes y dependientes obtenidas de los individuos de la muestra: diámetro, altura total y comercial, estimación de biomasa en hojas y resultados de biomasa no comercial, biomasa comercial y biomasa total para teca en finca "Abangari".

Árbol	Dap (cm)	ht (m)	hc (m)	Biomasa estimada hojas (kg)	Biomasa no comercial (kg)	Biomasa comercial (Kg)	Biomasa total
1	28,966	21,80	10,100	15,255	159,455	323,568	498,278
2	41,444	23,65	14,400	34,425	186,946	741,156	962,527
3	25,91	20,20	11,500	11,842	135,270	262,469	409,581
4	21,645	15,35	6,530	7,869	106,700	118,477	233,046
5	21,581	18,00	8,900	7,817	60,884	149,479	218,18
6	21,263	14,40	7,320	7,557	82,273	132,379	222,209
7	26,738	17,45	9,800	12,719	140,769	271,156	424,643
8	25,783	20,00	12,480	11,710	99,043	261,392	372,145
9	24,255	19,40	8,961	10,192	120,254	146,687	277,133
10	24,319	19,82	10,114	10,253	99,280	192,585	302,118
11	26,452	21,3	11,50	12,411	184,551	308,89	505,853
12	24,192	19,1	10,558	10,132	88,037	199,702	297,871
13	23,619	20,17	10,256	9,595	77,365	162,959	249,919
14	27,375	20,55	11,890	13,417	126,743	291,063	431,223
15	18,653	16,77	7,226	5,612	59,785	95,572	160,969
16	18,653	15,52	9,800	5,612	82,804	123,398	211,814
17	19,353	17,13	8,115	6,102	60,874	111,192	178,168
18	26,356	17,85	6,588	12,310	119,958	186,405	318,673
19	26,738	16,46	7,674	12,719	127,127	167,171	307,016
20	19,544	16,32	4,220	6,240	103,923	72,277	182,44
<b>Promedio</b>	<b>24,64</b>	<b>18,56</b>	<b>9,4</b>	<b>10,565</b>	<b>111,102</b>	<b>215,899</b>	<b>338,19</b>
<b>Desv. estándar</b>	<b>5,04</b>	<b>2,42</b>	<b>2,41</b>	<b>0,288</b>	<b>37,66</b>	<b>144,41</b>	<b>180,33</b>

Donde: Dap, Diámetro a la altura del pecho; ht, altura total; hc, altura comercial.



**Figura 1.** Representación de los valores observados en este estudio y el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) con intervalos de confianza al 95%, para biomasa aérea total de teca en Costa Rica, en su forma logarítmica (Izda.) y con la transformación realizada (Dcha.).

### 5.1.2. Evaluación de modelos de biomasa aérea total de teca según sitios

El error relativo de los datos observados respecto a la ecuación de Pérez Kanninen (2003), que evalúa la precisión del modelo, tuvo un máximo de  $|-25,996|$  kg y un mínimo de  $|-0,180|$  kg, el valor medio fue de  $-0,054$  kg, esto es un 5,46% de desvío respecto a los datos observados en Abangari. La desviación estándar del error relativo, que evalúa los sesgos totales y representa el poder predictivo global de la regresión (Chave *et al.*, 2005 y Álvarez *et al.*, 2012) fue del 11,589%.

Al comparar los datos observados en la finca de Abangari de Costa Rica con los predichos con modelos desarrollados en otros sitios, por ejemplo en la India, se pueden obtener errores relativos medios de hasta el -414% y desviaciones estándar del error relativo del 15,5% (Tabla 2).

**Tabla 2.** Evaluación de los modelos y su ámbito de aplicación con los valores de biomasa aérea de teca observados en Abangares según el error relativo medio y la desviación estándar del error relativo..

Modelo	Ámbito	Error relativo medio (%)	Desviación estándar del error relativo
Pérez <i>et</i> Kanninen (2003)	Costa Rica	-5,458	11,589
Karmacharya <i>et</i> Singh (2006)	Zona occidental de Tamil Nadu	125,448	15,490
Karmacharya <i>et</i> Singh (2006)	Zona meridional de Tamil Nadu	-414,453	14,277

### 5.1.3. Elaboración de ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados

La biomasa aérea total resultó estar altamente correlacionada con el diámetro (altos valores del coeficiente de correlación de Pearson y del coeficiente de determinación). El modelo que mayor  $R^2$  obtuvo fue el potencial ( $Y=a+X^b$ ) sin embargo, se rechazó porque la distribución de sus residuos no era normal (no se ajustaba la distribución de Gauus). El modelo que cumplió las premisas de linealidad, homocedasticidad, normalidad e independencia de los residuos que mayor  $R^2$  obtuvo fue el de tipo cuadrado de x ( $Y=a+X^2$ ), sin embargo, se eligió como mejor modelo el de tipo logarítmico ( $\ln Y=a+\ln X$ ) al presentar un AIC menor.

El modelo logarítmico que se obtuvo tiene la siguiente expresión:

$$\log_{10}(\text{Biomasa}) = -0,6207 + 2,2442 \cdot \log_{10}(\text{dbh})$$

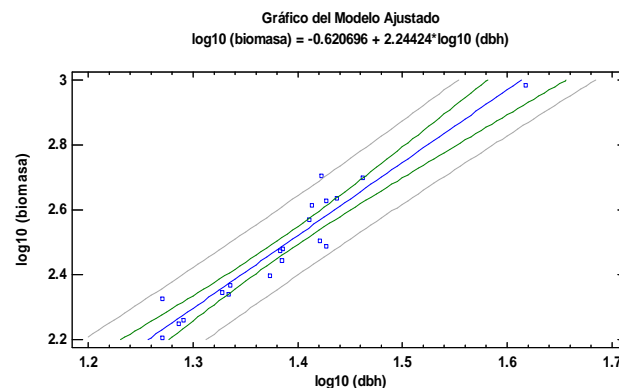
Ambos parámetros del ajuste, intercepto y pendiente, resultaron ser significativos en el modelo al 95% de probabilidad ( $p$ -valor  $> 0,05$ ) y sus errores típicos fueron 0,223 y 0,161 respectivamente (Tabla 3). Además, el error estándar del estimador de la regresión fue 0,057 en 18 grados de libertad y el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) explicaba el 91,5% de los datos (Tabla 4). La representación de los puntos con los valores observados y la recta obtenida en la regresión con sus intervalos de confianza (al 95% de probabilidad) e intervalos de predicción se presenta en la Figura 2.

**Tabla 3.** Parámetros del ajuste con el modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Intercepto (a)	-0,6207	0,2235	-2,7775	0,0124
Pendiente (b)	2,2442	0,1612	13,9226	$4,46 \cdot 10^{-11}$

**Tabla 4.** Estadísticos del ajuste con el modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste.

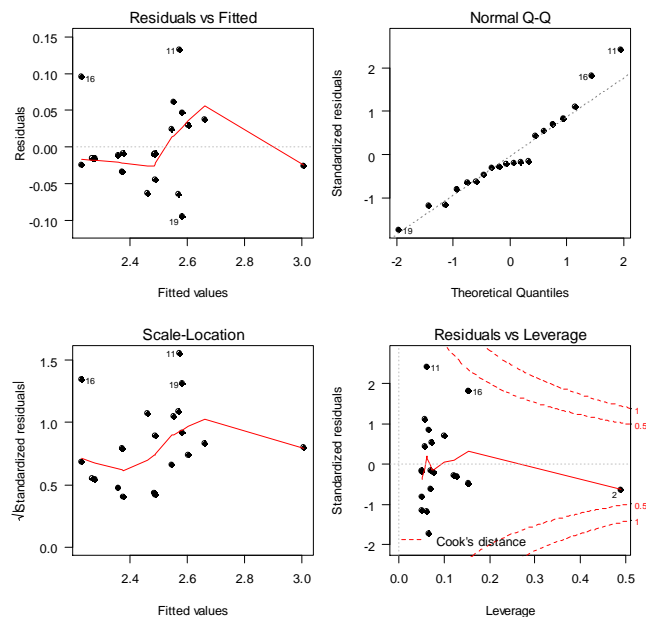
Estadístico	Valor
Coefficiente de Correlación	0,9566
R-Cuadrada	91,5029 %
R-Cuadrada (ajustada por g.l.)	91,0309 %
Error estándar del est.	0,0566
Error absoluto medio	0,0425
Estadístico Durbin-Watson	2,0486 (P=0,5051)
Autocorrelación residual de retardo 1	-0,0385
AIC	-52,8763



**Figura 2.** Representación del modelo logarítmico ajustado, con sus intervalos de confianza y predicción al 95%, de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste.

Los residuos variaron en el rango -0,095, 0,132, con un valor medio de -0,011, muy próximo al valor nulo. El estadístico de Durbin-Watson (DW), que analiza las correlaciones de los residuos, fue de 2,053, con un  $p$ -valor de 0,509 ( $p$ -valor  $> 0,05$ ), lo cual indica que no existe una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%. El gráfico de distribución de los residuos y el de los residuos estudentizados, no mostró un patrón especial ni tendencia, considerándose los residuos independientes y la varianza constante. De esta forma, se aceptaron las hipótesis de homocedasticidad y

linealidad. La normalidad de los residuos se comprobó de forma numérica, mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con un p-valor de 0,447 ( $>0,05$ ) y la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con p-valor 0,327 ( $>0,05$ ). De forma gráfica, la normalidad se comprobó por la alineación de los residuos en la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot). Además, en la gráfica de apalancamiento se comprobó que el individuo 2 se encontraba dentro de los límites esperados y no realizaba una influencia estadística sobre la dirección de la recta ajustada (Figura 3).



**Figura 3.** Gráficos de residuos del modelo logarítmico ajustado de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho utilizando los valores observados en Abangares, Guanacaste: Distribución de los residuos (arriba izquierda), gráfica cuantil-cuantil, QQ plot, de los residuos (Arriba derecha), gráfica de residuos estudentizados (Abajo izquierda) y gráfica de apalancamiento o influencia de los residuos (Abajo derecha).

#### 5.1.4. Comparación de modelos logarítmicos

Los resultados del procedimiento estadístico de comparación de líneas de regresión mostraron un modelo de regresión lineal ajustado que describe la relación entre los modelos de Pérez *et* Kanninen, 2003 y el modelo ajustado en este estudio, el  $\log_{10}$  (biomasa) y  $\log_{10}$  (dbh), mediante una ecuación descompuesta, cuya expresión matemática es:

$$\log_{10} (\text{Biomasa}) = - 0,6207 + 2,244 * \log_{10} (\text{dbh}) - 0,1940 * (\text{modelo}=\text{Pérez}) + 0,1374 * \log_{10} (\text{dbh}) * (\text{modelo}=\text{Pérez})$$

En esta ecuación la variable *modelo=Pérez* es una variable indicadora de la descomposición, la cual toma el valor 1 para el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y el valor 0 para el modelo ajustado en este estudio. De esta forma se obtienen dos líneas separadas para cada valor de modelo, las cuales tienen los coeficientes de los dos modelos de estudio. Igualmente, los coeficientes asociados a estas variables indicadoras (-0,194 y 0,137), representan la diferencia entre intercepto y pendiente, respectivamente entre los dos modelos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estadísticos del análisis de regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio con variables indicadoras.

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante*	-0,6207	0,2251	-2,7580	0,0078
Log10 (dbh)**	2,2443	0,1623	13,8245	0,0000
Modelo=Pérez***	-0,1940	0,2349	-0,8258	0,4124
Log10 (dbh)*Modelo=Pérez****	0,1374	0,1698	0,8093	0,4218

\* Parámetro “a” del modelo ajustado en este trabajo.

\*\* Parámetro “b” del modelo ajustado en este trabajo.

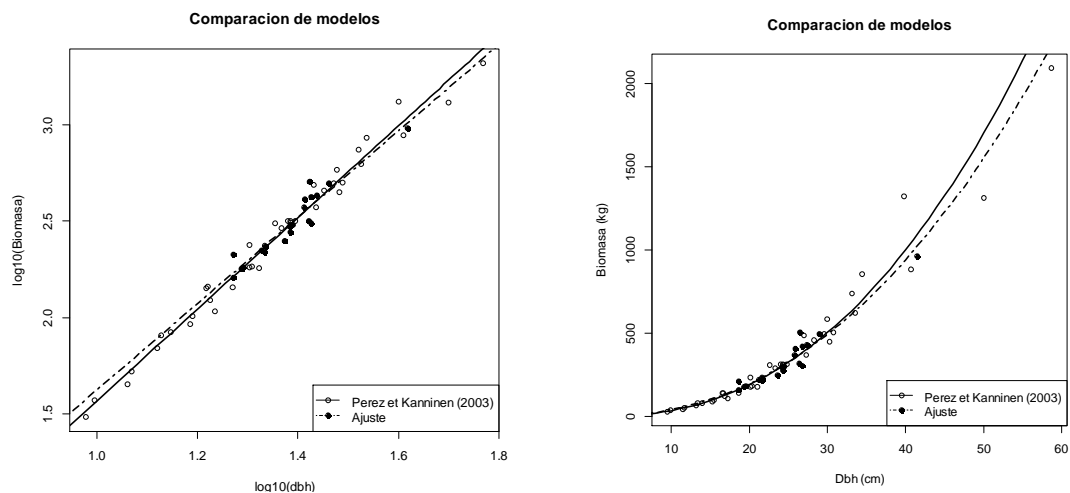
\*\*\* Diferencia en “a” entre el modelo ajustado y el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003).

\*\*\*\* Diferencia en “b” entre el modelo ajustado y el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003).

En el Análisis de varianza (Anova) asociado a este procedimiento, no se encontraron diferencias significativas entre los parámetros (intercepto y pendiente) de ambos modelos al 95% de confianza ( $p$ -valor > 0,05). Por lo que estadísticamente se puede afirmar que ambos modelos son iguales al 95% de confianza (Tabla 6).

**Tabla 6.** Tabla de análisis de varianza adicional para variables según modelo para comprobar la significación de la pendiente y el intercepto de los modelos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Log10 (dbh)	8,2358	1	8,2358	2530,39	0,0000
Interceptos	0,0002	1	0,0002	0,08	0,7850
Pendientes	0,0021	1	0,0021	0,65	0,4218
Modelo	8,2382	3			



**Figura 4.** Comparación de los valores y los modelos ajustados de la biomasa aérea total en función del diámetro para teca en Costa Rica con los valores observados en Abangares (línea de puntos) y el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003).

Finalmente, el ajuste de regresión lineal entre los valores predichos por el modelo propuesto en este estudio y el propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003) mostró un coeficiente de correlación del 99,96%, lo que ofrece, todavía, mayor robustez a la validación del modelo.



### 5.1.5. Ajuste de un modelo logarítmico con todo el conjunto de datos

El ajuste de regresión, mediante el modelo logarítmico, de los 20 valores observados en este trabajo y los 40 valores observados en el de Pérez *et* Kanninen (2003), presentó la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(\text{Biomasa}) = -0,7996 + 2,3715 * \log_{10}(\text{dbh})$$

En este ajuste, intercepto y pendiente fueron estadísticamente significativos al 95% de confianza (p-valor < 0,05), (Tabla 7). Además, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) indicó que el modelo explicaba el 97,83% de la variabilidad del  $\log_{10}$  (Biomasa) y el AIC fue de -170,749. El error estándar del estimado mostró que la desviación estándar de los residuos era 0,057, el valor promedio de los residuos o error absoluto medio (MAE) obtuvo un valor muy próximo al valor nulo, de 0,044. Tampoco existió una indicación de posible correlación significativa entre los residuos según el orden en que se presentaron los datos puesto que el estadístico de Durbin-Watson (DW) obtuvo un p-valor menor a 0,05 (Tabla 9).

**Tabla 7.** Estadísticos del análisis de regresión para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez *et* Kanninen (2003)

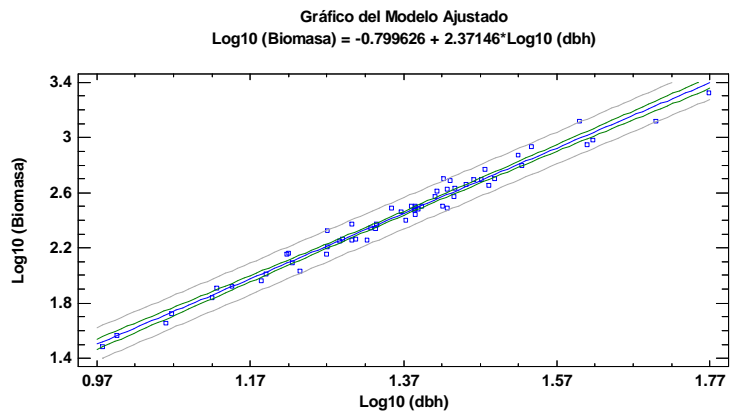
Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimados	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
<b>Intercepto (a)</b>	-0,7996	0,0637	-12,5516	0,0000
<b>Pendiente (b)</b>	2,3715	0,0466	50,8629	0,0000

**Tabla 8.** Análisis de varianza para el ajuste regresión para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez *et* Kanninen (2003)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>Modelo</b>	8,2382	1	8,2358	2587,04	0,000
<b>Residuo</b>	0,1823	58	0,0032		
<b>Total (Corr.)</b>	8,4205	59			

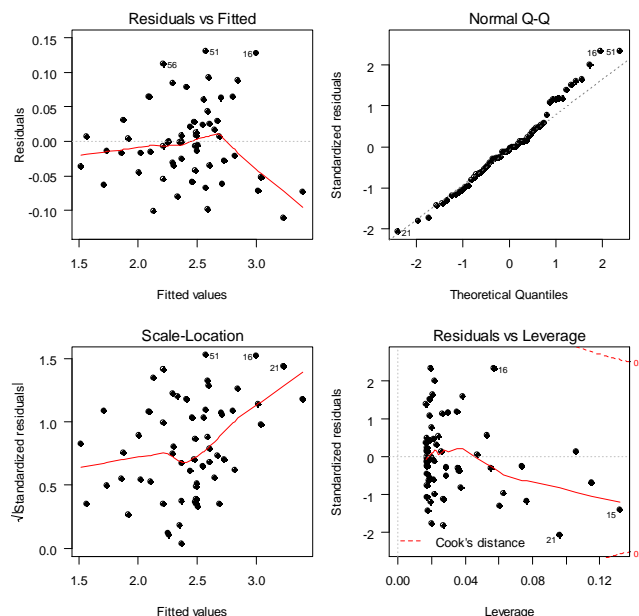
**Tabla 9.** Estadísticos del modelo para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez *et* Kanninen (2003)

Estadístico	Valor
R-Cuadrada	97,8354 %
R-Cuadrada (ajustada por g.l.)	97,7195 %
Error estándar del est.	0,0571
Error medio absoluto	0,0441
Estadístico Durbin-Watson	2,1698 (P=0,6524)
Autocorrelación residual de retardo 1	-0,1025
AIC	-170,7489



**Figura 5.** Representación del modelo logarítmico ajustado y sus intervalos de confianza y predicción al 95% para la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca, utilizando los valores observados en Abangares y los valores observados por Pérez et Kanninen (2003)

Los residuos variaron en el rango  $-0,111$  a  $0,130$ , con un valor medio próximo al valor nulo, de  $-4,8 \cdot 10^{-9}$ . El gráfico de distribución de los residuos no mostrará un patrón especial ni tendencia, considerándose los residuos independientes y la varianza constante, aceptándose las hipótesis de homocedasticidad y la linealidad. La normalidad de los residuos se comprobó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con estadístico de  $0,971$  y un p-valor de  $0,327$  ( $>0,05$ ) y la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con p-valor  $0,727$  ( $>0,05$ ). En la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) de los residuos los puntos estaban bastante alineados, excepto para los valores superiores, por lo que la normalidad de los mismos también parece aceptable (Figura 6). Sin embargo, se evidencia la falta de exactitud para predecir la biomasa aérea total de los individuos de mayor diámetro.



**Figura 6.** Gráficos de residuos del modelo logarítmico ajustado de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho utilizando los valores observados en Abangares y los observados por Pérez *et* Kanninen (2003) en Costa Rica: Distribución de los residuos (arriba izquierda), gráfica cuantil-cuantil, QQ plot, de los residuos (Arriba derecha), gráfica de residuos estudentizados (Abajo izquierda) y gráfica de apalancamiento o influencia de los residuos (Abajo derecha).

## 5.2. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.

### 5.2.1. Análisis previo de los datos y resultados dasométricos

Se analizaron un total de 262 individuos, 85 “Coyolito I” y 177 en “Coyolito II”. Éstos se repartieron en 12 lotes (4 en “Coyolito I” y 8 en “Coyolito II”). Todos los lotes medidos presentaron distribuciones del diámetro normales según la curva de Gauss (Figura 7). El diámetro medio fue de  $21,833 \pm 1,642$  cm (media  $\pm$  desviación estándar) con valores extremos de  $16,677 \pm 2,597$  cm en el lote “Andropogón” y  $21,300 \pm 1,748$  cm, en el lote “Coyolito 1-C”. La altura media de los pies medidos fue de  $16,342 \pm 0,615$  m.

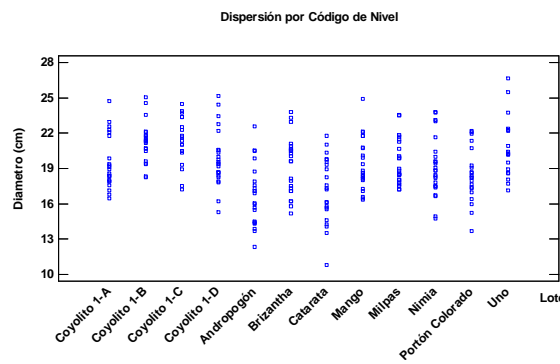


Figura 7. Gráfico de dispersión para la variable diámetro (cm) por lote en la finca Coyolito.

Tabla 10. Resultados por hectárea de las variables estudiadas (densidad, diámetro medio, altura media, área basal, diámetro medio cuadrático, volumen total, volumen comercial y biomasa aérea total) por lote, para “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito I”										
Lote	N (n/parcela)	N (n/ha)	dm (cm)	hm (m)	dmc (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	Vt (m <sup>3</sup> /ha)	Vc (m <sup>3</sup> /ha)	Bat (t)
Coyolito 1-A	22	486,307	19,468	16,305	19,591	14,660	348,466	102,747	71,739	89,573
Coyolito 1-B	21	464,202	21,242	16,976	21,310	16,557	360,435	117,779	84,555	104,154
Coyolito 1-C	19	419,992	21,300	17,116	21,396	15,100	301,557	108,400	78,002	95,234
Coyolito 1-D	23	508,412	19,857	16,565	19,998	15,968	330,316	113,209	79,725	98,389
<b>Promedio</b>	21,250	469,728	20,467	16,741	20,574	15,571	335,194	110,534	78,505	96,838
<b>Desv. Est.</b>	1,708	37,751	0,942	0,373	0,916	0,853	25,616	6,451	5,295	6,090
“Coyolito II”										
Lote	N (n/parcela)	N (n/ha)	dm (cm)	hm (m)	dmc (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	Vt (m <sup>3</sup> /ha)	Vc (m <sup>3</sup> /ha)	Bat (t)
Andropogón	22	486,307	16,677	15,114	16,869	10,868	258,349	74,415	48,619	63,002
Milpas	23	508,412	19,530	16,413	19,621	15,372	338,935	107,810	75,319	93,824
Catarata	22	486,307	17,151	15,386	17,364	11,516	208,691	79,418	52,701	67,506
Mango	24	530,516	19,292	16,396	19,406	15,692	369,017	110,588	77,036	95,487
P.Colorado	21	464,202	18,450	16,000	18,583	12,590	270,902	87,738	60,041	75,424
Brizantha	22	486,307	19,174	16,477	19,328	14,268	290,666	101,241	70,510	86,838
Uno	19	419,992	20,710	17,079	20,859	14,352	325,188	103,719	74,182	89,889
Nimia	24	530,516	19,138	16,271	19,294	15,511	317,305	109,47	75,860	94,358
<b>Promedio</b>	22,125	489,070	18,765	16,142	18,915	13,771	297,382	96,760	66,784	83,291
<b>Desv. Est.</b>	1,642	36,298	1,310	0,632	1,284	1,881	50,940	14,226	11,356	12,878
Total “Coyolito”										
Lote	N (n/parcela)	N (n/ha)	dm (cm)	hm (m)	dmc (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	Vt (m <sup>3</sup> /ha)	Vc (m <sup>3</sup> /ha)	Bat (t)
<b>Promedio</b>	21,833	482,623	19,332	16,342	19,468	14,371	309,986	101,351	70,691	87,807
<b>Desv. Est.</b>	1,642	36,302	1,427	0,615	1,394	1,799	46,657	13,643	11,091	12,654

Dónde: Desv. Est., Desviación estándar, N, densidad; dm, diámetro medio; hm, altura media; dmc, diámetro medio cuadrático; G, área basimétrica; IDR, índice de densidad del rodal; Vt, volumen total; Vc, Volumen comercial; Bat, Biomasa aérea total.

Alumno: Antonio Leceguí Peropérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

La densidad media de la finca fue  $482,500 \pm 36,302$  p/ha, el área basimétrica media  $14,371 \pm 1,799$  m<sup>2</sup>/ha, el diámetro medio cuadrático  $19,468 \pm 1,394$  cm, el IDR  $309,986 \pm 46,657$  y la altura dominante  $18,55 \pm 0,15$  m. En cuanto a los valores estimados, se obtuvo un volumen total de  $101,351 \pm 13,643$  m<sup>3</sup>/ha, un volumen comercial de  $70,691 \pm 11,091$  m<sup>3</sup>/ha y una biomasa aérea total de  $87.807,071 \pm 12.654,941$  kg/ha, (Tabla 10).

### 5.2.2. Epidimetría

De la comparación de este inventario con el realizado en el año 5,2 de la plantación, se obtuvo un Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro de 1,18 cm/año, un ICA en altura de 1,07 m/año y un ICA en área basimétrica de 0,48 m<sup>2</sup>/ha\*año. Además el Incremento Medio Anual (IMA) en diámetro fue de 2,56 cm/año, el IMA en altura de 2,06 m/año y un IMA en área basimétrica de 1,83 m<sup>2</sup>/ha\*año. Estos valores son inferiores a los obtenidos en años anteriores, por la edad de la plantación, que termina su etapa de crecimiento rápido y por el régimen de raleos que se realizó, los cuales abrieron claros que incrementaron el diámetro de los años posteriores.

**Tabla 11.** Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables diámetro, altura y área basimétrica, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito I”										
Edad	Densidad (n/ha)	Diámetro (cm)			Altura (m)			Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	647	15,20	3,80	3,80	12,40	3,10	3,10	11,94	2,99	2,90
4.1	608	15,47	2,70	3,77	12,56	1,60	3,06	11,61	-3,30	2,91
5.2	608	17,24	1,61	3,32	13,74	1,07	2,64	14,48	2,61	2,78
8*	469,73	20,47	1,15	2,56	16,74	1,07	2,09	15,57	0,39	1,95
“Coyolito II”										
Edad	Densidad (n/ha)	Diámetro (cm)			Altura (m)			Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	807	12,30	3,08	3,08	10,00	2,50	2,50	9,78	2,45	2,45
4.1	669	12,80	5,00	3,12	11,34	13,40	3,53	8,74	-10,40	2,13
5.2	669	15,40	2,36	2,96	14,48	2,85	2,18	12,42	3,35	2,39
8*	489,07	18,77	1,20	2,35	16,14	1,72	2,02	13,77	0,48	1,72
Total “Coyolito”										
Edad	Densidad (n/ha)	Diámetro (cm)			Altura (m)			Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	727	13,75	3,44	3,44	11,20	2,80	2,80	10,70	2,72	2,67
4.1	638,5	14,14	3,85	3,45	13,52	7,50	3,30	10,34	-6,85	2,52
5.2	638,5	16,32	1,99	3,14	12,54	1,96	2,41	13,45	2,98	2,59
8*	479,40	19,62	1,18	2,45	16,44	1,39	2,06	14,67	0,44	1,83

Dónde: ICA, Incremento corriente anual; IMA, Incremento medio anual.

\* Años en los que se realizaron raleos (claras).

En las variables estimadas mediante relaciones alométricas, también se observó un decrecimiento paulatino de los incrementos conforme la plantación avanza en edad, excepto en el periodo de los años 4,1 y 5,2 en el que el IMA fue superior debido a la apertura de claros por el raleo del año 4. El IMA en volumen comercial, variable que se

utilizó para la estimación de los beneficios económicos mediante la modelización del crecimiento de la plantación, fue de 9,08 m<sup>3</sup>/ha/año en el último periodo. Este valor varió entre 9,81 m<sup>3</sup>/ha/año y 11,49 m<sup>3</sup>/ha/año en “Coyolito I”, con un promedio de 10,6 ± 0,66 m<sup>3</sup>/ha/año y entre 6,32 y 8,71 m<sup>3</sup>/ha/año en “Coyolito II” con promedio de 7,4 ± 1,38. Teniendo en cuenta los valores de ambas fincas, el IMA en volumen comercial promedio fue de 9,0 ± 1,99 m<sup>3</sup>/ha/año.

**Tabla 12.** Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables estimadas: volumen total y volumen comercial, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito I”							
Edad	Densidad (n/ha)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)			Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0		0		
4*	647	72,32	18,08	18,08	42,93	10,73	10,73
4.1	608	72,32	0	17,64	42,93	0	10,47
5.2	608	90,91	16,90	17,48	59,73	15,27	11,49
8*	407	110,53	7,01	13,82	78,51	6,71	9,81
“Coyolito II”							
Edad	Densidad (n/ha)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)			Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0
4*	807	55,58	13,90	13,90	25,27	6,32	6,32
4.1	669	55,58	0	13,56	25,27	0	6,16
5.2	669	79,71	21,94	15,33	45,28	18,19	8,71
8*	489	96,76	6,09	12,10	66,78	7,68	8,35
Total Coyolito							
Edad	Densidad (n/ha)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)			Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0
4*	727	63,95	15,99	15,99	25,27	8,53	8,53
4.1	638,5	55,58	0	15,60	25,27	0	8,32
5.2	638,5	85,31	19,42	16,41	52,51	16,73	10,10
8*	448	103,65	6,55	12,96	72,64	7,19	9,08

Donde: ICA, Incremento corriente anual; IMA, Incremento medio anual.

\* Años en los que se realizaron raleos (claras).

### 5.3. Análisis financiero de las plantaciones

#### 5.3.1. Estudio de mercado: Selección de parámetros de cálculo

El periodo de análisis o el número de años en los que se contabilizaron los gastos e ingresos fue igual al periodo de rotación de la plantación, esto es 18 años para los tres escenarios. La mayoría de la información para el estudio financiero se recopiló en colones, moneda oficial de Costa Rica. Con objeto de tener una interpretación más amplia, se decidió realizar el estudio en dólares americanos utilizando la tasa de cambio de 1\$=526,65 ₡ y la tasa de interés del 8%, según el Banco Central de Costa Rica a fecha de 27/5/2015 (Tabla 13).

**Tabla 13.** Tasas de cambio monetario aplicado en el estudio financiero.

1 Dólar (\$)	526,65 Colones (C)
1 Euro (€)	1,08910 Dólar (\$)
1 Euro (€)	573,575 Colones (C)

El Incremento Medio Anual (IMA) en volumen comercial a 8 cm en punta delgada medio de la plantación, según la comparación de inventarios realizada, fue de  $9,0 \pm 1,99$  m<sup>3</sup>/ha/año. Sin embargo, como el aprovechamiento en la plantación se realizaba con fustes a 7 cm en punta delgada se decidió multiplicar este valor por el factor de corrección 0,9, quedando un valor de cálculo en el análisis financiero de 8,1 m<sup>3</sup>/ha/año de IMA en volumen comercial. El precio de la madera que se utilizó para el cálculo fue el de la Oficina Nacional Forestal de Costa Rica del año 2013 (ONF, 2013), fijado en 156,03 \$/m<sup>3</sup> para trozas de diámetro menor a 8 pulgadas, 215,14 \$/m<sup>3</sup> para trozas entre 8 y 10 pulgadas y 322,37\$/m<sup>3</sup> para trozas mayores a 10 pulgadas. El precio de la carne de res que se utilizó en los cálculos fue el precio medio publicado entre los años 2014 y 2015 por la Corporación Ganadera y la Federación de Subastas Ganaderas (FESUGAN *et* COFOGA, 2015) fijado en 2,27 \$/kg para la compra y 2,55 \$/kg para la venta. El costo de la mano de obra se obtuvo según los salarios del primer semestre del 2015 del Ministerio de Trabajo y seguridad social de Costa Rica, el cual se fijó en 18,06 \$/jornal (Tabla 14).

**Tabla 14.** Precios asumidos de las variables financieras para el estudio financiero.

Parámetro	Valor reportado	Unidad	Valor de cálculo	Unidad
IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)*	9	m <sup>3</sup> /ha/año	8,1	m <sup>3</sup> /ha/año
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> ) < 8 pulgadas (>20,32 cm)**	227	C/pmt	156,03	\$/m <sup>3</sup>
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> ) 8-10 pulgadas**	313	C/pmt	215,14	\$/m <sup>3</sup>
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> ) > 10 pulgadas (>25,4 cm)**	469	C/pmt	322,37	\$/m <sup>3</sup>
Precio de carne subasta de res hembra compra (\$/kg)	1197,8	C/kg	2,27	\$/kg
Precio de carne subasta de res hembra venta (\$/kg)***	1399,2	C/kg	2,55	\$/kg
Costo mano de obra (\$/jornal)	9509,34	C/jornal	18,06	\$/jornal

\* El IMA en volumen comercial, reportado en el inventario de las PPM, se multiplicó por el factor 0,9 para ajustar el diámetro en punta delgada del aprovechamiento.

\*\* 1 m<sup>3</sup> equivale a 362 pmt.

\*\*\* A la carne de res en subasta se le aplicó un descuento del 4% por la comision aplicada en la subasta.

### 5.3.2. Rendimiento de la plantación e ingresos esperados

La modelización de crecimiento de la plantación forestal con el régimen silvícola reportado para los 18 años de ciclo, muestra que la posibilidad comercial de la plantación es 145,80 m<sup>3</sup> de madera de teca. Según el precio fijado para cada la madera de cada raleo en función de su tamaño. Esto equivale a 36.762,04 \$/ha de ingresos al final del periodo del análisis (Tabla 15).

Los ingresos del subsistema ganadero fueron de 253,67 \$/año durante los años 3, 4 y 5, en los que la carga ganadera es 0,33 animales/ha y de 138,38 \$/año durante los años 6 al 17, durante los cuales se reduce la carga ganadera a 0,17 animales/ha (Tabla 16).

**Tabla 15.** Modelización del crecimiento en volumen comercial y extracción de árboles en una hectárea de plantación de teca en Abangares, Guanacaste.

Edad de la plantación	Año	Densidad (p/ha)	Peso del raleo (%)	Árboles extraídos	Volumen comercial en pie (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial extraído (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial remanente (m <sup>3</sup> /ha)	Ingreso bruto* (\$/ha)
0	2008	816			0		0	
1	2009	816			8,1		8,1	
2	2010	816			16,2		16,2	
3	2011	816			24,3		24,3	
4	2012	653	20	163	32,4	6,48	25,92	
5	2013	653			34,02		34,02	
6	2014	653			42,12		42,12	
7	2015	669			50,22		50,22	
8	2016	335	50	335	58,32	29,16	29,16	4549,88
9	2017	335			37,26		37,26	
10	2018	335			45,36		45,36	
11	2019	335			53,46		53,46	
12	2020	335	50	167	61,56	30,78	30,78	6622,16
13	2021	167			38,88		38,88	
14	2022	167			46,98		46,98	
15	2023	167			55,08		55,08	
16	2024	167			63,18		63,18	
17	2025	167			71,28		71,28	
18	2026	167			79,38	79,38	0	25590,01
<b>Total venta de madera (€/ha)</b>								<b>36762,04</b>

\* El precio de la madera puesta en contenedor utilizado es de 156,03 \$/m<sup>3</sup> para madera menor de 8 pulgadas (20,32 cm) para el primer raleo comercial; 215,14 \$/m<sup>3</sup> para madera entre 8 y 10 pulgadas (20,32 - 25,4 cm) del segundo raleo comercial y 322,37 \$/m<sup>3</sup> para madera mayor de 10 pulgadas (25,4 cm) en la corta final.

**Tabla 16.** Estructura de ingresos del subsistema ganadero.

Actividad	Carga ganadera (Animales/ha)	Precio subasta venta res hembra (\$) *	Peso total de reses para la venta (Kg) **	Periodo	Monto por año del periodo (\$)
Venta de terneros	0,33	2,55	99,46	Años 3,4 y 5	253,67
Venta de terneros	0,17	2,55	54,25	Año 6-17	138,37

\* El precio en subasta de la carne de res hembra se extrajo de COFOGA (2015). A este valor se le descontó un 4% por la comisión de la subasta.

\*\* El peso de los animales al final de la etapa de engorde fue reportado por el propietario de la finca (337,5 kg). Para el cálculo de los kilogramos de carne para su venta, se ha descontado un 5% de la carga ganadera final por pérdida, muerte o robo de ganado. Además, se descontó un 6% del peso al final de la etapa de engorde por la pérdida de peso durante el transporte.

Los ingresos aportados por los incentivos financieros de PSA según el FONAFIFO para el año 2014 son de 306,85 \$/ha en la modalidad de protección de bosque. Éstos se distribuyen equitativamente en un 20% anual durante los 5 primeros años de la plantación. En la modalidad de reforestación el monto a recibir es 939,71\$/ha, que se distribuyen en el 50% durante el primer año, 20% en el segundo, 15% en el tercero, 10% en el cuarto y 5% en el quinto año (Tabla 17).

Los ingresos por incentivos financieros ajustados a la hectárea media de la finca, con 0,682 ha de plantación de teca, por la que recibe PSA en la modalidad de reforestación y 0,311 ha de protección, por las que se reciben PSA en la modalidad de protección de bosque, fueron de 736,59 \$/ha distribuidos durante los 5 primeros años (Tabla 18).

**Tabla 17.** Monto y distribución de los ingresos por PSA según modalidades  
**Fuente.** FONAFIFO, 2014.

Modalidad	Monto (C)	Monto (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Protección de bosque	161.600	306,85	20%	20%	20%	20%	20%
Reforestación	494.900	939,71	50%	20%	15%	10%	5%

**Tabla 18.** Monto y distribución de los ingresos por PSA en una ha media de 0,6823 ha de plantación de teca y 0,3109 ha de protección

Modalidad	Monto (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Protección de bosque	95,4	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08
Reforestación	641,19	320,6	128,24	96,18	64,12	32,06
Total	736,59	339,68	147,32	115,26	83,2	51,14

### 5.3.3. Identificación de actividades de manejo, intensidad y costos asociados

El precio de compra del terreno, reportado por el propietario, fue de 2700\$/ha en el año 2006, incluyendo superficie de protección, infraestructura (caminos y cercas) y superficie de plantación. Este valor actualizado al momento actual (año 2015) es:  $2700 * (1 + 0,08)^{(2015-2006)} = 5546,21$  \$/ha.

El manejo, así como la estructura de los costos, es diferente para el escenario 1: “plantación de teca tradicional” frente a los escenarios 2 y 3: “plantación de teca con ganado” y “plantación de teca con ganado y PSA”. En el escenario 1 no se incluyen las labores de mantenimiento de cercas, pues no son necesarias al no presentar ganado. Además, en este escenario se incluyen las actividades de mantenimiento de limpia total (en los escenarios 1 y 2 estas labores son realizadas por el ganado), las cuales tienen un costo de 99,31\$/ha en los años 3 al 5 y de 45,14\$/ha durante los años 6 al 17 (Tabla 19). Esto hace que en los escenarios 2 y 3 los costos de mantenimiento se reduzcan por la presencia del ganado. Esta reducción en los costos de mantenimiento también se manifiesta en los costos totales acumulados del periodo de rotación, los cuales fueron de 13.834,22 \$/ha para el escenario 1 y de 12.985,57 \$/ha para los escenarios 2 y 3.

Los costos, para los tres escenarios, fueron más pesados al inicio de la inversión, en la compra del terreno y el establecimiento de la plantación (años 0 y 1). Los costos de establecimiento (compra de la tierra, preparación del terreno y plantación) ascendieron a 6.568,92\$/ha, lo que representó un 47,48% de los costos totales en el escenario 1 y, un 50,55% en los escenarios 2 y 3. Esto coincide con Gómez *et Reiche* (1996) según los cuales, los costos de establecimiento de una plantación forestal representan entre 46-53% de los costos totales.

Los costos de mantenimiento y manejo representaron el 32,69 % de los costos totales en el escenario 1 y el 28,34% en los escenarios 2 y 3. Estos costos equivalen a un costo anual del 1,82% de los costos totales en el escenario 1 y un costo anual del 1,91% de los costos totales en los escenarios 2 y 3. Los años de raleos y aprovechamiento (años 4, 8, 12 y 18) acumularon costos mayores para los tres escenarios. En el escenario 1 estos costos representaron el 11,24% de los costos totales y el 11,97% en los escenarios 2 y 3. Los costes de administración ascendieron a 100.000 colones al año en toda la finca (1600ha), lo que supone un total de 62,5 \$/ha\*año. Esto representa un 8,58% de los costos totales en el escenario 1 y un 9,14% de los costos totales en los escenarios 2 y 3 (Tabla 20).



**Tabla 19.** Estructura de costos para la plantación de teca en el escenario de plantación de teca con ganado.

Actividad	Descripción	Unidad	Precio (\$) /unidad	Rendimiento por ha	Periodo	Monto por año del periodo (\$)
<b>Inversión inicial</b>						
Terreno e infraestructura (Caminos, edificios, cercas...)*	Terreno	ha	5.397,31	1	Año 0	5.397,31
<b>Preparación del terreno</b>						
Chapia de inicio	Mano de obra	jornal	18,06	6	Año 0, 1 y 2	108,34
Machete	Herramienta	Unidad	4,25	4	Año 0	17
Distribución de herbicida inicio	Servicio	h	20	2	Año 0	40
Preparación del herbicida	Mano de obra	jornal	18,06	1	Año 0	18,06
Glifosato	Insumo	litro	8	3.00	Año 0	24
<b>Plantación</b>						
Trazado y marcado	Mano de obra	jornal	18,06	4.5	Año 0	81,25
Cinta métrica	Herramienta	Unidad	15	2	Año 0	30
Pintura Spray	Herramienta	Unidad	12	2	Año 0	24
Subsolado	Servicio	h	20	4	Año 1	80
Ahoyado y plantación	Mano de obra	jornal	18,06	3	Año 1	54,17
Plantas puestas en terreno	Insumo	Unidad	0,32	850	Año 1	272
Palin	Herramienta	Unidad	17,9	3	Año 1	53,7
Aplicación fertilizante de inicio	Mano de obra	jornal	18,06	2	Año 1	36,11
Fertilizante 10-30-10	Insumo	kg	29,33	2	Año 1	58,66
Reposición de marras	Mano de obra	jornal	18,06	2.5	Año 2	45,14
Plantas puestas en terreno	Insumo	Unidad	0,25	50	Año 2	12,5
<b>Mantenimiento/manejo</b>						
Rodajea, poda, deshija y desbejudada	Mano de obra	jornal	18,06	5.00	Año 0,1,2	90,28
Poda, deshija y desbejudada	Mano de obra	jornal	18,06	3.50	Año 3-5	63,2
Limpia 1 m del árbol con herbicida	Mano de obra	jornal	18,06	2.00	Año 3-10	36,11
Glifosato	Insumo	litro	8	3	Año 3-10	24
Fertilización con urea	Mano de obra	jornal	18,06	3.00	Año 0,1, 2, 4, 6, 8, 10, 12	54,17
Fertilizante	Insumo	kg	5	3	Año 0,1, 2, 4, 6, 8, 10, 12	15
Poda	Mano de obra	jornal	18,06	4.50	Año 6-16	
Sierra rabo de zorro	Herramienta	Unidad	8	5	Año 0	40
Resina cicatrizante	Insumo	Unidad	8	2	Año 0	16
Aplicación control de plagas	Mano de obra	jornal	18,06	3	Año 0-13	54,17
Plaguicida	Insumo	kg	6	2.5	Año 0-13	15
Bomba espada	Herramienta	Unidad	32	3	Año 0	96
Mantenimiento de cercas	Mano de obra	jornal	18,06	1,5	Año 0	27,08
<b>Raleos/aprovechamiento</b>						
Raleo 1	Mano de obra	jornal	18,06	4	Año 4	72,23
Marcado Raleo 1	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 4	54,17
Motosierra	Herramienta	Unidad	55	5	Año 0	275
Raleo 2	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 8	90,28
Marcado Raleo 2	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 8	54,17
Corta y despunte	Mano de Obra	m3	18,06	2.5	Año 8	45,14
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	2.5	Año 8	50
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	2.5	Año 8	45,14
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	2.5	Año 8	45,14
Carga al contenedor	Servicio	h	20	2	Año 8	40
Raleo 3	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 12	90,28
Marcado Raleo 3	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Corta y despunte	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	3	Año 12	60
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Carga al contenedor	Servicio	h	20	3	Año 12	60
Corta final	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 15	90,28
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	3.5	Año 18	70
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	3.5	Año 18	63,2
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	3.5	Año 18	63,2
Carga al contenedor	Servicio	h	20	3.5	Año 18	70
<b>Comercialización y administración</b> (Costos de estudio de mercado, encargado de la finca, pólizas, transporte, teléfono y luz, costos de certificación, inventarios, imprevistos y costos empresariales como tramites e impuestos.			62,5	1	Todos	62,5

Alumno: Antonio Leceguí Perepérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

**Tabla 20.** Resumen de la distribución de costos totales al final del periodo del análisis por escenarios y gran actividad de la plantación de teca.

Gran actividad	Escenario 1			Escenarios 2 y 3		
	Costo total (\$)	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)	Costo total (\$)	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Compra de la tierra	5.397,31	299,85	39,01	5.397,31	299,85	41,54
Preparación del terreno	424,07	23,56	3,07	424,07	23,56	3,26
Plantación	747,54	41,53	5,4	747,54	41,53	5,75
Mantenimiento/manejo	4.522,9	251,27	32,69	3.683,29	204,63	28,34
Raleos/aprovechamiento	1.554,9	86,38	11,24	1.554,9	86,38	11,97
Comercialización y administración	1.187,5	65,97	8,58	1.187,5	65,97	9,14
<b>Total</b>	<b>13.834,22</b>	<b>768,57</b>	<b>100</b>	<b>12.994,6</b>	<b>721,92</b>	<b>100</b>

\* Costo anual del periodo productivo (18 años).

Los costos totales acumulados durante el periodo de rotación de la teca, en el subsistema ganadero (escenarios 2 y 3) ascendieron a 1.905,9\$/ha. De éstos, el 38,2% (727,95\$/ha) se produjeron durante los años 3, 4 y 5, es decir, 242,65 \$/ha anuales durante ese periodo. El 61,8% restante de los costos totales (1.177,97\$/ha) se produjeron durante los años 6 al 17 con un promedio de 107,09\$/ha durante estos años. El 73,87% de los costos totales (1.408,01\$/ha) corresponden a actividades de comercialización de los animales, el 2,95% (56,25\$/ha) a la adquisición de insumos, el 1,88% (35,93\$/ha) a productos veterinarios y el 21,29% (405,73\$/ha) restante a la contratación de mano de obra (Tabla 21 y Tabla 22).

**Tabla 21.** Estructura de costos por hectárea según los dos periodos de diferente carga ganadera para el subsistema ganadero.

Actividad	Descripción	Unidad	Precio (\$)/unidad	Rendimiento por ha*	Monto años 3,4 y 5	Monto años 6-17
<b>Comercialización de animales</b>						
<b>Compra animales</b>	Insumo	kg	2,27	54,45	123,84	67,55
<b>Transporte de subasta a finca</b>	Transporte	km/kg	0,06	54,45	3,27	1,78
<b>Transporte de finca a subasta</b>	Transporte	km/kg	0,06	99,45	5,97	3,65
<b>Insumos anuales</b>						
<b>Sal común</b>	Alimentación	kg	0,7	1	0,7	0,32
<b>Minerales</b>	Alimentación	kg	0,7	0,50	0,35	0,16
<b>melaza</b>	Alimentación	kg	0,8	0,50	0,4	0,18
<b>Semolina</b>	Alimentación	kg	1,5	0,50	0,75	0,34
<b>Vitamina</b>	Alimentación	kg	1,5	0,50	0,75	0,34
<b>Alambre de púas, grapas y aretes</b>	Insumo	km	0,15	20,00	3	1,36
<b>Productos veterinarios</b>						
<b>Desparasitante (Ivomec)</b>	Sanidad	litro	9	0,1	0,9	0,41
<b>Desparasitante externo (Ectoline)</b>	Sanidad	litro	9	0,1	0,9	0,41
<b>Vacuna anticarbonosa (Antrax)</b>	Sanidad	litro	10	0,1	1	0,45
<b>Vacuna (Ultrachice)</b>	Sanidad	litro	10	0,1	1	0,45
<b>Mano de obra</b>						
<b>Servicios veterinarios</b>	Mano de obra	jornal	91,65	0,25	22,91	10,41
<b>Encargado del ganado</b>	Mano de obra	jornal	18,06	0,4	7,22	3,28
<b>Mantenimiento de cercas, corrales...</b>	Mano de obra	jornal	18,06	0,2	3,61	1,64
<b>Corte, acarreo y picado de pasto**</b>	Mano de obra	jornal	18,06	0,2		5,42

\*\* El rendimiento indicado corresponde a los años con capacidad de carga ganadera de 0,33 animales/ha (años 3, 4 y 5).

\* Las operaciones de corte, acarreo y picado de pasto se desarrollan entre los años 2 y 17.

**Tabla 22.** Costos totales, relativos y anuales durante el periodo de rotación de la teca (18 años) y desglose de costos durante el periodo con carga ganadera 0,33 animales/ha (años 3, 4 y 5) y el periodo con carga ganadera de 0,17 animales/ha (años 6-17).

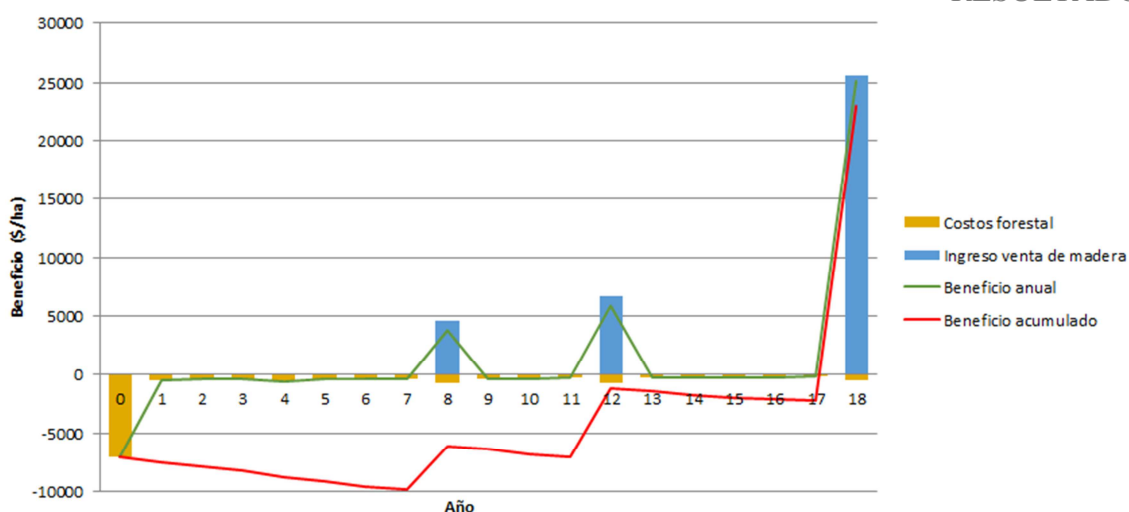
Actividad	Costos totales			Costos años 3,4 y 5		Costos años 6-17	
	Acumulado (\$/ha)	Relativo (%)	Anual (\$/ha*año)	Acumulado (\$/ha)	Relativo (%)	Acumulado (\$/ha)	Relativo (%)
Comercialización de animales	1.408,01	73,88	78,22	532,3	27,93	875,71	45,95
Insumos anuales	56,25	2,95	3,13	23,8	1,25	32,45	1,7
Productos veterinarios	35,93	1,89	2	15,2	0,8	20,73	1,09
Mano de obra	405,73	21,29	22,54	156,65	8,22	249,07	13,07
<b>Total</b>	<b>1.905,92</b>	<b>100</b>	<b>105,88</b>	<b>727,95</b>	<b>38,19</b>	<b>1.177,97</b>	<b>61,81</b>

### 5.3.4. Flujos de caja e indicadores financieros

Para el escenario 1 (plantación de teca tradicional), el beneficio acumulado al final del periodo de rotación fue de 22.927,82 \$/ha (Tabla 23 y Figura 8). Este beneficio acumulado al final del periodo de rotación se vio aumentado al incluir ganado (Tabla 24 y Figura 9) en 1.364,12 \$/ha (24.291,94\$/ha totales), y en 5.193,4\$/ha (28.121,22\$/ha totales) si, además, se reciben incentivos financieros en forma de PSA en la modalidades de reforestación y protección de bosques (Tabla 25 y Figura 10).

**Tabla 23.** Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 1: "Plantación de teca".

Año	Ingresos (\$/ha)	Costos (\$/ha)	Beneficio anual(\$/ha)	Beneficio acumulado (\$/ha)
0	-	7.048,83	-7.048,83	-7.048,83
1	-	457,1	-457,1	-7.505,93
2	-	399,46	-399,46	-7.905,39
3	-	354,29	-354,29	-8.259,67
4	-	549,85	-549,85	-8.809,53
5	-	354,29	-354,29	-9.163,81
6	-	387,34	-387,34	-9.551,16
7	-	318,18	-318,18	-9.869,33
8	4.549,88	757,22	3.792,66	-6.076,67
9	-	318,18	-318,18	-6.394,85
10	-	387,34	-387,34	-6.782,19
11	-	258,06	-258,06	-7.040,25
12	6.622,16	754,19	5.867,97	-1.172,28
13	-	258,06	-258,06	-1.430,35
14	-	258,06	-258,06	-1.688,41
15	-	258,06	-258,06	-1.946,47
16	-	188,89	-188,89	-2.135,37
17	-	107,64	-107,64	-2.243,01
18	25.590,01	419,18	25.170,83	22.927,82

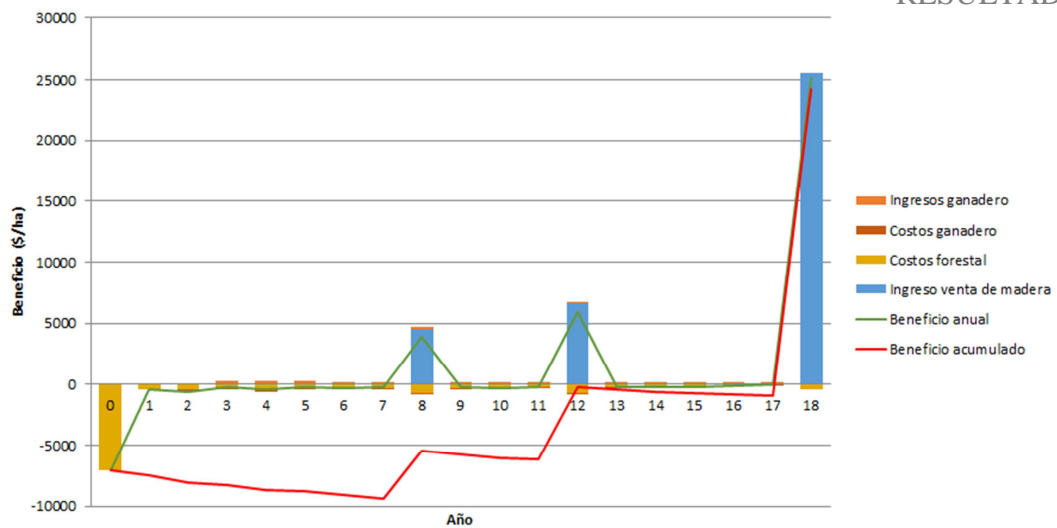


**Figura 8.** Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca”.

**Tabla 24.** Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 2. “Plantación de teca con ganado”.

Año	Subsistema forestal		Subsistema ganadero		Total			
	I.(\$/ha)	C. (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	B. anual (\$/ha)	B. acumulado (\$/ha)
0	-	7.039,8	0	0	0	7.039,8	-7039,8	-7.039,8
1	-	457,1	0	0	0	457,1	-457,1	-7.496,9
2	-	399,46	0	181,99	0	581,44	-581,44	-8.078,35
3	-	254,98	253,67	181,99	253,67	436,97	-183,3	-8.261,64
4	-	450,54	253,67	181,99	253,67	632,53	-378,86	-8.640,5
5	-	254,98	253,67	181,99	253,67	436,97	-183,3	-8.823,8
6	-	342,2	138,37	98,16	138,37	440,37	-302	-9.125,8
7	-	273,03	138,37	98,16	138,37	371,2	-232,83	-9.358,63
8	4.549,88	712,08	138,37	98,16	4.688,24	810,24	3878	-5.480,63
9	-	273,03	138,37	98,16	138,37	371,2	-232,83	-5.713,46
10	-	342,2	138,37	98,16	138,37	440,37	-302	-6.015,46
11	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-6.188,19
12	6.622,16	709,05	138,37	98,16	6.760,52	807,21	5.953,31	-234,88
13	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-407,6
14	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-580,32
15	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-753,04
16	-	143,75	138,37	98,16	138,37	241,92	-103,55	-856,59
17	-	62,5	138,37	98,16	138,37	160,66	-22,3	-878,89
18	25.590,01	419,18	0	0	25.590,01	419,18	25.170,83	24.291,94

Dónde: I, ingresos; C, costos; B., beneficio

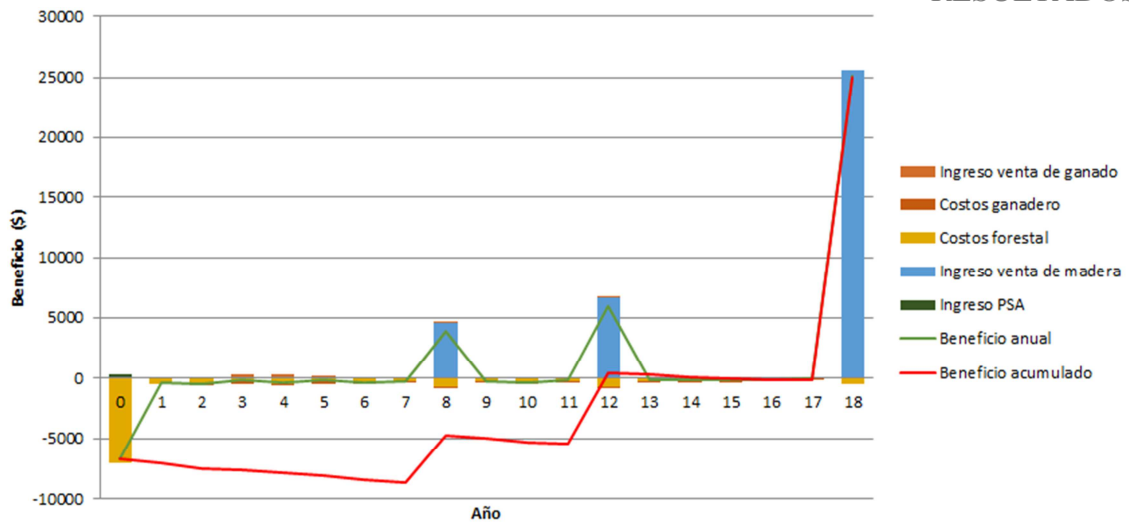


**Figura 9.** Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca con ganado”.

**Tabla 25.** Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 3. “Plantación de teca con ganado y PSA”.

Año	Subsistema forestal				Subsistema ganadero		Total			
	I. PSA (\$/ha)	I. madera (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	I. (\$/ha)	Costos (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	B. anual (\$/ha)	B. acumulado (\$/ha)
0	469,86	-	469,86	4832,07	-	3,61	469,86	4835,68	-4.365,83	-4.365,83
1	187,94	-	187,94	457,1	-	3,61	187,94	460,71	-272,77	-4.638,59
2	140,96	-	140,96	399,46	-	176,57	140,96	576,03	-435,07	-5.073,66
3	93,97	-	93,97	254,98	253,67	176,57	347,64	431,55	-83,91	-5.157,57
4	46,99	-	46,99	414,43	253,67	176,57	300,66	591	-290,34	-5.447,92
5	-	-	-	254,98	253,67	176,57	253,67	431,55	-177,88	-5.625,79
6	-	-	-	342,2	138,37	92,75	138,37	434,95	-296,59	-5.922,38
7	-	-	-	273,03	138,37	92,75	138,37	365,78	-227,42	-6.149,8
8	-	4.549,88	4.549,88	526,65	138,37	92,75	4.688,24	619,4	4.068,84	-2.080,95
9	-	-	-	273,03	138,37	92,75	138,37	365,78	-227,42	-2.308,37
10	-	-	-	342,2	138,37	92,75	138,37	434,95	-296,59	-2.604,96
11	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	-2.772,26
12	-	6.622,16	6.622,16	513,63	138,37	92,75	6.760,52	606,37	6.154,15	3.381,89
13	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	3.214,59
14	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	3.047,28
15	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	2.879,98
16	-	-	-	143,75	138,37	92,75	138,37	236,5	-98,14	2.781,84
17	-	-	-	62,5	138,37	92,75	138,37	155,25	-16,88	2.764,96
18	-	25.590,01	25.590,01	233,75	-	-	25.590,01	233,75	25.356,25	28.121,22

Dónde: I, ingresos; C, costos; B., beneficio



**Figura 10.** Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “Plantación de teca con ganado y PSA”.

La comparación de beneficios anuales mostró su mejora en los escenarios 2 y 3 respecto al escenario 1 excepto en el año 2, en el que se incluyen los costes de adquisición de los animales en el subsistema ganadero y se obtiene un beneficio anual menor. Entre los escenarios 1 y 2 se observó una mejora de 170,99\$/ha durante los años con mayor carga ganadera (3,4 y 5) y de 85,34\$/ha en los años 6 al 17. Esto representa una mejora media del beneficio anual del 22,78%, con un máximo del 79,28%, durante el año 17 con un beneficio anual de -107,64 \$/ha para el escenario 1 y de -22,3\$/ha en el escenario 2. El escenario 3 respecto al 2 mostró una mejora media del beneficio anual de 11,86%. Esta mejora es más pronunciada en los cinco primeros años, en los cuales se reciben las ayudas por los PSA. Las mayores mejoras del beneficio anual respecto al escenario 1 se obtuvieron respecto al escenario 3 con un promedio de 31,94% (Tabla 26).

**Tabla 26.** Comparación de beneficio neto según escenarios.

Año	Beneficio neto (\$/ha)			Diferencia 1-2		Diferencia 2-3		Diferencia 1-3	
	Escenario1	Escenario 2	Escenario 3	Neta (\$/ha)	Relativa (%)	Neta (\$/ha)	Relativa (%)	Neta (\$/ha)	Relativa (%)
0	-7048,83	-7039,8	-4365,83	9,03	0,13	2673,97	37,98	2683	38,06
1	-457,1	-457,1	-272,77	0	0	184,33	40,33	184,33	40,33
2	-399,46	-581,44	-435,07	-181,98	-45,56	146,37	25,17	-35,61	-8,91
3	-354,29	-183,3	-83,91	170,99	48,26	99,39	54,22	270,38	76,32
4	-549,85	-378,86	-290,34	170,99	31,1	88,52	23,36	259,51	47,2
5	-354,29	-183,3	-177,88	170,99	48,26	5,42	2,96	176,41	49,79
6	-387,34	-302	-296,59	85,34	22,03	5,41	1,79	90,75	23,43
7	-318,18	-232,83	-227,42	85,35	26,82	5,41	2,32	90,76	28,52
8	3792,66	3878	4068,84	85,34	-2,25	190,84	-4,92	276,18	-7,28
9	-318,18	-232,83	-227,42	85,35	26,82	5,41	2,32	90,76	28,52
10	-387,34	-302	-296,59	85,34	22,03	5,41	1,79	90,75	23,43
11	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
12	5867,97	5953,31	6154,15	85,34	-1,45	200,84	-3,37	286,18	-4,88
13	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
14	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
15	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
16	-188,89	-103,55	-98,14	85,34	45,18	5,41	5,22	90,75	48,04
17	-107,64	-22,3	-16,88	85,34	79,28	5,42	24,3	90,76	84,32
18	25170,83	25170,83	25356,25	0	0	185,42	-0,74	185,42	-0,74
<b>Promedio</b>				<b>71,80</b>	<b>22,79</b>	<b>201,54</b>	<b>11,86</b>	<b>273,34</b>	<b>31,94</b>

La comparación de los indicadores financieros entre escenarios mostró una notable mejoría a medida que éstos se van enriqueciendo con distintas actividades productivas (Tabla 27).

El VAN o ganancia neta en valor actual al final del periodo de rotación fue positivo para los tres escenarios, lo que indica que los tres proyectos proporcionan beneficios. Para el escenario 1 de plantación tradicional de teca, se obtuvo un VAN de 709,88 \$/ha, en el escenario 2, al incluir el ganado, el VAN se duplicó (1.378,40 \$/ha) y al incluir los PSA casi se triplicó (2.056,93 \$/ha).

La TIR también mostró la conveniencia de realizar los tres proyectos puesto que ésta fue superior a la tasa de interés de mercado utilizada en los cálculos (8%). Esto indica que la inversión en estos proyectos es más rentable que el uso de los recursos en las inversiones alternativas. De la misma forma que el VAN, la TIR también fue superior en el escenario 3 (9,73%) frente al 2 (9,11%) y más aún en comparación con el 1 (8,57%).

El VET determina el valor de las tierras en la producción forestal, éste resultó ser 946,83\$/ha en el escenario 1, 1.838,47\$/ha en el escenario 2 y 2.743,48 para el escenario 3, sin embargo, este valor no debe tenerse en cuenta ya que para su cálculo se incluyó el precio real de la tierra. Se tomó en cuenta el VET obtenido en el análisis de sensibilidad en el que no se incluyó el valor de la tierra. En éste, fue de 8.145,63 \$/ha en el escenario 1, 9.037,28\$/ha en el escenario 2 y 9.942,29\$/ha en el escenario 3 (Tabla 29). Estos valores son superiores al precio de la tierra actual (precio actualizado reportado por el propietario) de 5.397,31\$/ha por lo que los tres proyectos se consideran rentables siendo más atractivo el escenario 3 de FIS (Tabla 29).

La relación B/C refleja los beneficios brutos y netos obtenidos por cada unidad monetaria de inversión. Este indicador es superior a 1 en los tres escenarios, lo que indica que por cada unidad monetaria invertida en el proyecto, se obtiene más de una unidad de beneficio.

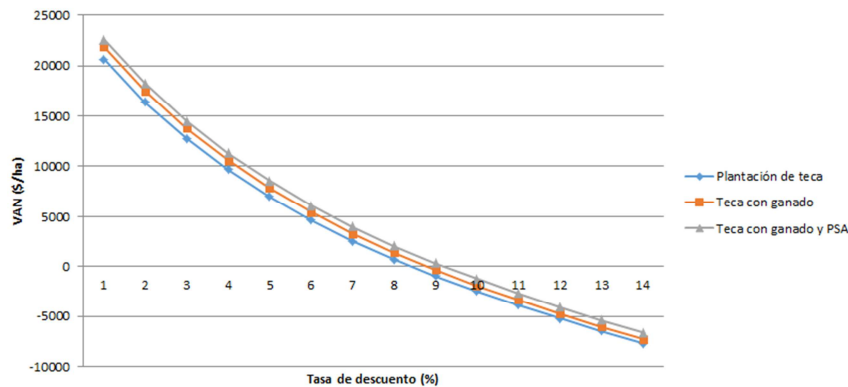
El PIR fue de 17,09 años para el escenario 1, 17,03 para el escenario 2 y de 11,92 años en el escenario 3. Esto muestra la ventaja de recuperar el dinero invertido cinco años antes en el escenario 3 frente al 1 y 2.

**Tabla 27.** Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año.

Escenario	VAN	TIR	VET*	B/C	PIR
Plantación de teca tradicional	709,88	8,57%	946,83	1,07	17,09
Plantación de teca con ganado	1.378,40	9,11%	1.838,47	1,12	17,03
Plantación de teca, ganado y PSA	2.056,93	9,73%	2.743,48	1,18	11,92

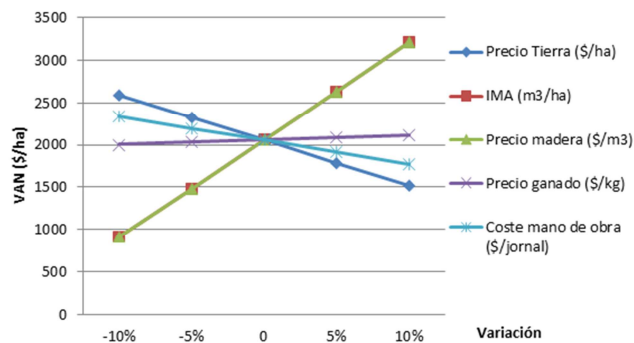
### 5.3.5. Análisis de sensibilidad

El comportamiento del VAN según variaciones en la tasa de descuento para los tres escenarios mostró la disminución de la rentabilidad en función del aumento de la tasa de descuento empleada. Para el escenario 1, el VAN comenzaba a ser negativo (valor de la TIR) a partir de la tasa de descuento del 8,57 %, en el escenario 2, el VAN alcanzó la negatividad a partir de una tasa de descuento del 9,11%, mientras que en el escenario 3, la tasa de descuento que tornaba el VAN negativo fue a partir de 9,73%.



**Figura 11.** Variación del VAN en función de la tasa de descuento para los tres escenarios analizados en el estudio financiero.

La variación porcentual de los determinantes de costos e ingresos mostró que la variable que más influye en los indicadores de rentabilidad de los tres escenarios eran los beneficios obtenidos en el subsistema forestal por la venta de madera, determinados por el precio de la madera y el incremento medio anual en volumen comercial. En estos determinantes, el aumento de un 5% de su valor, provocaba un aumento del 180,94% en el VAN en el escenario 1, un 141,69 % en el escenario 2 y un 127,93% en el escenario 3. La menor variación relativa del VAN en el escenario 3, muestra que la diversificación de las actividades de la empresa reduce el riesgo por la variación del precio de la madera en el mercado o por la reducción de la producción maderera en la plantación.



**Figura 12.** Variación del VAN en función de la variación de principales determinantes de ingresos y costos para el escenario 3.

Al realizar el análisis financiero incluyendo el coste de la tierra como un activo que se vende al final del periodo de análisis (al mismo precio de compra), mejoraban ligeramente los indicadores de rentabilidad. Este aumento de la rentabilidad no era muy elevado debido a los descuentos aplicados para llevar los beneficios del último año al momento actual (Tabla 28).

**Tabla 28.** Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año como un costo y en el último año como un activo.

Escenario	VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Plantación de teca tradicional	2060,56	9,53%	2748,32	1,19	17,07
Plantación de teca con ganado	2729,07	10,02%	3639,97	1,24	17,03
Plantación de teca, ganado y PSA	3407,60	10,63%	4544,98	1,30	11,92

Al realizar el análisis financiero sin incluir el coste de la tierra, se obtuvieron indicadores de rentabilidad muy altos para los tres escenarios. Por ejemplo, El VAN en el escenario 1



umentaba en un 860%, en el escenario 2 un 491% y en el escenario 3 un 362% (Tabla 29). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que al no incluir el coste de la tierra se está realizando una valoración incompleta de los costos y de las inversiones. (De Camino *et Morales*, 2013).

**Tabla 29.** Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios sin tener en cuenta el coste de la tierra.

Escenario	VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Plantación de teca tradicional	6107,20	16,64%	8145,63	2,13	11,28
Plantación de teca con ganado	6775,71	17,70%	9037,28	2,13	11,13
Plantación de teca, ganado y PSA	7454,24	20,04%	9942,29	2,25	7,83

Finalmente, al tener en cuenta únicamente el costo de la tierra neta útil para la plantación, los indicadores de rentabilidad se reducían considerablemente. Además de que no se trataba de una valoración real de las inversiones (Tabla 30).

**Tabla 30.** Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios si se contabiliza el valor de la tierra como valor neto de la superficie útil para la plantación.

Escenario	VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Plantación de teca tradicional	176,56	8,11%	235,50	1,01	17,14
Plantación de teca con ganado	845,08	8,52%	1127,14	1,06	17,10
Plantación de teca, ganado y PSA	1523,61	8,97%	2032,15	1,11	17,08

### 5.3.6. Comparación de incentivos forestales de PSA y créditos de carbono

La biomasa aérea total media por hectárea estimada en la finca fue de  $91,21 \pm 13$  t/ha, lo que equivale a  $45,61 \pm 6,5$  t/ha de Carbono y  $166,92 \pm 23,79$  t/ha de  $CO_2$  (Tabla 31). Al valorar económicamente los valores de  $CO_2$  de cada lote según diferentes precios para los bonos de carbono, se obtienen los beneficios en el MDVCCR (Tabla 21; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El monto de los incentivos forestales de PSA para el 2014 en la modalidad de reforestación es 939,71 \$/ha. Por tanto, para la plantación de teca de Abangares, precios de la tonelada de  $CO_2$  equivalente en el MDVCCR superiores a  $5,629\$/tCO_2$  hacen más rentable al MDVCCR frente a los PSA y viceversa.

**Tabla 31.** Estimación del carbono y  $CO_2$  almacenado medio y en cada lote de la finca Coyolito y valor en el mercado voluntario de carbono de la plantación según precios de la tonelada equivalente de  $CO_2$

Lote	Biomasa (t/ha)	Carbono *(t/ha)	$CO_2$ ** (t/ha)	Precio de la tonelada de $CO_2$ equivalente (\$)						
				1	2	3	4	5	6	7
Coyolito 1-A	89,57	44,79	163,92	163,92	327,84	491,76	655,68	819,59	983,51	1.147,43
Coyolito 1-B	104,15	52,08	190,6	190,6	381,21	571,81	762,41	953,01	1.143,62	1.334,22
Coyolito 1-C	95,24	47,62	174,28	174,28	348,56	522,84	697,12	871,4	1.045,68	1.219,96
Coyolito 1-D	98,39	49,19	180,05	180,05	360,11	540,16	720,21	900,27	1.080,32	1.260,37
Andropogón	89,57	44,79	163,92	163,92	327,84	491,76	655,68	819,59	983,51	1.147,43
Milpas	104,15	52,08	190,6	190,6	381,21	571,81	762,41	953,01	1.143,62	1.334,22
Catarata	95,24	47,62	174,28	174,28	348,56	522,84	697,12	871,4	1.045,68	1.219,96
Mango	98,39	49,19	180,05	180,05	360,11	540,16	720,21	900,27	1.080,32	1.260,37
P. Colorado	63	31,5	115,29	115,29	230,59	345,88	461,17	576,47	691,76	807,06
Brizantha	93,82	46,91	171,7	171,7	343,4	515,1	686,8	858,5	1030,2	1.201,9
Uno	67,51	33,75	123,54	123,54	247,08	370,61	494,15	617,69	741,23	864,76
Nimia	95,49	47,74	174,74	174,74	349,48	524,22	698,96	873,71	1.048,45	1.223,19
<b>Promedio</b>	91,21	45,61	166,92	166,92	333,83	500,75	667,66	834,58	1.001,49	1.168,41
<b>Desv. Est.</b>	13	6,5	23,79	23,79	47,58	71,36	95,15	118,94	142,73	166,51

Dónde: Desv. Est., Desviación estándar

\*El contenido en Carbono se obtuvo como el 50% de la biomasa siguiendo los criterios de Kollmann (1959).

\*\* El contenido de  $CO_2$  se obtuvo de multiplicar el carbono por el factor 3,67.

# MEMORIA

## 6. DISCUSIÓN

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica

Los datos observados, en Costa Rica, se compararon, mediante el cálculo del error relativo medio y la desviación estándar del error relativo, con los valores predichos por los modelos de Pérez *et* Kanninen (2003) en Costa Rica y los de Karmacharya *et* Singh (2006) en las zonas meridional y occidental de Tamil Nadu, en el sureste de la India. El error relativo del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) fue de -5,458%, el del modelo de Karmacharya *et* Singh (2006) para la zona occidental de Tamil Nadu fue del 125.448% y para la zona meridional fue del -414.453%. La desviación estándar del error relativo fue de 11,589 para el del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003), 15,490 para el modelo de Karmacharya *et* Singh (2006) en la zona occidental de Tamil Nadu y 14,277 para el modelo de Karmacharya *et* Singh (2006) en la zona meridional de Tamil Nadu

Estos resultados fortalecen las afirmaciones de Buvanewaran *et al.* (2006) de que los modelos de mejor ajuste desarrollados en una zona no pueden ser utilizados en otras y, se coincide también con Wang *et al.* (1995) en que los errores de estimación de biomasa se pueden reducir a un mínimo solamente empleando ecuaciones específicas del sitio. Esta precisión en la estimación de la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono tiene de enorme influencia en las posibles compensaciones financieras por mecanismos de financiación relacionados REDD+ y con los PSA (Picard *et al.*, 2012).

Los diámetros utilizado para el ajuste del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) tienen un valor mínimo de 9,5 cm, valor máximo de 58,7 cm y, promedio de 24,10, siendo el número de individuos con dbh superior a 40 cm de dos. Los ajustes del presente trabajo, se realizaron utilizando árboles con diámetros comprendidos entre 18,653 cm y 41,444 cm, con valor promedio de 24,641 cm. El valor de mayor diámetro tuvo una diferencia entre el valor observado y el predicho de |-128,392|. Esta falta de representatividad de individuos con diámetros superiores tanto de este estudio como en el de Pérez *et* Kanninen (2003) hace suponer que se están cometiendo errores predictivos para estimar los valores de biomasa para los individuos de mayores dbh.

Todos los valores observados en este estudio son explicados por el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) al estar incluidos en sus intervalos de confianza al 95%. Además, el procedimiento estadístico de comparación de líneas de regresión del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y el modelo ajustado en este estudio no mostró diferencias significativas entre el intercepto y la pendiente de ambos modelos al 95% de confianza. También, las predicciones de ambos modelos estaban altamente relacionadas (99,96%). Por estas razones, se puede afirmar que ambos modelos son estadísticamente iguales.

Finalmente, el modelo que se obtuvo con los datos conjuntos de Pérez *et* Kanninen (2003) y los observados en este estudio tuvo un coeficiente de determinación del 97,835%, muy similar al obtenido por Pérez *et* Kanninen (2003). Sin embargo, se obtuvo un AIC de -170,749, frente a AIC de -111, obtenido en el ajuste de Pérez *et* Kanninen (2003). De esta forma, se considera que se ha mejorado el estimador que ofrece el criterio de mejor ajuste (Yamaoka *et al.*, 1978). De todas formas, se hace necesaria la obtención de más datos,

sobretudo de las clases diamétricas superiores (> 30 cm) con objeto de construir modelos de regresión más ajustados que expliquen con mayor precisión el comportamiento de la biomasa de los individuos con mayor diámetro.

## 6.2. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.

La estimación directa del índice de sitio (en base a parcelas permanentes) más reciente, en Costa Rica, fue desarrollada, en base a una investigación de 20 años por Mora *et Meza* (2003); éstos se basaron en la ecuación de Schumacher (1939) con la modificación de Bailey y Clutter (1974), para crear una familia de curvas. Según las curvas propuestas por Mora *et Meza* (2003), con una altura dominante de  $18,55 \pm 0,15$  m a una edad de la plantación de 8 años, se obtiene un índice de 25 (altura dominante a la edad base de 16 años).

Conforme al índice de sitio y a la clasificación de las plantaciones de teca en Guanacaste de Vásquez *et Ugalde* (1996), el terreno se clasificó de productividad “media”, al encontrarse el índice de sitio entre los valores 18,09 y 21,7. Se coincide con el estudio de estos autores, al ubicarse la plantación en un sitio con precipitación superior a 2000 mm y suelos con más de 90 cm de profundidad, los cuales permiten mayor desarrollo de las raíces y, por tanto, mayor disponibilidad de nutrientes y agua.

Vallejos (1996) clasificó las plantaciones de teca en Costa Rica con criterios en función del IMA en dap, el IMA en área basal y el IMA en volumen. Según los valores que se obtuvieron de estos parámetros en el presente inventario ( $12 \pm 0,515$  cm/año,  $2,404 \pm 0,448$  m<sup>2</sup>/ha/año y  $15,239 \pm 2,247$  m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente) la finca se clasificó en una productividad “media”.

Otras clasificaciones como la de Montero (1999) para la productividad de las plantaciones de teca y pochote en Costa Rica, clasifica el sitio en función del área basimétrica media de la plantación. Esta variable fue de  $14,371 \pm 1,799$  m<sup>2</sup>/ha, por tanto, el sitio se incluyó en las clases de productividad “media” y “alta”. Esta valoración coincide a la que el propio autor realizó en otras plantaciones situadas en el cantón de Abangares.

La biomasa aérea de la plantación en peso seco fue  $87,807 \pm 12,654$  t/ha, y el Carbono almacenado en esa biomasa de  $45,61 \pm 6,5$  t/ha. Estos resultados están dentro de los rangos inferiores reportados por Pérez *et Kanninen* (2003), de la misma forma que las edades utilizadas para el estudio de estos autores lo estaban. Además, los resultados obtenidos en este trabajo son ligeramente superiores a los reportados por Jimenez *et Landeta* (2008) para plantaciones de teca de la misma edad (ocho años) en Ecuador, Brasil y Costa Rica, los cuales obtuvieron rangos de 17,16 y 41,00 t/ha de carbono en la biomasa aérea. Esto puede deberse a la elección de los sitios, la utilización del MFR y el manejo silvicultural.

En cuanto a la productividad de la plantación, parámetro que sirvió de base en el estudio financiero, según los once estudios revisados por De Camino *et Morales* (2013) los rendimientos totales por hectárea utilizados para proyectar la rentabilidad de la teca en América Latina variaron de 135 m<sup>3</sup>/ha a 450 m<sup>3</sup>/ha, con un promedio de 295 m<sup>3</sup>/ha. Esto refleja una producción comercial de 5,3-24,36 m<sup>3</sup>/ha (promedio de 13,04 m<sup>3</sup>/ha). Sin embargo, estos autores afirman que en la práctica, los rendimientos actuales de las

plantaciones de teca que han llegado a la corta final están más cerca de los mínimos (de 5-10 m<sup>3</sup>/ha) que de los máximos (25-30 m<sup>3</sup>/ha) (De Camino *et* Morales, 2013).

Los resultados obtenidos de producción media por año y por hectárea coinciden con Kollert *et* Cherubini (2012), según los cuales, en plantaciones de teca en América Latina es variable para rotaciones de 20 a 30 años; en Centroamérica lo estiman entre 5-30 m<sup>3</sup>/ha/año y en Suramérica entre 10-27 m<sup>3</sup>/ha/año. De la misma forma, los resultados medios obtenidos de incremento en volumen (14, 239 m<sup>3</sup>/ha\*año) se acercan a los máximos reportados por Picado (1997) para plantaciones jóvenes en Costa Rica de 10 a 15 m<sup>3</sup>/ha\*año. Sin embargo, Ugalde (2006), en su estudio realizado con teca en Panamá, encontró que entre los 5 y 10 años de edad existía una alta variabilidad del IMA en volumen y, no encontró niveles altos de correlación entre las edades menores y los volúmenes (valores máximos de 34 m<sup>3</sup>/ha/año, mínimo de 2 m<sup>3</sup>/ha/año con media de 19 m<sup>3</sup>/ha/año).

### 6.3. Análisis financiero de las plantaciones

En la elaboración de los análisis se incluyó el precio de la tierra actualizado (que incluye caminos, corrales e infraestructura), reportado por el dueño de la finca, para tener una valoración completa de todos los costos e inversiones. Sin embargo, de la superficie de la finca, únicamente el 68,23% se dedica a plantación y, 31,09% a protección. Se decidió realizar el análisis con el este valor de la tierra para tener un valor realista de los terrenos en venta, los cuales incluyen un porcentaje de protección y, puesto que, sobre todo para los escenarios en los que se incluye el ganado, la superficie dedicada a protección, tiene unas externalidades muy útiles como sombra, cobijo y agua que permiten la producción ganadera. No obstante, en el estudio de sensibilidad se realizó un análisis obviando el precio de la tierra y otro incluyendo una ponderación de este valor para obtener el precio de la superficie neta de plantación.

Ha de tenerse en cuenta también, que los costos de administración son muy variables en función de la superficie de terreno a administrar, el número de fincas y las capacidades del administrador. En este caso, el administrador posee varias fincas de teca y es una persona con elevadas capacidades de gestión, además de poseer un título de doctorado en economía agroforestal. Por tanto, los costos de administración aplicados en el análisis, aunque reales, son relativamente reducidos frente a los que podrían encontrarse en otro tipo de plantaciones.

Los resultados del análisis mostraron que, con tasas de descuento del 8%, el VAN fue de 709,88 \$/ha en el escenario de “plantación tradicional de teca”, 1.378,40 \$/ha en el escenario de “plantación de teca con ganado” y 2.056,93 \$/ha en el escenario de “plantación de teca con ganado y PSA”. Estos valores coinciden con los de Sage *et al.* (2013) según el cual, con tasas de descuento de 6-10%, el VAN ronda entre \$602 ha<sup>-1</sup> y \$8556 ha<sup>-1</sup> para plantaciones de teca en Panamá, Brasil, Colombia, México, Ecuador, Bolivia y Costa Rica.

En los tres escenarios, el valor actualizado neto de la actividad productiva de la teca es mayor que cero, lo que indica que la actividad es rentable bajo las condiciones del estudio. Sin embargo, este valor es el doble si a la plantación de teca tradicional se complementa con ganado y casi el triple si además se reciben incentivos financieros. De esta forma se

comprueba la notable mejora de la rentabilidad de los proyectos al diversificar sus actividades. Además, se coincide con Cubbage *et al.* (2007), en que los subsidios de los gobiernos ayudan en forma mínima, pero incremental, a mejorar la rentabilidad de las actividades de plantaciones forestales. Esta ayuda viene en los primeros años de la plantación, en los cuales los costos son mayores ayudando a aliviar las inversiones de los primeros años.

La TIR fue del 8,57% en el escenario 1, del 9,11% en el escenario 2 y del 9,73% en el escenario 3. Estos valores reflejan la tasa de interés en el que el VAN es igual a cero, es decir, la tasa de interés en que los costos descontados e ingresos descontados son iguales. Al comparar estos valores con el costo de oportunidad del capital o tasa de interés (8%) los proyectos son rentables pues su valor es mayor a dicha tasa. Estos valores son ligeramente inferiores a los reportados por Sage *et al.* (2013) según el cual la TIR varía entre 10% y 18,8%. Esto se debe a la inclusión del precio de la tierra en el año 0 como un coste, al incluirla en el último año como un activo, la TIR aumenta a 9,53%, 10,02% y 10,63% para los tres escenarios respectivamente, y al no incluir el coste de la tierra en el análisis, la TIR es de 16,64%, 17,70% y 20,04% respectivamente.

El VET, indicador financiero que considera rotaciones sucesivas y permite comparar los proyectos con una actividad alternativa, fue de 8.145,63 \$/ha, 9.037,28 \$/ha y 9.942,29\$/ha para los tres escenarios respectivamente. Estos valores son superiores al precio de la tierra actual (precio actualizado reportado por el propietario) de 5.397,31\$/ha por lo que los tres proyectos se consideran rentables siendo más atractivo el escenario 3 de FIS. Estos valores son inferiores a los VET máximos reportados por Corella (2009) en plantaciones de teca de la Zona Norte y Atlántico de Costa Rica de 10.465.555 ¢/ha (19.872\$/ha), según el cual, en base a este indicador financiero clasificó las plantaciones de teca como proyectos “altamente rentables”, Estos resultados del VET son superiores a los valores de Herrera (2001) para plantaciones de teca la zona oeste del canal de Panamá, el cual obtuvo un VET de 2.350.386 \$/ha.

Los otros indicadores financieros analizados (B/C y PIR) también muestran la rentabilidad de los tres proyectos, otorgando mayor rentabilidad al escenario 3, seguido del 2 y por último el 1. La relación B/C es superior a 1 para los tres escenarios y el PIR se reduce de 17 a 12 años en el escenario 3 respecto a los otros dos. Según De Camino et Morales (2013), este adelanto temporal en la recuperación de la inversión es crucial para animar a los pequeños inversionistas en los proyectos.

El análisis de sensibilidad muestra que el determinante que mayor influencia ejerce en el estudio financiero es el precio de la madera o el crecimiento de la plantación, frente a otros como el precio de la tierra, el precio del ganado o el costo de la mano de obra. Entre escenarios, la variación relativa de los indicadores financieros al variar los determinantes de costos e ingresos es menor en el escenario 3 frente al 2 y éste que el 1. Por ejemplo, al variar el precio de la madera en un 5%, el VAN varía en un 180,94% en el escenario 1, un 141,69 % en el escenario 2 y un 127,93% en el escenario 3. Esto muestra la disminución del riesgo por la diversificación de actividades del escenario 3 al modificarse los determinantes que no son controlables por el administrador, como la variación de precios en el mercado o la producción de la plantación por las condiciones meteorológicas.

La comparación de los beneficios obtenidos con los incentivos forestales de PSA con los del Mercado Doméstico Voluntario de Carbono en Costa Rica (MDVCCR) mostró que, con precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente en el MDVCCR superiores a 5,629\$, es más rentable el MDVCCR frente a los PSA y viceversa. Si comprobamos el precio de los bonos de carbono de los principales mercados, con los precios actuales de los bonos de carbono, es más rentable inscribirse en PSA que en el mercado voluntario de carbono del Verified Carbon Standard (VCS) y del Climate Reserve Tonnes (CRT), cuyos precios varían entre 0,60 \$/t CO<sub>2eq</sub> y 4 \$/t CO<sub>2eq</sub>. Para el mercado del Gold Standard, cuyos valores varían entre 5,36 \$/t CO<sub>2eq</sub> y 6,31 \$/t CO<sub>2eq</sub> (Peters-Stanley *et* González, 2014) habría que comprobar el precio del momento, pues se encuentra en el límite, aunque sería más conservador inscribirse en PSA, pues es un valor seguro y sin riesgo. Según los precios del crédito de carbono reportados por Peters-Stanley *et* Hamilton (2012) para América Latina en los años 2010 y 2011 de 5 \$/t CO<sub>2eq</sub> y de 11 \$/t CO<sub>2eq</sub> respectivamente, sería más rentable participar en el mercado voluntario de carbono que en los PSA.

En definitiva, los tres escenarios para la plantación de teca son rentables. Sin embargo, se ha comprobado como mejora el flujo de caja de cada periodo, la rentabilidad total y disminuye el riesgo de las inversiones en las plantaciones de teca a medida que se van enriqueciendo con otros elementos como ganado y PSA o MDVCCR (en función del precio del certificado de carbono). Es decir, se ha comprobado que las plantaciones multifuncionales en FIS son más atractivas para los pequeños inversionistas que las plantaciones tradicionales.

# MEMORIA

## 7. CONCLUSIONES



## 7. CONCLUSIONES

### 7.1. Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica

- El modelo de tipo logarítmico explica de forma adecuada el comportamiento de la biomasa aérea total de teca en función del diámetro en Costa Rica.
- El ajuste realizado por Pérez *et* Kanninen (2003) también explica de buena forma la biomasa de todos los individuos medidos en la finca Abangari, al encontrarse sus valores dentro de los límites de confianza al 95% del modelo.
- La precisión del modelo se evaluó mediante el error relativo con valores máximos de  $|-25.996|$ , mínimos del  $-0.180|$ . El error relativo medio fue de  $-5,46\%$ .
- La desviación estándar del error relativo, que evalúa los sesgos totales y representa el poder predictivo global de la regresión (Chave *et al.*, 2005 y Álvarez *et al.*, 2012) fue del  $11,589\%$ .
- Los errores de estimación de biomasa se pueden reducir a un mínimo solamente empleando ecuaciones específicas del sitio.
- El procedimiento estadístico de comparación de los modelos de Pérez *et* Kanninen (2003) y el ajustado en este estudio no mostraron diferencias entre intercepto y pendiente de ambos, por tanto, los modelos son estadísticamente iguales al 95% de confianza. Además, el ajuste de regresión de los valores predichos por el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores predichos por el modelo ajustado con los datos observados obtuvo una correlación de  $99,89\%$ . De esta forma se aprueba la validación del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003).
- En modelo ajustado con los datos observados por Pérez *et* Kanninen (2003) y los datos observados en este estudio mejoró el AIC obtenido en el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) de  $-111$  hasta  $-170,749$ .
- Se hace necesaria la obtención de más datos, sobretodo de las clases diamétricas superiores ( $> 30$  cm) con objeto de construir modelos de regresión más ajustados.

### 7.2. Inventario continuo en las PPM ubicadas en la finca Coyolito.

- El índice de sitio obtenido con la familia de curvas de Mora *et* Meza (2003) para la plantación de teca en “Coyolito” fue de 25. Este valor representa la altura dominante a una edad base de 16 años.
- Según distintas clasificaciones para las plantaciones de teca en Guanacaste, la finca “Coyolito” se sitúa en un sitio con productividad “media” para la teca.
- Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diámetros de “Coyolito I”, que fue superior frente a “Coyolito II”. De esto se deduce que, como la

mayoría de los parámetros obtenidos en los resultados dependen de esta variable, la productividad también es mayor en “Coyolito I”.

- A nivel lote, en la finca “Coyolito I”, los lotes “Coyolito 1-B” y “Coyolito 1-C” fueron estadísticamente superiores al 95% de confianza frente a “Coyolito 1-A” y “Coyolito 1-D”.
- En “Coyolito II”, el lote “Uno” presentó una productividad superior al resto, seguido los lotes “Milpas” y “Mango” que formaron un grupo homogéneo. El siguiente grupo estuvo formado por los lotes “Brizantha” y “Nimia”, seguido del lote “Portón Colorado”, a continuación “Catarata” y por último el lote “Andropogón”.
- Según los resultados que se obtuvieron, en la finca “Coyolito I”, con una superficie plantada de 37.85 ha, existen un total de 17.779 pies, los cuales tienen un volumen total de 4181,56 m<sup>3</sup>, un volumen comercial de 2971,60 m<sup>3</sup> y una biomasa de 3.665,323 toneladas, lo que equivaldría aproximadamente a 1.832,661t de Carbono almacenado.
- En la finca “Coyolito II”, con una superficie neta plantada de 172.16 ha, existen un total de 84.198,29 pies, con un volumen total de 16.658,20 m<sup>3</sup>, de los que 11.496,84 m<sup>3</sup> son volumen comercial. Además el valor total de la biomasa aérea estimada es de 14339,471 t, lo que equivaldría aproximadamente a 71.6973,576 t de Carbono almacenado.
- El Incremento Medio Anual (IMA) medio en volumen comercial a 8 cm en punta delgada que sirvió de base en el análisis financiero fue de  $9,0 \pm 1,99$  m<sup>3</sup>/ha/año. Sin embargo, como el aprovechamiento en la plantación se realizaba con fustes a 7 cm en punta delgada se decidió multiplicar este valor por el factor de corrección 0,9, quedando un valor de cálculo en el análisis financiero de 8,1 m<sup>3</sup>/ha/año de IMA en volumen comercial.

### 7.3. Análisis financiero de las plantaciones

- Las plantaciones de teca tradicionales son rentables ( $VAN > 0$ ,  $PIR > i$ ,  $B/C > 1$ ,  $VET > \text{precio de la tierra}$ ), sin embargo, presentan inconvenientes como la gran inversión inicial y largos periodos de espera para la recuperación de la inversión, la cual se logra en el último año del proyecto ( $PIR=17$ ).
- La complementación del sistema forestal de teca con ganado y PSA ofrece una mejora de los indicadores financieros de 1374,05\$/ha del VAN, 1,16 puntos porcentuales en el valor de la TIR, 1796,66\$/ha del VET, 0,11 puntos en la relación B/C y 5,17 años el PIR. Esta mejora en la rentabilidad se debe a:
  - Se generan ingresos económicos adicionales de 253,67\$/ha durante los años 3, 4 y 5 y de 138,37\$/ha entre los años 6 y 17 por la venta de ganado engordado. Además, se generan ingresos netos de 339,68 en el año 1, 147,32 en el año 2, 115,26 en el año 3, 83,2 en el año 4 y 51,14 en el año 5 por los incentivos forestales en forma de PSA en la modalidad de reforestación y protección. Aunque la representatividad de los ingresos por PSA es baja (2,34% de los ingresos netos totales al final del ciclo de rotación) estos se perciben en los primeros años de la inversión y ayudan a moderar la inversión inicial.

---

CONCLUSIONES

- Se reducen los costos anuales de mantenimiento al eliminar una limpia anual de 99,31\$/ha para los años 3 a 5 y de 45,14\$/ha para los años posteriores por la presencia del ganado en la plantación.
- Los costos fijos de producción del subsistema ganadero (renta de la tierra, administración, mantenimiento como control de malezas y fertilización y mano de obra) son muy bajos, se aplican una sola vez, tienen efectos sobre los dos subsistemas y se cargan a la reforestación.
- La diversificación de las actividades en la plantación de teca también reduce el riesgo por la variación de los determinantes de costos e ingresos como por ejemplo la variación del precio de la madera en el mercado o la reducción de la producción maderera en la plantación.
- En el caso de esta plantación forestal, cuando el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente en el mercado de bonos de carbono es superior a 5,629\$ es más rentable inscribirse en el mercado de bonos de carbono frente a los incentivos financieros por PSA.

# MEMORIA

## 8. RECOMENDACIONES

## 8. RECOMENDACIONES

A continuación se enumeran una serie de propuestas que pueden ayudar a mejorar el manejo integral y la rentabilidad de las fincas manejadas mediante FIS de plantaciones de teca con ganado.

1. Incluir herbáceas leguminosas en el pasto para aumentar el contenido de n en el suelo
2. En los primeros años, utilizar el pasto para hacer heno (operaciones de corte, acarreo y picado de pasto) e ingresar el ganado después. Además, de forma simultánea a esta operación, se recomienda realizar muestreos de la disponibilidad de forraje para el animal tanto en calidad como en cantidad y palatabilidad de las especies (tanto en la composición botánica como la producción de materia seca). Esto permitirá ajustar de una forma más precisa la carga ganadera en cada momento de la plantación.
3. Ingresar los animales cuando las ramas superiores estén por encima de la altura del ramoneo.
4. En las primeras etapas de la plantación, efectuar el pastoreo con ovinos. En el momento en que las ramas superen la altura del ramoneo ingresar los bóvidos.
5. Evitar los daños físicos en los árboles mediante el conocimiento del comportamiento animal. Por ejemplo, no mezclar vacas y toros y evitar en la medida de lo posible, sobre todo en los primeros años, el pastoreo de cabras, las cuales son eminentemente ramoneadoras.
6. Asegurarse que existe un balance adecuado entre la oferta de pasto y la capacidad de consumo del ganado. Por ejemplo, se puede aumentar ligeramente la carga animal en los años posteriores a los raleos por la apertura de claros que aumentan la luz que llega al suelo y por tanto la productividad del pasto.

# MEMORIA

## 9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

## 9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Alder, 1980:** Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2: predicción del rendimiento. Estudio FAO: Montes 22/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 80 pp. Roma.. [Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/ap354s/ap354s00.pdf>].
- Alvarez E., Duque A., Saldarriaga J., Cabrera K., de las Salas G., del Valle I., Lema A., Moreno F., Orrego S. et Rodríguez L., 2012:** Tree above-ground biomass allometrics for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. *Forest Ecology and Management* 267 (2012). Pág. 297–308. Consultado.: [Disponible en: <http://ctfs.arnarb.harvard.edu/Public/pdfs/ToDelete/Alvarez%20et%20al%202012.pdf>].
- Anantha Padmanabha H.S, 2006:** Informe internacional de la teca. Ecoforest 22 marzo 2011. Product disclosure statement. Rewards group teak project 2006 arsn 119363727 “International teak market report”. [Disponible en: [http://www.ecobosques.com/espanol/img\\_eco\\_web/Informe\\_Internacional\\_sobre\\_la\\_Teca.pdf](http://www.ecobosques.com/espanol/img_eco_web/Informe_Internacional_sobre_la_Teca.pdf)].
- Appuhamy, K.A.N.A., Samarappule, L. et Karunaratne, S.B., 2009:** Variation in Growth, Biomass and Carbon Accumulation among Rubber (*Hevea brasiliensis*), Teak (*Tectona grandis*) and Mahogany (*Swietenia macrophylla*). *Proceedings of 9th Agricultural Research Symposium*: 218223.
- Arias Aguilar D., 2004:** Validación del Índice de Densidad del Rodal para el manejo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* L.f. en el trópico. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 1(1), 2004. [Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123306.pdf>].
- Armenteras D. et Rodríguez Eraso N., 2014:** Forest deforestation dynamics and drivers in Latin America: a review since 1990. *Colombia Forestal*, Vol. 17, nº2. Pág. 233-246. Bogotá. Colombia. [Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392014000200008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392014000200008&script=sci_arttext)].
- Asoning, G., 2006:** Carbon estimation of teak (*Tectona grandis*) and socio-economic impact of reforestation on some Ghanaian rural communities. Kumasi, Ghana.
- Bailey, R. L., et Clutter J. L., 1974:** Base-age invariant polymorphic site curves. *For. Sci.* 20: 155-159.
- Barrantes Rodríguez A. et Ugalde Alfaro S., 2014:** Usos y aportes de la Madera en Costa Rica. Estadísticas 2013. Oficina Nacional Forestal (ONF) y Costa Rica Forestal. 31p. San José, Costa Rica. [Disponible en: [http://onfcr.org/media/uploads/documents/uyam\\_onf\\_2014\\_3\\_af\\_ultimo.pdf](http://onfcr.org/media/uploads/documents/uyam_onf_2014_3_af_ultimo.pdf)].

- Bhat K. M. et Hwan Ok Ma, 2004:** Productores de teca, uniros. Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT). Actualidad Forestal tropical 12/1. Pág. 1-5. [Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itto.int%2Fdirect%2Ftopics%2Ftopics\\_pdf\\_download%2Ftopics\\_id%3D6670000%26no%3D3&ei=6IDiVKDLNfWJsQSKhYKYDQ&usg=AFQjCNHm5WEIUJ71Y5stXivSTMGUus4IdQ&sig2=GAdbV6st0i8o8zqVBA6g1Q&bvm=bv.85970519,d.cWc](https://www.google.com/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itto.int%2Fdirect%2Ftopics%2Ftopics_pdf_download%2Ftopics_id%3D6670000%26no%3D3&ei=6IDiVKDLNfWJsQSKhYKYDQ&usg=AFQjCNHm5WEIUJ71Y5stXivSTMGUus4IdQ&sig2=GAdbV6st0i8o8zqVBA6g1Q&bvm=bv.85970519,d.cWc)].
- Buvaneswaran C., George M., Perez D. et Kanninen M., 2006:** Biomass of teak plantations in Tamil Nadu, India and Costa Rica Compared. Journal of Tropical Forest Science 18(3): 195-197. [Disponible en: [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/articles/akanninen0601.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/akanninen0601.pdf)].
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) et Bosques y Manejo Forestal en América Central (Finnfor), 2011:** Costa Rica sede de Conferencia Mundial de Teca. [Disponible en: [http://finnfor.catie.ac.cr/categories/categoria\\_1329167755](http://finnfor.catie.ac.cr/categories/categoria_1329167755)].
- Céspedes Duque D. A et Morales Tobar E., 2013:** Estudio de factibilidad para el cultivo y comercialización de teca, ubicado en el cantón San Vicente, provincia de Manabí, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ambato. Proyectos de inversión y emprendimiento de negocios. Ambato, Ecuador. [Disponible en: <http://repositorio.pucesa.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/600/1/80162.pdf>].
- Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Folster H., Fromard F., Higuchi N., Kira T., Lescure J.P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riéra B. et Yamakura T., 2005.** Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145, 87–99. [Disponible en: <http://chave.ups-tlse.fr/chave/chave-oecologia05.pdf>].
- Conferencia Mundial de Teca, 2011:** Teca, Ficha técnica. Bosques plantados de teca: Un recurso forestal emergente a nivel global. 31Oct- 2Nov 2011. San José, Costa Rica. [Disponible en: <http://finnfor.catie.ac.cr/admin/documents/86>].
- Consejo Internacional para la Investigación en la Agroforestería (ICRAF.), 1982:** Agroforestry Systems, an International Journal. Agroforestry Systems. Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk Publishers, La Haya, Holanda, N° 1, p. 11-12.
- Corella Rodriguez O., 2009:** Valoración de la base forestal de las plantaciones forestales y su contribución al abastecimiento de madera en la zona del Atlántico Norte de Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- De Camino R et Detlefsen, G., 2008:** Costa Rica y el abastecimiento sostenible de madera: necesidad de acciones decididas. In OET, CATIE, CRUSA (Eds.). El abastecimiento sostenible de madera en Costa Rica. San José, Costa Rica. 120 p. [Disponible en: [http://onfcr.org/media/uploads/cyclope\\_old/adjuntos/AbastecimientoSostenible\\_Madera\\_CRnu34231.pdf](http://onfcr.org/media/uploads/cyclope_old/adjuntos/AbastecimientoSostenible_Madera_CRnu34231.pdf)].



- De Camino R. et Morales J.P., 2013:** Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades. CATIE. Serie técnica. Informe técnico n° 397. Turrialba, Costa Rica. [Disponible en: [http://biblioteca.catie.ac.cr/descargas/Teca\\_Mitos\\_y\\_Realidades.pdf](http://biblioteca.catie.ac.cr/descargas/Teca_Mitos_y_Realidades.pdf)].
- De Camino R., Morales J.P., Ordoñez Y., Vinicio M. et Villalobos R., 2013:** Forestería de Ingreso Sostenible para valorar los bosques y las tierras de vocación forestal. Tercer Congreso Latinoamericano IUFROLAT. San José. Costa Rica.
- Dengo G. 1975:** Paleozoic and Mesozoic tectonic belts in Mexico and Central America. In: Nairn A.E.M. & Stehli F.G. (eds) The Ocean Basins and Margins, 3. The Gulf of Mexico and the Caribbean. New York, Plenum Press, p. 283-323. Disponible en: [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4684-8535-6\\_8](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4684-8535-6_8)
- Ecobosques, 2011:** Actúa en local para cambiar lo global. News33. Noviembre 2011. Alicante, España. [Disponible en <http://www.ecobosques.com/pcontrol/noticias/uploads/News33A4.pdf>].
- Ecobosques, n.d:** la teca como sumidero de co2. [Disponible en: <http://www.ecobosques.com/Pdfs/Estudiocaptacion.pdf>].
- Escobar C. O., Rodríguez J. R. et Correa J. A., 1993:** Fichas técnicas de las maderas en Colombia: Teca. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (Unalmed). Facultad de ciencias agropecuarias, Departamento de ciencias forestales, Laboratorio de productos forestales. Medellín Colombia. [Disponible en: <http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/PDF/Teca.pdf>].
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2000:** Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000, Evaluación de los productos forestales no madereros en América Central. FAO Departamento de montes. Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Documento de Trabajo 22. Roma, Italia.. [Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/ae159s/AE159S00.pdf>].
- FAO, 2014:** State of the World's Forests. Chapter 2. Rome. Italy. [Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3710e.pdf>].
- Fonseca González W., 2004:** Manual para la producción de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. Heredia. Costa Rica. [Disponible en: [http://www.fonafifo.com/text\\_files/proyectos/ManualProductoresTeca.pdf](http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualProductoresTeca.pdf)].
- Gayoso J., 2013:** Funciones alométricas para la determinación de existencias de carbono forestal para la especie Araucaria araucana (Molina) K. Koch (ARAUCARIA). Unidad de Cambio Climático. Gerencia Forestal. Corporación Nacional Forestal. Chile. [Disponible en: [http://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1381956442Informearaucaria.pdf](http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1381956442Informearaucaria.pdf)].
- Gómez Pignataro L. D., 1986:** Vegetación de Costa Rica, apuntes para una biogeografía costarricense, Vol. I. Universidad Estatal a Distancia. 362 p., San José. Costa Rica.

- González Martínez A. J., Rojas Hernández J., Jiménez Gómez R. M. et Chavarría-Ñamendi F.J., 2014:** Evaluación del crecimiento, potencial de secuestro y fijación de carbono de dos especies forestales en el Sistema Agroforestal Taungya en Rivas, Nicaragua. Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica) Volumen 11, n°26, Enero, 2014 ISSN: 2215-2504. Pág. 12-18. [Disponible en: <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/download/1590/1487>].
- Hase, H. et Foelster, H. 1983:** Impact of Plantation Forestry with Teak (*Tectona grandis*) on the Nutrient Status of Young Alluvial Soils in West Venezuela. Forest Ecology and Management,(6): 33-57.
- Herrera Duran J.L., 2001:** Análisis de crecimiento de procedencias y rentabilidad financiera de *Tectona grandis* L.f. en la zona oeste del Canal de Panamá. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica., 81 p. [Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A0368E/A0368E.PDF>].
- Herrera M., 2003:** El Sector Reforestador de Costa Rica, un modelo de Desarrollo Sostenible. Cámara costarricense Forestal. San Jose, Costa Rica. 19p.
- Holdridge, L. R., 1947:** Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data. Science Vol 105 No. 2727: 367-368. [Disponible en: <http://xa.yimg.com/kq/groups/23048707/1339761678/name/1Artigo+Holdridge,+1947+-+Determination+of+World+Plant+Formations.pdf>].
- Imaña E. J. et Encinas B.O., 2008:** Epidometría forestal. Universidad de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal. Universidad de Los Andes, Facultad de ciencias Forestales. ISBN: 9788587599315.72p. Merida, Venezuela. [Disponible en: [http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO\\_EpidometriaForestal.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9740/1/LIVRO_EpidometriaForestal.pdf)]
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2009: Regionalización climática de Costa Rica. Publicaciones. Estudios varios.** San José, Costa Rica. Centroamérica. [Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/educacion/clima%20de%20costa%20rica.html>].
- Intergovernmental panel on Climate Change (IPCC), 2007:** Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). [Disponible en: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.htm#1](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm#1)].
- International Tropical Timber Organization (ITTO), 2006:** Report on the Market Study on Tropical Plantation Timber Products. CEMCFI(XXXIX)/6. Prepared for ITTO by STCP Engenharia de Projetos, Ltda.
- ITTO, 2010:** Teak as potential plantation species. ITTO Tropical Timber Market Report.
- Jimenez et Landeta ,2008:** Producción de biomasa y fijación de carbono en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.F.). Campus Prosperina. ESPOL. [Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5131/1/8507.pdf>].

- Karmacharya S. B. et Singh K. P., 1992:** Biomass and net production of teak plantations in a dry tropical region in India. *Forest Ecology and Management* 55: 233–247. [Disponible en: [http://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/articles/akanninen0601.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/akanninen0601.pdf)].
- Keogh RM., 2009:** The future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: solving the tropical hardwood crisis with emphasis on teak (*Tectona grandis* Linn f.). Rome, Italy, FAO-Forestry Department. Working Paper FP/44E FAO. [Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/k6549e/k6549e00.pdf>].
- Keogh R. M., 2010:** Visión Global-teca. *In Memoria; Primera Reunión Latinoamericana de productores de teca*. San José, Costa Rica.
- Kollert, W. et Cherubini, L., 2012:** Teak resources and market assessment 2010 (*Tectona grandis*). Rome, Italy, FAO. 42 p. (Planted Forests and Trees Working Paper Series. Working Paper FP/47/E). [Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/015/an537e/an537e00.pdf>].
- López Benítez F., 2014:** Herramientas básicas para la evaluación del árbol en las prácticas agroforestales. Tema 2, días 1 y 2. CATIE, Paraguay Biodiversidad, ITAPU. Acuerdo de donación n° TF096758-PY. Mejorando la conservación de la biodiversidad y el manejo sustentable de la Tierra en el Bosque Atlántico del Paraguay Oriental- Paraguay Biodiversidad. [Disponible en: [http://www.paraguaybio.com.py/informes/Cursos%20de%20Sistemas%20Agroforestales/7\\_Dasometria\\_1parte.pdf](http://www.paraguaybio.com.py/informes/Cursos%20de%20Sistemas%20Agroforestales/7_Dasometria_1parte.pdf) y [http://www.paraguaybio.com.py/informes/Cursos%20de%20Sistemas%20Agroforestales/1\\_Dasometria\\_2parte.pdf](http://www.paraguaybio.com.py/informes/Cursos%20de%20Sistemas%20Agroforestales/1_Dasometria_2parte.pdf)].
- López Peña C., 2008:** Dasometría tema 22, epidometría. Ingeniería agroforestal. OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid. [Disponible en: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/dasometria/contenidos-ocw-2008/EPIDOMETRIA/tema-22-ocw.pdf>].
- Manso P., Stolz W. et Fallas J.C., 2005:** El régimen de la precipitación en Costa Rica. *AmbienTico*, septiembre P. 7-8. Consultado. [Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/EI%20regimen.pdf>].
- Matarrita Díaz L., 2004:** Prevalencia de roya de la teca *Olivea tectonae* (Rac.), en Costa Rica C.A. Tesina para Grado de Maestría Tecnológica del Colegio de postgraduados Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Instituto de Fitosanidad. Maestría tecnológica en Medidas Sanitarias y Fitosanitarias. Montecillo, Texcoco, México. [Disponible en: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/CostaRicaMatarrita.pdf>].
- Meza Ocampo T., 1994:** Aspectos introductorios a la geografía de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Sociales, Escuela de Historia y Geografía, Cátedra Historia de las Instituciones de Costa Rica. 40 pág.

- Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), 2008:** Diagnostico V planta nacional de energía 2008-2021. Publicaciones de la Dirección Sectorial de Energía. San Jose, Costa Rica. [Disponible en: <http://www.dse.go.cr/es/03publicaciones/01PoliticaEnerg/VDiagnosticoPlanNacionalEnergia.pdf>].
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) et Oficina Técnica de Cooperación de España en Costa Rica (AECID), 2015:** Marco de asociación país Costa Rica 2011-2015. ISBN 978-9977-73-067-7. San José. [Disponible en: <http://aecid.cr/pdf/MAP-CR.pdf>].
- MIDEPLAN, 2013:** Costa Rica, Índice de Desarrollo Social 2013. ISBN 978-9977-73-075-2. San José. [Disponible en: <http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/8919cc42-afa2-4283-ab37-837547406763/IDS%202013.pdf>].
- Montero Mata M., 1999:** Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. [Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A0264E/A0264E.PDF>].
- Mora F. et Meza V.H., 2003.** Curvas de índice de sitio para Teca (*Tectona grandis* Linn.) en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica. In Memoria del “Seminario y grupo de discusión virtual sobre teca, 26-27 y 28 de noviembre de 2003”. Heredia, CR, Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales. 26 p. ISBN 9968- 9996- 3-6. 1.
- Muhammad I., 2015:** Pastoreo en plantaciones de maderables o frutales. Curso sistemas silvopastoriles. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Nair, P. K., 1989:** Agroforestry defined. Agroforestry systems in the tropics, 13.
- Nair, P. K., 1993:** An introduction to Agroforestry. USA: Kluwer Academic Publishers.
- Negi, M.S., Tandon, V.N. et Rawat, H.S. 1995:** Biomass and nutrient distribution in young Teak (*Tectona grandis* linn.F) plantations in Tarai region of Uttar Pradesh. Indian Forester, 121(6): 455464.
- Ola Adams B.A., 1993:** Effects of spacing on biomass distribution and nutrient content of *Tectona grandis* Linn. f. (teak) and *Terminalia superba* Engl. & Diels (afara) in south-western Nigeria. Forest Ecology and Management 58: 299-319.
- Orozco L, et Brumer C., 2002:** Inventarios Forestales para bosques latifoliados en América Central. Serie técnica. Manual técnico. CATIE nº 50. 264p. ISBN 9977573840. Turrialba, Costa Rica.
- Paniagua Vega R. et Salazar Chaves G., 2011:** Precios de la madera en Costa Rica y tendencias de las principales especies comercializadas. San José, Costa Rica, Oficina Nacional Forestal. 13 p. [Disponible en:

[http://onfcr.org/media/uploads/cyclope\\_old/adjuntos/PreciosdelamaderaenCostaRica2011ca53280.pdf](http://onfcr.org/media/uploads/cyclope_old/adjuntos/PreciosdelamaderaenCostaRica2011ca53280.pdf)].

**Perez Cordero L. D. et Kanninen M. 2003:** Aboveground Biomass of *Tectona grandis* Plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, (15): 199-213. . [Disponible en: [http://www.ambientetierra.com/pdf\\_docs/AbovegroundBiomassOnTeak\\_Perez-Kanninen.pdf](http://www.ambientetierra.com/pdf_docs/AbovegroundBiomassOnTeak_Perez-Kanninen.pdf)].

**Pérez S., Cruz D. et Quiroz, L., 2012:** Análisis de sensibilidad de indicadores financieros en la evaluación de las inversiones en pymes. VI Encuentro de Investigación en Ciencias Económico Administrativas. ISBN CD 978-607-482-279-3. Consultado: [Disponible en: [http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5508/analisis\\_de\\_sensibilidad.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5508/analisis_de_sensibilidad.pdf)].

**Peters-Stanley M. et Gonzalez G., 2014:** Sharing the stage, state of the voluntary Carbon Markets 2014, executive summary. *Forest Trends' Ecosystem Marketplace*. [Disponible en: [http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_4501.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_4501.pdf)].

**Peters-Stanley M. et Hamilton K., 2012:** Dimensión en desarrollo, estado del mercado voluntario de carbono 2012, resumen ejecutivo. *Ecosystem Marketplace y Bloomberg New Energy Finance*. [Disponible en: [http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_3187.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_3187.pdf)].

**Picard N., Saint-André L. et Henry M., 2012:** Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Rome, Montpellier, 223 págs. [Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/i3058s/i3058s.pdf>].

**Pita A., 1973:** El inventario en la ordenación de montes. Ministerio de Agricultura - INIA. Madrid.

**Programa Estado de la Nación (PEN), 2014:** Informe XX estado de la nación. Capítulo 4. [Disponible en: <http://www.estadonacion.or.cr/20/assets/cap-4-estado-nacion-20-2014-baja.pdf>].

**Quesada Monge R., 2007:** Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Exploraciones fuera y dentro del aula. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. [Disponible en: <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/RupertoQuesada.pdf>].

**Ramírez Zae C. et Kleinn C., 2001:** Inventario Forestal Global – GFS. Estudio Piloto en Costa Rica, Manual de Campo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica, FAO, Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE), Costa Rica. 36 p. [Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fao.org%2FForestry%2Fdo>



[wnload%2F15545-0388865e6fb22f1d7d010789690304ac3.pdf&ei=nGb2VJLgIavmsASkv4CwCQ&usg=AFOjCNFbmIRPQQTWR42AXw-0DRxaZJxZg&sig2=2KsuVW5JB4j6hMaqAtAeMA](http://www.secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16262)].

**Rodríguez, F. et Cols, 2005:** El papel del Chopo como Sumidero de CO<sub>2</sub> Atmosférico. Dpto. Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure 191. 25198 Lleida. [Disponible en: [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos\\_forestales/article/view/16262](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16262)].

**Ruiz-Peinado R., del Rio M. et Montero G., 2011:** New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Forest Systems 2011 20(1), 176-188. Madrid. Spain. [Disponible en: <http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/1880/1487>].

**Sage Mora L. F., 2014:** Determinación de la edad óptima de cosecha para los pequeños productores de Hojancha. CATIE

**Sage Mora L. F. et Quiros Herrera R., 2001:** Proyección del volumen de madera para aserrío proveniente de las plantaciones de melina y teca y de otras fuentes. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Proyecto TCP/COS/006(A). San José, Costa Rica. [Disponible en: [http://biblioteca.catie.ac.cr:5050/repositorioforestal/bitstream/123456789/6512/1/2001\\_proyeccion\\_volumen\\_teca\\_melina\\_2001.pdf](http://biblioteca.catie.ac.cr:5050/repositorioforestal/bitstream/123456789/6512/1/2001_proyeccion_volumen_teca_melina_2001.pdf)].

**Salazar Oviedo A., 2012.** Modelo experto para el análisis de la adopción de árboles en pasturas del trópico seco de Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. [Disponible en: [http://biblioteca.catie.ac.cr:5151/repositoriomap/bitstream/123456789/216/1/Salazar\\_Modelo.pdf](http://biblioteca.catie.ac.cr:5151/repositoriomap/bitstream/123456789/216/1/Salazar_Modelo.pdf)].

**Salgado L., Dumas M., Feoli M. et Cedeño M., 2013:** Mercado doméstico voluntario de carbono en Costa Rica, MDVCCR, un instrumento hacia la c-neutralidad. MINAE, DCC, PNUD. ISBN: 978-9968-794-59-6. [Disponible en: [http://www.cr.undp.org/content/dam/costa\\_rica/docs/undp\\_cr\\_Mercado\\_Domestico\\_Carbono\\_CR%20.pdf](http://www.cr.undp.org/content/dam/costa_rica/docs/undp_cr_Mercado_Domestico_Carbono_CR%20.pdf)].

**Schlegel B., Gayoso J. et Guerra J., 2001:** Manual de procedimiento para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile. Proyecto FONDEF D98I1076. Medición de la Capacidad de Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial. Valdivia, Chile. [Disponible en: [http://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Manual\\_de\\_procedimiento\\_para\\_inventarios\\_de\\_carbono\\_en\\_ecosistemas\\_forestales.pdf](http://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Manual_de_procedimiento_para_inventarios_de_carbono_en_ecosistemas_forestales.pdf)].

**Schumacher, F. X., 1939:** A new growth curve and its applications to timber yield studies. J. For. 37: 819-820

- Serrada, R., 2008:** Apuntes de Selvicultura, Capitulo XII tratamientos parciales. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid. [Disponible en: <http://www.secforestales.org/web/images/serrada/121textoparciales.pdf>].
- Serrada R., Montero M. et Reque J., 2008:** Compendio de Selvicultura Aplicada en España. INIA y FUCOVASA. Madrid. ISBN.: 978-84-7498-521-4. 1.178 pp.
- Sharma, A., Singh, R. P. et Saxena, A.K., 2011:** Performance of Teak (*Tectona grandis* Linn . F.) in Sole and Agroforestry Plantation on Wheat Fields in Eastern Uttar Pradesh. Research journal of Agricultural Sciences, 2(2): 244247.
- Sotomayor A., Helmke E. et Garcia E., 2002:** Manejo y mantención de plantaciones forestales, Pinus Radiata y Eucaliptus sp. Infor y Gobierno de Chile. Documento de Divulgación N°23. LOM Ediciones. ISBN: 956-7727-86-4. 51p. [Disponible en: <http://www.icf.gob.hn/secciones/Programa%20Reforestacion/Documentos/Manual%20de%20manejo%20PForestales%20en%20Chile.pdf>].
- Solano J. et Villalobos R., 2009:** Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. Gestión de desarrollo. San José. [Disponible en: [http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Reg\\_climaCR.pdf](http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Reg_climaCR.pdf)].
- Ugalde, 2006:** Perspectivas económicas y ambientales de las plantaciones de teca bajo manejo sostenible, en Panamá. USAID-AED, Panamá. [Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A5152E/A5152E.PDF>].
- Universidad de Costa Rica (UCR), 2011:** Marco Tectónico de Costa Rica. Laboratorio de Ingeniería Sísmica del Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII). [Disponible en: <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=4>].
- Vasquez W. et Ugalde L.A., 1996:** Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. X Congreso Nacional Agronómico / II Congreso de Suelos 1996. [Disponible en: [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_x/a50-2388-III\\_007.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_x/a50-2388-III_007.pdf)].
- Wang, J. K., Zhong, A. L., Comeau, P., Tsze, M. et Kimmin, J. P., 1995:** Above ground biomass and nutrient accumulation in an age sequence of aspen (*Populus tremuloides*) in the boreal white and black spruce zone, British Columbia. *Forest Ecology and Management* 78: 127–138.
- Weaver, Peter L. 1993.** *Tectona grandis* L.f. Teak. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. SO-ITF-SM-64.18p. [Disponible en: [http://www.corfores.com/library/1529562746\\_20101116023013.pdf](http://www.corfores.com/library/1529562746_20101116023013.pdf)].
- Yamaoka K., Nakagawa T. et Toyozo U., 1978:** Application of Akaike's Information Criterion (AIC) in the Evaluation of Linear Pharmacokinetic Equations. Journal of Pharmacokinetics and Biopharmaceutics, Vol 6. N° 2. Consultado: [Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01117450#page-1>].

**Zambrano Quijano M.J., 2011:** Análisis de la red y sus márgenes de comercialización de la teca (*Tectona grandis*) proveniente de Hojancha y Nandayure, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 171 p. [Web en línea:[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Finnfor.catie.ac.cr%2Fadmin%2Fdocuments%2F55&ei=aK\\_iVNmHOsLbsASNnoDgBA&usg=AFQjCNHAXUjFuMXZ4jPD1HVMK97h0LG4ow&sig2=6vxtB-fCbw2amjgs54fmfw](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Finnfor.catie.ac.cr%2Fadmin%2Fdocuments%2F55&ei=aK_iVNmHOsLbsASNnoDgBA&usg=AFQjCNHAXUjFuMXZ4jPD1HVMK97h0LG4ow&sig2=6vxtB-fCbw2amjgs54fmfw)]

### 9.1. Recursos digitales

**Base de datos mundial de FAO de ecuaciones alométricas,** Consultado: Febrero de 2015. [Enlace: [www.globallometree.org](http://www.globallometree.org)].

**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), Ministerio de Ambiente y Energía (Minae),** Consultado: Mayo de 2015. [Enlace: [www.fonafifo.go.cr](http://www.fonafifo.go.cr)].

**Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO), 2014:** Diversidad de ecosistemas en Costa Rica, Consultado: Febrero de 2015. [Enlace [www.inbio.ac.cr](http://www.inbio.ac.cr)].

**Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC),** Consultado: Junio de 2015. [Enlace: [www.inec.go.cr](http://www.inec.go.cr)].

**Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC):** Consultado: Febrero de 2015. [Enlace: [www.sinac.go.cr](http://www.sinac.go.cr)].



# ANEJOS

## ÍNDICE DE ANEJOS

<b>Anejo I.</b> Revisión bibliográfica, caracterización de la zona de estudio y de la especie forestal de interés.....	63
<b>Anejo II.</b> Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca ( <i>Tectona grandis</i> ) en Costa Rica.....	101
<b>Anejo III.</b> Inventario continuo en las Parcelas Permanentes de Muestreo de la finca “Coyolito”.....	132
<b>Anejo IV.</b> Análisis financiero de las plantaciones.....	161
<b>Anejo V.</b> Reportaje fotográfico de los trabajos realizados .....	194

# ANEJOS

## **Anejo I: Revisión bibliográfica, caracterización de la zona de estudio y de la especie forestal de interés**

## ÍNDICE ANEJO I

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>66</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>66</b>
<b>3. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>66</b>
3.1. Aspectos generales.....	66
3.2. Entorno social .....	68
3.3. Entorno Económico .....	70
3.4. Entorno ambiental.....	71
3.4.1. Orografía .....	71
3.4.2. Vientos .....	72
3.4.3. Clima .....	72
3.4.4. Geología .....	75
3.4.5. Edafología .....	76
3.4.6. Hidrografía .....	77
3.4.7. Vegetación.....	78
3.4.8. Fauna .....	79
3.4.9. Cobertura forestal.....	80
3.4.9.1. Reseña histórica.....	80
3.4.9.2. Estado actual de los bosques .....	81
3.5. Leyes y mecanismos de conservación .....	82
3.5.1. Incentivos forestales por Pagos por Servicios Ambientales en Costa Rica .....	84
3.5.2. Mercado Doméstico Voluntario de Carbono de Costa Rica .....	86
<b>2. SISTEMA FORESTAL, LA TECA.</b> .....	<b>87</b>
2.1.1. Clasificación Taxonómica .....	87
2.1.2. Morfología y fisiología.....	87
2.1.3. Requisitos ambientales .....	88
2.1.4. Distribución y extensión.....	89
2.1.5. Agentes patógenos.....	91
2.1.6. Usos (Extraído de Escobar <i>et al.</i> , 1993) .....	91
2.2. Manejo.....	93
2.2.1. Operaciones previas a la plantación .....	93
2.2.2. Establecimiento de la plantación .....	95
2.2.3. Cuidados culturales posteriores a la plantación.....	95
2.2.4. Aprovechamiento .....	98
2.3. Índices de sitio en costa rica.....	98
2.4. Modelos de crecimiento .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS ANEJO I

Figura 1. Distribución de regiones socioeconómicas y regiones climáticas de Costa Rica.....	67
Figura 2. Estructura de la oferta de energía primaria en Costa Rica para el año 2006 y sectorización de la superficie dedicada a cultivos agrícolas en Costa Rica para el año 2013 .....	70
Figura 3. Relieve de Costa Rica, sistemas montañosos, elevaciones y volcanes principales. ....	71
Figura 4. Distribución de temperatura media (°C) y precipitación media anual (l) en Costa Rica. ....	73
Figura 5. Distribución y distancias desde las estaciones de referencia y la zona de estudio para el cálculo de los valores ponderados.....	74
Figura 6. Representación gráfica de precipitaciones y temperaturas medias mensuales en Abangares calculada por ponderación. ....	75
Figura 7. Distribución del origen geológico y las edades de formación geológica en Costa Rica. ....	76
Figura 8. Distribución de los órdenes de suelos en Costa Rica.....	76
Figura 9. Distribución de las grandes cuencas hidrográficas en Costa Rica.....	77
Figura 10. Distribución geográfica de las zonas de vida en Costa Rica (Basado en Bolaños <i>et al.</i> , 2005).....	79
Figura 11. Evolución de la distribución de la cobertura forestal en Costa Rica entre los años 1940-2010. ....	81
Figura 12. Cobertura forestal actual por cantones (año 2013).....	82
Figura 13. Distribución de áreas de conservación SINAC 2014.....	83
Figura 14. Distribución de áreas silvestres protegidas en Costa Rica.....	84
Figura 15. Distribución natural de la teca, <i>Tectona grandis</i> , en Asia. ....	89
Figura 16. Distribución artificial de las plantaciones de teca en Costa Rica y mapa general de plantaciones forestales en Costa Rica. ....	91
Figura 17. Curvas de Índice de Sitio generadas mediante el análisis fustal de árboles de Teca a una edad base de 16 años, en la Vertiente del Pacífico, Costa Rica.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS ANEJO I

Tabla 1. Características administrativas, geográficas y demográficas de Costa Rica en el año 2011 ..68	68
Tabla 2. Indicadores socioeconómicos de vivienda, servicios y educación para el año 2013 por provincia en Costa Rica. ....69	69
Tabla 3. Otros indicadores socioeconómicos por región socioeconómica para el año 2011 en Costa Rica. ....69	69
Tabla 4. Población activa (fuerza de trabajo), distribución del trabajo por sector económico y población trabajadora no asegurada para cada provincia de Costa Rica. ....71	71
Tabla 5. Precipitación y temperatura promedio mensual histórica para las estaciones meteorológicas de Liberia, Damas y Upala, periodo de los datos y cálculo de los valores ponderados según el método del inverso de la distancia al cuadrado en Abangares. ....74	74
Tabla 6. Extensión aproximada de los órdenes de suelos en Costa Rica según clasificación de Soil Taxonomy. ....76	76
Tabla 7. Distribución de las zonas de vida presentes en Costa Rica según piso altitudinal y ámbito de precipitaciones y temperaturas. ....78	78
Tabla 8. Clasificación taxonómica de la teca. ....87	87
Tabla 9. Extensión natural de teca en el mundo y extensión artificial de la teca en el mundo a inicios de 1990. ....90	90
Tabla 10. Situación de los principales países productores de teca por continentes, incluyendo la superficie total, los espaciamientos de plantación y la rotación tradicional, así como el IMA (Incremento medio anual en volumen) de cada uno de ellos. ....90	90
Tabla 11. Propiedades físicas de la madera de teca. ....92	92
Tabla 12. Propiedades mecánicas de la madera de teca. ....92	92
Tabla 13. Productividad estimada en los raleos y corta final para teca en Costa Rica. ....97	97
Tabla 14. Modelos alométricos para <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica, ambitos, parámetros del ajuste y referencias. Símbolo, descripción y unidades de las variables utilizadas en los modelos alométricos para <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica. ....100	100

## 1. INTRODUCCIÓN

Bien es conocida la importancia del sector forestal, por su multifuncionalidad, en zonas rurales y marginales para contribuir a enfrentar problemas estructurales. Este sector presenta un gran potencial en la generación de empleo y en mejorar las condiciones de vida de dichas zonas. Además, el estudio de los caracteres culturales de las especies forestales es un aspecto básico en la práctica selvícola (Serrada *et al.*, 2008).

Con objeto de conocer los problemas y oportunidades específicos de la zona de estudio del presente proyecto y tener una visión más profunda de la principal especie forestal que interviene en este sistema de FIS, se elaboró el presente anejo. Este documento debe servir como un instrumento de consulta y referencia para el proyecto que se desarrolla.

En definitiva, se presenta un diagnóstico del contexto político, ambiental, socioeconómico e histórico de Costa Rica, en general y, del cantón de Abangares y los distritos de San Juan y las Juntas, en particular, donde se localizan la zona de influencia del proyecto. También se desarrollan algunas de las leyes y mecanismos de conservación que ha instaurado el país para la conservación del medio ambiente.

Con objeto de comprender las actuales políticas y la distribución de la cobertura forestal en Costa Rica, antes de reportar los datos actuales, se ha creído conveniente realizar una breve reseña histórica.

Además, se presenta un resumen de las características botánicas, morfológicas, requerimientos ambientales, distribución, agentes patógenos, usos, manejo silvícola, índices de sitio y modelos de crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.F.) en Costa Rica.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de este Anejo es caracterizar el contexto de la zona de estudio del proyecto y la especie forestal de interés. Además, los objetivos específicos son los siguientes:

- Definir la localización y ubicación de la zona donde se desarrolla el presente estudio.
- Conocer los aspectos históricos relevantes en Costa Rica que ayuden a comprender la situación actual del país
- Caracterizar ambiental y socioeconómicamente la zona de influencia del proyecto.
- Caracterizar las características y aspectos silvícolas de la teca.

## 3. CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

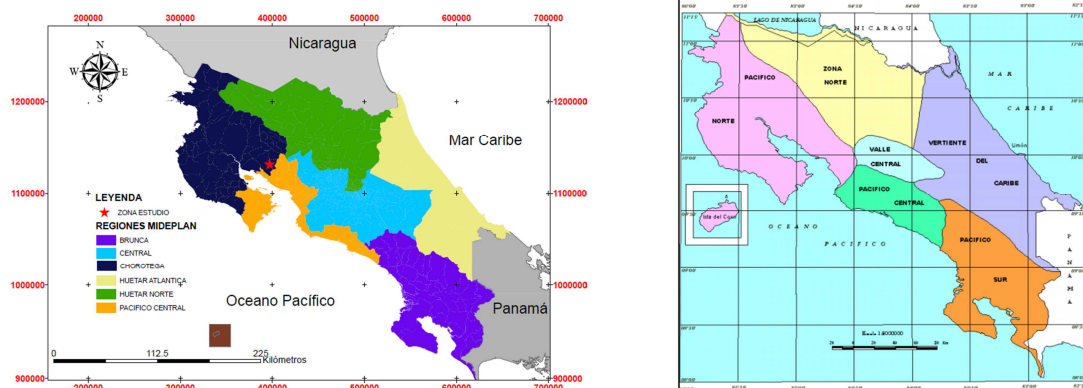
### 3.1. Aspectos generales

La forma de gobierno en Costa Rica es mediante el “Sistema Republicano” con elección popular directa cada cuatro años. El estado se faculta con los poderes legislativo, ejecutivo y judicial. El idioma oficial es el español, la moneda el colón y la zona horaria oficial del país es GMT-6.

Según el decreto N° 33797-MJ-MOPT del 30 de Marzo de 2007, la proyección oficial Transversal de Mercator para Costa Rica es CRTM05 ó CR05 asociado al elipsoide del Sistema Geodésico Mundial (WGS84). A diferencia de la proyección Lambert, que dividía Costa Rica en las proyecciones norte y sur, dependiendo de la zona del país en donde se encuentre, con CRTM05 no es necesario cambiar de parámetros en diferentes regiones del país.

La regionalización en Costa Rica (Figura 1) se presenta como un elemento de análisis, estudio e información de los grandes recursos tanto físicos como humanos de la nación. Ésta regionalización fue establecida oficialmente por la Oficina de Planificación Nacional (OFIPLAN) primeramente y luego el Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN). Se diferencia entre regiones culturales y regiones naturales:

- Las regiones culturales o humanas, fue definida mediante el Decreto N° 16068-PLAN del 15 de febrero de 1985 a partir de criterios socioeconómicos como la agricultura, ganadería, industria, pobreza, estructura básica de la población, distribución espacial de la población, carreteras y caminos, el uso del suelo para las actividades, etc. Las seis regiones funcionales del territorio son: Región Central, Región Chorotega, Región Pacífico Central, Región Brunca, Región Huetar Norte, Región Huetar Atlántica.
- Las regiones naturales, establecidas mediante el Decreto N° 6400 del 26 de octubre de 1976 se definen a partir de criterios ambientales o naturales como el clima, la vegetación, geología y los suelos. Las seis regiones naturales de Costa Rica son: Central, Pacífico Central, Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Norte, Atlántica.



**Figura 1.** Distribución de regiones socioeconómicas (Izda.) y regiones climáticas de Costa Rica (Dcha.).

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014 (Izda.) y IMN, 2009. (Dcha.)

La zona de estudio se localiza en la región funcional Chorotenga, la cual está conformada por los cantones de Liberia, Nicoya, Santa Cruz, Carrillo, Cañas, Bagaces, Abangares, Tilarán, Nandayure, La Cruz y Hojanca y cuya extensión es de 10.140,7 km<sup>2</sup> (IMN, 2013). Climáticamente, la zona se encuentra en la región del Pacífico Norte, la cual comprende la provincia de Guanacaste y los cantones de Esparza y Montes de Oro de la provincia de Puntarenas, así como los cantones de Orotina y San Mateo en la provincia de Alajuela.



### 3.2. Entorno social

El Programa del Estado de la Nación (PEN) es un programa de investigación y formación sobre desarrollo humano sostenible que pertenece al Consejo Nacional de Rectores (CONARE), donde se agrupan las cuatro universidades públicas de Costa Rica. Éste viene publicando el llamado Informe del Estado de la Nación, el cual es un sistema de seguimiento del desempeño de Costa Rica, mediante la selección, medición y evaluación de un conjunto de componentes del Desarrollo Humano Sostenible que cubren los aspectos sociales, económicos, ambientales y políticos del desarrollo. El último informe publicado, en el año 2014, es el n° XX.

Según (PEN, 2014), la población total del país en el año 2013 es de 4,7 millones de personas, y la densidad de población de 91,97 hab/km<sup>2</sup>. En la Tabla 4 se muestra que para el año 2013, casi el 33 % de la población vive en la provincia de San José, existiendo una densidad de población en ella de 321 hab/km<sup>2</sup>. Las provincias en las que existe mayor población urbana son San José, Heredia, Cartago y Alajuela con valores de entre el 60,7 %, en Alajuela, y el 86% en Heredia.

La provincia de Guanacaste, donde se centra el estudio, tiene una población total de 365.542 habitantes y una densidad de 36 hab/km<sup>2</sup>, la menor de todo el país. Dentro de ésta, el cantón de Abangares, con una superficie de 675,8 Km<sup>2</sup> tiene una población total de 18.039 habitantes, esto es, una densidad de población de 27 hab/km<sup>2</sup>. Estos datos evidencian la despoblación de esta zona.

**Tabla 1.** Características administrativas, geográficas y demográficas de Costa Rica en el año 2011

**Fuente.** Elaboración propia con datos del INEC de Costa Rica y del PEN, 2014.

Provincia	Nº de cantones	Nº de distritos	Superficie (km <sup>2</sup> )	Población	Densidad (hab/km <sup>2</sup> )	Población urbana (%)	Relación hombres mujeres
San José	20	121	4.965,90	1.592.521	321	84,6	91,6
Alajuela	15	113	9.757,53	960.748	98	60,7	98,5
Cartago	8	51	3.124,67	521.504	167	82,5	96,3
Heredia	10	47	2.656,98	490.426	185	86	95
Guanacaste	11	59	10.140,71	365.542	36	55,2	98,2
Puntarenas	11	58	11.265,69	467.963	42	54,7	100,5
Limón	6	29	9.188,52	433.523	47	56,5	100,2
<b>Total</b>	81	478	51.100,0	4.832.227	95	68,6	97,19

Los mayores problemas sociales de vivienda, servicios y educación de Costa Rica se encuentran, en este orden, en las provincias de Limón, Puntarenas y Guanacaste. En éstas, para el año 2013 al menos el 40% de las viviendas no se encuentran en buen estado y en el casi el 7% de ellas viven hacinadas, es decir viven más de tres personas. Además en las provincias citadas menos del 32% de las personas tienen acceso a un ordenador, menos del 21,4% a internet, más del 1,8% no tienen electricidad y por lo menos el 3% de su población es analfabeta (Tabla 2).

En la Tabla 3 se muestran que, para la región Chorotenga, el 24,1 % de los hogares en vive en pobreza. Además, esta región tiene la tasa de desempleo más alta del país, con un 10%. El coeficiente de Gini, que mide la desigualdad con valores entre 0-1, donde 0 representa la igualdad perfecta y 1 la máxima desigualdad, muestra que las regiones más desiguales

son Pacífico Central y Chorotega. Por otra parte, como particularidad, la región Chorotega es la que menos mortalidad infantil tiene de todo el país.

Por otra parte, el MIDEPLAN publica desde 1999 el Índice de Desarrollo Social (IDS), el cual aborda condiciones esenciales para el desarrollo social en las dimensiones: económica, educación, participación electoral y salud, vinculadas con los derechos humanos. Según (MIDEPLAN, 2013), para los dos distritos donde se asientan las fincas de este estudio ambas ocupan un valor muy bajo en relación con el resto de los 463 distritos de Costa Rica. Las Juntas tiene un valor de 49,5, ocupando la posición 367 y San Juan un valor de 51,9 y la posición 334.

**Tabla 2.** Indicadores socioeconómicos de vivienda, servicios y educación para el año 2013 por provincia en Costa Rica.

Fuente. PEN, 2014.

Provincia	Vivienda			Acceso a servicios			
	Viviendas ocupadas	Promedio ocupantes	En buen estado (%)	Hacinadas (>3 personas)	Computadora	Internet	Electricidad
San José	400.961	3,5	67,4	4,6	55,6	43,2	99,8
Alajuela	236.927	3,6	64,1	4,9	43	28,9	99
Cartago	130.464	3,7	70,9	3,5	49,8	34,8	99,4
Heredia	122.410	3,5	73,9	3,9	59,5	47,7	99,5
Guanacaste	92.584	3,5	58,4	6,7	32	21,4	98,2
Puntarenas	119.302	3,4	49,3	7,3	30	19,2	97,1
Limón	109.316	3,5	49,1	7,6	26,4	16,3	96,6
<b>Total</b>	1.211.964	3,5	61,9	5,5	42,3	30,2	98,5
Nivel educativo							
Provincia	Alfabetismo (%)	Ningún año	Primaria incompleta	Primaria completa	Secundaria incompleta	Secundaria completa	Superior
San José	98,5	2,4	10,4	23,1	19,8	16	28,2
Alajuela	97	4,8	16,1	28,5	18,5	12,3	19,8
Cartago	97,9	3,2	12,8	30,8	18,1	12,5	22,6
Heredia	98,4	2,6	10,2	21,3	18,1	15,7	32,1
Guanacaste	97	4,6	16,5	26	20	14	18,9
Puntarenas	96,2	6,2	19,3	28,5	20	12,5	13,5
Limón	96,3	6,5	20	29,5	19,9	12	12
<b>Total</b>	97,3	4,3	15,0	26,8	19,2	13,6	21,0

**Tabla 3.** Otros indicadores socioeconómicos por región socioeconómica para el año 2011 en Costa Rica.

Fuente. MIDEPLAN et AECID, 2015

Región	Brechas Regionales				
	% Hogares pobres	% Desempleo Abierto	Coefficiente Gini	Escolaridad Promedio	Mortalidad Infantil
Costa Rica	18,5	7,8	0,439	8,4	8,9
Central	15,3	7,5	0,378	9,2	8,6
Chorotega	24,1	10,1	0,420	7,6	7,0
Pacífico Central	26,2	8,2	0,470	7,5	10,3
Brunca	30,9	8,2	0,401	7,0	10,6
Huetar Atlántica	21,6	7,9	0,364	6,9	9,2
Huetar Norte	17,2	7,3	0,384	6,5	9,6

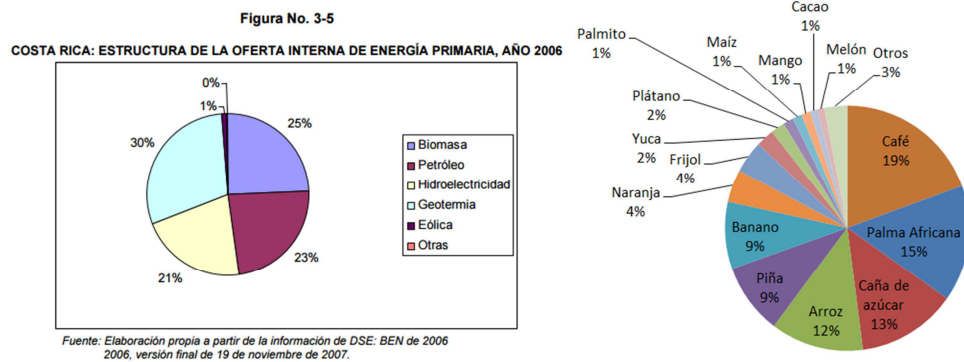
En definitiva, entre los principales problemas que destacan en la región Chorotenga se encuentran, la desigualdad en la distribución de la tierra que provoca que persistan muchos latifundios, lo que genera una fuerte migración interna de pobladores hacia el Valle Central en búsqueda de oportunidades laborales y mejor calidad de vida. Esto además genera despoblación en la región. También, es una zona altamente deforestada, situación agravada por las condiciones climáticas, que facilitan la extensión de los incendios forestales y el déficit hídrico.

### 3.3. Entorno Económico

Según la web de datos macro de Expansión, el producto interior bruto de Costa Rica en 2013 ha crecido un 3,4% respecto a 2012. En 2013 la cifra del PIB fue de 37.361 millones de euros con lo que Costa Rica es la economía número 82 en el ranking de los 183 países publicados por dicha web. El PIB per cápita es un muy buen indicador de la calidad de vida y en el caso de Costa Rica, en 2013, fue de 7.668 €, con el que se sitúa en el puesto 65 del ranking. La deuda pública en 2013 fue de 13.456 millones de euros y su deuda per cápita de 2.783 € euros por habitante.

En cuanto al sistema energético del país, la energía primaria estuvo hasta 1994, conformada esencialmente por los recursos biomásicos, hidráulicos y petroleros. A partir de 1994, se inicia el uso de la energía geotérmica, y en 1996 la eólica (MINAE, 2008). Según se muestra en la Figura 4 (Izda.), para el año 2006, la mayor parte de energía primaria (30%) proviene de energía geotérmica, seguida de la biomasa (25%), el petróleo (23%), hidroeléctrica (21%) y eólica (1%). Según estos datos, se puede afirmar que el 77% de la energía primaria consumida en Costa Rica es renovable y de producción nacional.

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC) y como se muestra en la Figura 2 (Dcha.), la principal actividad agrícola del país es la producción de café, con un total de 93.774 ha cultivadas en el año 2013, lo que supone el 19% del área cultivada total del país. Le siguen el cultivo de palma africana para producción de aceite, con 74.512 ha, la caña de azúcar con 63.316 ha, el arroz con 59.298 ha, la piña con 45.000 ha y el banano con 42.841 ha. Otros productos que se cultivan en el país son: naranja, frijol, yuca, plátano, palmito, maíz, mango, cacao, melón, tiquizque, papa, ñame, coco, sandía, cebolla, tomate, papaya, ñampí, macadamia, pimienta, fresa, jengibre y tabaco. Además, como otras actividades agropecuarias en el país producen carne de pollo y huevos, carne de res y leche, leche de cabra y carne de cerdo principalmente.



**Figura 2.** Estructura de la oferta de energía primaria en Costa Rica para el año 2006 (Izda.); Sectorización de la superficie dedicada a cultivos agrícolas en Costa Rica para el año 2013 (Dcha.)

**Fuente.** MINAE, 2008 (Izda.); elaboración propia con datos del INEC (Dcha.)

Anejo I. Revisión bibliográfica

La provincia de Guanacaste es la que menor porcentaje de población activa respecto a la población total tiene. En ella el 17,8% se dedica al sector primario, el 13,7% al sector secundario y el 68,5 % restante al sector servicios. Uno de los datos que más llaman la atención es que en esta provincia existe un 18,8% de población ocupada no asegurada, el mayor de todo el país (Tabla 4). Este dato es del 21,8 % para el cantón de Abangares.

**Tabla 4.** Población activa (fuerza de trabajo), distribución del trabajo por sector económico y población trabajadora no asegurada para cada provincia de Costa Rica.

Fuente. PEN, 2014.

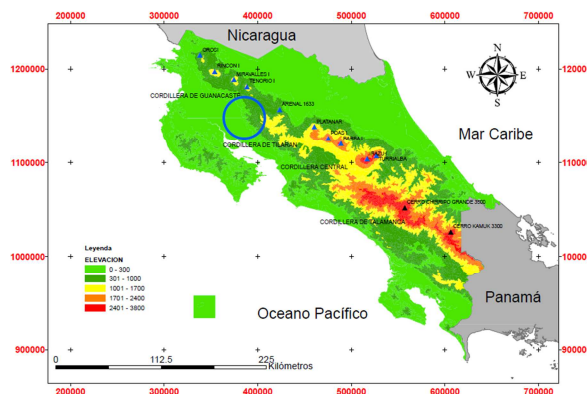
Provincia	Fuerza de trabajo (%)	Sector primario	Sector secundario	Sector terciario	Población ocupada no asegurada
San José	56	5,4	17,3	77,2	13,2
Alajuela	52,9	17,2	21,2	61,5	17,2
Cartago	53,4	13	21,6	65,4	14,1
Heredia	57,3	7,2	20,5	72,3	10,8
Guanacaste	47,4	17,8	13,7	68,5	18,8
Puntarenas	48,9	24,3	14,7	61	17,1
Limón	50,4	38,1	11,5	50,4	13,9
<b>Total</b>	<b>52,3</b>	<b>17,6</b>	<b>17,2</b>	<b>65,2</b>	<b>15,0</b>

### 3.4. Entorno ambiental

#### 3.4.1. Orografía

Costa Rica está atravesada, en orientación noroeste-sureste, por un conjunto de cordilleras que dividen al país en cinco regiones climáticas distribuidas en dos vertientes: Pacífica y Caribe.

Las cordilleras principales de Costa Rica de norte a sur, como muestra la Figura 3, son: la Cordillera Volcánica de Guanacaste donde se encuentran los conos volcánicos de Orosí (1.440 m), Rincón de la Vieja (1.806 m), Miravalles (2.028 m) y Tenorio (1.916 m); la Cordillera de Tilarán donde se encuentra el volcán Arenal (1.633 m), la Cordillera Volcánica Central con los macizos volcánicos de: Platanar (2.183 m), Poás (2.704 m), Barba (2.906 m), Irazú (3.432 m) y Turrialba (3.339 m); y la Cordillera de Talamanca donde se encuentra el Cerro Chirripó (3.820 m), el punto más alto del país, y el Cerro Kámuk (3.549 m).



**Figura 3.** Relieve de Costa Rica, sistemas montañosos, elevaciones y volcanes principales.

Fuente. Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

### 3.4.2. Vientos

Los vientos con más presencia e influencia en Costa Rica son los vientos Alisios, con dirección nordeste-suroeste. Éstos suelen soplar desde noviembre hasta mediados de mayo de cada año y ejercen una enorme influencia en las condiciones climáticas del país.

Los Alisios provienen del intenso calor del ecuador y se cargan de humedad en el Mar Caribe, entran en el territorio con mucha fuerza y cargados de humedad. Esta humedad, se descarga en forma de lluvia sobre la vertiente atlántica. Al pasar hacia la vertiente pacífica, los vientos alisios llegan secos y con una alta velocidad, lo cual no solamente impide el paso de las lluvias normales procedentes del Océano Pacífico, sino que además seca toda la humedad acumulada en el ambiente durante la estación lluviosa.

Las regiones del país donde el efecto de sequía de los vientos Alisios se produce con mayor intensidad es en toda la provincia de Guanacaste, la porción norte de la provincia de Puntarenas, el sector occidental del Valle Central y gran parte del Valle del General.

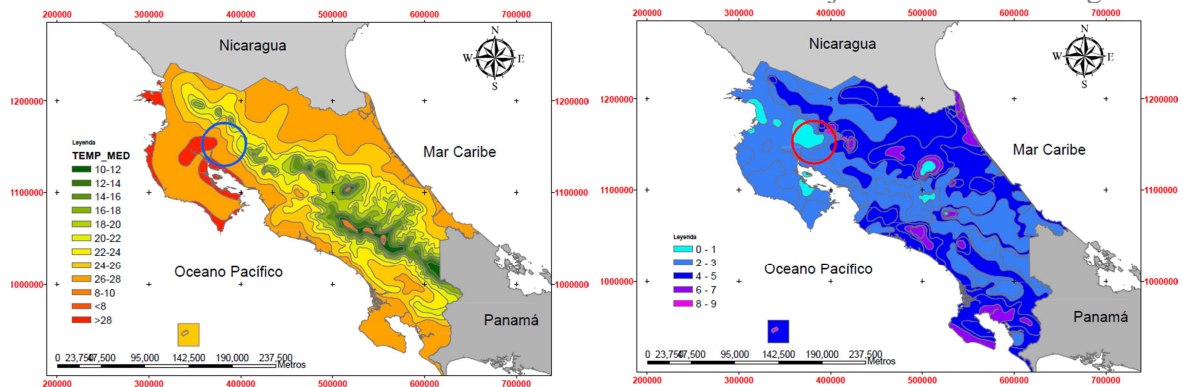
### 3.4.3. Clima

Geográfica y climáticamente, la franja planetaria comprendida entre los paralelos Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio, se define como Zona Tropical. Ésta se caracteriza, según Köppen (1918) porque todos los meses del año superaran los 18 °C de media y la oscilación térmica es pequeña. En Costa Rica el clima tropical es modificado por otros factores geográficos, atmosféricos y oceánicos (Manso *et al.*, 2005).

La orientación del sistema montañoso que divide el país en dos vertientes, Pacífico y Caribe, determina las particularidades de la distribución de la lluvia en el país:

- Régimen Pacífico: se caracteriza por poseer una época seca y una lluviosa bien definidas. La seca se extiende de diciembre hasta marzo, siendo este último el mes más seco y cálido y abril es un mes de transición. La época lluviosa va de mayo hasta octubre, siendo noviembre un mes de transición. Presenta una disminución relativa de la cantidad de lluvia durante los meses de julio y agosto (veranillo o canícula) cuando se intensifica la fuerza del viento Alisio (IMN, 2009).
- Régimen Caribe: no presenta una estación seca definida. Existen dos periodos de lluvias más abundantes de noviembre a enero, en el que se registran las mayores precipitaciones y de mayo a agosto, con un máximo en julio que coincide con el veranillo del Pacífico (IMN, 2009).

Como muestra la Figura 4, la temperatura media en el país varía desde menos de 8°C en las zonas más altas como el Cerro Chirripó, hasta más de 28°C en algunas zonas de la región de Guanacaste. En cuanto a la precipitación, según datos de la base cartográfica Atlas 2014 publicada por la Universidad Nacional de Costa Rica (UCR), varía entre 1000 y 8.000 mm al año.



**Figura 4.** Distribución de temperatura media (°C) y precipitación media anual (l) en Costa Rica.

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

La provincia de Guanacaste se encuentra en la región climática del Pacífico Norte de Costa Rica (Gómez, 1985), una de las zonas más secas y cálidas del país. En esta región, la precipitación promedio anual es de unos 2000 mm, y temperatura promedio de 27°C, (Quesada, 2007). La zona de este estudio se encuentra en la Depresión del Tempisque, Subregión Central del Pacífico Norte (PN2), según las regiones geográfico-climáticas propuestas por Solano *et* Villalobos (2009). Estos autores indican un tipo de clima de sequía en toda esta subregión.

En la web oficial del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica no se han encontrado datos históricos del cantón de Abangares. Las estaciones más cercanas a la zona de estudio con datos publicados por el IMN son las siguientes:

- Estación de Liberia, Aero. Daniel Oduber, provincia de Guanacaste, a 80 msnm
- Estación de Upala, provincia de Alajuela, a 48 msnm.
- Estación de Damas en el cantón de Aguirre, a 6 msnm.

Con objeto de tener datos climatológicos de referencia de la zona de estudio se ha calculado la precipitación ponderada por el método del inverso de la distancia. Éste método pondera los registros en función de su proximidad a un punto de referencia fijado en la cuenca. El peso de una estación se calcula en función del inverso de su distancia a la zona de referencia elevada al cuadrado, y la precipitación en el nodo pondera cada estación por su distancia:

$$W_A = \frac{\frac{1}{d_A^2}}{\frac{1}{d_A^2} + \frac{1}{d_B^2} + \frac{1}{d_C^2}}$$

$$P_R(t) = W_A * P_A \text{ (mm)} + W_B * P_B \text{ (mm)} + W_C * P_C \text{ (mm)}$$

Dónde:

$W_A$  = Peso de la estación (A, B, C)

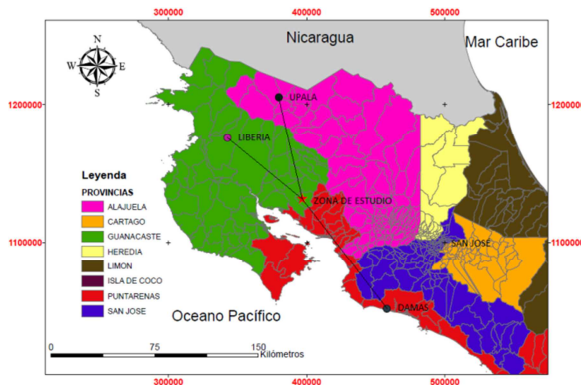
$d_A$  (km) = Distancia de la estación (A, B, C) hasta la estación de referencia

$P_R$  (mm) = Precipitación en la estación de referencia

$P_A$  (mm) = Precipitación en la estación (A, B, C)

La posición de las estaciones sobre el territorio de Costa Rica así como su distancia a la zona de estudio y el cálculo del peso de dicha estación aparecen en la Figura 5.





Estación	Distancia (km)	Peso de la estación, W
Upala	76,19	0,371
Liberia	72,16	0,413
Damas	99,84	0,216

**Figura 5.** Distribución y distancias desde las estaciones de referencia y la zona de estudio para el cálculo de los valores ponderados.

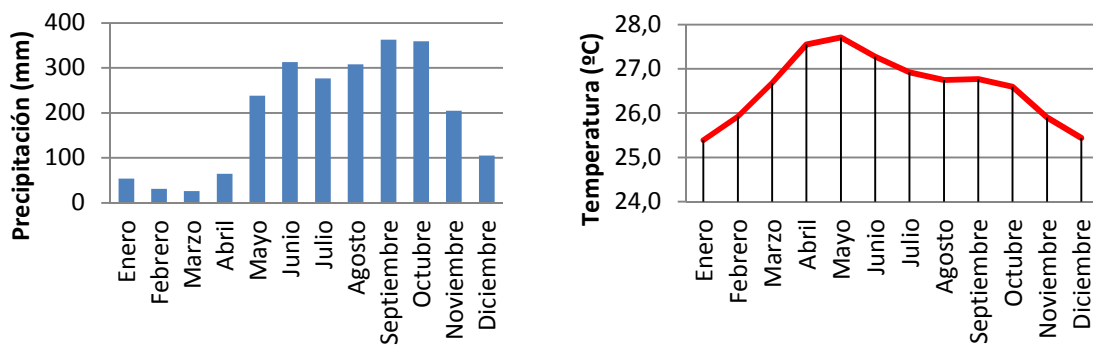
**Fuente.** Elaboración propia.

En la Tabla 5 aparecen los valores históricos de temperatura y precipitaciones en cada una de las estaciones y para cada periodo y el cálculo de los valores ponderados de estas variables según el método de la inversa de la distancia al cuadrado. Estos resultados aparecen de forma gráfica en la Figura 6. Obsérvese como los meses más secos son de enero a abril, con precipitación mínima de 26,1 mm en marzo. El mes más húmedo es septiembre con una precipitación de 363,0 mm. En cuanto a la temperatura, ésta se mantiene en el rango de 25-28 °C durante todo el año, siendo el mes más caluroso mayo con 27,7 °C y los más fríos diciembre y enero con 25,4 °C. La precipitación anual acumulada es de 2344,1 mm y la temperatura anual media de 26,6 °C.

**Tabla 5.** Precipitación y temperatura promedio mensual histórica para las estaciones meteorológicas de Liberia, Damas y Upala, periodo de los datos y cálculo de los valores ponderados según el método del inverso de la distancia al cuadrado en Abangares.

**Fuente.** Datos base del Instituto Meteorológico Nacional y cálculos ponderados propios.

Estación/ Mes	Precipitación (mm)				Temperatura (°C)			
	Liberia	Damas	Upala	Ponderada Abangares	Liberia	Damas	Upala	Ponderada Abangares
	período 1957- 2012	Período 1976- 2013	Período 1963- 2012		Período 1973- 2012	Período 1983- 2013	Período 1990- 2013	
Enero	1,3	58,3	111,1	54,3	25,8	26,3	24,4	25,4
Febrero	1,6	25	68	31,3	26,7	26,7	24,6	25,9
Marzo	4,1	47,4	38,2	26,1	27,3	27,2	25,7	26,7
Abril	23,9	163,4	53,4	65,0	28,5	27,7	26,4	27,5
Mayo	194,1	414,2	185,1	238,3	28,7	27,2	26,9	27,7
Junio	245,6	419,1	325,3	312,6	28	26,7	26,8	27,3
Julio	153,3	433,3	322	276,3	27,6	26,7	26,3	26,9
Agosto	209,4	477,8	317,9	307,6	27	26,7	26,5	26,7
Septiembre	346,3	535,9	281	363,0	27,2	26,4	26,5	26,8
Octubre	310	582,8	283,9	359,2	27	26,5	26,2	26,6
Noviembre	98,2	370,4	227,9	205,1	26,2	26,2	25,4	25,9
Diciembre	12,3	146,7	185,2	105,4	25,7	26,2	24,7	25,4
	1600,1	3674,3	2399	2344,1	27,1	26,7	25,9	26,6



**Figura 6.** Representación gráfica de precipitaciones (Dcha.) y temperaturas medias mensuales (Izda.) en Abangares calculada por ponderación mediante el método del inverso de la distancia.

**Fuente.** Elaboración propia

#### 3.4.4. Geología

Según Dengo (1975), durante la mayor parte del Cretácico, un canal interoceánico de casi 3.000 kilómetros separaba América del Norte de América del Sur. Para ésta época, América Central del norte, estaba constituida por rocas intrusivas y sedimentarias, pero debido a movimientos tectónicos y orogénicos, a finales de éste mismo período, le confieren su configuración actual. Muy probablemente, al finalizar el Terciario, todavía existía un canal de aproximadamente 300 km de longitud, el cual aún separaba el norte de Nicaragua del norte de Colombia. En el sector sur de América Central, durante el Cretácico Superior y el Terciario Inferior aparece una cadena de islas volcánicas. En el Plioceno, hace tres o cuatro millones de años, se formó y consolidó el puente terrestre que separaba al Océano Pacífico del Océano Atlántico y la América del Norte de la América del sur. (Meza, 1994).

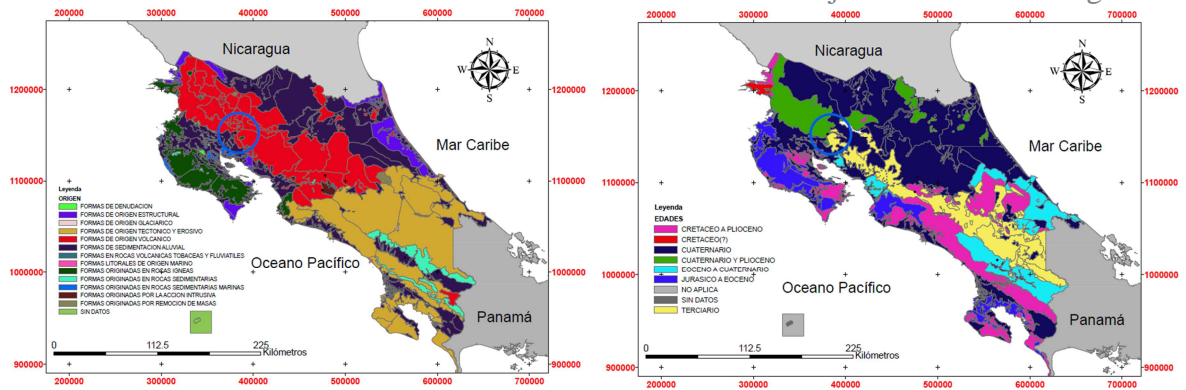
Las placas tectónicas que afectan al país son la Caribe, la del Coco y en menor medida la Nazca. La placa del Coco se hunde (subduce) bajo la placa Caribe y durante este proceso es que se generan la mayoría de los terremotos que afectan a Costa Rica (UCR, 2011).

En cuanto a la distribución del origen geológico (Figura 7, Izda.) la parte central del país, donde se concentran las principales cordilleras, se puede afirmar que la mitad sur tiene un origen tectónico y erosivo, mientras que la mitad norte el origen es volcánico. Las partes costeras del país tienen un origen de sedimentación aluvial y en la península de Nicoya predominan las formas originadas en rocas ígneas.

De acuerdo con la formación del relieve, la distribución geológica actual de Costa Rica (mostrada en la Figura 7, Dcha.) se estructura, de forma simple, como sigue:

- La Cordillera Volcánica de Guanacaste está formada por una fila de conos volcánicos del cuaternario.
- La Cordillera de Tilarán está constituida por rocas volcánicas terciarias.
- La Cordillera de Talamanca es un anticlinal formado por rocas sedimentarias marinas y por rocas volcánicas, cuya formación pertenece a la era Terciaria.





**Figura 7.** Distribución del origen geológico (Izda.) y las edades de formación geológica (Dcha.) en Costa Rica.

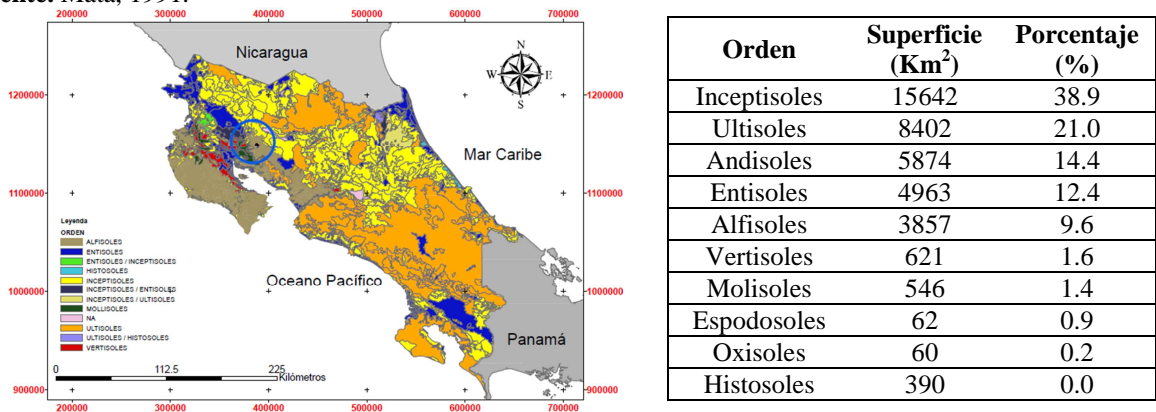
**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

### 3.4.5. Edafología

Según se muestra en la Tabla 6 y Figura 8, el orden de suelos (clasificación de la Soil Taxonomy) con mayor presencia en el país son los Inceptisoles, que representan un 38,9% de la superficie del mismo. Éste orden se caracteriza por ser un suelo joven con un horizonte b cámbico (apenas desarrollado). El orden Ultisoles, caracterizado por el horizonte argílico, con menos de un 35% de saturación de bases, generalmente profundo, bien drenados de color rojo o amarillo y relativa baja fertilidad, representa el 21% de la superficie. Otros órdenes presentes en el territorio nacional según su representación son: Andisoles, Entisoles, Alfisoles, Vertisoles, Molisoles, Espodosoles y Oxisoles.

**Tabla 6.** Extensión aproximada de los órdenes de suelos en Costa Rica según clasificación de Soil Taxonomy.

**Fuente.** Mata, 1991.



**Figura 8.** Distribución de los órdenes de suelos en Costa Rica.

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

En la zona de estudio, Subregión Central del Pacífico Norte (PN2), según las regiones geográfico-climáticas propuestas por Solano *et* Villalobos (2009) predominan los Regosoles (clasificación FAO/UNESCO) muy rocosos con material desagregado. El regosol correspondería a un a suelos tipo Entisol según la norma Soil Taxonomy. Por otra parte, también están presentes en el cantón de Abangares los Alfisoles, caracterizados por un horizonte argílico con más de un 35% de saturación de bases, similar al orden Ultisol excepto por su alta fertilidad potencial.

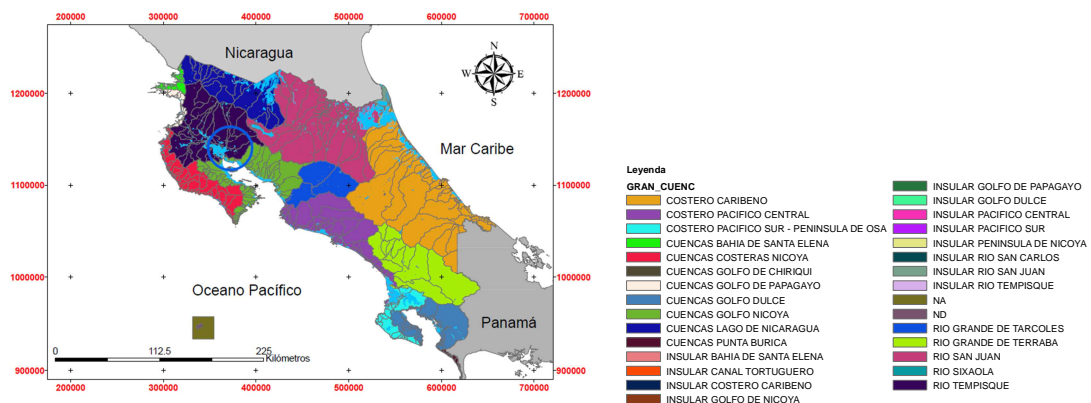
### 3.4.6. Hidrografía

El Eje Montañoso Central es la principal línea divisoria de aguas del país, determinando la existencia de dos vertientes: una hacia el océano Pacífico, otra hacia el Mar Caribe. Debido a la importancia de la vertiente oriental, se la subdivide en dos: los ríos que van directamente al Caribe y los que lo hacen vertiendo sus aguas al Lago Nicaragua o al río San Juan, tributario de este mar.

Los ríos de la vertiente Caribe son más largos, anchos y menos profundos que los del Pacífico. Los cursos inferiores suelen formar meandros por el escaso desnivel y por la lentitud del caudal. Por otra parte, el abundante material que acarrean (sedimentos y restos de vegetación) obstruye las desembocaduras formando barreras, albuferas y caños litorales, elementos morfológicos característicos de la costa caribeña. Pertenecen a esta vertiente los ríos San Juan, Colorado, Tortuguero, Parismina, Pacuare, Matina, Estrella, Banano y Sixaola.

Las cuencas de los ríos de la subvertiente norte presentan características similares a los de la vertiente Caribe, se pueden distinguir los tributarios del lago Nicaragua (Sapoá y Frío) de los que se vierten al San Juan (San Carlos, Sarapiquí y Chirripó).

En la vertiente Pacífico, los ríos se caracterizan por ser cortos, accidentados y profundos. La cercanía y el paralelismo del relieve montañoso a la costa hace que sean ríos de escasa longitud, de pendientes pronunciadas y escalones rocosos (rápidos, cascadas) y con gran poder erosivo; de ahí la profundidad de sus cauces. Estos rasgos son más acusados en la parte central de la llanura Pacífica. En cambio en la zona sur, donde se encuentra el río Grande de Térraba y, en la norte, en la llanura de Guanacaste, los ríos, como el Tempisque, después de abandonar las áreas montañosas en que nacen, recorren grandes planicies y se convierten en ríos mansos de llanura. Los principales ríos de esta vertiente son: Tempisque, Grande de Tárcoles, Pirrís o Parrita, Grande de Térraba y Coto Colorado.



**Figura 9.** Distribución de las grandes cuencas hidrográficas en Costa Rica.

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

Como muestra la Figura 9, la zona de este estudio se encuentra ubicada en la cuenca del río Tempisque, en la vertiente pacífica. El río principal de la cuenca, nace con el nombre de Tempisquito al norte de la sierra de Guanacaste, cerca del volcán Orosí. Algunos de sus afluentes son: Ahogados, Colorado, Liberia, Salto, Las Palmas, Cañas, Bolsón y Bebedero, y desemboca en forma de estuario. El río recorre una importante región agrícola y

ganadera, para la cual el Tempisque ha significado una vital vía de penetración, sobre todo hasta la construcción de la carretera Interamericana; puesto que es navegable hasta la confluencia con el Bolsón (36 km).

### 3.4.7. Vegetación

Las características climáticas, edáficas y topográficas que presenta el país, junto a la legislación establecida, lo han convertido en uno de los que mayor biodiversidad presentan. En su territorio conviven más de medio millón de especies, que representan el 4% de las que existen en el mundo. De este medio millón de especies, un poco más del 70% son insectos. Además se han descrito cerca del 83% de las especies estimadas de plantas y el 81% de vertebrados (INBIO, 2014).

El sistema de Zonas de Vida propuesto por Holdridge (1947) es uno de los más utilizado para clasificar los hábitats ecológicos. Este sistema se basa en las asociaciones de flora y fauna agrupadas según humedad, precipitación y temperatura (INBIO, 2014). Este sistema divide Costa Rica en 12 zonas de vida y 12 zonas de transición, el resultado es la división del país en diferentes tipos de bosque.

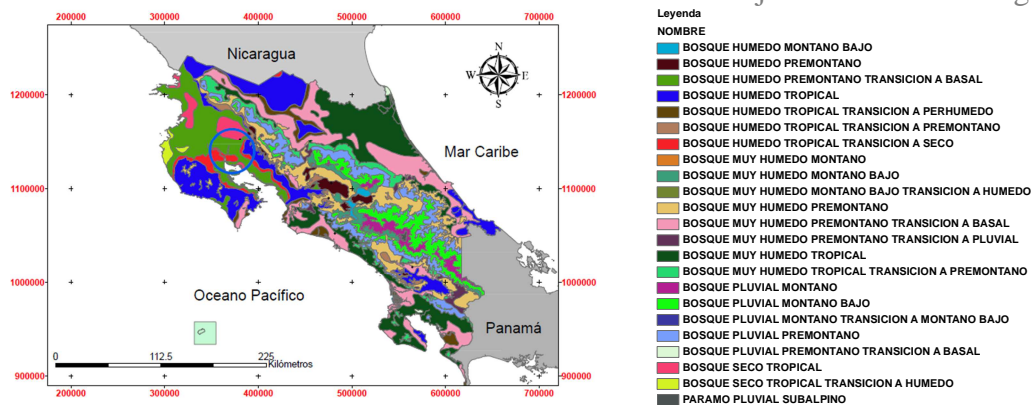
Como muestra la Tabla 7, las zonas de vida se distribuyen por la disposición altitudinal de los hábitats, definido este concepto como pisos bioclimáticos, y considerados como cada uno de los grupos o tipos de medios que se suceden en una cliserie altitudinal o latitudinal.

**Tabla 7.** Distribución de las zonas de vida presentes en Costa Rica según piso altitudinal y ámbito de precipitaciones y temperaturas.

**Fuente.** Tomado de Quesada, 2007.

Piso altitudinal	Límites de temperatura (°C)	Rango altitudinal (msnm)	Zonas de vida
Basal	+24	0-700	Bosque seco Bosque Húmedo Bosque muy húmedo
Premontano	24-18	700-1400	Bosque Húmedo Bosque muy húmedo Bosque pluvial
Montano Bajo	18-12	1400-2700	Bosque Húmedo Bosque muy húmedo Bosque pluvial
Montano	12-6	±2400-3700	Bosque muy húmedo Bosque pluvial
Subalpino (Montano alto)	6-3	2800-4000	Páramo Pluvial

La distribución de cada uno de los tipos de bosques en el territorio de Costa Rica se muestra en la Figura 10. Como se comprueba en ella, el principal tipo de bosque en Costa Rica es el muy húmedo tropical, con 539.391 ha (10,5% del territorio nacional), en términos de extensión le siguen el muy húmedo premontano, con 372.742 ha (7,2%), pluvial montano bajo, con 301.974 ha (5,9%), pluvial premontano, con 289.400 ha (5,6%) y húmedo tropical, con 283.213 ha (5,5%) (INBIO, 2014).



**Figura 10.** Distribución geográfica de las zonas de vida en Costa Rica (Basado en Bolaños *et al.*, 2005).

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

La zona de estudio se asienta en la zona de vida del bosque seco tropical, el cual se caracteriza porque la temperatura ronda los 26-28°, una altitud media de 700 metros y una estación seca bien marcada, durante la cual la mayoría de los árboles pierden las hojas (deciduo), que dura 6 meses. En Costa Rica, se distribuye en la provincia de Guanacaste por el valle del río Tempisque. El componente principal son las leguminosas mimosas y cesalpinosas. El segundo estrato posee árboles entre los 10 y 20 m de altura, con troncos delgados, curvos o inclinados y con una mayor cantidad de especies siempre verdes. La familia de plantas más frecuente es Rubiaceae. Las epífitas son ocasionales siendo las bromelias las más conspicuas. El estrato arbustivo alcanza entre 2 y 5m de altura y a menudo presenta espinas o púas. En este tipo de bosque se pueden encontrar entre 90 a 150 especies por hectárea de especies arbóreas (Hartshorn, 1991; Quesada, 2005).

Según Quesada (2007), algunas especies vegetales comunes de esta zona de vida son: *Anacardium excelsum* (espavel), *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste), *Samanea saman* (cenízaro), *Tabebuia rosea* (roble sabana), *Hymenaea courbari* (guapinol), *Manilkara sapota* (chicle), *Cochlospermum vitifolium* (poro poro), *Calycophyllum candidissimum* (madroño), *Bombacopsis quinatum* (pochote). En sitios donde el fuego es frecuente, unido a suelos poco fértiles, se desarrolla una vegetación dominada por *Curatella americana* (raspa guacal) y *Byrsonima crassifolia* (mance), y en los suelos originados por tobas volcánicas se presenta *Quercus oleoides* (roble).

El Parque Nacional Palo Verde, protege un área representativa de esta zona de vida. Vegetación semejante se puede apreciar en las cercanías del Parque Nacional Santa Rosa y la Estación Experimental Forestal Horizontes (Quesada, 2007).

### 3.4.8. Fauna

A pesar de lo restrictivo en recursos como el agua, el bosque seco tropical es el segundo en biodiversidad del país después del bosque lluvioso. Algunos de los animales más representativos, entre la multitud de insectos, se citan a continuación:

- **Mamíferos:** Puma (*Puma concolor*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), mono aullador (*Alouatta palliata*), armadillo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), ardilla (*Sciurus variegatoides*), guatasa (*Dasyprocta punctata*) Tepezcuinte (*Aguti paca*) y coatí (*Nasua narica*).

- Reptiles y anfibios: Iguana negra (*Ctenosaura similis*), Sapo cavador (*Rhinophrynus dorsalis*), boa constrictora (*Boa constrictor*), matabuyes (*Lachesis stenophrys*), cascabel (*Crotalus durissus*), culebra coral (*Micrurus mosquitensis*) y terciopelo (*Bothrops asper*).
- Aves: Urraca copetona (*Calocitta formosa*), momoto cejiceleste (*Eumomota superciliosa*), momoto común (*Momotus momota*), periquito barbinaranja (*Brotogeris jugularis*), cotorras (*Amazona* sps.), tangara azulada (*Thraupis episcopus*), trogón violáceo (*Trogon violaceus*), cuco ardilla (*Piaya cayana*), saltarín colilargo (*Chiroxiphia linearis*), el martin pescador gigante neotropical (*Megaceryle torquata*), tucancillo collarejo (*Pteroglossus torquatus*), el pájaro carpintero picoplata (*Campephilus guatemalensis*), el bienteveo grande (*Pitangus sulphuratus*), cuyeo (*Nyctidromus albicollis*) o yigüirro (*Turdus grayi*), ave nacional de Costa Rica, además de colibríes como el amazilia canela (*Amazilia rutila*).

### 3.4.9. Cobertura forestal

#### 3.4.9.1. Reseña histórica

Los conquistadores llegaron a Costa Rica en el 1561, el país estaba poblado por 27.000 aborígenes que practicaban una agricultura migratoria de pocas plantas como frijoles, maíz, yuca, tabaco, tomate y algunos frutales. La deforestación en esta época era de apenas el 1% (Fournier, 1985). El impacto que tuvo el período de conquista en América en general, y en Costa Rica en particular, fue enorme, significó mucho más que “un encuentro de culturas” (Arias, 2007). Dejando de lado otro tipo de consecuencias, ocho años después de la colonización española y la introducción del ganado vacuno y caballar, así como la expansión de la agricultura, el área deforestada se había aumentado a un 3%, sobretudo en el valle central y en la región de Guanacaste (Melendez, 1978).

Los problemas ambientales comenzaron a preocupar desde el siglo XVIII, cuando el gobernador español de Costa Rica, don Juan Fernández de Bobadilla emitió un decreto en que prohibía las quemadas veraniegas y mostraba su preocupación por la deforestación (Fournier, 1985). Sin embargo, continuaba la gran deforestación para la exportación de productos a los centros metropolitanos coloniales.

El 29 de octubre de 1821 con la independencia de Costa Rica. La República Federal de Centroamérica arrancó con el acuerdo de los cinco Estados miembros de Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica. El 1° de julio de 1823 se estableció una Capital federal o distrito Federal en Guatemala, nombrando como primer Presidente al salvadoreño Manuel José Arce (Arias, 2007). También, cada Estado miembro nombró diputados ante el Congreso Federal. En ésta época, la deforestación en el país era de aproximadamente del 8% (Fournier, 1985).

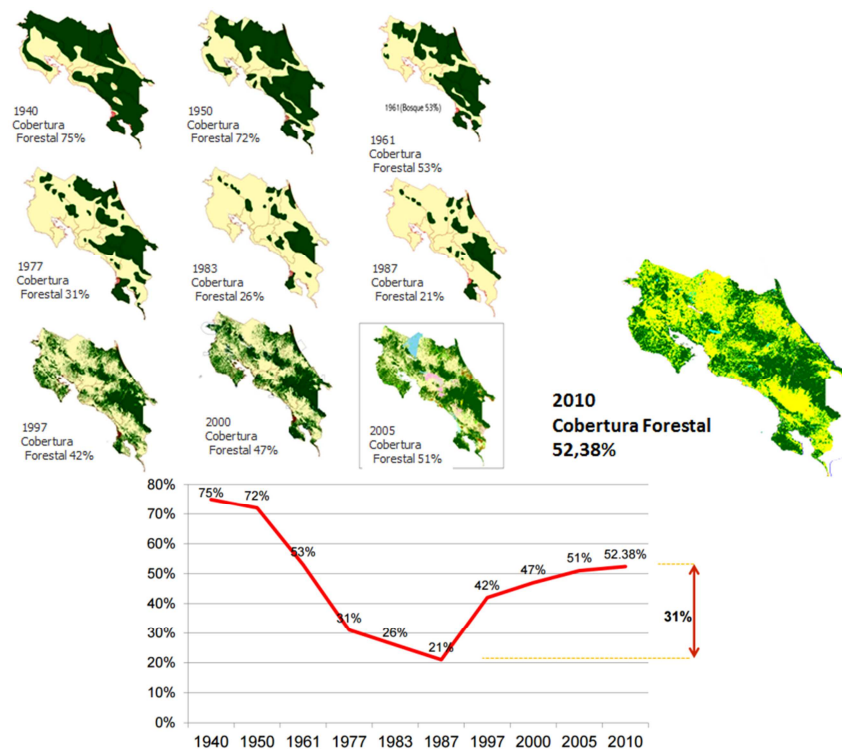
Integrada en la República Federal, Costa Rica entró en el negocio exportador minero y de un árbol llamado Palo Brasil, utilizado para extraer un tinte de gran demanda en Europa. La declinación y fracaso de estos productos le abrió el camino al café, que fue traído desde Cuba a principios de 1800. Este producto fue cultivado y exportado en grandes cantidades primero a Chile y posteriormente a Inglaterra (Arias, 2007).



En 1847 asumió el cargo de Jefe de Estado el Dr. José María Castro Madriz, procediendo a elaborar y aprobar una nueva Constitución política que posibilitara un esquema de desarrollo nacional e internacional acorde con la realidad de su tiempo. La Constitución fue puesta en vigencia en 1848, haciendo posible que el 31 de agosto del mismo año se fundara la República de Costa Rica (Arias, 2007).

La Ley de Información Posesoria de 1941 que promovía el cambio del uso de la tierra para fines agrícolas (lo cual le daba más valor a la tierra sin bosque), el auge de la ganadería extensiva para exportación en la década de 1960, las políticas de incentivos para fortalecer la ganadería y la agricultura en la década de 1970, la agroexportación (Café, banano, caña de azúcar, cacao...), junto con el aumento acelerado demográfico, que requería tierras para cultivos y vivienda, hicieron que Costa Rica registrara en esa época una de las más altas tasas de deforestación del continente con relación a su tamaño (INBIO, 2014). Según MINAE- FONAFIFO (2012), en el año 1987, solo quedaba el 21% de cobertura forestal en el país (Figura 11).

La tasa anual de deforestación comienza su descenso hacia finales de la década de 1980 (INBIO, 2014). A partir de ese momento, la formulación de leyes para la conservación de la biodiversidad (desarrollado en los siguientes epígrafes) ha hecho que la cobertura forestal aumente hasta la fecha actual.



**Figura 11.** Evolución de la distribución de la cobertura forestal en Costa Rica entre los años 1940-2010.

**Fuente.** MINAE- FONAFIFO, 2001 (Arriba) y Feoli, 2010 (Abajo).

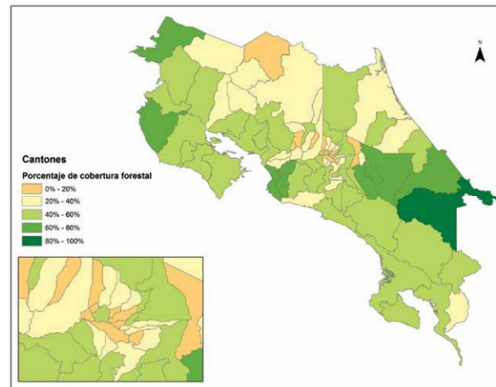
### 3.4.9.2. Estado actual de los bosques

Según el más reciente estudio del Sinac-Minae y Fonafifo, en 2013 la cobertura boscosa representaba el 52,4% del territorio nacional, es decir de 2,6 millones de hectáreas. Dentro de esta área forestal total, 623.000 ha se consideran bosques primarios. (OIMT, 2013).

De la superficie total de bosques, se identificaron varios tipos de cobertura: bosque maduro (31%), bosque secundario (13,7%), bosque decíduo (4,6%), bosque de palmas (0,9%), bosque manglar (0,7%), plantación forestal (1,5%), pastos (24,1%), páramo (0,2%), no forestal (13,6%), nubes y sombras (9,7%). (PEN, 2014).

Según FAO (2010), el 45,2% de estos bosques son de propiedad pública y el 54,8% de propiedad privada.

En la Figura 12 se puede observar la distribución de los bosques en Costa Rica por cantones. Aquí destaca el caso de Talamanca, el cual tiene más del 80% de su territorio cubierto por bosques. En el caso de Abangares, donde se desarrolla el estudio, el porcentaje de cobertura forestal esta entre el 40% y 60%.



**Figura 12.** Cobertura forestal actual por cantones (año 2013)  
**Fuente.** PEN, 2014.

### 3.5. Leyes y mecanismos de conservación

En 1969 se emitió la Ley N° 4551, de conservación de la Fauna Silvestre (modificada en 1984 por la Ley N° 6919), en 1977 se estableció el Servicio de Parques Nacionales (Ley 6184) y 1998 la Ley de Biodiversidad (N° 7788). Estas leyes han venido a constituir elementos de apoyo a la Ley Forestal. Además, a partir de 1978 se han emitido una serie de leyes y decretos que incluyen incentivos fiscales para interesar al sector privado del país en los programas de reforestación (Conde, 1980; citado por Fournier, 1985), aspecto que se desarrolla en el siguiente epígrafe.

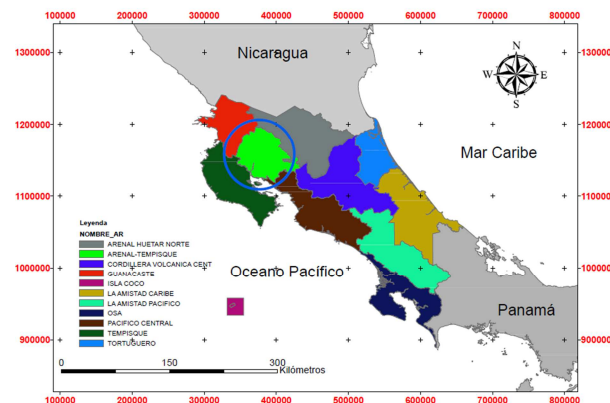
La Ley de Biodiversidad establece que la Comisión Nacional de Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO) es responsable, junto con el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), de la administración de los recursos naturales en el país.

Actualmente el SINAC es el organismo administrativo con las competencias en materia forestal, vida silvestre, áreas protegidas y la protección y conservación del uso de cuencas hidrográficas y sistemas hídricos. Este organismo depende del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) y fue creado en 1998 mediante el artículo 22 de la Ley de la Biodiversidad N° 7788.

Territorialmente, el SINAC está dividido en once áreas de conservación (Figura 13), donde se interrelacionan actividades tanto públicas como estatales y se buscan soluciones

conjuntas, orientadas por estrategias de conservación y desarrollo sostenible de los recursos naturales (SINAC). Éstas son:

- Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACAHN)
- Área de Conservación Arenal-Tempisque (ACAT)
- Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACVC)
- Área de Conservación Guanacaste (ACG)
- Área de Conservación La Amistad Caribe (ACLAC)
- Área de Conservación La Amistad-Pacífico (ACLAP)
- Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC)
- Área de Conservación Osa (ACOSA)
- Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC)
- Área de Conservación Tempisque (ACT)
- Área de Conservación Tortuguero (ACTo)



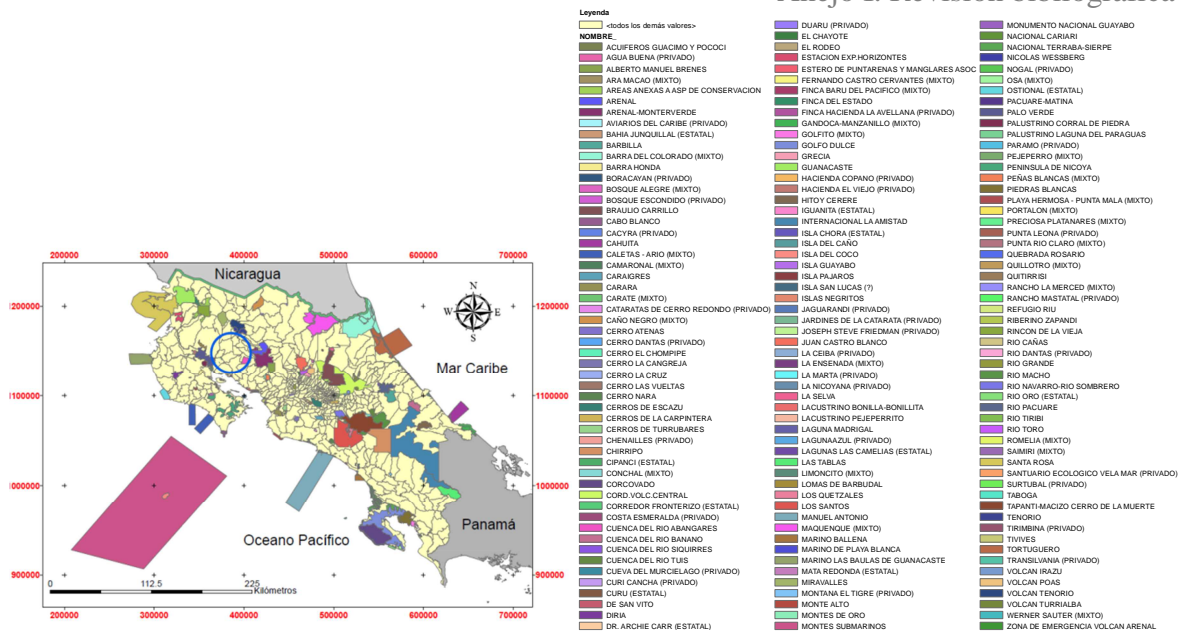
**Figura 13.** Distribución de áreas de conservación SINAC 2014

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

Como se ha mencionado, el SINAC tiene la competencia y la responsabilidad de la administración de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) oficialmente establecidas (las cuales aparecen en la Figura 14). En la Ley de la Biodiversidad y su Reglamento se definen las ASP como: “Espacio geográfico definido, declarado oficialmente y designado con una categoría de manejo en virtud de su importancia natural, cultural y/o socioeconómica, para cumplir con determinados objetivos de conservación y de gestión”. Además, se señalan las categorías de manejo que prevalecen en Costa Rica:

- a) Reservas Forestales.
- b) Zonas Protectoras.
- c) Parques Nacionales.
- d) Reservas Biológicas.
- e) Refugios Nacionales de Vida Silvestre: se clasifican en tres clases:
  - e.1) Refugios Nacionales de Vida Silvestre de propiedad estatal.
  - e.2) Refugios Nacionales de Vida Silvestre de propiedad privada..
  - e.3) Refugios Nacionales de Vida Silvestre de propiedad mixta..
- f) Humedales.
- g) Monumentos Naturales.
- h) Reservas Marinas.
- i) Áreas Marinas de Manejo.





**Figura 14.** Distribución de áreas silvestres protegidas en Costa Rica.

**Fuente.** Elaboración propia con información cartográfica del Atlas Digital de Costa Rica 2014.

La zona de estudio se encuentra localizada en el Área de Conservación Arenal-Tempisque (ACAT), la cual fue constituida en octubre de 1991. Ésta abarca aproximadamente 395.046,14 hectáreas; que equivale el 7.73% del territorio nacional. Destacan en esta región los volcanes Miravalles y Tenorio, así como también el Embalse Arenal, principal fuente energética, de riego y de desarrollo turístico del país. Además existe una zona Ramsar en el Parque Nacional Palo Verde (web SINAC).

Por otra parte, en el año 2007 el Gobierno de la República adquirió el compromiso de que Costa Rica se convierta en un país carbono neutral para el año 2021. Dos años más tarde, lanza una Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), en la que se define la neutralidad de carbono del país como “el resultado de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en el territorio nacional continental menos la absorción y emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>”. Los procedimientos para llevar a cabo estos objetivos se basan en: Medir la huella, reducir emisiones y compensar las emisiones restantes (Granados, 2013).

### 3.5.1. Incentivos forestales por Pagos por Servicios Ambientales en Costa Rica

Los Pagos por servicios ambientales (PSA) son un reconocimiento financiero por parte del Estado a los propietarios y poseedores de bosques y plantaciones forestales por los servicios ambientales que éstos proveen y que inciden directamente en la protección y mejoramiento del medio ambiente. (FONAFIFO, 2014).

Costa Rica es un líder mundial en el tema de PSA. El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) creado por la Ley Forestal N° 7575 de 1996, tiene una amplia experiencia en la implementación de programas que buscan el beneficio de la población y del ambiente, y que contribuye a la meta definida por el Gobierno de ser un país “Carbono Neutral” para el 2021 (CATIE 2011, citado por Zambrano, 2012)

El establecimiento del sistema de pago de servicios ambientales en Costa Rica se origina a raíz de los acuerdos de la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, específicamente con los enunciados del Convenio de Cambio Climático. Se normaliza en según la Ley Forestal No.7575 y su reglamento en 1996, artículos 3 (inciso k), 22, 23, 24 y 69, (Herrera, 2003).

Los tipos de servicios ambientales que se reconocen en la Ley Forestal No.7575 de Costa Rica son (FONAFIFO, 2014):

- Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (fijación, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción). por ejemplo, una empresa eléctrica del hemisferio norte paga a campesinos del trópico por plantar y mantener árboles.
- Protección del Agua para uso Urbano, rural o hidroeléctrico por ejemplo, los usuarios aguas abajo pagan a los dueños de fincas aguas arriba por adoptar usos de la tierra que limiten la deforestación, la erosión del suelo, riesgos de inundación, etc.
- Protección de la biodiversidad para su conservación y uso sostenible, científico y farmacéutico, de investigación y de mejoramiento genético, así como para la protección de ecosistemas y formas de vida. por ejemplo, donantes que pagan a los pobladores locales por proteger y restaurar áreas para crear un corredor biológico.
- Belleza escénica natural para fines turísticos y científicos. por ejemplo, una empresa de turismo paga a una comunidad local por no cazar en un bosque usado para turismo de observación de la vida silvestre.

La forma de aplicación del Programa de PSA en Costa Rica es mediante el estado y algunas instituciones: el Ministerio de Hacienda, se encarga de recaudar los recursos, y al Ministerio de del Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), le corresponde ejecutar el reconocimiento a los propietarios de bosques y plantaciones por los servicios ambientales que ellos generan (Zambrano, 2012). Esto último se realiza mediante el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), que se encarga de determinar las áreas prioritarias donde se aplicará el pago, recepción, trámite de solicitudes planteadas por los interesados y la aprobación del pago, y el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), encargado de captar y administrar los fondos provenientes del Ministerio de Hacienda. En Hojanca y Nandayure, los Centros Agrícolas Cantonales de Hojanca y Nandayure, fueron el puente para otorgar los fondos a los productores (Zambrano, 2012).

Inicialmente, la principal fente de financiamiento consistió en destinar un tercio de los recursos generados por el impuesto de consumo a los combustibles, de conformidad con el artículo 69 de la Ley 7575. Posteriormente, este impuesto fue modificado por la Ley de Simplificación Tributaria, creándose el impuesto único a los combustibles, del cual un 3,5% es destinado PPSA.

Otras fuentes potenciales de recursos para fortalecer los programas que desarrolla la institución, son (FONAFIFO, 2014):

- Aportes financieros recibidos del Estado, mediante presupuestos ordinarios y extraordinarios de la República u otros mecanismos. Donaciones o créditos que reciba de organismos nacionales e internacionales. Créditos que el Fondo Nacional

de Financiamiento Forestal obtenga, así como recursos captados mediante la emisión y colocación de títulos de crédito.

- Participación de entes internacionales como el Banco Mundial y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, por medio del Proyecto Ecomercados y del Gobierno Alemán, a través del KfW (Banco Alemán de Desarrollo) que aporta recursos para el Programa Forestal Huetar Norte.
- Mecanismos y convenios con la empresa privada local, los cuales han resultado sumamente exitosos y han permitido que más productores se beneficien con los recursos movilizados mediante la aplicación de este instrumento. La inversión que la empresa privada ha realizado es de aproximadamente US\$7 millones durante los últimos años.

Existen un número elevado de modalidades de pago de los PSA, de las cuales el MINAE estable las más importantes y prioritarias, distribuyendo los montos entre ellas. Los montos de cada una de las modalidades están desarrollados en el Anejo V del presente proyecto.

El FONAFIFO diseñó un esquema de monitoreo y evaluación apoyado por moderna tecnología y personal calificado. A través de esta herramienta, se realizan las labores necesarias para garantizar que los recursos invertidos se empleen eficientemente y lleguen a quienes efectivamente brindan los servicios ambientales.

Este monitoreo se realiza mediante varias actividades: la visita del personal del Área PSA y de las Oficinas Regionales a fincas sometidas al PSA, la revisión de informes de regencias aportados por los Regentes Forestales, las auditorías a las que es sujeto el FONAFIFO y el Programa PSA, acompañado del SIG y SIAP como herramientas en el seguimiento y monitoreo, que permite, en conjunto con la plataforma informática, manejar toda la información de los contratos PSA, combinando diferentes elementos, tales como criterios técnicos, aspectos legales, geográficos y financieros, de esta manera, se brinda la transparencia y el respaldo del Programa de PSA (FONAFIFO, 2014).

### **3.5.2. Mercado Doméstico Voluntario de Carbono de Costa Rica**

El Mercado Doméstico Voluntario de Carbono en Costa Rica (MDVCCR) es un mecanismo hacia la meta de la neutralidad en carbono para el año 2021 que se propuso el gobierno de Costa Rica en 2007. Se regula según el Decreto N°37926 MINAE del 11 de noviembre de 2013, Reglamento de Regulación y Operación del Mercado Doméstico de Carbono. Consiste en instrumentos para el intercambio y la comercialización de créditos de carbono generados por proyectos o actividades y tiende a apoyar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (MINAE, 2013)

Según MINAE (2013), la Norma INTE 12-01-06-2011, que define las condiciones bajo las cuales una empresa o institución puede ser certificada por el país como carbono neutral, se basa en la necesidad de que cada participante realice actividades internas de reducción a niveles significativos que podrán ser complementadas por unidades de compensación, que pueden provenir de tres fuentes: el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el uso de bonos de carbono provenientes del Verified Carbon Standard (VCS) y las Unidades de Compensación Costarricense (UCC). Una UCC equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente.

## 2. SISTEMA FORESTAL, LA TECA.

### 2.1.1. Clasificación Taxonómica

La teca pertenece al orden de las *Lamiales*, el cual incluye cerca de 23.275 especies, reunidas en 23 familias y 1059 géneros (Stevens, 2001). Una de las familias de este orden son las *Verbenaceas*, la cual presenta 91 géneros y 1900 especies (Mabberley, 1993). En esta familia, la distribución es casi completamente tropical y subtropical con pocas especies en regiones templadas (Heywood, 1985). Además, esta familia incluye géneros que se cultivan como ornamentales: Verbena, Duranta, Clerodendrum y otras especies que proporcionan valiosos aceites esenciales, frutos comestibles, gomas y taninos además de otras con maderas resistente al agua como la propia *Tectona grandis* L.f. (UNNE, 2013) (Tabla 8).

**Tabla 8.** Clasificación taxonómica de la teca.

**Fuente.** Adaptado de Fonseca, 2004

<b>Reino</b>	<i>Plantae</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophyta/Fanerógama</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida/Dicotiledoneas</i>
<b>Orden</b>	<i>Lamiales</i>
<b>Familia</b>	<i>Verbenaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Tectona</i>
<b>Especie</b>	<i>grandis</i>
<b>Nombres comunes</b>	Teca (mayoría de países) Sagun, sagon, saguan, skhu, toak, shilp tru, Indian oak (India); Teck (Francia, India, Inglaterra y Holanda); Jati, deleg y kulidawa (Indonesia); kyun (Birmania); Sak y mai-sak (Laos y Tailandia), teca de Rangún, rasawa.

### 2.1.2. Morfología y fisiología

A continuación se describen las características botánicas más importantes de la especie (Extraído de Fonseca, 2004):

- **Porte.** Árbol grande, de fuste recto, deciuo, que puede alcanzar más de 50 m de altura y 2 m de diámetro en su lugar de origen. En Costa Rica alcanza alturas superiores a los 35 m en los mejores sitios. Generalmente presentan dominancia apical, que se pierde con la madurez o cuando florece a temprana edad, originando una copa más amplia con ramas numerosas.
- **Corteza.** Áspera y fisurada de 1,2 mm de espesor, de color café claro que desfolia en placas grandes y delgadas.
- **Hojas.** Simples opuestas, de 11 a 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, con pecíolos gruesos.
- **Flores.** Inflorescencia en panículas terminales de 40 cm hasta 1,0 m de largo. Flores de cáliz campanulado, color amarillo verdoso, de borde dentado, los pétalos se juntan formando un tubo corto, 5 o 6 estambres insertados debajo del tubo de la corola, anteras amarillas, ovadas y oblongas. Estilo blanco amarillento, más o menos pubescente con pelos ramificados, estigma blanco amarillento bífido, ovario ovado o cónico, densamente pubescente, con cuatro celdas.

- **Fruto.** Subgloboso, más o menos tetrágono, aplanado; exocarpo delgado, algo carnoso cuando fresco y tomentoso; endocarpo grueso, óseo, corrugado con cuatro celdas que encierran generalmente 1 o 2 semillas de 5 mm de largo.
- **Raíz.** Pivotante gruesa y larga que puede persistir o desaparecer, pero forma numerosas y fuertes raíces laterales. Las raíces son sensibles a la deficiencia de oxígeno, de ahí que se encuentran a poca profundidad (primeros 30 cm).
- **Temperamento.** Especie heliófila, con alta demanda de luz vertical total, además requiere un espacio amplio alrededor para el desarrollo apropiado.
- **Ciclo ecológico en Costa Rica.** La producción de semillas fértiles se presenta entre los 15 y los 20 años, sin embargo, en algunos casos se da una floración temprana entre 5 y 8 años. La floración se da en los meses de junio a setiembre y la producción de frutos al inicio del verano, de febrero a abril.

### 2.1.3. Requisitos ambientales

Los requerimientos ambientales de la teca en Costa Rica son los siguientes (Extraído de: Fonseca, 2004):

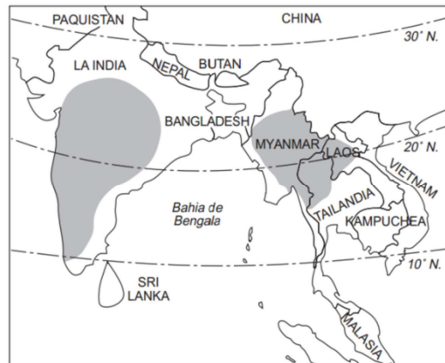
- **Altitud.** *Tectona* crece desde 0 a 1000 msnm. En Centro América se ha ensayado desde 16 m hasta 600 m.
- **Régimen pluviométrico.** Se reporta un amplio rango de precipitación que va desde 1000 a 3750 mm/año, con una época seca bien definida de 3 a 5 meses, con extremos de 500 a 5000 mm/año. Condiciones muy húmedas pueden conducir a mayor crecimiento y a la producción de madera de menor calidad, debido a un mayor porcentaje de albura, color menos atractivo, textura más pobre, pérdida de fuerza y menor densidad.
- **Régimen Térmico.** En el área de distribución natural, en la India, crece en lugares con temperaturas entre 13° C y 40° C, con una media de 24° C. Sin embargo, para un óptimo desarrollo se considera una temperatura media de 25° C, con un rango 24-30° C.
- **Caracteres edáficos.** Se adapta a gran variedad de suelos, pero prefiere suelos planos, aluviales, de textura franco-arenosos o arcillosos, profundos, fértiles, bien drenados y con pH neutro o ácidos. Es exigente de elementos como calcio, fósforo y magnesio. Las plantaciones de teca mejoran la calidad de los sitios, en Tailandia se ha determinado incrementos de materia orgánica en plantaciones de cuatro años, y al año 15 había aumentado el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y el magnesio (Mg).
- **Sitios óptimos en Costa Rica.** La experiencia demuestra que los mayores crecimientos se dan en sitios con altitudes menores a 500 msnm, con una estación seca marcada de 4 a 6 meses, entre 23 y 27 °C de temperatura y una precipitación de 1300 y 2500 mm/año. Los mejores sitios son aquellos con una pendiente media (menor al 25 %), al pie de monte o en el fondo de valles, con suelos de textura liviana, bien drenados, fértiles, neutros, con una profundidad efectiva mayor a 80 cm, con alto contenido de calcio (Ca), fósforo (P) y magnesio (Mg). Cabe señalar la limitación de la especie en zonas con fuertes vientos.

#### 2.1.4. Distribución y extensión

Puesto que la teca es una especie que se ha introducido en muchos lugares por las cualidades de su madera, se ha diferenciado entre la distribución natural u originaria y la distribución artificial:

- **Natural.** Muchos autores coinciden en que el género *Tectona* es originario del sureste asiático: Birmania, Tailandia, la India, Malasia, Java, Indochina, la República Democrática Popular Laos, entre los 12 y 25° latitud norte y de 73 a 104° longitud este, donde predomina el bosque tipo monzónico, abarcando bosque seco tropical y bosque húmedo tropical (Fonseca, 2004). En la Figura 15 aparece el área de distribución natural de la teca.

Se estima que los bosques nativos de teca cubren 29 millones de hectáreas en India, República Democrática Popular de Laos, Myanmar y Tailandia, encontrándose casi la mitad del total en Myanmar. El bosque natural manejado abastece apenas una cuarta parte del mercado, y la tendencia es a que tal proporción se reduzca significativamente en el futuro (De Camino *et* Morales, 2013).



**Figura 15.** Distribución natural de la teca, *Tectona grandis*, en Asia.

**Fuente.** Weaver, Peter L. 1993.

- **Artificial.** Se ha introducido en una gran cantidad de lugares que tienen clima tropical, entre los 18 y 28° latitud norte: sureste de Asia (Indonesia, Sri Lanka, Vietnam, Malasia, Islas Solomon), algunos países africanos (Costa de Marfil, Nigeria y Togo) y en muchos países de América Latina (Fonseca, 2004).

La especie se introdujo en América Central durante el año 1926 en Panamá, con semilla procedente de Sri Lanka. Desde Panamá se enviaron semillas a la mayoría de países de América Central y el Caribe. (Fonseca, 2004).

En Costa Rica, los registros del Summit Garden (Jardín botánico y zoológico de Panamá) indican que se realizaron envíos entre 1943 y 1944 que permitieron establecer dos plantaciones: una en Quepos (Pacífico Central), en terrenos de Banana Company of Costa Rica (United Fruit Company) en 1943, y la segunda en Turrialba en terrenos del CATIE, aproximadamente en 1947. (De Camino *et* Morales, 2013).

En cuanto a la superficie total mundial plantada con teca representa unos 5,82 millones de hectáreas, distribuidas en 36 países tropicales, según el informe: “Producción y mercados de madera de teca: futuros escenarios”, publicado en 2010 por la Red de Investigación para el Desarrollo de la Teca del Pacífico Asiático (TEAKNET). Estos datos colocan a la teca

Anejo I. Revisión bibliográfica

como una de las especies maderables más importantes a nivel mundial, por el aporte económico, social y ambiental que supone para las naciones que la producen. (CATIE *et Finnfor*, 2011).

Como se muestra en la Tabla 9 y Tabla 10, el mercado global de la teca ha sido y seguirá siendo dominado por las tendencias del mercado asiático. Asia posee más del 90% de los recursos mundiales, y solo la India maneja el 38% de los bosques de teca plantados en el mundo. (De Camino *et Morales*, 2013). En la y, se aportan más detalladamente las distribuciones de superficie plantada con teca en el Mundo.

**Tabla 9.** Extensión natural de teca en el mundo (Izda); extensión artificial de la teca en el mundo (Dcha.). a inicios de 1990.

**Fuente.** De Camino *et Morales*, 2013.

Pais	Área (ha)	Continente	Área (ha)**
India	8.900.000	Asia	2.684.000**
Laos	16.000	África	290.210
Myanmar	16.517.700	América Latina	142.440**
Tailandia	2.500.000	Total	3.116.650
Total	27.933.700		

Fuente: Gyi y Tint (1998)\*El autor revisó estimaciones de más de 380 áreas plantadas desde 1870 a la fecha en 93 territorios e islas.  
\*\*El área en Asia llega a 4.954.000 ha si se incluyen las plantaciones de bosques seminaturales productivos de la India.

**Tabla 10.** Situación de los principales países productores de teca por continentes, incluyendo la superficie total, los espaciamientos de plantación y la rotación tradicional, así como el IMA (Incremento medio anual en volumen) de cada uno de ellos.

**Fuente.** Bhat *et Hwan*, 2004.

PAÍS	SUPERFICIE DE PLANTACIONES (#ed.areas)	ESPACIAMIENTO INICIAL (m)	ROTACIÓN TRADICIONAL (años)	IMA (m <sup>3</sup> /hectárea/año)
<b>ASIA-PACÍFICO</b>				
Bangladesh	73 000	1.8 x 1.8	40	7.4
China	9000			
India	2 450 000	1.8 x 1.8, 2 x 2, 2.5 x 2.5, 3.6 x 2.7/3.6	50-80	2-7
Indonesia	1 760 000	3 x 3	60-80	5-6; 20
República Democrática Popular Lao	3000			
Malasia	3990	2.4 x 2.4 / 3 to 4 x 4.5	35-40	4-10
Myanmar	139 000	2 x 2		
Sri Lanka	38 400	3 x 3	40	7
Tailandia	836 000	2 x 4, 4 x 4	40-60	13.52
Viet Nam	1500			
<b>ÁFRICA</b>				
Ghana	170 000	1.8 x 1.8; 2 x 2	20	8-10
Côte d'Ivoire	62 500			8-11 to 10-16
Nigeria	70 000	2.44 x 2.44 to 2.96 x 2.96		27
Tanzania	3000			
Togo	4500			
<b>AMÉRICA CENTRAL/DEL SUR</b>				
Brasil	45 000		25	10-13
Costa Rica	33 000	3 x 3	25-28	10-13
Ecuador	8000-12 000			
El Salvador	4000-5000			
Guatemala	4000-50 000			
Panamá	30 000			
Trinidad y Tobago	10 000-15 000	2.1 x 2.1	50	4-8
Venezuela	10 000-15 000			

Fuente: KFRl, sin publicar

Las plantaciones de teca en Costa Rica ocupan aproximadamente 40.000 ha distribuidos principalmente en la zona del bosque tropical seco (Guanacaste) en donde la precipitación varía entre 1300 y 1710 mm/año, así como en el bosque tropical húmedo (zona norte,

Alumno: Antonio Leceguí Peropérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes







superficiales. El secado al horno es bueno, sin tendencias a rajaduras o alabeos, pero ocurren variaciones considerables en las tasas individuales de secado de tableros.

En cuanto a su preservación, la madera es considerada muy difícil de tratar con inmunizantes. La albura tratada por el sistema vacío-presión o inmersión, tiene una penetración incompleta y una retención de 50 a 100 Kg/m<sup>3</sup> y el duramen es imposible de tratar, cualquiera que sea el método que se utilice.

Su durabilidad natural es resistente, con una duración en uso exterior de 10 a 15 años. El duramen es resistente al ataque de termitas de madera seca, comparable a la Caoba de las Indias Occidentales (*Swietenia mahogani*). Es también moderadamente resistente a termites subterráneo y muy durable en el suelo, pero es fácilmente atacada por la polilla del mar. La albura no tiene ninguna de las propiedades de durabilidad del duramen, además es atacada por la Carcoma.

Es una madera fácil de trabajar con herramientas comunes y no ofrece ninguna dificultad a los procesos de maquinado. La madera posee contenidos variables de Sílice que llega hasta el 1,4% lo cual hace que esta sea abrasiva siendo por lo tanto necesario utilizar herramientas con filos reforzados. Es una madera moderadamente buena para doblar al vapor. Da un buen acabado y se deja encolar fácilmente.

### 2.1.6.3. Propiedades físicas y mecánicas de la madera

Como ya se ha comentado, se trata de una madera fuerte, liviana, durable, con estabilidad dimensional; no se corroe en contacto con metales; buena trabajabilidad y dureza; resistente a las termitas, productos químicos, hongos y la intemperie. En la Tabla 11 y Tabla 12 aparecen las propiedades cuantitativas, físicas y mecánicas, respectivamente de la madera de teca.

**Tabla 11.** Propiedades físicas de la madera de teca.

**Fuente.** Escobar *et al.*, 1993.

DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BÁSICA
	0.80	0.61	0.57	0.53
CONTRACCIÓN NORMAL (%)	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMÉTRICA	T/R
	2.69	1.61	4.30	1.67
CONTRACCIÓN TOTAL (%)	4.52	2.52	7.04	1.79

**Tabla 12.** Propiedades mecánicas de la madera de teca.

**Fuente.** Escobar *et al.*, 1993.

CONDICIÓN	FLEXIÓN ESTÁTICA			COMPRESIÓN				
	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE x 10 <sup>3</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	PARALELA			PERPENDICULAR	
				ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE x 10 <sup>3</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )
VERDE + 30%	455	780	97.05	254	361	37.2	63	----
SECO AL AIRE 12%	633	1005	108.17	336	458	----	75	----

CONDICIÓN CH%	DUREZA			CIZALLADURA Kg/cm <sup>2</sup>		TENACIDAD Kg-m		EXTRAC.CLAVOS Kg.	
	Extremos	Rad.	Tang.	Lateral	----	Radial	----	Radial Tangenc.	Extremos
VERDE +30%	447	487	476	103	----	6.1	----	115	86
SECO AL AIRE 12%	481	489	494	111	----	3.8	----	93	83

Donde: ELP: Esfuerzo en el límite proporcional, MOR: Modulo de ruptura, MOE: Modulo de elasticidad.

#### **2.1.6.4. Aplicaciones**

Por sus características especiales como madera dura de calidad, la madera de teca se utiliza en puentes, durmientes de ferrocarril, muebles internos y externos, carpintería en general, enchapado y contraenchapado, madera para *parquet*, construcción de muelles o atracaderos, compuertas en agua dulce, pisos expuestos al tránsito de peatones, para postes de líneas de transmisión eléctrica y de cerca, instrumentos musicales, juguetes y es excelente para la fabricación de barriles para guardar productos químicos. En los lugares donde se ubican los mercados más importantes (Norteamérica, Europa y Japón), se usa esta madera para la construcción de casas sometidas a condiciones ambientales extremas, muebles lujosos, muebles de exteriores y en el recubrimiento de superficies exteriores e interior de yates, etc. (Conferencia Mundial de Teca, 2011)

#### **2.1.6.5. Otros usos**

En cuanto a los usos no madereros de la especie, se ha reportado que los grupos indígenas de Baja Talamanca (Yorkín) utilizaban las hojas tiernas de la teca como colorante (FAO, 2000). Además, actualmente existen muchos artesanos que realizan bisuterías con la semilla de teca.

### **2.2. Manejo**

En este epígrafe se resumen las labores básicas para el establecimiento y manejo de una plantación de teca en Costa Rica. Se ha separado la información en cuatro fases:

- 1) Operaciones previas a la plantación
- 2) Establecimiento
- 3) Manejo
- 4) Aprovechamiento

#### **2.2.1. Operaciones previas a la plantación**

Las cuestiones a plantearse antes de establecer cualquier tipo de plantación, y de las que dependerá el éxito o fracaso futuro de la misma son: selección del sitio y procedencia de la planta, diseño de la plantación y acondicionamiento del terreno (De Camino *et* Morales, 2013).

##### **2.2.1.1. Selección del sitio**

Las características ambientales (precipitación, temperatura, humedad relativa, horas luz, velocidad del viento) y los factores edáficos (fertilidad, textura, profundidad, drenaje) deben ser compatibles con la adaptabilidad de la/s especie/s a instalar. Los factores edafoclimáticos influyen enormemente sobre la supervivencia, el crecimiento potencial y la calidad y cantidad de madera, en el caso de plantaciones forestales (Fonseca, 2004).

Dependiendo de la inversión a reanalizar, es fundamental realizar un análisis edafológico para comprobar las características físicas y químicas del suelo, así como las limitaciones en contenidos de Ca, Mg, P, K y acidez. Además, permitirá fundamentar las siguientes actuaciones para la preparación del terreno antes de la plantación. (De Camino *et* Morales, 2013)

### **2.2.1.2. Selección de la procedencia de la planta**

El Material Forestal de Reproducción (MFR) debe estar adaptado a las condiciones ambientales de la zona de plantación y debe adquirirse en un vivero homologado para asegurar la procedencia y el buen trato en el proceso de producción de la planta.

Algunas empresas de Costa Rica que trabajan en el mejoramiento genético de la teca en Costa Rica son: el Centro Agrícola Cantonal de Hojanca (CACH), Macori (Precious Woods de Costa Rica), Costamadera S. A. y el grupo GENFORES (Fonseca, 2004).

### **2.2.1.3. Diseño de la plantación**

La adecuada densidad de plantación en función de los objetivos propuestos influye en el crecimiento y condiciona las labores de mantenimiento a efectuar, así como la adecuada utilización de los recursos (Stomayor *et al.*, 2002)

Lo habitual en plantaciones forestales de teca con carácter comercial son los espaciamientos de 3 m x 3 m, 3,5 m x 2,8 m o 4 m x 2,5 m. No obstante, por muchos años se plantó a 3 x 3 m para una densidad de siembra de 1111 árboles, pues se asumía que el individuo necesita 9 m<sup>2</sup> para crecer. Con el mejoramiento genético y el aumento de la calidad de las semillas, así como ensayos de densidad y espaciamiento, ahora se trabaja con densidades de 600 a 800 árboles por hectárea (De Camino *et Morales*, 2013).

No se recomienda establecer plantaciones densas en terrenos de alta pendiente debido a que la sombra y las hojas caídas eliminan la vegetación del sotobosque. También, las hojas jóvenes concentran mucha agua durante las lluvias. Estos tres factores favorecen la erosión por escorrentía superficial (Fonseca, 2004).

Otro aspecto muy importante y ligado a la densidad que se debe definir en el diseño de la plantación es la edad de rotación. Periodos muy largos, generalmente conllevan altos costos financieros de las actividades que se realizan durante los primeros años y tienden a desestimular a muchos inversionistas, principalmente a pequeños productores, de tal forma, que los sistemas de manejo intensivo, basados en mejoras en el rendimiento, mayor uniformidad de las plantaciones y rotaciones más cortas están tomando auge (De Camino *et Morales*, 2013).

Sumado a lo anterior, las diferencias poco marcadas en las características de la madera adulta (más de 50 años), comparada con maderas de 15, 20 o 25 años, conllevan a la utilización de turnos cortos, recomendándose de 25 a 40 años para producir madera de calidad y obtener un balance entre costos e ingresos. Debe tenerse también presente que la especie a partir del año 20 disminuye significativamente el crecimiento en diámetro, de tal forma, que la elección del turno de corta va a depender de qué diámetro se quiera obtener (Fonseca, 2004).

### **2.2.1.4. Acondicionamiento del terreno**

Consiste en realizar una adecuada preparación del sitio donde para la instalación de las plantas, mediante una serie de labores. Existen varios métodos cuya elección depende de las condiciones iniciales de la parcela y de los recursos disponibles para las labores. Estas labores pueden consistir en: nivelado, laboreo del terreno, fertilización, control de la vegetación competidora, protección de la parcela o la planta frente a herbívoros etc.

Normalmente se inicia con una limpia o chapia general, eliminando toda la vegetación arbustiva (normalmente mediante control químico con glifosato, aunque pueden utilizarse también métodos mecánicos o mixtos), residuos de árboles caídos, troncos y árboles sin valor comercial o para la fauna. Algunos terrenos con cultivos o pastos recién abandonados no requieren de esta labor. Dependiendo del tipo de vegetación y de la topografía del terreno, la limpia inicial puede hacerse manual, mecánica o combinada (Fonseca, 2004).

Cuando las condiciones del sitio lo permitan y existan recursos suficientes, puede ararse el terreno. En suelos muy compactados (por ejemplo por el uso ganadero) es recomendable el subsolado o subsoleo (Fonseca, 2004), con hasta 60 cm de profundidad (De Camino *et* Morales, 2013). Este laboreo primario vertical debe realizarse en la época seca, descompacta y permite aumentar la profundidad útil del perfil del suelo sin invertir o voltear la tierra, lo que permite aumentar el volumen útil del mismo que puede explorar el sistema radicular, aumentando la sobrevivencia y el crecimiento de la planta.

### **2.2.2. Establecimiento de la plantación**

La plantación artificial de teca puede hacerse por varios métodos: por reproducción sexual (utilizando semillas) o por reproducción asexual o vegetativa (a través de tocones y esquejes enraizados, cultivo de tejidos e injertos). La reproducción asexual (clonal) está tomando mucho auge en Costa Rica, empresas como Precious Woods de Costa Rica, Costamadera S. A; Flor y Fauna S.A, han desarrollado mucha tecnología en esta dirección (Fonseca, 2004).

En cuanto a la forma de la plantación, puede hacerse manual o utilizando cierto grado de mecanización. La época recomendada para establecer la plantación es durante la época lluviosa (Fonseca, 2004).

### **2.2.3. Cuidados culturales posteriores a la plantación**

Los cuidados culturales posteriores a la plantación se refieren a las prácticas de manejo a realizar, una vez establecida la plantación, cuyo objetivo es mantener el buen estado de salud y crecimiento para el buen desarrollo de los árboles.

Entre estas actividades se incluye el control de malezas, podas tempranas, podas asociadas al crecimiento, regímenes de raleos para reducir la densidad según objetivo y edad de rotación. También se incluyen las mediciones forestales de superficies, individuos y parámetros que informan sobre el estado del crecimiento y salud de los bosques, la protección biótica y física (De Camino *et* Morales, 2013).

#### **2.2.3.1. Reposición de plantas (marras)**

La resiembra o reposición de marras se justifica cuando la sobrevivencia es menor al 80%, y debe hacerse máximo un mes después de la plantación. (Fonseca, 2004).

#### **2.2.3.2. Fertilización**

La fertilización es una práctica silvicultural que representa un costo significativo en el establecimiento de plantaciones, y como tal, la respuesta de los árboles debe ser muy buena para que la práctica resulte económica. En muchos estudios esta respuesta ha sido

contradictoria, por lo cual no puede recomendarse el uso de fertilizantes en forma rutinaria (Fonseca, 2004).

La aplicación de fertilizantes (minerales u orgánicos) debe ser determinada en función de los resultados de los análisis del suelo, de tal forma que se eviten tratamientos innecesarios que suponen un elevado coste tanto en términos económicos como medioambientales.

Para que la fertilización sea viable, debe realizarse a bajo costo, el fertilizante debe ser de lenta solubilidad y estar disponible varios años en el suelo y proveer el mayor número de nutrimentos, como es la roca fosfórica o el estiércol (Fonseca, 2004). Además debe tenerse presente la posible proliferación de malas hierbas tras la fertilización.

#### **2.2.3.3. Control de malezas**

Por tratarse de una especie heliófila, en sus etapas iniciales, la teca es muy sensible a la competencia de la maleza, puesto que perjudican el desarrollo inicial de los plántones; por tanto, estas deben eliminarse hasta que la plantación alcance el crecimiento suficiente para dominar a la vegetación espontánea. Se recomienda al menos tres limpiezas el primer año, dos el segundo, una el tercero (Fonseca, 2004). El control puede hacerse de forma manual, mecánica o mixta.

#### **2.2.3.4. Podas**

Las podas, al igual que los raleos o claras, son necesarias para mejorar la calidad de la madera y obtener un mayor valor en el mercado por madera de calidad (De Camino *et* Morales, 2013); como para cualquier plantación para madera de calidad pueden distinguirse dos tipos de podas:

Las podas de formación (Deshijas) son importantes desde el punto de vista de la calidad de la madera, ya que con esta actividad se reduce la cantidad de nudos muertos producto de las bifurcaciones en las primeras etapas de desarrollo del árbol. Con ello se logra minimizar la aparición de marcas (nudos) en las trozas de valor comercial. La teca tiene la tendencia a bifurcarse; por eso, con la poda de formación se busca dejar un solo tallo.

La poda de calidad es especialmente importante en el caso de la teca, cuyo producto de venta es la madera sólida, libre de nudos. El procedimiento consiste en eliminar las ramas inferiores en los troncos. Una estrategia para minimizar el costo de la operación es hacerla coincidir con los raleos, siempre que sea posible, lo que depende del crecimiento de los árboles. En la teca, la primera poda de calidad se realiza alrededor de los cuatro años de edad (De Camino *et* Morales, 2013). Cuando la poda de calidad se aplica a los mejores árboles después del raleo, suele hacerse podando hasta un tercio de su altura o máximo al 50% de su copa viva y se cortan solo las ramas que el árbol no puede eliminar por sí mismo; aunque la teca en densidades normales presenta buena poda natural (Fonseca, 2004).

#### **2.2.3.5. Raleos / claras**

Los raleos o claras, cumplen un doble objetivo de tipo silvícola y económico, que se puede concretar en los siguientes (Serrada, 2008):

- Reducir la competencia dentro de la masa para procurar su estabilidad biológica, anticipándose en lo posible a dicho fenómeno;
- Regular o mantener la composición específica de la masa;
- Anticipar la producción de madera intentando, por el mantenimiento de la espesura normal a lo largo del turno, que la producción acumulada al final del mismo sea máxima, y que la calidad (tamaño) de los pies que formen la masa en madurez mejore.

En definitiva los raleos buscan mejorar el diámetro y la altura de la troza comercial. Éstos han sido motivo de controversia para los propietarios de las plantaciones, por el alto costo de la operación, por la falta o ausencia de mercado para los productos a obtener y muchas veces se cuestiona el hecho de plantar muchos árboles, con un costo altísimo y tener que eliminarlos años después (Fonseca, 2004).

Los raleos pueden ser de varios tipos: altos, bajos, mixtos. En cuanto a la naturaleza de los mismos se distinguen en sistemáticos y selectivos (Serrada, 2008). Este último tipo es el de mayor aplicación y el que conlleva a mayor cuidado por parte de las personas encargadas de aplicarlo, ya que los árboles se cortan sin apegarse a ningún esquema, considerando la opinión del técnico sobre cómo debe desarrollarse el rodal, tomando en cuenta criterios como clase de copa, vigor, espaciamiento, ramificación, forma, sanidad, entre otros (Fonseca, 2004).

Entre los factores que se deben tomar en cuenta en la decisión de cuándo ralear están los datos de crecimiento de las parcelas de medición, la competencia entre individuos por luz, la distribución espacial del dosel y el desarrollo de la copa (Suri, 1975, citado por De Camino *et* Morales, 2013).

En general, *Tectona* responde bien a raleos fuertes sin que se afecte el crecimiento en altura y se favorece el incremento en diámetro. El programa de raleos depende de la densidad inicial, generalmente, el primero se debe realizar cuando las copas comienzan a entrar en contacto, aproximadamente a los 4 o 5 años de edad (Fonseca, 2004).

Los raleos se deben programar (en función de su naturaleza, tipo y peso) a lo largo de toda la rotación; En la Tabla 13 aparece un esquema orientativo para realizar los raleos en plantaciones de teca de Costa Rica donde se indica, además, las producciones aproximadas de en cada una de ellas.

**Tabla 13.** Productividad estimada en los raleos y corta final para teca en Costa Rica.

**Fuente.** Matarrita, 2004.

Actividad	Edad (años)	Volumen (m <sup>3</sup> / ha)
Raleo 1 *	3 - 4	0
Raleo 2	6 - 8	16.8
Raleo 3	9 - 12	58.8
Corta final	12 - 18	180

Fuente: CCF 2004

(\*) El primer raleo normalmente no produce ningún producto comercial, cumple funciones de saneamiento mediante la eliminación de árboles mal formados o enfermos.

### **2.2.3.6. Control del rebrote y reposición de la plantación**

La especie tiene buena capacidad de rebrote, por lo que después de una corta total se ahorran los costos de plantación (Fonseca, 2004), aunque se pierde vigorosidad de la planta tras algunas rotaciones.

En plantaciones después de raleadas, el crecimiento acelerado que muestran los rebrotes producen competencia a los árboles que quedan en pie.

En la India, Myanmar y Tailandia, en el manejo de bosques naturales se ha utilizado para la teca el tratamiento de monte bajo con diferentes sistemas adecuados a las condiciones locales, particularmente en los bosques donde los árboles no alcanzan gran tamaño por la excesiva aridez u otras deficiencias de la estación (Fonseca, 2004).

Por otra parte, La regeneración natural de *Tectona* se da en forma aceptable si los frutos caen en sitios libres de malezas y con buen sol. La especie brota vigorosamente de cepa y con frecuencia los incendios favorecen la regeneración natural de los árboles adultos (Fonseca, 2004).

### **2.2.4. Aprovechamiento**

El ciclo del aprovechamiento estará en función de la densidad inicial de plantación, las características del sitio y material vegetal utilizado.

El corte puede hacerse de forma manual o mecanizada. En cuanto a la época, la corta puede realizarse en pleno periodo vegetativo o a savia parada. Cuando la corta se realiza a savia parada, la energía de las plantas estará concentrada en las raíces, además de que por la época del año que abarca, se desecarán menos las heridas causadas por el corte y, por tanto el rebrote y la longevidad de las cepas serán mayores.

Una vez apeados los árboles, éstos deben ser sacados al cargadero o patio de madera donde serán convertidos en trozas o apilados para el transporte a la industria. Esta operación de saca de la madera puede hacerse por varios sistemas (Fonseca, 2004)

- Mediante el arrastre con animales de tiro (bueyes, caballos, mulas y búfalos.)
- Mediante vehículos que arrastran la carga o la llevan levantada del suelo ("skidders" de orugas o ruedas, autocargadores o tractores agrícolas modificados con remolque).
- Mediante cables (tipo aéreo o terrestre).

El equipo utilizado dependerá del tamaño de las trozas (diámetro y largo), de las distancias de arrastre, de la topografía y de facilidades y medios económicos existentes. Independientemente del sistema empleado, la saca es una operación difícil y riesgosa, que puede causar graves daños a los suelos.

## **2.3. Índices de sitio en costa rica**

El índice de calidad (Ic) es el valor que alcanza una variable dasométrica considerada a una edad determinada, que se llama edad típica. Si la variable considerada es la altura dominante (Ho) al índice de calidad se le llama índice de sitio (site index).

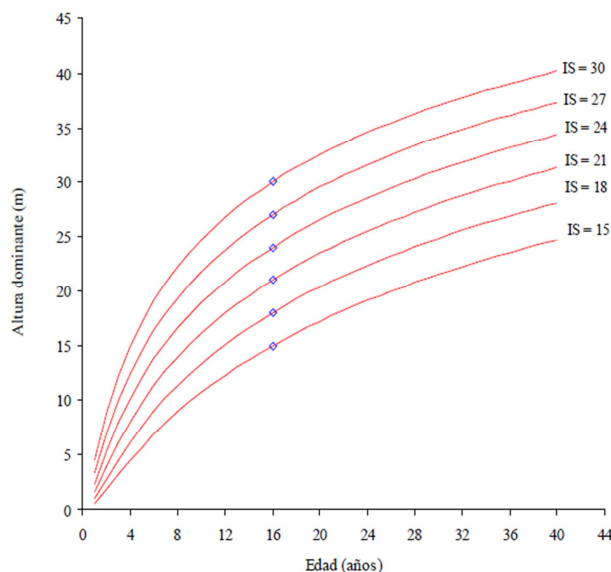
Las curvas de calidad representan la evolución del índice de calidad en función de la edad, lo que nos permite definir la calidad de estación, entendida esta última como un índice numérico relacionado con la productividad, en madera, de una estación, es decir la cantidad de volumen que puede producir una estación en un tiempo dado (DAVIS *et al.*, 1996).

Esta relación entre productividad en madera y altura dominante se basa en la Ley de Eichhorn, según la cual, la producción total en volumen de masas homogéneas de una especie dada dentro de una región climáticamente homogénea es esencialmente función de la altura. Es decir, la relación entre la altura dominante y la producción total es independiente de la edad, de la estación y de la densidad de población o del tipo e intensidad de las claras practicadas.

La estimación directa del índice de sitio (en base a parcelas permanentes) más reciente, en Costa Rica, fue desarrollada, en base a una investigación de 20 años por Mora *et Meza* (2003); éstos se basaron en la ecuación de Schumacher (1939) con la modificación de Bailey y Clutter (1974), para crear una familia de curvas como se muestra en la Figura 17).

La ecuación está dada por:

$$\ln(H_{dom}) = a - b * \left(\frac{1}{Edad}\right)^c$$



Dónde:

Ln = logaritmo natural

Hdom = altura dominante (m)

a = 4,3739

b = -3,6279

c = 0,38893

Edad = edad de la plantación en años.

Los estadísticos que evalúan la bondad del modelo son:

n (tamaño de la muestra) = 777;

R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación) = 87,32;

r (coeficiente de correlación) = -0,9345;

SEE (error estándar) = 0,2695;

SCE (suma de cuadrados del error) = 56,2835;

CME (cuadrado medio del error) = 0,0726;

F (F tabular) = 5337,2300

**Figura 17.** Curvas de Índice de Sitio generadas mediante el análisis fustal de árboles de Teca a una edad base de 16 años, en la Vertiente del Pacífico, Costa Rica

**Fuente.** Mora *et Meza* (2003), citado por Fonseca, (2004).

## 2.4. Modelos de crecimiento

Existen en la bibliografía multitud relaciones alométricas de crecimiento para teca a nivel mundial. Sin embargo, las diferencias marcadas en crecimiento, como consecuencia de las diversas calidades de sitio, edad y densidad de plantación, hacen que sea necesario ser muy conservador a la hora de interpretar los datos (De Camino *et Morales*, 2013). Para Costa Rica se reportan hasta 9 relaciones de volumen y una de biomasa (Tabla 14).



Anejo I. Revisión bibliográfica

Todas las tablas de crecimiento para teca a nivel mundial tienen la característica de que el Incremento Medio Anual (IMA) máximo se alcanza entre los 6 y 20 años. En general, se reporta un Incremento Medio Anual que varía entre 10 y 25 m<sup>3</sup>/ha/año. (Fonseca, 2004). Lo deseable para proyectar el comportamiento productivo de la plantación es disponer de datos de rendimientos específicos a las condiciones de la misma, obtenidos por medio de mediciones de campo o de información real de cosechas pasadas (De Camino et Morales, 2013).

**Tabla 14.** Modelos alométricos para *Tectona grandis* en Costa Rica, ambitos, parámetros del ajuste y referencias.

**Fuente.** Extraído de De Camino et Morales, 2013.

Ecuación	Numero de datos	Ámbito de variables	R <sup>2</sup>	Ámbito ambiental	Observaciones
vccc=-0,00453996+0,00003251*(dap <sup>2</sup> *ht)	140	Dap entre 5 y 30 cm	0,984	Temperatura media anual: 25 °C Precipitación media anual: 2700 a 3000 mm	Camacho et Madrigal (1997)
vcsc=-0,01097847+0,00003377*(dap <sup>2</sup> *ht)			0,978		
vcsc=-0,01908878+0,00002646*(dap <sup>2</sup> *ht)			0,971		
vcsc=-0,00191115+0,00002548*(dap <sup>2</sup> *ht)					
vtcc=-0,00877993+0,00003251			0,971		
vtsc=0,00306108+0,00002535					
vcsc=0,0359+0,0000216+dap <sup>2</sup> *ht		Dap entre 18 y 53 cm			Keogh (1987)
vcsc=-26,7721+0,02566+dap <sup>2</sup> *ht	318	Dap entre 10 y 27,2 cm, h entre 12 y 23,2 m	0,80	Altitud: 300msnm Temperatura : 26-29 °C Precipitación promedio anual: 1800-2450 mm	Vcsc en decímetros cúbicos, hasta 10 cm de dap.  Bermejo et al. (2004)
bfo=-2,138+2,272*Log(dap)	40	Densidad inicial de siembra de 1111 a 2500 ar/ha. Edad entre 8 y 47 años	0,83	Altitud:23-300 msnm Temperatura media anual: 26-27,1°C Precipitación promedio anual: 1659-4200 mm	Pérez et Kanninen (2003)
bfu=-0,804+2,303*Log(dap)			0,98		
brm=-2,380+2,920*Log(dap)			0,89		
bta=-0,815+2,382*Log(dap)			0,98		
dcar=-0,317+0,771*Log(dap)			0,75		
bfo=-8,569+0,881*dap			0,451		
brm=-72,397+5,750*dap			0,219		
D=25*(IDR/N) <sup>0,5839</sup>	26		0,989		Arias (2004) Bermejo et al. (2004)
Hd=T <sup>2</sup> (0,6926+0,0108t+0,0396T <sup>2</sup> )			0,80		
Dg=-3,034ht+0,94ht+2510,28/N			0,698		
Ve=0,28*G*ht			0,698		
Hd=Exp(1,7024+b*(1/T) <sup>0,3974</sup> )	3*	Edad hasta 26 años	0,87		Lemckert Quirós et Ramirez (1983)
Hd=Exp(4,3739-3,6279*(1/T) <sup>0,3889</sup> )	59**		0,873		Mora et Meza (2003)
Hd=10 <sup>^(1,4449-17,5506*(1/T))</sup>			0,627		Grejimans et Lammens (1992)
Hd=Exp(3,4723-1,8253)*(1/T) <sup>0,5162</sup>	664		0,478		Vallejos (1996)

\* Árboles estudiados mediante análisis fustal

Donde: dap, diámetro normal del árbol (cm); ht, altura total del árbol (m); vcc, volumen comercial con corteza (arbol/m<sup>3</sup>); vcsc, volumen comercial sin con corteza (arbol/m<sup>3</sup>); vtcc, volumen total con corteza (arbol/m<sup>3</sup>); vtsc, volumen total sin con corteza (arbol/m<sup>3</sup>); bfo, biomasa foliar (kg/árbol); bfu, biomasa fuste (kg/árbol); brm, biomasa ramas (kg/árbol); bta, biomasa total árbol (kg/árbol); D, Diámetro normal promedio del rodal (cm); N, densidad del rodal (n/ha); Hd, altura dominante del rodal (m); Dg, diámetro cuadrático del rodal (cm); dcar, diámetro de copa del árbol (m); G, area basal (m<sup>2</sup>/ha); T, edad; IDR, índice de densidad relativa (árboles 25 cm dap/ha).

Alumno: Antonio Leceguí Perepérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

# ANEJOS

## **Anejo II: Muestreo de biomasa y validación de una ecuación alométrica de biomasa aérea para teca (*Tectona grandis* L.F.) en Costa Rica**

## ÍNDICE ANEJO II

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>105</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>106</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>107</b>
<b>4. MATERIAL Y METODOS .....</b>	<b>108</b>
4.1. Área de estudio .....	108
4.2. Ecuaciones alométricas de biomasa para teca .....	108
4.3. Diseño y ejecución del muestreo .....	109
4.3.1. Tamaño de la muestra y distribución .....	109
4.3.2. Medición de variables independientes en campo y laboratorio .....	110
4.3.3. Materiales utilizados .....	111
4.3.4. Metodología de trabajo en campo y laboratorio .....	112
4.3.5. Diseño de estadillos de campo y laboratorio .....	112
4.4. Procesado de datos y obtención de resultados .....	113
4.4.1. Variables de la muestra y rendimiento del muestreo .....	113
4.4.2. Análisis previo de los datos .....	113
4.4.3. Evaluación de modelos de biomasa aérea total para teca según sitios.....	115
4.4.4. Ajuste de ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados .....	116
4.4.5. Comparación de modelos logarítmicos.....	118
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>119</b>
5.1. Variables de la muestra y rendimiento del muestreo .....	119
5.2. Análisis previo de los datos y cálculo de variables dependientes.....	120
5.3. Evaluación de modelos de biomasa aérea total de teca según sitios.....	121
5.4. Elaboración de ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados .....	123
5.4.1. Modelo potencial .....	124
5.4.2. Modelo logarítmico.....	126
5.5. Comparación de modelos logarítmicos.....	128

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica  
**ÍNDICE DE FIGURAS ANEJO II**

Figura 1. Estadillo de campo y laboratorio utilizado en el muestreo de biomasa.....	113
Figura 2. Gráfico de caja y bigotes de la dispersión de los diámetros de los individuos muestreados. ....	121
Figura 3. Representación de los valores observados en este estudio y el modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) con intervalos de confianza para biomasa aérea total de teca en Costa Rica, en su forma logarítmica y con la transformación realizada. ....	121
Figura 4. Diagrama de barras de los residuos, gráfico de dispersión de residuos y gráfico de valores observados contra predichos al comparar los valores de biomasa aérea total de teca observados en este estudio y los valores de predicción del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003).....	123
Figura 5. Histograma de residuos y grafico cuantil-cuantil del ajuste a una distribución normal de la diferencia entre los valores observados de biomasa aérea total de teca en este estudio y los valores de predicción del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2006).....	123
Figura 6. Representación de los puntos y del modelo potencial, con intervalos de confianza y predicción, de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste. ....	125
Figura 7. Gráfico de valores observados contra predichos y distribución de los residuos para el ajuste de regresión potencial de la biomasa aérea total de teca en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica. ....	125
Figura 8. Histograma de residuos y gráfica cuantil-cuantil de los residuos ajustados a la distribución normal de Gauss del modelos potencial de biomasa total de teca en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica. ....	125
Figura 9. Representación de los puntos y del modelo logarítmico, con sus intervalos de confianza y predicción al 95% de confianza, de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	127
Figura 10. Gráfico de valores observados contra predichos e histograma de residuos ajustados a una distribución normal para el modelo logarítmico de la biomasa aérea total de teca en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica. ....	127
Figura 11. Gráficos de residuos para el ajuste de regresión lineal de la biomasa aérea total en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica: Distribución de los residuos, gráfica cuantil-cuantil, (QQ plot), gráfica de residuos estudentizados y gráfica de apalancamiento o influencia de los residuos. ....	128
Figura 12. Comparación de los valores obtenidos y el modelo ajustado en este estudio (línea de puntos) y el modelo propuesto por Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) para biomasa aérea total de teca en Costa Rica (línea continua).....	129
Figura 13. Gráficos de observados contra predichos, distribución de los residuos, gráfica cuantil-cuantil de ajuste a la distribución normal y distribución de los residuos según curva de Gauss para el ajuste de comparación de líneas de regresión logarítmica del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) y el ajuste realizado con los datos observados en este estudio. ....	131

## ÍNDICE DE TABLAS ANEJO II

Tabla 1. Valor de los parámetros y estadísticos del ajuste para los mejores modelos alométricos desarrollados en el estudio de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) para estimar la biomasa según componentes de <i>Tectona grandis</i> en Costa Rica. ....	108
Tabla 2. Variables bioclimáticas y valores extremos de los sitios del ajuste (provincias de Guanacaste, Puntarenas, Limón y Alajuela) de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) para estimar la biomasa de las plantaciones de teca en Costa Rica.....	109
Tabla 3. Árboles muestreados para el estudio de validación de la ecuación alométrica de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003), posición según coordenadas proyectadas CRTM05, sector y lote en el que se ubican en la finca Abancari, año de plantación, edad y área del lote. ....	119
Tabla 4. Rendimientos en minutos por árbol, fechas y horarios para la toma de datos de cada uno de los árboles muestra del estudio. ....	119
Tabla 5 (Cont.). Rendimientos en minutos por árbol, fechas y horarios para la toma de datos de cada uno de los árboles muestra del estudio. ....	120
Tabla 6. Variables independientes y dependientes obtenidas de los individuos de la muestra: diámetro, altura total y comercial, estimación de biomasa en hojas y resultados de biomasa no comercial, biomasa comercial y biomasa total para teca en finca "Abangari".....	120
Tabla 7. Diámetro de cada individuo muestreado, valor de la biomasa observada, valor de la biomasa predicha por el modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003), sesgos o residuos, errores al cuadrado y errores relativos.....	122
Tabla 8. Evaluación de los modelos y su ámbito de aplicación con los valores de biomasa aérea de teca observados en Abangares según el error relativo medio y la desviación estándar del error relativo.. ....	123
Tabla 9. Parámetros de ajuste potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	124
Tabla 10. Parámetros del modelo potencial (eliminando la constante "a") de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	124
Tabla 11. Análisis de la varianza de los errores del modelo potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	124
Tabla 12. Estadísticos del modelo potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste. ....	124
Tabla 13. Intervalos de confianza y de predicción, al 95% de confianza, del modelo potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	124
Tabla 14. Parámetros de ajuste logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste. ....	126
Tabla 15. Análisis de la varianza de los errores del modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	126
Tabla 16. Estadísticos del modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	126
Tabla 17. Intervalos de confianza y predicción al 95% para modelo de regresión potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.....	126
Tabla 18. Estadísticos del análisis de regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio en su forma simplificada (sin variables indicadoras). ....	129

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

Tabla 19. Estadísticos del análisis de regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio con variables indicadoras. ....	130
Tabla 20. Coeficientes para el modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) y el modelo ajustado en este estudio.....	130
Tabla 21. Análisis de varianza para el ajuste regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio. ....	130
Tabla 22. Estadísticos del modelo ajustado con los valores que se utilizaron en la elaboración del modelo de Pérez <i>et</i> Kanninen, 2003 y los valores observados en este estudio. ....	130
Tabla 23. Intervalos de confianza del 95.0% y predicción al 95% para los coeficientes del modelo descompuesto (con variables indicadoras).....	130
Tabla 24. Intervalos de confianza y predicción al 95% de confianza para el modelo en su forma completa (sin variables indicadoras).....	131
Tabla 25. Tabla de análisis de varianza adicional para variables según modelo para comprobar la significación de la pendiente y el intercepto de los modelos.....	131

## 1. RESUMEN

Se presentan los resultados de la validación del modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003) para biomasa aérea total de teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica. Para ello se evaluaron 20 árboles, 15 procedentes de semilla (brinzales) y 5 procedentes de brotes de raíz (chirpiales) con edades de 15 y 17 años los brinzales y de 8 años los chirpiales y densidades entre 326 y 653 p/ha. La plantación del estudio se localizó en el cantón de Abangares, provincia de Guanacaste, con 906,52 ha de superficie, de las que 502,52 estaban plantada con teca.

La metodología seguida se basó en la selección aleatoria de las 20 muestras destructivas. A cada uno de estos árboles muestra se le midió el diámetro a la altura del pecho (dap) y la superficie de copa. Posteriormente se apeó y se midió su altura total. Seguidamente se separó el fuste comercial de la parte no comercial. En el fuste comercial se midió la altura comercial, así como los diámetros de las diferentes secciones cada 2 m del tronco para calcular el volumen comercial con la fórmula de Smalian (Alder, 1980). El valor de la biomasa comercial se obtuvo a partir del volumen comercial y la densidad de la madera de teca (0,6 g/cm<sup>3</sup>). El resto de la biomasa no comercial fue pesada (peso en fresco) en mediciones sucesivas con una balanza romana. Además, se tomaron muestras o alícuotas de 1 kg aprox. de ramas, rodela base del tronco y rodela en punta delgada, las cuales se llevaron a laboratorio donde se introdujeron en un horno para su secado a 65°C hasta peso constante (48 horas aprox.). El valor de la biomasa no comercial se obtuvo por interpolación con el valor del peso en seco medio de la alícuota de ramas y alícuota en punta delgada. Puesto que por la época del año en la que se realizó el muestreo los árboles habían perdido sus hojas, el valor de las hojas se estimó utilizando la ecuación alométrica propuesta por Pérez *et* Kanninen (2003) para la biomasa de hojas. El valor de la biomasa total se obtuvo como la suma de la biomasa del tronco comercial, biomasa de la parte no comercial y biomasa de las hojas.

Los datos obtenidos se compararon, mediante el error relativo y desviación estándar del error relativo, con otros modelos desarrollados en diferentes sitios con objeto de demostrar la importancia de utilizar los modelos desarrollados en un sitio para estimar la biomasa de ese sitio. El error relativo fue de 5,458% para el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y hasta -414,453% para los otros modelos, mientras que la desviación estándar del error relativo fue de 11,589 para el modelo de Costa Rica y hasta 15,490 para los otros modelos.

Con los datos observados se ajustaron por regresión diferentes modelos, seleccionando los mejores según criterios del coeficiente de determinación y el Criterio de Información de Akaike (AIC). El mejor modelo tuvo la misma forma logarítmica que el ajustado por de Pérez *et* Kanninen (2003). Se realizó el ajuste de regresión de los valores predichos por el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores predichos con el modelo ajustado en este estudio, obteniéndose un R<sup>2</sup> de 99,96%. La validación del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) se realizó por el procedimiento estadístico de comparación de líneas de regresión, no existiendo diferencias significativas al 95% de confianza entre intercepto y pendiente de ambos modelos. Finalmente se propone un modelo ajustado con los valores de Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio el cual obtuvo un R<sup>2</sup> de 97,835% y un AIC de de -170,749.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las mediciones de las reservas de carbono forestal han adquirido una importancia mayor para los países que prevén contribuir a mitigar los cambios climáticos gracias a sus actividades forestales mediante mecanismos de financiación relacionados con la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación del Bosque y Más (REDD+) y con los Pagos por Servicios Ambientales (PSA). Costa Rica es líder mundial en el tema de PSA, cuyo origen se remonta a la creación de la Ley Forestal N° 7575 y su reglamento en 1996 (Herrera, 2003).

En este marco, la precisión en la estimación de la contribución de los ecosistemas forestales al ciclo del carbono tendrá una enorme influencia en las posibles compensaciones financieras (Picard *et al.*, 2012).

Habitualmente, la estimación de carbono en los bosques se realiza de manera indirecta, mediante la aplicación de modelos de diferentes fracciones de biomasa a los datos de inventario forestal (Ruiz-Peinado *et al.*, 2011). Las ecuaciones alométricas, que permiten predecir la biomasa de un árbol a partir de las características dendrométricas más fáciles de medir (como diámetro o altura), son una herramienta esencial para la comprensión y estimación del almacenamiento y flujo de carbono (IPCC, 2007; Picard *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2012)

Aunque se reconocen 5 diferentes depósitos donde se acumula el carbono absorbido en un ecosistema forestal: a) Biomasa sobre el suelo (árboles y sotobosque); b) Biomasa bajo el suelo (raíces); c) Necromasa (árboles muertos en pie y troncos caídos); d) Hojarasca; e) Suelo, la biomasa aérea es el criterio de estratificación más apropiado, debido a que el stock de carbono depende en gran parte de ésta (Schlegel *et al.*, 2001).

Además, la producción de biomasa total y el porcentaje de contribución de cada componente del árbol, varía según el tipo de plantación, la especie, la densidad, la edad, el sitio y las condiciones y prácticas de manejo (Ola Adams, 1993).

Por otro lado, el 73% del volumen de madera en troza que se procesa en Costa Rica proviene de plantaciones forestales. (Barrantes *et Ugalde*, 2014). La teca (*Tectona grandis* Linn. F.) es la especie de madera tropical de calidad más cultivada en el mundo por las excelentes propiedades de su madera, su fácil propagación, establecimiento y manejo, además de sus aceptables cualidades ambientales que, aunque se cultiva como especie exótica en muchos países, no es invasora (CATIE, 2013).

En Costa Rica, las plantaciones de teca ocupan aproximadamente 40.000 ha distribuidos principalmente en la zona del bosque tropical seco (Guanacaste) en donde la precipitación varía entre 1300 y 1710 mm/año, así como en el bosque tropical húmedo (zona norte, atlántica, pacífico central y sur), en donde la precipitación oscila entre 3420 y 6840 mm/año. (Conferencia Mundial de Teca, 2011).

Según la base de datos mundial de la FAO de ecuaciones alométricas ([www.GlobAllomeTree.com](http://www.GlobAllomeTree.com)), los únicos modelos de biomasa para teca en Costa Rica son los propuestos por Perez *et Kanninen* (2003). En dicho trabajo, se presentan relaciones alométricas de la distribución de la biomasa aérea de teca en Costa Rica por componentes



Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica (hojas, ramas, tallo y total) en función del diámetro. Para su elaboración se tomaron 40 árboles repartidos en 16 plantaciones de 10 sitios (2 en la Provincia de Guanacaste, 6 en Puntarenas, 2 en Limón y 1 en Alajuela), representativos de las diferentes condiciones climáticas. Por tanto, estos modelos de Pérez *et* Kanninen (2003) son ampliamente considerados como la mejor aproximación al Carbono de plantaciones de teca en Costa Rica.

Sin embargo, la amplia variabilidad de rangos bioclimáticos en los que se ha instalado la especie podría hacer pensar que pueden existir diferencias predictivas en los diferentes sitios, lo que puede afectar negativamente a los promotores interesados en la evaluación de carbono y biomasa de este tipo de plantaciones. Por esta razón se hace necesaria la validación y evaluación de la exactitud de estos modelos con nuevas observaciones y en diferentes ubicaciones geográficas. La validación de un modelo consiste en comparar sus predicciones con las observaciones independientes usadas para el ajuste del mismo (Rykiel, 1996, citado por Picard *et al.*, 2012).

En definitiva, en este estudio se han seleccionado 20 árboles de teca de la provincia de Guanacaste, en una plantación en la que se estaban realizando operaciones de raleos y aprovechamientos, para la estimación de su biomasa aérea y se han comparado los datos observados en campo con los predichos por el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y con los modelos de Karmacharya *et* Singh (2006) en India para observar las diferencias predictivas de los sitios a gran escala.

### 3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este anejo es validar/rechazar el modelo de biomasa aérea total para teca en Costa Rica propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003). Otros objetivos específicos son:

- Diseñar una metodología de trabajo que permita obtener datos de biomasa aérea total para teca.
- Ejecutar un inventario para recolectar valores de biomasa aérea total de teca en Abangares (Guanacaste).
- Comprobar las diferencias predictivas de los modelos según el sitio en el que fueron desarrollados. Para ello se compararon los datos observados con los predichos al utilizar el modelo logarítmico de Pérez *et* Kanninen (2003) para la estimación de la biomasa aérea total de teca en Costa Rica y los modelos potenciales de Karmacharya *et* Singh (2006) para la estimación de la biomasa aérea total de teca en una región de bosque tropical seco en la India.
- Ajustar ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados en este estudio.
- Comparar el modelo logarítmico ajustado en este trabajo con el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003) por el método de comparación de líneas de regresión.
- Ajustar una nueva ecuación alométrica de biomasa con los datos observados por Pérez *et* Kanninen (2003) y con los datos observados en este estudio.

## 4. MATERIAL Y METODOS

### 4.1. Área de estudio

Este estudio se desarrolla en la finca Abancari ubicada en el distrito de Las Juntas, cantón de Abangares de la provincia de Guanacaste, en la República Democrática de Costa Rica. La caracterización del entorno y de las características edafoclimáticas de la finca se desarrolla en la Memoria del presente estudio.

### 4.2. Ecuaciones alométricas de biomasa para teca

Las relaciones alométricas de biomasa para teca en Costa Rica, fueron consultadas en la base de datos mundial de la FAO de ecuaciones alométricas ([www.globalometree.org](http://www.globalometree.org)). El único modelo para la estimación de la biomasa aérea total para teca en Costa Rica es el propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003).

En el estudio de Pérez *et* Kanninen (2003), se ajustaron las relaciones alométricas de la distribución de biomasa aérea total y el desarrollo de la copa con el diámetro, la edad y la densidad del rodal para teca en toda Costa Rica. El resultado fue que la biomasa foliar, la de las ramas, la del fuste y la total aérea estaba altamente relacionada con el diámetro a la altura del pecho ( $r > 0,91$ ) y con la edad ( $r > 0,85$ ). Los mejores ajustes se lograron con los modelos del tipo logarítmico:  $\log_{10} Y = a + b * \log_{10} dbh$ , donde Y= biomasa o peso seco en kg, dbh es el diámetro a la altura del pecho en cm y, a y b son los parámetros de la ecuación (Tabla 1).

**Tabla 1.** Valor de los parámetros y estadísticos del ajuste para los mejores modelos alométricos desarrollados en el estudio de Pérez *et* Kanninen (2003) para estimar la biomasa según componentes de *Tectona grandis* en Costa Rica.

**Fuente.** Pérez *et* Kanninen, 2003.

Model #	Variable	a	b	CF*	r <sup>2</sup>	RMSE	FI**	AIC**	Confidence interval (95%)	
Type I: $\log_{10} Y = a + b \log_{10} dbh$ (cm)										
1	Foliage dry biomass (kg)	-2.138	2.272	1.11	0.83	0.1949	1.25	-129	-2.604 < a > -1.671	1.928 < b > 2.616
2	Branch dry biomass (kg)	-2.380	2.920	1.10	0.89	0.190	2.69	-131	-2.835 < a > -1.924	2.585 < b > 3.256
3	Stem dry biomass (kg)	-0.804	2.303	1.01	0.98	0.055	11.22	-229	-0.938 < a > -0.671	2.205 < b > 2.401
4	Total dry biomass (kg)	-0.815	2.382	1.01	0.98	0.055	14.06	-227	-0.952 < a > -0.679	2.281 < b > 2.483
5	Crown diameter (m)	-0.317	0.771	1.02	0.75	0.084	0.453	-198	-0.513 < a > -0.121	0.627 < b > 0.916
Type II: $Y = a + b dbh$ (cm)										
6	Foliage dry biomass (kg)	-8.569	0.881	0.82	4.509	40.0	122		-12.195 < a > -4.944	0.743 < b > 1.019
7	Branch dry biomass (kg)	-72.397	5.750	0.89	21.87	276.49	249		-89.983 < a > -54.811	5.081 < b > 6.420

\* Correction factor (Sprugel 1983)  
 \*\* Furnival index (Furnival 1961)  
 \*\* Akaike information criterion (Draper & Smith 1980)

Para la elaboración de los ajustes de Pérez *et* Kanninen (2003), se midieron 40 árboles repartidos en 16 plantaciones de 10 sitios (2 en la Provincia de Guanacaste, 6 en Puntarenas, 2 en Limón y 1 en Alajuela), representativos de las diferentes condiciones bioclimáticas. Las plantaciones donde se tomaron los datos tenían una edad comprendida entre 8 y 47 años. La densidades de plantación de estos sitios varió entre 1111 a 2500 árboles/ha como densidad inicial, y entre 170 y 1600 árboles/ha como densidad final. Además, como muestra la Tabla 2, existía un amplio rango de valores bioclimáticos en

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica precipitaciones anuales (entre 1559 mm y 4200mm), meses secos (entre 0 y 6) y altitud (entre 23 y 300 msnm).

**Tabla 2.** Variables bioclimáticas y valores extremos de los sitios del ajuste (provincias de Guanacaste, Puntarenas, Limón y Alajuela) de Pérez *et* Kanninen (2003) para estimar la biomasa de las plantaciones de teca en Costa Rica.

**Fuente.** Pérez *et* Kanninen, 2003.

Variable	Valor mínimo	Valor máximo
Altitud (msnm)	23	300
Precipitación anual (mm)	1659	4200
Temperatura media (°C)	26.0	27.0
Pendiente (%)	2	15
Meses secos* (n°)	0	6
*Meses con una precipitación menor a 100 mm.		

En el resto de sitios donde se distribuye la teca existen otras relaciones alométricas, por ejemplo en Buvaneshwaran *et al* (2006) se reportan dos modelos de tipo potencial propuestos por Karmacharya *et* Singh (1992) para biomasa aérea total de teca en el estado de Tamil Nadu, en el sureste de la India: uno para la zona meridional cuya ecuación es  $Biomasa = 0,0904 * dbh^{2,551}$  y otro para la zona occidental con la forma de  $Biomasa = 0,0785 * dbh^{2,578}$ .

Otros modelos de tipo logarítmico por validar podrían ser los de Sharma *et al.* (2011) en la India, Appuhamyl *et al.* (2009) en Sri Lanka, Asomaning (2009) en Gana, Hase *et al.* (1983) en Venezuela...

### 4.3. Diseño y ejecución del muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio simple, según el cual todos los individuos tienen las mismas posibilidades de ser seleccionados. Se eligió este tipo de muestreo con objeto de realizar una selección aleatoria e imparcial para tener una muestra representativa de la población. El método de muestreo fue a través de la medición de la biomasa en cada unidad de muestreo (árbol) mediante métodos destructivos. A continuación se definen los parámetros del muestro y los procedimientos para su ejecución.

#### 4.3.1. Tamaño de la muestra y distribución

Debido a los límites de la teoría de muestreo, el tamaño de la muestra se suele elegir de forma empírica. Un principio general es que, a igualdad de precisión, el tamaño de la muestra debe ser mucho mayor cuanto más variable sea el material. (Picard *et al.*, 2012). En el caso de las plantaciones forestales de teca, con individuos de similares edades y la misma especie la variabilidad se asumió, a priori, homogénea.

Puesto que, la biomasa epigea de un árbol es más difícil de medir que el volumen de su fuste, los modelos de biomasa tienden a elaborarse a partir de menos observaciones que los modelos de volumen (Picard *et al.*, 2012): Algunos modelos de biomasa se elaboran solamente a partir de unas pocas mediciones (8 árboles para Brown *et al.*, 1995 en Brasil, 12 árboles para Ebuy Alipade *et al.*, 2011 en la República Democrática del Congo, 14 árboles para Deans *et al.*, 1996, 15 árboles para Russell, 1983 en Brasil, citado por Picard *et al.*, 2012).

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

El costo de la medición es lo que orienta la elección del tamaño de la muestra más que la precisión supuesta de la medición (Picard *et al.*, 2012). Por este motivo, el proceso de selección de los individuos se basó en la disponibilidad de árboles para realizar el muestreo durante las operaciones de raleos que se desarrollaban en la plantación.

Se seleccionaron 20 individuos como muestra para el estudio, 15 procedentes de semilla (brinzales) y 5 procedentes de brotes de raíz (chirpiales) con edades de entre 15 y 17 años los brinzales y de 8 años los chirpiales. Este tamaño de muestra se consideró que generaba una cantidad de trabajo aceptable para la medición y una representación suficiente de los individuos de las parcelas de estudio. Además, un número mayor de individuos hubiese requerido un complejo proceso para su toma de muestras y mediciones, así como para su transporte, lo cual hubiese retrasado considerablemente la ejecución del estudio.

#### 4.3.2. Medición de variables independientes en campo y laboratorio

Por la naturaleza de este estudio, la toma de datos se realizó en primer lugar en campo y seguidamente en laboratorio. Las variables que se midieron es cada uno de estos escenarios fueron las siguientes:

##### a) Variables independientes medidas en campo

- Perímetro del tronco a la altura del pecho (cm): Con el árbol en pie y con ayuda de una cinta diamétrica, se tomó el dato del perímetro del tronco a 1,30 m sobre el suelo (p<sub>1,30</sub>).
- Diámetro de copa, d<sub>copa</sub> (cm): Con árbol en pie y mediante una cinta métrica, entre dos personas se tomaron 2 medidas en cruz teniendo como referencia el fuste del árbol hasta la punta de la rama en copa más alejada. Aunque esta variable no se utilizó para la estimación de la biomasa, se consideró, por la sencillez de su medición, y la posibilidad de formar parte de la base de datos de conocimiento de carbono de esta especie. Con esto, será posible replantear ecuaciones de biomasa que permitan incluirla como variable independiente. Además su medición podrá complementar en el futuro posibles estudios como por ejemplo elaborar relaciones de biomasa más locales para la especie, trabajo hoy postergado, por restricciones presupuestarias y de cabida temporal (Gayoso, 2013).
- Altura total, ht (m): Con el árbol apeado, se midió, con una cinta métrica, la distancia desde la base del fuste hasta el ápice.
- Altura comercial, hc (m): Con el árbol apeado, se midió, con una cinta métrica, la distancia desde la base del fuste hasta la bifurcación principal que marca el inicio de la copa o hasta el diámetro de 15 cm en el fuste.
- Perímetros de las secciones, p<sub>0</sub>, p<sub>2</sub>, p<sub>4</sub>, p<sub>6</sub>...(cm): Se midieron con el árbol apeado, mediante una cinta diamétrica los perímetros de la base del tronco, y a partir de 2 m en adelante; es decir, se tomaron perímetros a las alturas de 0, 2, 4, 6...m. En caso en el que la medición no podía realizarse a esa altura, se tomó la longitud entre cada una de ellas y los perímetros de las secciones de sus extremos.
- Peso fresco de parte comercial p<sub>fc</sub> (kg): Con el árbol apeado y el fuste comercial desramado, se pesaron con una romana de colgar y mediante pesadas sucesivas, los materiales que componían la parte no comercial del árbol.

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

- Peso en fresco de alícuotas, pf (g): Se pesaron, con una romana de colgar, las alícuotas de las ramas y, las rodelas de la base y de la punta delgada. Para el tamaño de las alícuotas se eligió la misma cantidad que la tomada por Pérez *et* Kanninen (2003), esto es aproximadamente: 1kg de ramas y 1kg en rodelas del tronco base y en punta delgada.

**b) Variables independientes medidas en laboratorio**

- Espesor (cm) y área de rodelas (cm): En las alícuotas del tronco, con ayuda de un escalímetro o pie de rey. Se tomaron 4 o 6 datos de su espesor, en función de su irregularidad, además se trazó la forma exacta de la superficie de sus secciones sobre un papel cuadrículado científico, el cuál fue digitalizado para calcular su área con programas informáticos. Sin embargo, el volumen de las alícuotas se obtuvo finalmente en función de su densidad.
- Peso en seco o biomasa, Ps (g): Se tomó el peso de las alícuotas de cada componente (hojas, ramas y tronco) una vez secadas en horno a 65°C hasta peso constante.

**3.3.3. Materiales utilizados**

- Cinta diamétrica: Marca Richter® de 5 m de longitud. Se utilizó para la medición del perímetro de la circunferencia del tronco, con la que se deduce el diámetro del árbol. La precisión de la medición fue de 0,002 m.
- Cinta métrica: Marca Keson®, modelo OTR30M. Se utilizó para la medición de la superficie de copa, la altura total y la altura comercial. La precisión de la cinta era de 0,002 m
- Romana de colgar: Marca Baico®. Se utilizó para la medición del peso en húmedo de toda la parte no comercial del árbol (en varias pesadas) y para la medición en fresco de los distintos pesos de las alícuotas de todos los componentes. La capacidad de la romana era de 20 kg y la precisión de 0,05 kg.
- Escalímetro o pie de rey: Marca Spi®. Para la medición de los espesores de las rodelas antes de su secado. La precisión de este instrumento es de 0,01 cm.
- Balanza de precisión: Marca DeltaRange®, modelo Mettler Toledo PM4600. Para la medición en laboratorio de los pesos en seco de las alícuotas. Capacidad de 4100 g y precisión de 0,01 g.
- GPS: Marca Gamin®, modelo GPSmap 60CSx. Con el que se localizó en el sistema de referencia proyectado CRTM05 cada uno de los árboles de la muestra con una precisión de ±2m.
- Motosierra: Marca Husqvana® de 38 centímetros cúbicos. Para la separación de los componentes más pesados del árbol. Además de los accesorios necesarios como gasolina, aceite, afilador y llave para bujías.
- Machete: Para la separación de los componentes más ligeros del árbol.
- Horno: Marca Unitherm Drier. De 220 voltios en fase 3 y potencia máxima de 10 Kilo voltios amperios (Kva) y 40 ciclos. Se utilizó para el secado de las muestras.

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

- Papel cuadriculado científico: Para la medición de la superficie de las rodelas, debe tener cuadrículas de  $1 \text{ cm}^2$  y subcuadrículas de  $1-2 \text{ mm}^2$ .
- Bolsas de papel sin encerar: Para el correcto almacenamiento y transporte de las alícuotas, sin que éstas se deterioren.
- Otros: Guantes, estadillos de toma de datos, bolígrafo, lápiz, rotulador permanente, protección solar, repelente de insectos, guantes y agua.

#### 4.3.4. Metodología de trabajo en campo y laboratorio

##### a) Procedimiento de trabajo en campo

Los trabajos en campo se realizaron durante los días 25 y 28 de marzo de 2015. Una vez seleccionado un árbol muestra, se realizó una medición del perímetro a la altura del pecho mediante la cinta diamétrica. Seguidamente se realizaron dos mediciones del diámetro de la copa con la cinta métrica.

Con el árbol apeado, se tomaron las medidas de altura total y altura comercial con la cinta métrica y, a continuación, se separó la parte comercial del árbol de la no comercial.

En la parte comercial, con ayuda de una cinta diamétrica, se tomaron los perímetros de tronco a diferentes alturas 2 m (perímetro en la base, a 2 m, 4 m, 6 m etc.). La parte no comercial del árbol fue troceada para facilitar su pesado (peso en fresco), mediante pesadas sucesivas con la romana de colgar). Además, se tomaron muestras o alícuotas de 1 kg, aprox. de ramas repartidas por las distintas secciones del fuste, rodela base del tronco y rodela en punta delgada, las cuales fueron pesadas en campo con la romana de colgar, introducidas en bolsas de papel sin encerar y debidamente identificadas con un rotulador permanente.

Una vez se regresó de campo, a cada una de las rodelas (base y en punta delgada) se les midió 8 datos de espesor y trazó la forma exacta de la superficie de sus secciones sobre un papel cuadriculado para poder realizar el cálculo de su volumen posteriormente (Álvarez *et al.*, 2012).

##### b) Procedimientos de trabajo en laboratorio

Los trabajos en laboratorio se realizaron durante los días 8 y 13 de abril. Se tomaron todas las alícuotas, debidamente identificadas, y se colocaron en el horno, donde permanecieron a  $65^\circ\text{C}$  hasta peso constante (48h aprox.). Estas alícuotas se pesaron de nuevo en seco (biomasa) con la balanza de precisión para, una vez en la oficina estimar la humedad (%) de cada componente.

#### 4.3.5. Diseño de estadillos de campo y laboratorio

El estadillo utilizado para facilitar la toma de variables durante el muestreo en campo y en laboratorio se presenta en la Figura 1.

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

**CATIE** Programa de Producción y Conservación en Bosques **Universidad de Valladolid**

**1. ASPECTOS GENERALES**

Nombre finca	N° de árbol		
Sector	Coordenadas proyectadas		
Lote	Sistema de referencia: CRTM05		
Edad	x		
Altura m.s.n.m.	y		
Pendiente (%)			

**2. TIEMPOS DE TRABAJO**

Fecha	Hora de inicio	Hora final	T. muestro aprox. (minutos)	Tiempo total (minutos)

**4. ÁRBOL EN PIE**

Superficie de copa, $S_{copa}$ (m)	
Perímetro a la altura del pecho, $d_{ap}$ (cm)	

**4.2. ÁRBOL APEADO**

Altura total, $h_t$ (m)	Altura comercial, $h_c$ (m)
Perímetros en las secciones (cm)	
Base, 0 m, $d_0$	8 m, $d_8$
2 m, $d_2$	10 m, $d_{10}$
4 m, $d_4$	12 m, $d_{12}$
6 m, $d_6$	14 m, $d_{14}$

**4.3 SEPARACIÓN DE COMPONENTES Y PESADO**

Peso total parte no comercial $P_{nc}$ (kg)		
---	--	--

**4.3. TOMA DE ALÍCUOTAS, REPARTIDOS POR TODAS LAS SECCIONES DEL FUSTE, IDENTIFICACIÓN.**

Peso fresco alícuota de ramas, (aprox. 1 kg)			
Alícuota del fuste (aprox. 1 kg)	Peso fresco (g)	Perímetro (cm)	Espesor (cm)
Sección base			
Sección punta delgada			

**4.3. EN LABORATORIO**

Alícuota	Peso seco (g)
Ramas	
Sección punta delgada	
Sección base	

**4.4. OBSERVACIONES**

Figura 1. Estadillo de campo y laboratorio utilizado en el muestreo de biomasa.

#### 4.4. Procesado de datos y obtención de resultados

##### 4.4.1. Variables de la muestra y rendimiento del muestreo

De cada uno de los árboles que componen la muestra se anotó la posición cartográfica según el sistema de coordenadas proyectadas CRTM05, el sector y lote en el que se ubican los árboles en la finca “Abancari”, el año de plantación, la edad y el área del lote. Además, se anotaron los tiempos dedicados a la toma en campo de cada muestra.

##### 4.4.2. Análisis previo de los datos

La metodología de trabajo en oficina comenzó con la introducción de los datos tomados de cada muestra, anotados en su correspondiente estadillo de campo, de forma lógica en un soporte informático, tipo hoja de cálculo EXCEL®. Este proceso sirvió también para detectar los posibles errores en la medición.

El análisis previo de los datos consistió en un análisis descriptivo mediante software informático (R® y STATGRAPHICS®). Este análisis descriptivo sirve también para la depuración de los datos, es decir, eliminación de outliers si los hubiese.

Se comprobó la distribución de los datos, para lo cual se realizó un análisis descriptivo de las variables  $d_{ap}$  (cm), altura (m) y altura comercial (m) en la que se incluyeron los siguientes parámetros:

- Medidas de tendencia central: Media aritmética, mediana

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

- Medidas de variación: Varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, rango o recorrido, error estándar, límites de confianza, error de muestreo absoluto, error de muestreo relativo, estimación mínima confiable.
- Medidas de forma: Asimetría y curtosis.

#### 4.4.2. Cálculo de variables dependientes

Con las variables independientes medidas directamente en campo o laboratorio, se calcularon las siguientes variables dependientes:

- Diámetro a la altura del pecho,  $d_{ap}$  (cm): A partir del perímetro ( $p$ ) a 1,3m sobre el suelo, en metros, con la fórmula de la longitud de la circunferencia y teniendo presente el cambio de unidades, se calculó el diámetro con la siguiente fórmula:

$$dap(cm) = \frac{p(m) * \frac{100(cm)}{1(m)}}{\pi}$$

- Humedad en base húmeda,  $h$  (%): Partiendo de los pesos en fresco ( $P_f$ ) y seco ( $P_s$ ) de las alícuotas de cada componente, su humedad se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$h(\%) = \frac{P_f(g) - P_s(g)}{P_f(g)} * 100$$

- Densidad específica de la madera,  $\sigma$  (g/cm<sup>3</sup>): El dibujo de cada rodela en papel milimetrado fue digitalizado y calculada su área mediante un programa informático. Con el dato del peso en seco ( $P_s$ ) de la rodela, el área ( $S$ ) de la misma y la media de sus espesores ( $\bar{e}$ ), se calculó como sigue:

$$\sigma(g/cm^3) = \frac{P_s(g)}{S(cm^2) * \bar{e}(cm)}$$

De forma orientativa, en el estudio de Pérez *et* Kanninen (2003) se utilizó una densidad específica media de 0,60 (g/cm<sup>3</sup>).

- Volumen de cubicación,  $V$  (m<sup>3</sup>): El volumen total del fuste se cubica mediante la fórmula de Smalian (Alder, 1980), como el sumatorio de los volúmenes de las secciones (0 – 2 m, 2 – 4 m, 4 – 6 m...). Para ello, se utiliza los diámetros tomados en esas secciones del fuste y asimilando la última sección a un cono geométrico. La fórmula de Smalian para cada sección es la siguiente:

$$V(m^3) = \frac{\pi * \left(\frac{D+d}{2}\right)^2 * L}{4}$$

Dónde:

L= Longitud de la troza (m)

D= Diámetro de la sección superior (m)

d = Diámetro de la sección inferior (m)



Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

- **Biomasa de las hojas, Bh (kg):** Debido al error sistemático de partida por la ausencia de hojas durante el muestreo, la biomasa de éstas se estimó a partir del modelo reportado por Pérez *et* Kanninen (2003) para esta variable, cuya ecuación alométrica es:  $\log_{10}(Bh) = -2,138 + 2,272 * \log_{10}(dbh)$
- **Biomasa comercial del tronco, Bc (kg):** Conocido el volumen de cubicación (V) y la densidad específica de la madera ( $\sigma$ ), se calculó como sigue:

$$Bc (kg) = V(m^3) * \sigma \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 10^6 \left( \frac{cm^3}{m^3} \right) * 10^{-3} \left( \frac{kg}{g} \right)$$

$$Bc (kg) = V(m^3) * \sigma \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 10^3$$

- **Biomasa no comercial, Bnc (kg):** A partir del cálculo de la media aritmética de los valores de peso seco de la alícuota de las ramas, de la rodela base y en punta delgada ( $\overline{P_{s-alcuota}}$ ), la media del peso en fresco de las tres alícuotas anteriores ( $\overline{P_{f-alcuota}}$ ) y el valor del peso fresco total de la parte no comercial ( $P_{f-total}$ ). La biomasa no comercial se calculó como sigue:

$$Bnc (kg) = \left( \frac{\overline{P_{s-alcuota}}(kg) * P_{f-total}(kg)}{\overline{P_{f-alcuota}}(kg)} \right)$$

- **Biomasa aérea total, Bt (kg):** Se calculó como la suma de la biomasa de las hojas, biomasa comercial y biomasa no comercial.

#### 4.4.3. Evaluación de modelos de biomasa aérea total para teca según sitios

Con objeto de demostrar la importancia de utilizar los modelos desarrollados en un sitio para estimar la biomasa de ese sitio, se han compararon los datos observados con las predicciones de los modelos de biomasa aérea total para teca de Pérez *et* Kanninen (2003) en Costa Rica y los de Karmacharya *et* Singh (2006) en las zonas meridional y occidental de Tamil Nadu, en el sureste de la India.

Los sesgos de las predicciones de los modelos se evaluaron con el error relativo. El error relativo de cada individuo se calculó mediante el cociente de la diferencia de los valores de biomasa predicha por los modelos y la biomasa observada en este estudio y la biomasa observada:

$$Er = \left( \frac{B_{predicha} - B_{observada}}{B_{observada}} \right)$$

La precisión de los modelos se evaluó mediante el análisis del error relativo medio (%). Éste valor se obtuvo realizando el promedio de todos los errores relativos de los individuos de la muestra.

La exactitud del modelo se valoró mediante el análisis de la desviación estándar del error relativo (%), lo que representa el poder predictivo global de la regresión (Chave *et al.*, 2005 y Álvarez *et al.*, 2012). Para ello se utilizó la siguiente formula (donde N es el tamaño de la muestra):

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_{predicha} - B_{observada})^2}{N}}$$

En función de los resultados del error relativo medio y de la desviación estándar del error y teniendo en cuenta el intervalo de confianza, se comprobó la adecuación de los modelos a los datos observados.

Además, como análisis previo a la validación del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003), se representaron gráficamente, en forma logarítmica, los puntos observados en este estudio y el modelo a validar con su variabilidad intrínseca o medida de incertidumbre (intervalos de confianza al 95%). En esta gráfica se comprobó la capacidad del modelo de explicar los datos observados observando si éstos se encontraban dentro o fuera de estos rangos. Esta gráfica se representó también en su forma deslinealizada para predicción directa de la biomasa aérea, para lo cual se realizó la siguiente conversión del modelo logarítmico:

$$\log_{10}(\text{biomasa}) = a + b * \log_{10}(\text{dbh})$$

$$\text{biomasa} = 10^a * 10^{b * \log_{10}(\text{dbh})}$$

#### 4.4.4. Ajuste de ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados

Con los datos observados en campo se realizaron regresiones, por el método de los mínimos cuadrados, seleccionando como variable independiente el diámetro y como variable dependiente la biomasa. De esta forma se ajustaron diferentes modelos seleccionando los mejores según criterios de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el Criterio de Información de Akaike (AIC). Se incluyen los resultados de los ajustes con modelos de tipo potencial, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$Y = a * (\text{dbh})^b + \epsilon_i$$

Dónde:

Y= biomasa o peso seco en kg.

dbh= diámetro a la altura del pecho en cm.

a y b = Parámetros del ajuste.

$\epsilon_i$  = Error del ajuste.

Además se incluyó el ajuste de tipo logarítmico en base diez puesto que, al tener la misma forma que el propuesto por Pérez *et* Kanninen (2006), permitió compararlos con los parámetros del ajuste (a y b). Este modelo, a diferencia del lineal permite eliminar la autocorrelación residual y mejorar los parámetros de ajuste de los modelos. El modelo logarítmico que se utilizó tiene la siguiente fórmula:

$$\log_{10}(Y) = a + b * \log_{10}(\text{dbh}) + \epsilon_i$$

Dónde:

Y= biomasa o peso seco en kg.

dbh= diámetro a la altura del pecho en cm.

a= Pendiente de la recta, mide el cambio en  $\log_{10}(Y)$  por cada unidad de cambio en  $\log_{10}(\text{dbh})$ .

b= Intercepto u ordenada al origen, es valor de  $\log_{10}(Y)$  cuando  $\log_{10}(\text{dbh})=0$ .

$\epsilon_i$  = Error del ajuste.

---

Alumno: Antonio Leceguí Perepérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

Para cada uno de los modelos ajustados se comprobó en la tabla Anova del ajuste que la relación entre las variables (biomasa y diámetro) fuese estadísticamente significativa al 95% de probabilidad, es decir, que estuviesen relacionados entre sí con una confianza estadística del 95%. Para ello se constató que el p-valor en esta tabla fuese inferior a 0,05. De la misma forma se examinó la significación de los parámetros del modelo, intercepto (a) y pendiente (b) según la f-prueba del ajuste. En caso de que alguno de los parámetros no fuese significativo se repitió el ajuste eliminando dicho parámetro.

Además en la tabla Anova del ajuste se comprobó que la varianza explicada por el modelo (suma de cuadrados del modelo) fuese mayor que la no explicada (suma de cuadrados del residuo).

También se comprobaron los parámetros estadísticos del ajuste haciendo un especial hincapié en:

-  $R^2$  o coeficiente de determinación: Representa el porcentaje de variabilidad de la variable dependiente (biomasa) explicada por el modelo. Este valor varía de 0 a 100, siendo los modelos con valores más próximos a éste último los que mejor explican la variable dependiente.

- Estadístico de Durbin-Watson (DW): Es una medida de correlación serial en los residuos. Para los modelos cuyos residuos varían de forma aleatoria, este valor debe ser cercano a 2. La no correlación de los residuos al 95% de confianza se comprobó con p-valor de este estadístico superior a 0,05.

- Criterio de Información de Akaike (AIC): Mide la calidad relativa del modelo según la falta de ajuste de los datos observados y el número de parámetros. Los mejores modelos son los que tienen un valor del AIC menor (Yamaoka *et al.*, 1978).

$$AIC = 2 * Ln(RMSE) + \frac{2c}{n}$$

Dónde:

RMSE es la raíz del cuadrado medio del error durante el periodo de estimación

c es el número de coeficientes estimados en el modelo estimado

n es el tamaño de muestral utilizado para estimar el modelo

Por último se realizó el diagnóstico del modelo. Este proceso consiste en el estudio de los residuos en regresiones y permite saber si se están cumpliendo las premisas de linealidad de las relaciones, homocedasticidad, normalidad e independencia de los residuos (Menéndez, 2002).

La normalidad de los residuos se comprobó mediante el p-valor de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, según la cual valores superiores a 0,05 de este parámetro provienen de una distribución normal al 95% de confianza. Con el mismo criterio de selección de p-valor se realizó la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Además se comprobó de forma gráfica la distribución normal de los residuos según la gráfica de histograma de los residuos y la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) de los residuos, comprobando, en esta última, la alineación de los puntos según la línea diagonal.

La homocedasticidad y linealidad de los residuos se verificó con el coeficiente de correlación de Pearson y comprobando, en el gráfico de distribución de los residuos que su

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica  
valor promedio fuese próximo al valor nulo, que no siguiesen un patrón especial ni tendencia y que su varianza fuese constante y estuviese en el rango (-2, 2).

La independencia de los residuos o no autocorrelación se comprobó con el estadístico de Durbin-Watson (DW). Para los modelos cuyos residuos varían de forma aleatoria, este valor debe ser cercano a 2. La no correlación de los residuos al 95% de confianza se comprobó con p-valor de este estadístico superior a 0,05.

Además se comprobó, en la gráfica de apalancamiento, que no existiesen datos influyentes en el ajuste, observando que los individuos aislados estuviesen dentro de los límites de esta gráfica.

#### **4.4.5. Comparación de modelos logarítmicos**

Se calculó el punto de intersección de ambas rectas por el método de igualación de ecuaciones para comprobar, a priori, las diferencias predictivas de ambos modelos.

Con objeto de comprobar si existen diferencias significativas entre los modelos se realizaron dos procedimientos. En primer lugar, se realizó un ajuste lineal entre los valores predichos por el modelo ajustado en este estudio y los valores predichos por el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003) para constatar las correlaciones existentes entre ambas predicciones mediante el coeficiente de determinación del ajuste. A continuación se realizó el procedimiento de comparación de líneas de regresión con objeto de comprobar si existen diferencias significativas entre el intercepto y la pendiente de la recta ajustada por Pérez *et* Kanninen (2003) y los coeficientes del ajuste del modelo elaborado con los valores observados.

El procedimiento de comparación de líneas de regresión en el programa estadístico Statgraphics ofrece un cuadro de análisis de regresión múltiple y coeficientes, los cuales pueden interpretarse como un ajuste de regresión con todos los valores de ambos modelos y un ajuste de regresión para cada uno de los modelos. Además, ofrece una tabla de análisis de la varianza, en la que se descompone la variabilidad de la variable dependiente, biomasa en este caso, en suma de cuadrados del modelo (explicada) y suma de cuadrados del error o residuos (no explicada). La prueba F muestra la significancia estadística del modelo ajustado con el P-valor (p-valor < 0,05 indica una relación significativa entre las variables, biomasa y diámetro).

La significación estadística de las pendientes y los interceptos se comprueba según el p-valor asociado a la prueba f de la tabla de análisis de varianza adicional para las variables según ambos modelos. En este caso si p-valor es menor a 0,05 las pendientes o interceptos de las líneas varían de forma significativa entre los modelos lineales al 95% de confianza.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Variables de la muestra y rendimiento del muestreo

La edad de las plantaciones muestreadas fue de 8, 15 y 17 años, y sus densidades estaban comprendidas entre 326 y 653 p/ha. Además 5 de los 20 árboles que integran la muestra provenían de un manejo de monte bajo, es decir de rebrote de raíz (Tabla 3). El tiempo dedicado a la recolección de los datos en cada uno de los árboles varió entre 47 y 89 min, con un promedio de 61,4 min por árbol (Tabla 4).

**Tabla 3.** Árboles muestreados para el estudio de validación de la ecuación alométrica de Pérez *et* Kanninen (2003), posición según coordenadas proyectadas CRTM05, sector y lote en el que se ubican en la finca Abancari, año de plantación, edad y área del lote.

Árbol	Coordenadas CRTM05		Sector	Lote	Plantación	Edad	Área (ha)
	x	y					
1	538099	1094094	Mangos	MG1	1998	17	29.98
2	396554	1130321	Mangos	MG1	1998	17	29.98
3	396553	1130339	Mangos	MG1	1998	17	29.98
4	395737	1130326	Casas Viejas	CV-1	1998	17	8.64
5	395735	1130373	Casas Viejas	CV-1	1998	17	8.64
6	395741	1130385	Casas Viejas	CV-1	1998	17	8.64
7	395726	1130387	Casas Viejas	CV-1	1998	17	8.64
8	395672	1130405	Casas Viejas	CV-1	1998	17	8.64
9	395694	1130417	Casas Viejas	CV-1	1998	17	8.64
10	395740	1130340	Cabo Luis	CL-1	2000	15	22.36
11	396874	1131788	Cabo Luis	CL-1	2000	15	22.36
12	396837	1131775	Cabo Luis	CL-1	2000	15	22.36
13	396839	1131774	Cabo Luis	CL-1	2000	15	22.36
14	396788	1131761	Cabo Luis	CL-1	2000	15	22.36
15	396867	1131717	Cabo Luis	CL-1	2000	15	22.36
16*	396876	1131717	Aserradero	A2-1	2007	8	0.58
17*	395158	1129934	Aserradero	A2-1	2007	8	0.58
18*	395108	1129948	Aserradero	A2-1	2007	8	0.58
19*	395103	1129949	Aserradero	A2-1	2007	8	0.58
20*	395116	1129944	Aserradero	A2-1	2007	8	0.58

\* Individuos procedentes de rebrote de raíz o chirpiales.

**Tabla 4.** Rendimientos en minutos por árbol, fechas y horarios para la toma de datos de cada uno de los árboles muestra del estudio.

Árbol	Fecha	Hora inicio	Hora fin	T. total (min)
1	25/03/2015	9:00	9:59	59
2	25/03/2015	10:15	11:44	89
3	25/03/2015	12:10	13:30	50
4	26/03/2015	6:00	7:04	64
5	26/03/2015	7:07	7:57	50
6	26/03/2015	8:03	8:54	51
7	26/03/2015	9:30	10:54	84
8	26/03/2015	11:00	12:20	80
9	26/03/2015	12:30	13:25	55
10	27/03/2015	6:40	7:27	47
11	27/03/2015	7:33	8:45	72
12	27/03/2015	9:00	9:57	57

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

**Tabla 5 (Cont.).** Rendimientos en minutos por árbol, fechas y horarios para la toma de datos de cada uno de los árboles muestra del estudio.

Árbol	Fecha	Hora inicio	Hora fin	T. total (min)
13	27/03/2015	10:05	10:50	45
14	27/03/2015	10:55	12:05	70
15	27/03/2015	12:26	13:10	44
16*	28/03/2015	6:05	7:10	65
17*	28/03/2015	7:11	8:00	49
18*	28/03/2015	8:15	9:27	72
19*	28/03/2015	9:45	11:00	75
20*	28/03/2015	11:10	12:30	50**
<b>Promedio</b>				<b>61.4</b>
<b>Dev. Estándar</b>				<b>13.8</b>

\* Individuos procedentes de rebrote de raíz o chirpiales.

\*\*En el árbol 20 se estableció una parada de 30 minutos por el arreglo de la cadena de la motosierra.

## 5.2. Análisis previo de los datos y cálculo de variables dependientes

El diámetro medio de los arboles medidos fue de 24,64 cm, con valor mínimo de 18,653 cm, un valor máximo de 41,444 cm, una desviación estándar de 5,04 cm, un coeficiente de variación de 20,46%, asimetría (sesgo) de 3,38 cm y curtosis de 5,37cm. La biomasa total tuvo valores extremos de 160,969 kg y 962,527 kg, un valor medio de 338,19 kg, desviación estándar de 180,33 kg, coeficiente de variación del 53,3%, sesgo 4,24 kg y curtosis 6,53 kg (Tabla 6).

**Tabla 6.** Variables independientes y dependientes obtenidas de los individuos de la muestra: diámetro, altura total y comercial, estimación de biomasa en hojas y resultados de biomasa no comercial, biomasa comercial y biomasa total para teca en finca "Abangari".

Árbol	Dap (cm)	ht (m)	hc (m)	Biomasa estimada hojas (kg)	Biomasa no comercial (kg)	Biomasa tronco comercial (Kg)	Biomasa total
1	28,966	21,8	10,1	15,255	159,455	323,568	498,278
2	41,444	23,65	14,4	34,425	186,946	741,156	962,527
3	25,91	20,2	11,5	11,842	135,27	262,469	409,581
4	21,645	15,35	6,53	7,869	106,7	118,477	233,046
5	21,581	18	8,9	7,817	60,884	149,479	218,18
6	21,263	14,4	7,32	7,557	82,273	132,379	222,209
7	26,738	17,45	9,8	12,719	140,769	271,156	424,643
8	25,783	20	12,48	11,71	99,043	261,392	372,145
9	24,255	19,4	8,961	10,192	120,254	146,687	277,133
10	24,319	19,82	10,114	10,253	99,28	192,585	302,118
11	26,452	21,3	11,5	12,411	184,551	308,89	505,853
12	24,192	19,1	10,558	10,132	88,037	199,702	297,871
13	23,619	20,17	10,256	9,595	77,365	162,959	249,919
14	27,375	20,55	11,89	13,417	126,743	291,063	431,223
15	18,653	16,77	7,226	5,612	59,785	95,572	160,969
16	18,653	15,52	9,8	5,612	82,804	123,398	211,814
17	19,353	17,13	8,115	6,102	60,874	111,192	178,168
18	26,356	17,85	6,588	12,31	119,958	186,405	318,673
19	26,738	16,46	7,674	12,719	127,127	167,171	307,016
20	19,544	16,32	4,22	6,24	103,923	72,277	182,44
<b>Promedio</b>	<b>24,64</b>	<b>18,56</b>	<b>9,4</b>	<b>10,565</b>	<b>111,102</b>	<b>215,899</b>	<b>338,19</b>
<b>Desv. estándar</b>	<b>5,04</b>	<b>2,42</b>	<b>2,41</b>	<b>0,288</b>	<b>37,66</b>	<b>144,41</b>	<b>180,33</b>

Donde: Dap, Diámetro a la altura del pecho; ht, altura total; hc, altura comercial.

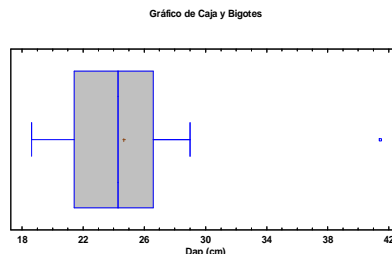
Alumno: Antonio Leceguí Peropérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

Estos valores muestran que la distribución del diámetro y la biomasa aérea total son asimétricas positivas y platicúrtica, es decir, tienen factores de forma (asimetría y curtosis) fuera de los rangos esperados de la normalidad (-2, 2) según la distribución de Gauss. Esta situación se debe a la existencia de un individuo (individuo 2) con diámetro y biomasa con valores superiores al resto (Figura 2). Sin embargo, éste valor está dentro de la trayectoria de los intervalos de confianza de la ecuación alométrica que se pretende evaluar y se ha descartado que sea un outlier. En definitiva, puesto que el tamaño de la muestra no es muy grande y lo que se pretende es evaluar el comportamiento de la relación alométrica de Pérez *et* Kanninen (2006) en toda su distribución posible se decidió mantenerlo en los análisis, además para el ajuste de modelos se comprobó su influencia en la gráfica de apalancamiento.



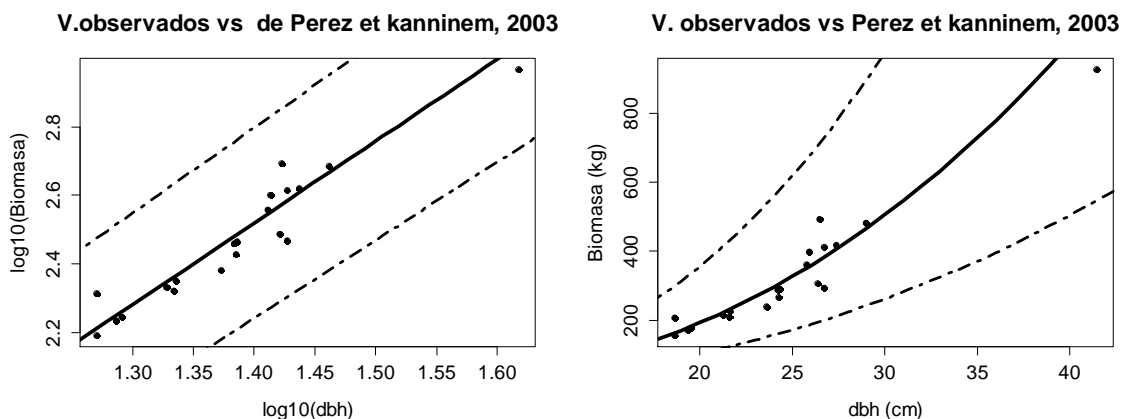
**Figura 2.** Gráfico de caja y bigotes de la dispersión de los diámetros de los individuos muestreados.

**5.3. Evaluación de modelos de biomasa aérea total de teca según sitios**

El modelo reportado por Pérez *et* Kanninen (2003) para predicción de la biomasa aérea total de teca en Costa Rica tiene la siguiente forma:

$$\log_{10}(\text{Biomasa}) = -0,815 + 2,382 * \log_{10}(\text{dbh})$$

Con medida de incertidumbre o intervalos de confianza al 95% de: (-0,938 < a > -0,679) y (2,281 < b > 2,483). La Figura 3 muestra cómo todos los puntos observados están dentro de los intervalos de confianza del modelo, es decir, el modelo explica todos los datos tomados en este estudio.



**Figura 3.** Representación de los valores observados en este estudio y el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) con intervalos de confianza para biomasa aérea total de teca en Costa Rica, en su forma logarítmica (Izda.) y con la transformación realizada (Dcha.).

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

Los residuos encontrados entre el valor observado de biomasa total aérea en teca y el valor predicho por el modelo de Pérez *et* Kanninen (2006) varían entre |131,502| kg y |0,320| kg, tienen un valor medio de 0,467 kg y una desviación estándar de 53,172 kg. La distribución de los residuos no es heterocedástica, es decir, no presenta tendencias y tiene varianzas constante y dentro del rango esperado para la normalidad (2, -2) excepto el valor 11, cuyo residuo es superior (131,502 kg), (Figura 4). Éstos tienen una distribución de frecuencias normal al 95% de confianza, pues el p-valor en la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk es de 0,299 (>0,05), (Figura 5).

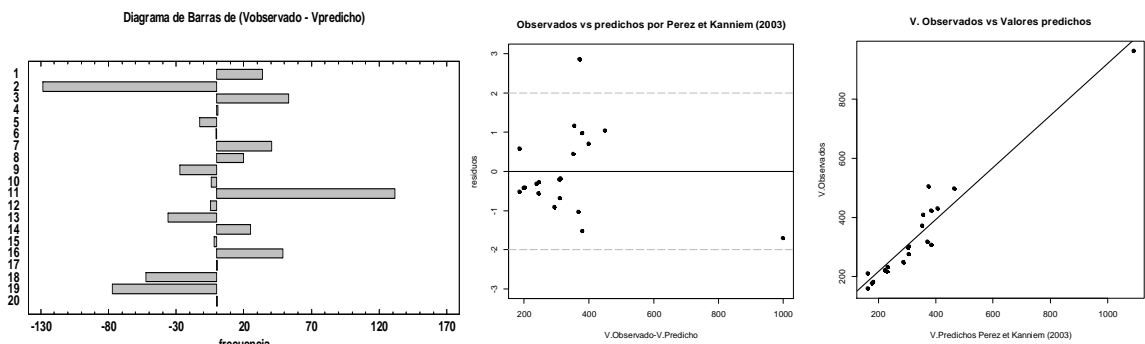
El error relativo, que evalúa la precisión del modelo con los datos observados tuvo un máximo de |-25,996| y un mínimo de |-0,180|, el valor medio fue de -0,054, esto es un 5,46% de desvío. La desviación estándar del error relativo, que evalúa los sesgos totales y representa el poder predictivo global de la regresión (Chave *et al.*, 2005 y Álvarez *et al.*, 2012) fue del 11,589% (Tabla 7).

**Tabla 7.** Diámetro de cada individuo muestreado, valor de la biomasa observada, valor de la biomasa predicha por el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003), sesgos o residuos, errores al cuadrado y errores relativos.

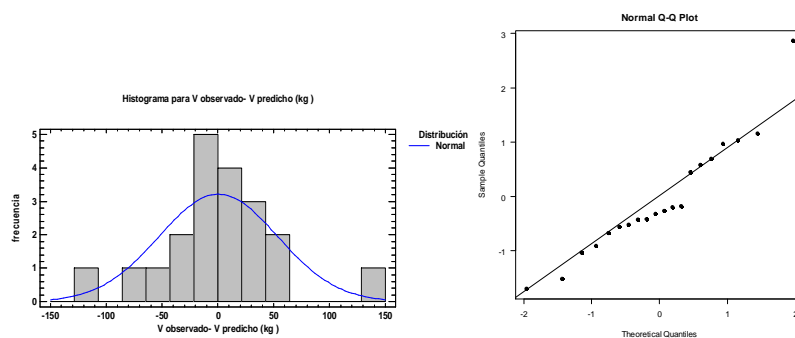
Muestra	dhb (cm)	Valor observado (kg)	Valor predicho (kg)	(V. Observado - V. Predicho)	(V. Observado - V. Predicho) <sup>2</sup>	Error relativo (%)
Árbol 1	28,966	498,278	464,757	33,522	1123,695	-6,727
Árbol 2	41,444	962,527	1,090,919	-128,392	16484,483	13,339
Árbol 3	25,91	409,581	356,366	53,215	2831,872	-12,993
Árbol 4	21,645	233,046	232,18	0,866	0,75	-0,372
Árbol 5	21,581	218,18	230,557	-12,377	153,199	5,673
Árbol 6	21,263	222,209	222,539	-0,33	0,109	0,148
Árbol 7	26,738	424,643	384,081	40,563	1645,327	-9,552
Árbol 8	25,783	372,145	352,209	19,936	397,455	-5,357
Árbol 9	24,255	277,133	304,513	-27,38	749,664	9,88
Árbol 10	24,319	302,118	306,42	-4,303	18,512	1,424
Árbol 11	26,452	505,853	374,351	131,502	17292,794	-25,996
Árbol 12	24,192	297,871	302,613	-4,742	22,484	1,592
Árbol 13	23,619	249,919	285,819	-35,9	1288,837	14,365
Árbol 14	27,375	431,223	406,223	25	624,986	-5,797
Árbol 15	18,653	160,969	162,9	-1,931	3,729	1,2
Árbol 16	18,653	211,814	162,9	48,914	2392,6	-23,093
Árbol 17	19,353	178,168	177,847	0,32	0,103	-0,18
Árbol 18	26,356	318,673	371,14	-52,467	2752,787	16,464
Árbol 19	26,738	307,016	384,081	-77,065	5938,942	25,101
Árbol 20	19,544	182,44	182,056	0,384	0,147	-0,21
<b>Promedio</b>				<b>0,467</b>	<b>53,722,474</b>	<b>-0,055</b>
<b>Suma</b>				<b>-1,092</b>	<b>11,589</b>	<b>-1,092</b>



Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica



**Figura 4.** Diagrama de barras de los residuos (Izda.), gráfico de dispersión de residuos (Centro) y gráfico de valores observados contra predichos (Dcha.) al comparar los valores de biomasa aérea total de teca observados en este estudio y los valores de predicción del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003).



**Figura 5.** Histograma de residuos (Izda) y grafico cuantil-cuantil (Dcha) del ajuste a una distribución normal de la diferencia entre los valores observados de biomasa aérea total de teca en este estudio y los valores de predicción del modelo de Pérez *et* Kanninen (2006).

Si se comparan los datos observados en Costa Rica con los predichos con modelos desarrollados en otros sitios, por ejemplo en la India, se pueden obtener errores relativos medios de hasta el 414% y desviaciones estándar del error relativo del 15,5% (Tabla 8).

**Tabla 8.** Evaluación de los modelos y su ámbito de aplicación con los valores de biomasa aérea de teca observados en Abangares según el error relativo medio y la desviación estándar del error relativo..

Modelo	Ámbito	Error relativo medio (%)	Desviación estándar del error relativo
Pérez <i>et</i> Kanninen (2003)	Costa Rica	-5,458	11,589
Karmacharya <i>et</i> Singh (2006)	Zona occidental de Tamil Nadu	125,448	15,490
Karmacharya <i>et</i> Singh (2006)	Zona meridional de Tamil Nadu	-414,453	14,277

**5.4. Elaboración de ecuaciones alométricas de biomasa con los datos observados**

La biomasa aérea total resultó estar altamente correlacionada con el diámetro (altos valores del coeficiente de correlación de Pearson y del coeficiente de determinación). El modelo que mayor  $R^2$  obtuvo fue el potencial ( $Y=X^b$ ) sin embargo, se rechazó porque la distribución de sus residuos no era normal. El modelo con distribución de residuos lineales que mayor  $R^2$  obtuvo fue el de tipo cuadrado de  $x$ , sin embargo, se eligió como mejor modelo el de tipo logarítmico al presentar un AIC menor. En los siguientes puntos se desarrollan los ajustes realizados con estos dos últimos modelos.

### 5.4.1. Modelo potencial

La regresión según un modelo potencial entre de la biomasa aérea total y el diámetro de teca muestra que el parámetro “a” del modelo no es significativo en el ajuste al 95% de confianza al tener un p-valor superior a 0,05 (Tabla 9). Por tanto se repitió el ajuste eliminando la constante “a”.

**Tabla 9.** Parámetros de ajuste potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
a	-36,2424	24,8958	-1,4558	0,1627
b	0,5930	0,0359	16,5216	0,0000

Al eliminar la constante “a” del modelo, queda un modelo del tipo: Biomasa = b \* dbh<sup>2</sup>. En este modelo, el parámetro b resultó significativo al 95% de probabilidad, con un error típico (Std. Error) de 0,0123 (Tabla 10 y Tabla 11). El error estándar del estimador de la regresión fue de 47,42, el coeficiente de correlación (R<sup>2</sup>) explica el 98,52% de los datos y el AIC fue de 213,89 (Tabla 10). La representación gráfica del ajuste del modelo aparece en la Figura 6.

**Tabla 10.** Parámetros del modelo potencial (eliminando la constante “a”) de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Pendiente (b)	0,5455	0,0153	35,6797	0,0000

**Tabla 11.** Análisis de la varianza de los errores del modelo potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	2,8626*10 <sup>6</sup>	1	2.8626*10 <sup>6</sup>	1273,04	0,0000
Residuo	42723,8	19	2248,62		
Total	2,9053*10 <sup>6</sup>	20			

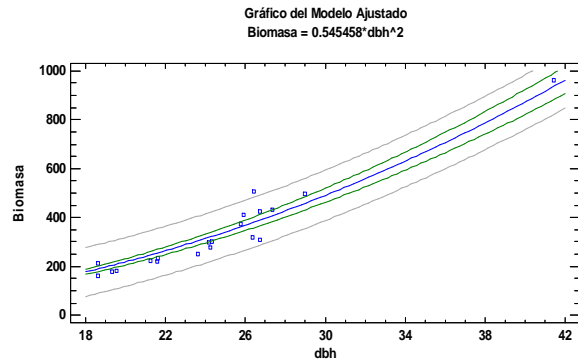
**Tabla 12.** Estadísticos del modelo potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Estadístico	Valor
Coefficiente de Correlación	0,9926
R-Cuadrada	98,5295 %
R-Cuadrada (ajustada por g.l.)	98,5295 %
Error estándar del est.	47,4197
Error absoluto medio	38,4663
Estadístico Durbin-Watson	1,7384
Autocorrelación residual de retardo 1	0,1036
AIC	213,8938

**Tabla 13.** Intervalos de confianza y de predicción, al 95% de confianza, del modelo potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Predicciones		Límite Predicción (95%)		Límite Confianza (95%)	
X	Y	Inferior	Superior	Inferior	Superior
18,653	189,784	89,9106	289,657	178,651	200,917
41,444	936,882	823,431	1050,33	881,923	991,841

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

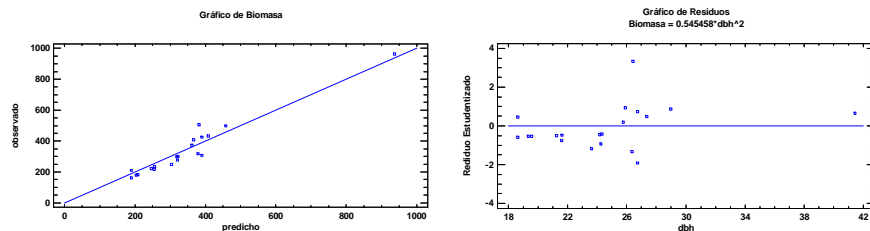


**Figura 6.** Representación de los puntos y del modelo potencial, con intervalos de confianza y predicción, de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

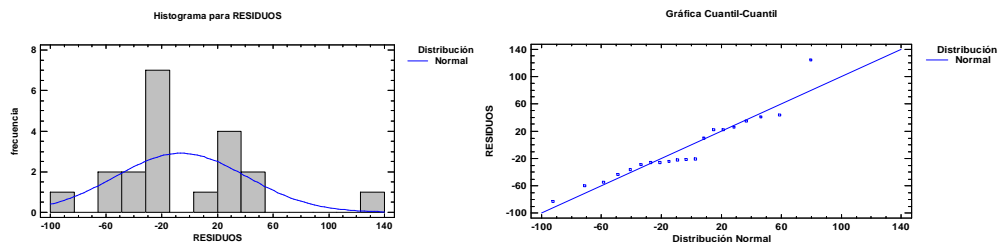
Los residuos varían en el rango -82,943, 124,191, con un valor medio de -6,209. La suma de residuos al cuadrado, suma de cuadrados o variabilidad total del modelo es  $2,905 \cdot 10^6$ , la mayor parte de ésta,  $2,863 \cdot 10^6$ , explicada por el modelo y 42723,8 no explicada (Tabla 11). Además, el estadístico de Durbin-Watson (DW), que analiza las correlaciones de los residuos, fue de 1,738, lo cual indica que no existe una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95.0%.

El gráfico de distribución de los residuos y los valores observados contra los predichos del ajuste aparecen en la Figura 7. Éste no muestran un patrón especial ni tendencia, siendo los residuos independientes y la varianza constante. Considerando aprobadas las hipótesis de homocedasticidad y la linealidad.

La normalidad de los residuos se comprobó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con un p-valor de 0,140 ( $>0,05$ ) y la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con p-valor 0,298 ( $>0,05$ ). En la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) de los residuos de la Figura 8, los puntos están bastante alineados, por lo que la normalidad de los mismos también parece aceptable.



**Figura 7.** Gráfico de valores observados contra predichos (Izda.) y distribución de los residuos (Dcha.) para el ajuste de regresión potencial de la biomasa aérea total de teca en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica.



**Figura 8.** Histograma de residuos (Izda.) y gráfica cuantil-cuantil (Dcha.) de los residuos ajustados a la distribución normal de Gauss del modelos potencial de biomasa total de teca en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica.

### 5.4.2. Modelo logarítmico

El modelo logarítmico obtenido tiene la expresión:

$$\log_{10}(\text{Biomasa}) = -0,6207 + 2,2442 \cdot \log_{10}(\text{dbh})$$

Ambos parámetros del ajuste, a y b, son significativos en el modelo al 95% de probabilidad (p-valor > 0,05) y sus errores típicos (Std. Error) son 0,223 y 0,161 respectivamente. Además, el error estándar del estimador de la regresión es 0,057 en 18 grados de libertad y el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) explica el 91,5% de los datos (Tabla 14).

La representación de los puntos con los valores observados y la recta obtenida en la regresión con sus intervalos de confianza (al 95% de probabilidad) e intervalos de predicción se presenta en la Figura 9.

**Tabla 14.** Parámetros de ajuste logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
a	-0,6207	0,2235	-2,7775	0,0124
b	2,2442	0,1612	13,9226	4,46*10 <sup>-11</sup>

**Tabla 15.** Análisis de la varianza de los errores del modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,6220	1	0,6220	193,84	0,0000
Residuo	0,0578	18	0,0032		
<b>Total (Corr.)</b>	<b>0,6798</b>	<b>19</b>			

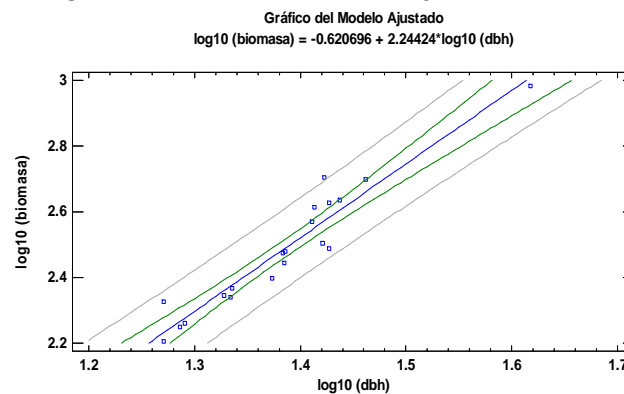
**Tabla 16.** Estadísticos del modelo logarítmico de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Estadístico	Valor
Coefficiente de Correlación	0.9566
R-Cuadrada	91.5029 %
R-Cuadrada (ajustada por g.l.)	91.0309 %
Error estándar del est.	0.0566
Error absoluto medio	0,0425
Estadístico Durbin-Watson	2,0486 (P=0,5051)
Autocorrelación residual de retardo 1	-0,0385
AIC	-52,8763

**Tabla 17.** Intervalos de confianza y predicción al 95% para modelo de regresión potencial de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

X	Y	Límite Predicción (95%)		Límite Confianza (95%)	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior
1,2707	2,2312	2,1033	2,3590	2,1844	2,2779
1,6175	3,0093	2,8640	3,1546	2,9259	3,0926

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

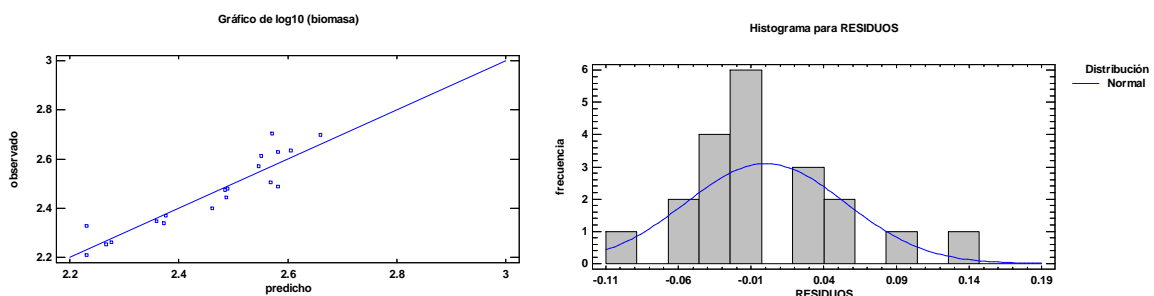


**Figura 9.** Representación de los puntos y del modelo logarítmico, con sus intervalos de confianza y predicción al 95% de confianza, de la biomasa aérea total en función del diámetro a la altura del pecho para teca en Abangares, Guanacaste.

Los residuos varían en el rango -0,095, 0,132, con un valor medio de -0,011, muy próximo al valor nulo. La suma de residuos al cuadrado, suma de cuadrados o variabilidad total del modelo es 0,680, la mayor parte de ésta, 0,622, explicada por el modelo y 0,058 no explicada (Tabla 15). Además, el estadístico de Durbin-Watson (DW), que analiza las correlaciones de los residuos, fue de 2,053, con un p-valor de 0,509 (p-valor>0,05), lo cual indica que no existe una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95.0%.

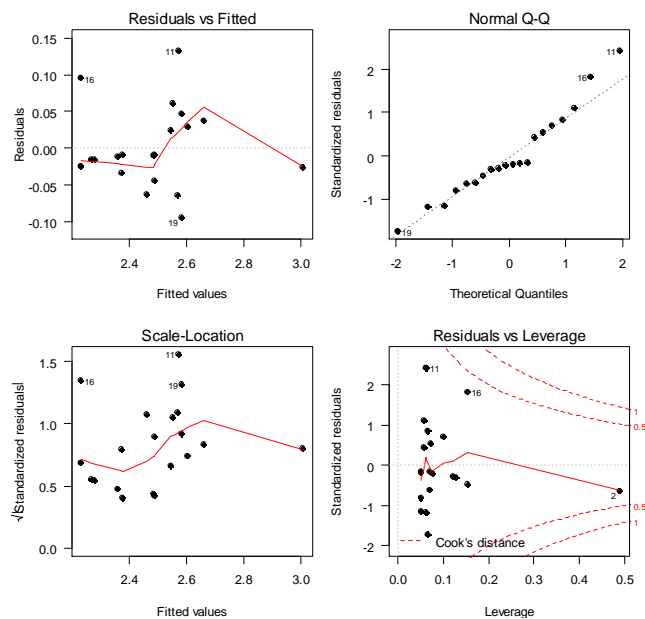
El gráfico de distribución de los residuos y el de los residuos estudentizados, no muestran un patrón especial ni tendencia, siendo los residuos independientes y la varianza constante (Figura 11). Por tanto, las hipótesis de homocedasticidad y la linealidad parecen razonables.

La normalidad de los residuos se comprobó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con un p-valor de 0,447 (>0,05) y la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con p-valor 0,327 (>0,05), además de forma gráfica en el histograma de distribución de residuos (Figura 10). En la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) de los residuos, los puntos están bastante alineados, por lo que la normalidad de los mismos también parece aceptable. Además, en la gráfica de apalancamiento se comprueba como el individuo 2 se encuentra dentro de los límites esperados y no realiza una influencia estadística sobre la dirección de la recta ajustada.



**Figura 10.** Gráfico de valores observados contra predichos (Izda.) e histograma de residuos ajustados a una distribución normal (Dcha.) para el modelo logarítmico de la biomasa aérea total de teca en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica.

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica



**Figura 11.** Gráficos de residuos para el ajuste de regresión lineal de la biomasa aérea total en función del diámetro para los datos observados en Abangares, Costa Rica: Distribución de los residuos (arriba izquierda), gráfica cuantil-cuantil, QQ plot, de los residuos (Arriba derecha), gráfica de residuos estudentizados (Abajo izquierda) y gráfica de apalancamiento o influencia de los residuos (Abajo derecha).

Comprobada la normalidad de los residuos, su no autocorrelación, la homocedasticidad y falta de linealidad, se puede afirmar que se trata de un buen ajuste, con un coeficiente de determinación del 91,5%,

### 5.5. Comparación de modelos logarítmicos

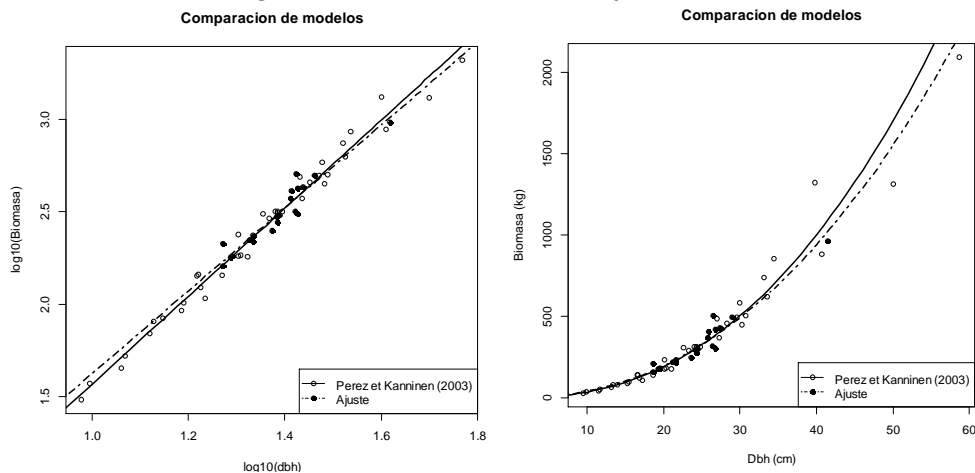
La representación gráfica de la trayectoria de ambos modelos y los puntos utilizados en su ajuste en forma logarítmica y en forma deslinealizada aparece en la Figura 12. El punto de intersección entre ambos modelos es:

- $\log_{10}(\text{dbh})=1,4058 \rightarrow \text{dbh}=25,457 \text{ cm}$
- $\log_{10}(\text{Biomasa})=2,5336 \rightarrow \text{Biomasa}=341,665 \text{ kg}$

Según esto, los individuos con diámetro inferior a 25,457 cm, el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003), realiza predicciones de biomasa inferiores que las que ofrece el modelo ajustado con los datos de este estudio. A partir de ese punto, las predicciones realizadas con el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) son superiores a las predicciones utilizando el modelo realizado. Con objeto de comprobar la significación estadística de las diferencias predictivas de ambos modelos, se realizó un ajuste de regresión lineal y una comparación de líneas de regresión.

El coeficiente de correlación del ajuste de regresión lineal entre los valores predichos por el modelo propuesto en este estudio y el propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003) fue del 99,96%. Esto indica una enorme similitud entre los valores predichos por ambos modelos lo que ofrece gran robustez a la validación del modelo.

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica



**Figura 12.** Comparación de los valores obtenidos y el modelo ajustado en este estudio (línea de puntos) y el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003) para biomasa aérea total de teca en Costa Rica (línea continua).

El ajuste de regresión según un modelo tipo logarítmico realizado con todos los valores de biomasa aérea (puntos de Pérez *et* Kanninen, 2003 y valores observados) ofrece una ecuación con ambos parámetros significativos al 95% de confianza (Tabla 18). La expresión de este ajuste es:

$$\text{Log}_{10}(\text{Biomasa}) = -0.799626 + 2.37146 * \text{Log}_{10}(\text{dbh})$$

Los resultados del procedimiento estadístico de comparación de líneas de regresión muestran un modelo de regresión lineal ajustado que describe la relación entre el  $\log_{10}$  (biomasa),  $\log_{10}$  (dbh) y ambos modelos (ajustado con valores observados y Pérez *et* Kanninen, 2003) presenta la misma ecuación con una forma descompuesta:

$$\log_{10}(\text{Biomasa}) = -0,6207 + 2,244 * \log_{10}(\text{dbh}) - 0,1940 * (\text{modelo}=\text{Pérez}) + 0,1374 * \log_{10}(\text{dbh}) * (\text{modelo}=\text{Pérez})$$

En esta ecuación la variable  $\text{modelo}=\text{Pérez}$  es una variable indicadora de la descomposición, la cual toma el valor 1 para el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y el valor 0 para el modelo ajustado en este estudio. De esta forma se obtienen dos líneas separadas para cada valor de modelo, las cuales tienen los coeficientes de los dos modelos que se estudian en este documento (Tabla 19 y Tabla 20). Igualmente, los coeficientes asociados a estas variables indicadoras (-0,194 y 0,137), representan la diferencia entre intercepto y pendiente, respectivamente entre los dos modelos.

**Tabla 18.** Estadísticos del análisis de regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio en su forma simplificada (sin variables indicadoras).

Parámetro	Mínimos Cuadrados	Error	Estadístico	Valor-P
	Estimado	Estándar	T	
<b>Intercepto (a)</b>	-0,7996	0,0637	-12,5516	0,0000
<b>Pendiente (b)</b>	2,3715	0,0466	50,8629	0,0000

Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

**Tabla 19.** Estadísticos del análisis de regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio con variables indicadoras.

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico T	Valor-P
Constante*	-0,6207	0,2251	-2,7580	0,0078
Log10 (dbh)**	2,2443	0,1623	13,8245	0,0000
Modelo=Pérez***	-0,1940	0,2349	-0,8258	0,4124
Log10 (dbh)*Modelo=Pérez****	0,1374	0,1698	0,8093	0,4218

\* Parámetro “a” del modelo ajustado en este trabajo.

\*\* Parámetro “b” del modelo ajustado en este trabajo.

\*\*\* Diferencia en “a” entre el modelo ajustado y el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003).

\*\*\*\* Diferencia en “b” entre el modelo ajustado y el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003).

**Tabla 20.** Coeficientes para el modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y el modelo ajustado en este estudio..

Modelo	Intercepto (a)	Pendiente (b)
Observado	-0,6207	2,2443
Pérez	-0,8147	2,3816

Este ajuste con todos los valores presenta una relación estadísticamente significativa entre las variables al 95% de confianza ( $p$ -valor  $< 0,05$ ), (Tabla 21). Además, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) indica que el modelo explica el 97,83% de la variabilidad del log10 (Biomasa) y el AIC fue de -170,749. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,057, el valor promedio de los residuos o error absoluto medio (MAE) obtuvo un valor muy próximo al valor nulo, de 0,044. Tampoco existe una indicación de posible correlación significativa entre los residuos según el orden en que se han presentado los datos puesto que el estadístico de Durbin-Watson (DW) obtuvo un  $p$ -valor menor a 0,05 (Tabla 22).

**Tabla 21.** Análisis de varianza para el ajuste regresión múltiple con los datos de elaboración del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y los valores observados en este estudio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	8,2382	3	2,7461	843,71	0,000
Residuo	0,1823	56	0,0033		
Total (Corr.)	8,4205	59			

**Tabla 22.** Estadísticos del modelo ajustado con los valores que se utilizaron en la elaboración del modelo de Pérez *et* Kanninen, 2003 y los valores observados en este estudio.

Estadístico	Valor
R-Cuadrada	97,8354 %
R-Cuadrada (ajustada por g.l.)	97,7195 %
Error estándar del est.	0,0571
Error medio absoluto	0,0441
Estadístico Durbin-Watson	2,1698 (P=0,6524)
Autocorrelación residual de retardo 1	-0,1025
AIC	-170,7489

**Tabla 23.** Intervalos de confianza del 95.0% y predicción al 95% para los coeficientes del modelo descompuesto (con variables indicadoras).

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Constante	-0,6207	0,2251	-1,0716	-0,1699
Log10 (dbh)	2,2443	0,1623	1,9191	2,5695
Modelo=Pérez	-0,1940	0,2349	-0,6646	0,2766
Log10 (dbh)*Modelo=Pérez	0,1374	0,1698	-0,2027	0,4775

Alumno: Antonio Leceguí Perepérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes



Anejo II. Muestreo de biomasa y validación de ecuación alométrica

**Tabla 24.** Intervalos de confianza y predicción al 95% de confianza para el modelo en su forma completa (sin variables indicadoras).

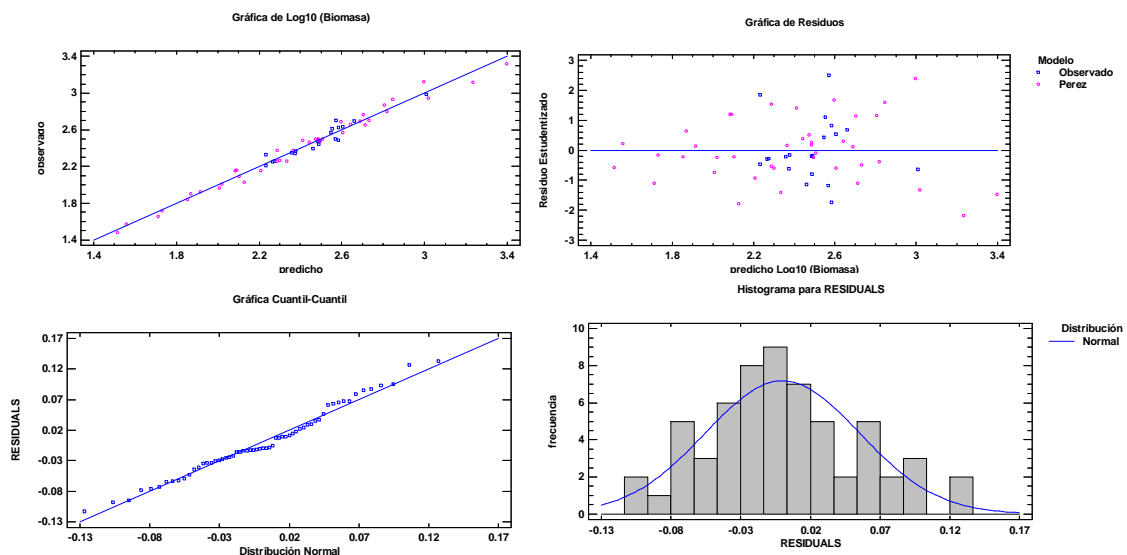
Predicciones		Límite Predicción (95%)		Límite Confianza (95%)	
X	Y	Inferior	Superior	Inferior	Superior
0,9777	1,5190	1,3997	1,6383	1,4807	1,5573
1,7686	3,3946	3,2745	3,5148	3,3536	3,4357

No se encontraron diferencias significativas entre los parámetros (intercepto y pendiente) de ambos modelos al 95% de confianza ( $p$ -valor  $> 0,05$ ). Por lo que estadísticamente se puede afirmar que ambos modelos son iguales al 95% de confianza (Tabla 25).

**Tabla 25.** Tabla de análisis de varianza adicional para variables según modelo para comprobar la significación de la pendiente y el intercepto de los modelos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Log10 (dbh)	8,2358	1	8,2358	2530,39	0,0000
Interceptos	0,0002	1	0,0002	0,08	0,7850
Pendientes	0,0021	1	0,0021	0,65	0,4218
Modelo	8,2382	3			

Los residuos variaron en el rango  $-0,1131$  a  $0,1324$ , con un valor medio próximo al valor nulo, de  $-6 \cdot 10^{-9}$ . El gráfico de distribución de los residuos y el de los residuos, no muestran un patrón especial ni tendencia, siendo los residuos independientes y la varianza constante (Figura 13). Por tanto, las hipótesis de homocedasticidad y la linealidad parecen razonables. La normalidad de los residuos se comprobó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con estadístico de  $0,971$  y un  $p$ -valor de  $0,348$  ( $>0,05$ ) y la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con  $p$ -valor  $0,442$  ( $>0,05$ ). En la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) de los residuos de la Figura 13, los puntos están bastante alineados, por lo que la normalidad de los mismos también parece aceptable.



**Figura 13.** Gráficos de observados contra predichos (Arriba izquierda), distribución de los residuos (Arriba derecha), cuantil-cuantil de ajuste a la distribución normal (Abajo izquierda) y distribución de los residuos según curva de Gauss (Abajo derecha) para el ajuste de comparación de líneas de regresión logarítmica del modelo de Pérez *et* Kanninen (2003) y el ajuste realizado con los datos observados en este estudio.

# ANEJOS

## **Anejo III: Inventario continuo en las Parcelas Permanentes de Muestreo de la finca “Coyolito”**

## ÍNDICE ANEJO III

<b>1. RESUMEN .....</b>	<b>135</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>136</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>137</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>138</b>
3.1. Área de estudio .....	138
3.2. Diseño y ejecución del inventario.....	138
3.2.1. Tamaño de la muestra e intensidad de muestreo.....	138
3.2.2. Parcelas de muestreo: tamaño, forma y distribución .....	138
3.2.3. Medición de variables independientes .....	139
3.2.4. Materiales .....	140
3.2.5. Equipo de trabajo .....	142
3.2.6. Metodología de trabajo en campo .....	142
3.2.7. Diseño de estadillos de campo y laboratorio.....	143
3.3. Procesado de datos y obtención de resultados .....	143
4.4.1. Variables de la muestra y rendimiento del muestreo .....	143
3.3.1. Análisis previo de los datos.....	143
3.3.3. Cálculo y estimación de variables dependientes .....	145
3.3.4. Frecuencias.....	146
3.3.5. Epidometría .....	147
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>148</b>
4.1. Análisis previo de los datos.....	148
4.1.1. Análisis descriptivo .....	148
4.1.2. Análisis de varianza para factor finca .....	149
4.1.3. Frecuencias.....	153
4.1.2. Resultados dasométricos .....	155
4.1.4. Epidometria .....	158

## ÍNDICE DE FIGURAS ANEJO III

Figura 1. Medición de distancias horizontales por el “método del banqueo”.....	139
Figura 2. Medición del dap en distintos casos y para árboles con distintas formas de fuste. ....	140
Figura 3. Esquema para la utilización del hipsómetro en la medición del alturas en terreno plano (Izda.), con arbol en pendiente hacia arriba (centro) y con árbol en pendiente hacia abajo (Dcha.). ....	141
Figura 4. Escalas para la utilización del Suunto, izquierda en pulgadas y derecha en cm y factor para obtener la altura.....	142
Figura 5. Estadillo de campo utilizado en el inventario de las PPM.....	143
Figura 6. Gráfico de dispersión de la variable diámetro (cm) por lote en la finca Coyolito.....	149
Figura 7. Gráfica de medias e intervalos LSD de Fisher para diámetro (cm) por finca.....	150
Figura 8. Gráfico de residuos para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor finca en Coyolito. ....	150
Figura 9. Histograma de residuos (Izda.) y gráfica cuantil-cuantil de residuos (Dcha.) ajustados a una distribución normal para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor finca en Coyolito. ....	151
Figura 10. Gráfica de medias e intervalos LSD de Fisher para diámetro (cm) por lote en “Coyolito“. ....	152
Figura 11. Gráfico de residuos para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor lote en Coyolito. ....	153
Figura 12. Histograma de residuos (Izda.) y gráfica cuantil-cuantil de residuos (Dcha.) ajustados a una distribución normal para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor finca en Coyolito. ....	153
Figura 14. Distribución diamétrica por hectárea en “Coyolito I”. ....	154
Figura 15. Distribución diamétrica por hectárea en “Coyolito II”. ....	155
Figura 16. Distribución diamétrica por hectárea en la finca Coyolito. ....	155

## ÍNDICE DE TABLAS ANEJO III

Tabla 1. Ubicación y distribución de las parcelas permanentes de muestreo instaladas en 2008 en la fincas Coyolito I y “Coyolito II”, en Cañas, Guanacaste.....	139
Tabla 2. Estadísticos del análisis descriptivo (frecuencia, media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y error estándar) para la variable diámetro (cm) para “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.....	148
Tabla 3. Tabla Anova al 95% de confianza para la variable diámetro y el factor finca en Coyolito. ....	150
Tabla 4. Prueba de rango múltiple según intervalos LSD de Fisher para el Anova al 95% de confianza del diámetro y la finca. ....	150
Tabla 5. Tabla Anova para diámetro (cm) por lote en “Coyolito I”. ....	151
Tabla 6. Pruebas de Rango múltiple para diámetro (cm) por lote según el método de LSD de Fisher al 95% de confianza.....	151
Tabla 7. Diferencias entre los distintos lotes, significación y límites encontradas en el test de múltiples rangos de diámetro entre lotes. ....	152
Tabla 8. Tabla de frecuencias (absolutas, relativas y acumuladas) por clase diamétrica en “Coyolito I”. ....	154
Tabla 9. Tabla de frecuencias (absolutas, relativas y acumuladas) por clase diamétrica en “Coyolito II”. ....	154
Tabla 10. Tabla de frecuencias (absolutas, relativas y acumuladas) por clase diamétrica en toda la finca. ....	155
Tabla 11. Distribución diamétrica para las variables frecuencia, altura media, diámetro medio, área basal, volumen total, volumen comercial y biomasa aérea por lote, y valores medios por hectárea en “Coyolito I”. ....	156
Tabla 12. Distribución diamétrica de las variables de interés por lotes y valor medio, referido a la hectárea, de éstas variables en la finca “Coyolito II”. ....	157
Tabla 13. Resultados por hectárea de las variables estudiadas (densidad, diámetro medio, altura media, área basal, diámetro medio cuadrático, volumen total, volumen comercial y biomasa aérea total) para “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca. ....	158
Tabla 14. Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables diámetro, altura y área basimétrica, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.....	159
Tabla 15. Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables estimadas: volumen total y volumen comercial, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca. ....	159
Tabla 16 (Cont.). Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables estimadas: volumen total y volumen comercial, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca. ....	160

## 1. RESUMEN

Se presentan los resultados del inventario que se realizó los primeros días de febrero de 2015 y la comparación con los inventarios anteriores en las Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) instaladas en la finca Coyolito, compuesta por: “Coyolito I” y “Coyolito II”.

Se evaluaron un total de 12 PPM, 4 en Coyolito I” y “8 en “Coyolito II”. En cada individuo de cada parcela se midió el rumbo y la distancia respecto al centro de la parcela, el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total. A partir de estas variables independientes, y con ayuda de análisis estadísticos en los programas R y Statgrhapics, y relaciones alométricas de la literatura, se obtuvieron, para cada uno de los lotes de las fincas y para cada finca, la densidad, altura media, área basimétrica, volumen total, volumen comercial sin corteza a 8 cm en punta delgada y biomasa o peso seco. Además, con los datos obtenidos en mediciones anteriores de estas parcelas, se obtuvieron los datos de crecimiento de cada una de estas variables.

Para la finca “Coyolito I”, se ha obtuvo una densidad media de 469,73 pies/ha, la altura media de los pies fue de 16,90 m y el diámetro medio de 20,98 cm. El área basimétrica media alcanzó un valor de 18,97 m<sup>2</sup>/ha, el volumen medio estimado fue de 110,53 m<sup>3</sup>/ha, el volumen comercial de 78,51 m<sup>3</sup>/ha y la biomasa media de 96838.13 Kg/ha. De la comparación del inventario con los realizados en periodos anteriores, se obtuvo un Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro de 1,15 cm, un ICA en altura de 1,07 m y un ICA en volumen comercial de 6,95 m<sup>3</sup>/ha. Además el Incremento Medio Anual (IMA) en volumen comercial fue de 9,90 m<sup>3</sup>/ha.

En la finca “Coyolito II”, la densidad media fue de 489,07 pies/ha, la altura media de 16,33 m y el diámetro medio de 19,25 cm. El área basimétrica media fue de 13,77 m<sup>2</sup>/ha. Además, el volumen medio estimado fue de 96,76 m<sup>3</sup>/ha, el volumen comercial de 66,78 m<sup>3</sup>/ha y la biomasa media de 83.291,54 Kg/ha. El ICA en diámetro fue de 1,21 cm, el de la altura de 1,71 cm y el del volumen comercial de 8,20 m<sup>3</sup>/ha, siendo el IMA en volumen comercial de 8,53 m<sup>3</sup>/ha.

## 2. INTRODUCCIÓN

La teca ha sido, en el último siglo, una de las especies forestales más plantada fuera de su área natural, y, a la vez, una de las más estudiadas: se encuentran más de 4000 títulos que documentan su uso y manejo por más de 200 años (Tewari 1992, Weaver 1993, Nair y Souvannavong 2000, Pandey y Brown 2000, citado por De Camino *et* Morales, 2013).

Esta dispersión geográfica y en el tiempo implica que las referencias sobre crecimiento y producción representen una gran variedad de condiciones ambientales, calidades genéticas, técnicas de manejo e intensidad y, por lo tanto, es de esperar que los datos de crecimiento y producción reportados tengan una gran amplitud y sean de utilidad moderada en circunstancias específicas (De Camino *et* Morales, 2013).

Con objeto de obtener datos y proyecciones más sólidas y confiables para desarrollar modelos que expliquen las condiciones locales y específicas de manejo de la teca en el cantón de Abangares (Guanacaste), el promotor, instaló en la finca en el año 2007 unas Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM) en las que se realiza el inventario continuo.

El inventario forestal es el procedimiento que permite recopilar eficientemente información de área, localización, cantidad, calidad y crecimiento de los recursos maderables de una superficie arbolada (Orozco *et* Brumer, 2002). Además, la repetición de las parcelas levantadas en anteriores ciclos de la plantación implica poder comparar y deducir la evolución de las masas. (IFN de España, 2015). En este caso, las mediciones se repiten cada 3-4 años.

Una de los parámetros que permitió obtener el Inventario forestal continuo de las PPM es el Incremento Medio Anual (IMA) en volumen comercial medio de la finca, el cual se utilizó para realizar un modelo de crecimiento de la plantación que, combinado con el régimen de raleos y corta final y el precio de la madera de teca, permitió estimar los ingresos por venta de madera de la finca para, finalmente, elaborar el análisis financiero (Anejo V).

### 3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este anejo es suministrar información que ayude a conocer y comprender la situación y evolución de la plantación de teca en Coyolito para realizar la gestión forestal más adecuada y poder estimar los beneficios económicos por venta de madera de una forma más precisa y ajustada. Otros objetivos específicos son:

- Diseñar un inventario que permita obtener las variables independientes (dap y altura) de la plantación.
- Ejecutar el inventario para recolectar los valores de las variables independientes en campo y reinstalar las parcelas deterioradas.
- Procesar y analizar los datos recolectados y cuantificar estadísticamente la cantidad de árboles, el área basimétrica el diámetro medio cuadrático y la altura dominante, así como estimar el volumen total, volumen comercial y biomasa de la plantación.
- Estudiar la evolución de la masa mediante la comparación de las variables en las parcelas remedidas y posibilitar el estudio de dicha evolución con las que se remedirán en el próximo ciclo.



### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en las fincas “Coyolito I” y “Coyolito II” ubicadas en el cantón de Abangares, provincia de Guanacaste, de la República Democrática de Costa Rica. La caracterización del entorno y de las características edafoclimáticas de la finca se desarrolla en la Memoria del presente estudio.

#### 3.2. Diseño y ejecución del inventario

Las parcelas permanentes de muestreo (PPM) son dispositivos de investigación a largo plazo, permanentemente demarcados y periódicamente medidos. El monitoreo de las PPM tiene como objetivo obtener información de los cambios en la plantación a través del tiempo, mediante la medición repetitiva de los árboles (Orozco *et* Brumer, 2002).

La población que se consideró en este inventario fueron todos los individuos de los lotes plantados con teca en cada una de las parcelas. La unidad de inventario que se utilizó fue la parcela circular de 12 m de radio. En los siguientes epígrafes se definen los aspectos que se tuvieron en cuenta en la elaboración del inventario.

##### 3.2.1. Tamaño de la muestra e intensidad de muestreo

El tamaño de la muestra ( $n$ ) es el área total a inventariar, expresado por un número de parcelas de un tamaño definido. Éste se puede calcular en función del máximo error de muestreo requerido o en relación con una intensidad de muestreo establecida (Orozco y Brumer 2002).

La intensidad de muestreo ( $i$ ) es la relación el tamaño de la muestra ( $n$ ) y el tamaño total de la población ( $N$ ); conociendo la intensidad de muestreo de las PPM, definida por el administrador en 0,48% para “Coyolito I” y en 0,21% en “Coyolito II”; el tamaño de la muestra para cada una de las fincas, se calculó como sigue:

$$n = N * i$$

$n = 37,85 * 0,0048 = 0,1817$  ha para “Coyolito I” y,

$n = 172,16 * 0,0021 = 0,3615$  ha para “Coyolito II”.

##### 3.2.2. Parcelas de muestreo: tamaño, forma y distribución

En función de la superficie del tamaño de la muestra requerido para la intensidad de muestreo definida y el tamaño de las parcelas de muestreo, se calculó el número de parcelas del inventario.

Las parcelas de muestreo o unidades de muestreo permanentes en ambas fincas son circulares, de 12 m de radio; por tanto, su superficie es:

$$S = \pi * r^2 = \pi * 12^2 = 452,39m^2 = 0,0452ha$$

El número de PPM se obtuvo según el cociente del tamaño de la muestra necesario para la intensidad de muestreo fijada y el tamaño de las parcelas; esto es, para cada finca:

$$n = \frac{0,1817 \text{ ha}}{0,0452 \text{ ha}} = 4,019 \approx 4 \text{ parcelas de muestreo en "Coyolito I" y,}$$

$$n = \frac{0,3615 \text{ ha}}{0,0452 \text{ ha}} = 7,998 \approx 8 \text{ parcelas de muestreo en "Coyolito II".}$$

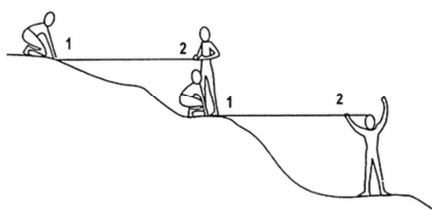
Las 12 PPM se distribuyen de forma homogénea por la superficie de la plantación de teca (Ver Plano III y Plano IV). La ubicación de cada una de ellas se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Ubicación y distribución de las parcelas permanentes de muestreo instaladas en 2008 en la fincas Coyolito I y "Coyolito II", en Cañas, Guanacaste.

**Fuente.** Información proporcionada por el propietario de la finca.

PPM	Finca	Ubicación por lote	Coordenadas Proyectadas CRTM05	
			Norte	Este
1	Coyolito I	Coyolito 1-A	393757	1122036
2	Coyolito I	Coyolito 1-B	393570	1121815
3	Coyolito I	Coyolito 1-C	394153	1121887
4	Coyolito I	Coyolito 1-D	393907	1122264
5	Coyolito II	Andropogón	396456	1122530
6	Coyolito II	Milpas	396490	1122431
7	Coyolito II	Catarata	397489	1122449
8	Coyolito II	Mango	397337	1122670
9	Coyolito II	Portón Colorado	396208	1123255
10	Coyolito II	Brizantha	396236	1123074
11	Coyolito II	Uno	398194	1122001
12	Coyolito II	Nimia	397851	1121636

Los tamaños y la forma de las unidades de muestreo siempre se refieren al plano horizontal. Durante el de replanteo, en el caso de terrenos inclinados, se realizó la correspondiente corrección para que la proyección de la parcela en el terreno coincida con la originalmente definida mediante el "método del banqueo" (Figura 1).



**Figura 1.** Medición de distancias horizontales por el "método del banqueo".

**Fuente.** Camacho, 2000; extraído de Orozco et Brumer, 2002.

### 3.2.3. Medición de variables independientes

Las variables independientes que se midieron en campo son las siguientes:

- **Rumbo:** Con ayuda de una brújula desde el centro de la parcela, se anotaron los grados de desviación desde el norte en dirección horaria hasta la posición del árbol a medir.
- **Distancia:** Con una cinta métrica se midió la distancia de cada árbol de la muestra al centro de la parcela. Esta medida junto con el rumbo permitieron geolocalizar todos los árboles medidos.

Anejo III. Inventario continuo en PPM

**Diámetro a la altura del pecho, dap (cm):** Se deduce de la medición del perímetro del árbol a 1,30 m sobre la base del fuste, con ayuda de una cinta diamétrica. En las PPM con pendiente, se midió por la parte superior. En los casos en que a la altura de la medición existía una irregularidad en el tronco, se tomó la medición sobre la irregularidad y se indicó dicha variación el estadillo de campo (Figura 2).

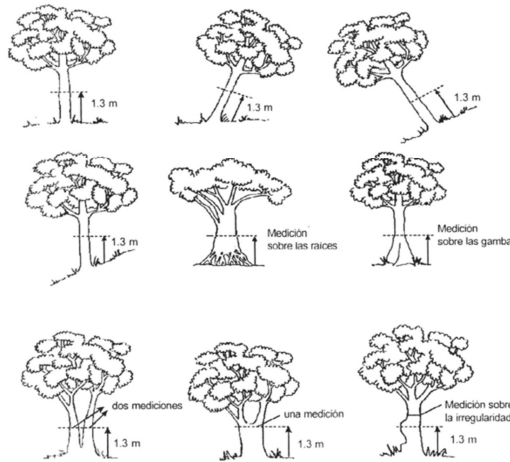
Una vez medido el perímetro del tronco del árbol, su diámetro se obtiene asemejando se sección del tronco a 1,30 m del suelo a una circunferencia, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$d = \frac{C}{\pi}$$

Donde:

$d$  (cm) = Diámetro del árbol

$C$  (cm) = Perímetro de la circunferencia del tronco a 1,30m



**Figura 2.** Medición del dap en distintos casos y para árboles con distintas formas de fuste.

**Fuente.** López, 2014.

- **Altura total del árbol.** Se define como la distancia desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol. En los casos que la altura del árbol fue inferior a los 15 m se midió con pértiga telescópica, y cuando el árbol era superior a 15 m, esta variable se midió con hipsómetro o Suunto.
- **Observaciones:** En este apartado se indicó cualquier incidencia relativa al árbol, como ataque de plagas, mortalidad o medición del dap a una altura diferente a 1,30 metros.

### 3.2.4. Materiales

A continuación se detalla el equipo de medición que se utilizó en el inventario:

- **Cinta métrica:** Cinta graduada, de 30 m y precisión 0,1 cm, para medir distancias. Se utilizó tanto durante el replanteo de la parcela como para la distancia al centro de ésta de cada pie. Para evitar la sobrestimación del diámetro por presencia de musgos o líquenes, se limpió bien la zona del tronco a medir.
- **Cinta diamétrica:** Cinta graduada, de 5 m y precisión de 0,1 cm, para la medición del perímetro de la circunferencia del tronco, con la que posteriormente se dedujo el diámetro del árbol.

Anejo III. Inventario continuo en PPM

- **Brújula:** Se utilizó para la medición de los rumbos, desde el norte de referencia y en dirección horaria se midió la desviación en grados de cada uno de los árboles.
- **Pértiga telescópica:** Formada por varias piezas con secciones circulares decrecientes encajadas y una escala de medida invertida, es decir, el origen se encuentra en la parte superior, llevando un lector de altura en la parte inferior. La altura de la pértiga era de 15 m, y la precisión de 0,05 m.

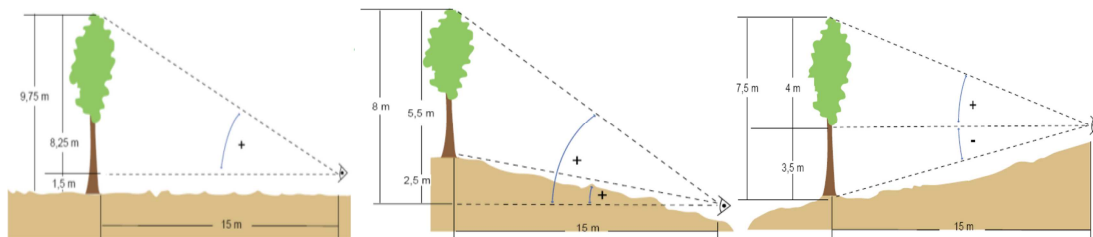
Para la medición de la altura empleando pértiga telescópica se procede colocándose junto al árbol, y se despliegan los tramos de pértiga hasta que el extremo superior de la pértiga coincide con la altura que se quiere medir, y se lee en la parte inferior el valor de la altura.

- **Hipsómetro Suunto:** Consiste en una caja metálica que tiene en su interior un disco móvil graduado suspendido por un eje central. La caja tiene un orificio por el que se puede observar la periferia del disco. Al utilizar el Suunto, se aseguró de que el péndulo estuviese libre. El procedimiento que se siguió para medir con el hipsómetro o Suunto consistió en:

1. - Tomar la distancia horizontal del observador al árbol.

2.- Realizar una medición a la altura deseada y otra a la base del árbol. En función de la diferencia de cota entre el observador y el árbol a medir, se estimó la altura del árbol según 3 casos posibles (Figura 3):

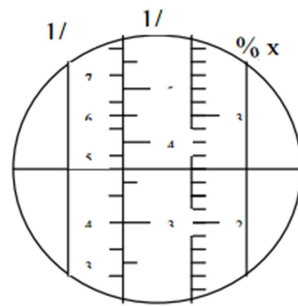
- **Árbol en terreno plano:** se tomó únicamente una lectura por encima de la línea horizontal (signo +). La altura total o comercial se obtuvo de la suma de ese valor al de la altura al nivel del ojo (aprox. 1,5 m).
- **Árbol en pendiente hacia arriba:** se hizo una lectura hacia la base del árbol y luego otra hacia arriba, hasta el punto deseada (comercial o total). La altura deseada se obtuvo de la diferencia entre las dos lecturas a partir de la medición horizontal, puesto que, en este caso, se obtienen dos números de signo positivo.
- **Árbol en pendiente hacia abajo:** a partir de la medición horizontal, se hace una lectura hacia la base del árbol, y luego hacia arriba hasta la altura deseada. Las lecturas se suman ya que se obtienen signos opuestos.



**Figura 3.** Esquema para la utilización del hipsómetro en la medición de alturas en terreno plano (Izda.), con árbol en pendiente hacia arriba (centro) y con árbol en pendiente hacia abajo (Dcha.).

**Fuente:** López, 2014

En caso de que la distancia horizontal al árbol fuese de 20 m exactos, la escala derecha del Suunto corresponderá a la altura directamente. En los casos que se utilizó otra distancia se multiplicó el resultado de la adición o substracción con un factor para obtener la altura deseada del árbol (Figura 4).



$$F = \frac{\text{Distancia actual (m)}}{20 \text{ m}}$$

**Figura 4.** Escalas para la utilización del Suunto, izquierda en pulgadas y derecha en cm y factor para obtener la altura.

**Fuente.** Ramírez *et* Kleinn, 2001.

- Estaca de 1,30 m: Se utilizó para tomar la referencia del dap.
- Mapa de la finca y GPS: Se utilizó para ayudar a la orientación del equipo de muestreo y localizar cada una de las parcelas.
- Pintura Spray: Se utilizó para la señalización de los pies de la parcela que se habían degradado, así como para señalar la altura de medición del dap, en caso de que dichas marcas estuviesen deteriorandas.
- Machete: Se utilizó para eliminar la vegetación que dificultaba la medición de las parcelas
- Otros: Formularios de toma de datos, rotulador permanente y lápices, protección solar, repelente de insectos, guantes y agua.

### 3.2.5. Equipo de trabajo

El equipo de trabajo en campo estaba formado por dos personas. En laboratorio se trabajó en solitario.

### 3.2.6. Metodología de trabajo en campo

Los trabajos de campo consistieron en tres operaciones básicas: localización de las parcelas, replanteo de las parcelas y medición.

La localización de las parcelas se realizó con ayuda del GPS, en el que se habían introducido los centros de las mismas, y el mapa de la finca. El centro de las parcelas se encontraba señalado en el fuste de un árbol, en el que estaba indicado el número de parcela correspondiente en su fuste. En caso de que esta marca del centro estuviese deteriorada o no fuese muy visible, se repasó con pintura spray.

El replanteo consistió en la comprobación visual de los individuos que formaban parte de la parcela, los cuales estaban señalados con un punto rojo en la cara visible desde el centro de la misma. En caso en el que no se distinguían claramente los individuos que formaban parte de la parcela, uno de los componentes del equipo de medición se situó en el centro de la parcela, sujetando la cinta métrica, y el otro estiraba la cinta métrica hasta los 12 m de radio y señalaba con la pintura spray, por la cara del árbol visible desde el centro de la parcela, los individuos que se incluían en ese área. Además, la persona del centro, con el

Anejo III. Inventario continuo en PPM

estadillo de campo en mano, media el rumbo y la distancia al centro de la parcela de cada individuo.

Para la medición de las parcelas, uno de los 2 componentes del equipo de medición con la barra telesférica o el suunto y la cinta diamétrica, fue midiendo la altura y diámetro de cada uno de los pies, mientras que el otro supervisaba la coincidencia de la barra con la altura del árbol y anotaba los valores cantados en el estadillo.

### 3.2.7. Diseño de estadillos de campo y laboratorio

El estadillo utilizado para facilitar la toma de variables durante el inventario se presenta en la Figura 5.

**1. ASPECTOS GENERALES**

Nombre de la Finca:		N° de parcela	
Sector		Coordenadas proyectadas	
Lote		Sistema de referencia	
Edad		CRTM05	
Altura en s.n.m.		x	
Pendiente (%)		y	

**2. TIEMPOS DE TRABAJO**

Fecha	Hora de inicio	Hora final	T. número aprox. (minutos)	Tiempo total (minutos)

**3. MEDICIONES**

Árbol	Rumbo (°)	Distancia (m)	Dap (cm)	Altura (m)	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

**4. Observaciones:**

**Figura 5.** Estadillo de campo utilizado en el inventario de las PPM.

### 3.3. Procesado de datos y obtención de resultados

#### 4.4.1. Variables de la muestra y rendimiento del muestreo

Se cambiaron las coordenadas de cada uno los centros de las parcelas del inventario, pues éstos se encontraban en el sistema de referencia de Lambert Norte y el sistema de proyección actual en Costa Rica es el CRTM05. Además, se anotaron los tiempos dedicados a la toma en campo de parcela.

#### 3.3.1. Análisis previo de los datos

En primer lugar, se introdujeron los datos tomados en cada una de las parcelas de muestreo, anotados en su correspondiente estadillo de campo, de forma lógica en un soporte informático, tipo hoja de cálculo EXCEL®. Este proceso sirvió también para detectar los posibles errores en la medición, registro y grabación de los datos.

Anejo III. Inventario continuo en PPM

Con los datos de la variable diámetro se realizó un análisis descriptivo mediante un software informático (R<sup>®</sup>, InfoSTAT<sup>®</sup>, STATGRAPHICS<sup>®</sup>). El análisis descriptivo se realizó a nivel parcela y a nivel plantación: Este análisis descriptivo sirvió también para la depuración de los datos, es decir, se habrían detectado los outliers si los hubiese habido, se comprobó que el conjunto de datos tuviese una distribución normal según la curva de Gauss y se conformó una Tabla en la que se incluían los siguientes parámetros del análisis descriptivo.

- Medidas de tendencia central: Media aritmética, mediana
- Medidas de variación: Varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, rango o recorrido, error estándar, límites de confianza, error de muestreo absoluto, error de muestreo relativo, estimación mínima confiable.
- Medidas de forma: Asimetría y curtosis.

Además, se realizaron dos Análisis de varianza (Anova) con objeto de comparar la variable numérica diámetro (cm) respecto de los factores categóricos, finca y lote. El modelo de los Anova que se realizaron es el siguiente:

$$y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

$y$  = Variable dependiente, diámetro (cm).

$\mu$  = Media

$\alpha_i$  = Efecto del factor, (finca y lote)

$\varepsilon_i$  = Error aleatorio del modelo

En la tabla Anova, se comprobó si las variables eran significativamente diferentes al 95% de confianza para los factores finca y lote. Para ello se comprobó que el p-valor fuese mayor a 0,05. En caso de que se encontrasen diferencias significativas entre las variables de los factores, se realizó la prueba de múltiples rangos (LSD de Fisher). En este test, se señaló mediante letras latinas correlativas los distintos grupos, siendo “a” el grupo homogéneo que mayor diámetro obtuvo.

A continuación se comprobaron las hipótesis de homocedasticidad, linealidad y normalidad de los residuos. La normalidad de los residuos se comprobó mediante el p-valor de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, según la cual valores superiores a 0,05 de este parámetro provienen de una distribución normal al 95% de confianza. Con el mismo criterio de selección de p-valor se realizó la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Además se comprobó de forma gráfica la distribución normal de los residuos según la gráfica de histograma de los residuos y la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) de los residuos, comprobando, en esta última, la alineación de los puntos según la línea diagonal. La homocedasticidad y linealidad de los residuos se verificó con el coeficiente de correlación de Pearson y comprobando, en el gráfico de distribución de los residuos que su valor promedio fuese próximo al valor nulo, que no siguiesen un patrón especial ni tendencia y que su varianza fuese constante y estuviese en el rango (-2, 2).

### 3.3.3. Cálculo y estimación de variables dependientes

A partir de los datos depurados de las variables independientes se calcularon o estimaron las siguientes variables dependientes a nivel parcela, a nivel plantación y por hectárea:

- Área basal o área basimétrica, G (m<sup>2</sup>/ha): Es la suma de la sección transversal del fuste a la altura del dap de todos los árboles por unidad de superficie. Se calculó con las siguientes fórmulas:

$$g_i = \frac{\pi * d_i^2}{40000}$$
$$G = \frac{\sum_{n=1}^i g_i * 10000}{S}$$

Dónde:

G ( $\frac{m^2}{ha}$ ) = Área basimétrica de la parcela o la plantación

$g_i$  (m<sup>2</sup>) = Superficie de sección transversal del fuste a la altura del dap para el árbol i.

$d_i$  (cm) = Diámetro a la altura del pecho del individuo i

S (ha) = Superficie de la parcela o la plantación

- Volumen total: Para la estimación del volumen se utilizó la ecuación alométrica para árboles individuales de teca en Costa Rica propuesta por Camacho *et* Madrigal (1997) cuya forma es:

$$Vtcc_i = 0,00877993 + 0,00003251 * dap_i^2 * h_i$$

Dónde:

Vtcc<sub>i</sub> (m<sup>3</sup>) = Volumen total con corteza del árbol i

dap<sub>i</sub> (cm) = Diámetro a la altura del pecho para el árbol i.

$h_i$  (m) = Altura del árbol i

Con el sumatorio del volumen del volumen de los árboles de la parcela, se extrapolaron estos resultados a la hectárea de la siguiente forma:

$$Vtcc = \frac{\sum_{n=1}^i Vtcc_i * 10000}{S}$$

Dónde:

S (ha) = Superficie de la parcela o la plantación

- Volumen comercial a 8 cm en punta delgada sin corteza: El volumen comercial sin corteza a 8 cm en punta delgada se estimó mediante la siguiente ecuación alométrica propuesta por Camacho *et* Madrigal (1997):

$$Vc8sc_i = -0,0083878 + 0,00002457 * dap_i^2 * h_i$$

Dónde:

Vc8sc<sub>i</sub> (m<sup>3</sup>) = Volumen comercial sin corteza a 8 cm en punta delgada del árbol i

dap<sub>i</sub> (cm) = Diámetro a la altura del pecho para el árbol i.

$h_i$  (m) = Altura del árbol i

Los datos por hectárea se obtuvieron de la misma forma que para el volumen total.



- **Biomasa aérea total:** La biomasa aérea por individuo se ha obtenido utilizando el modelo propuesto por Pérez *et* Kanninen (2003):

$$\log_{10}(Ba_i) = -0,815 + 2,382 * \log_{10}(dap_i)$$

Dónde:

$Ba_i$  (kg) = Biomasa aérea del árbol i

$dap_i$  (cm) = Diámetro a la altura del pecho para el árbol i.

Los datos por hectárea se obtuvieron de la misma forma que para los volúmenes.

- **Altura dominante:** Se calculó según el criterio del promedio de las alturas de los 100 árboles más altos por ha.
- **Diámetro medio cuadrático, dg:** Diámetro equivalente al árbol de área basal media. Su cálculo se realizó con la fórmula:

$$dg = \sqrt{\frac{4 * G}{\pi * N}}$$

Donde:

$dg$  (cm) = Diámetro medio cuadrático de la parcela

$G \left(\frac{m^2}{ha}\right)$  = Área basimétrica de la parcela o la plantación

N = Número total de individuos de la población

- **Índice de Densidad del Rodal (IDR), Stand density index o Índice de Reineke (1933):** Es “número de árboles por hectárea correspondiente a la máxima densidad biológica que hay en una masa para un diámetro medio de 25 cm”. Este índice expresa en forma matemática la relación existente entre el tamaño de los árboles y la densidad del rodal para evaluar el estado de competencia de los árboles y como criterio para la toma de decisiones sobre las necesidades de raleos en plantaciones forestales (Arias, 2004). La expresión de este índice es la siguiente:

$$\log N = K - a \log D$$

Dónde:

N (p/ha) = Densidad

D (cm) = Diámetro medio

K y a = constantes

### 3.3.4. Frecuencias

Se elaboraron las tablas de frecuencias por parcela y para toda la plantación. Estas tablas ofrecen información de la distribución de los individuos por clases diamétricas. Para ello, en primer lugar, se definieron los límites de clase cada 0,5 cm, y a continuación se calcularon las siguientes parámetros:

- **Frecuencia absoluta (pies):** Es la suma de pies inventariados en cada parcela para cada clase de edad.
- **Frecuencia absoluta (pies/ha):** Representa el número de pies totales de una clase diamétrica que habría en una hectárea. Para su cálculo se extrapoló el número de

individuos de una parcela a la hectárea. Es decir, se multiplicó la frecuencia en una hectárea por 10.000 m<sup>2</sup> y se dividió entre la superficie de la parcela en m<sup>2</sup>.

- Frecuencia absoluta acumulada (pies/ha): Es la suma de las frecuencias absolutas de todos los valores inferiores o iguales al valor considerado por las marcas de clase.
- Frecuencia relativa (tanto por uno): Es la resultante de dividir el número de pies de cada marca de clase entre el número de pies totales. Este valor equivale a la probabilidad de encontrar pies pertenecientes a una determinada marca de clase en la parcela.
- Frecuencia relativa acumulada (tanto por uno): Es la suma de las frecuencias relativas de todos los valores inferiores o iguales al valor considerado. Representa la probabilidad de encontrar pies con una marca de clase menor o igual a la considerada.

Además se calcularon las distribuciones de área basal, volumen total, volumen comercial y biomasa aérea por clase diamétrica.

### 3.3.5. Epidometría

La epidometría es la ciencia que se ocupa de las leyes de medición, del crecimiento y la producción de los árboles y las masas forestales (Pita 1973). La remediación de parcelas permanentes de muestreo permite calcular las tasas de crecimiento e incremento de dimensión de las variables. A partir de este conocimiento es posible planificar en mejor forma cómo conducir el bosque o la plantación forestal, con vista al manejo de su producción (Imaña *et Encinas*, 2008).

El crecimiento de un árbol puede presentar variaciones en sus dimensiones de altura, diámetro, volumen, área basimétrica y peso (Imaña *et Encinas*, 2008). En este estudio se calcularon las variaciones de estas variables en base a la comparación de inventarios de los años 2008 y 2015. Sea  $Cv$ = Crecimiento de la variable  $v$  (Altura, diámetro, área basimétrica y volumen),  $Y$ = Dimensión de la variable considerada,  $t$ = Edad y  $n$ = período de tiempo entre mediciones, para cada una de esas variables se estimaron los siguientes crecimientos:

- Incremento corriente anual, ICA: También conocido como crecimiento acumulado o crecimiento anual. Expresión del crecimiento anual que resulta del cociente entre el crecimiento periódico y el número de años del periodo (López, 2008).

$$CCA = \frac{Y_{(t+n)} - Y_{(t)}}{n}$$

- Incremento medio anual, IMA: Expresión del crecimiento anual, que resulta del cociente entre el valor total acumulado de la variable considerada, en un determinado tiempo de su evolución desde su origen, y su edad en dicho momento (López, 2008).

$$CMA = \frac{Y_t}{t}$$

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis previo de los datos

#### 4.1.1. Análisis descriptivo

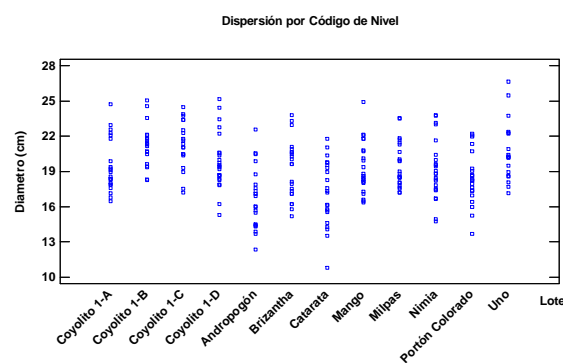
Se midieron un total de 262 individuos, 85 en la finca “Coyolito I” y 177 en la finca “Coyolito II”. Éstos se repartían en 12 lotes (4 en “Coyolito I” y 8 en “Coyolito II”). El diámetro medio de todos los lotes medidos en “Coyolito” fue de  $21,833 \pm 1,642$  cm (media  $\pm$  desviación estándar) con valores extremos de  $16,677 \pm 2,597$  cm en el lote Andropogón y  $21,300 \pm 1,748$  cm, en el lote “Coyolito 1-C”. Todos los lotes medidos presentaron distribuciones del diámetro normales, al estar los sesgos y curtosis estandarizadas dentro de los rangos esperados (-2, 2). En “Coyolito I”, el diámetro medio de los lotes fue de  $20,467 \pm 0,943$  cm, con mínimo de  $19,468 \pm 2,251$  cm en “Coyolito 1-A” y máximo de  $21,300 \pm 2,077$  cm en “Coyolito 1-C”. En “Coyolito II” el diámetro medio de los lotes fue de  $18,765 \pm 1,310$  cm, presentando valores mínimos de  $16,677 \pm 2,597$  cm y máximos de  $20,710 \pm 2,557$  cm en los lotes “Andropogón” y “Uno”. El lote “Andropogón” es el que mayor varianza (5,854 cm) y el mayor coeficiente de variación (12.18%) presentó (Tabla 2 y Figura 6).

**Tabla 2.** Estadísticos del análisis descriptivo (frecuencia, media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y error estándar) para la variable diámetro (cm) para “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca

“Coyolito I”						
Lote	Recuento	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Error Estándar
Coyolito 1-A	22	19,468	5,069	2,251	11,56%	0,480
Coyolito 1-B	21	21,242	3,054	1,748	8,23%	0,381
Coyolito 1-C	19	21,300	4,313	2,077	9,75%	0,476
Coyolito 1-D	23	19,857	5,854	2,420	12,18%	0,505
<b>Promedio</b>	21.250	20,467	4,572	2,124	10,432	0,461
<b>Desv. estándar</b>	1.708	0,943	1,192	0,287	1,797	0,054
“Coyolito II”						
Lote	Recuento	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Error Estándar
Andropogón	22	16,677	6,747	2,597	15,58%	0,554
Brizantha	22	19,174	6,204	2,491	12,99%	0,531
Catarata	22	17,151	7,688	2,773	16,17%	0,591
Mango	24	19,292	4,600	2,145	11,12%	0,438
Milpas	23	19,530	3,697	1,923	9,84%	0,401
Nimia	24	19,138	6,242	2,498	13,05%	0,510
Portón Colorado	21	18,450	5,167	2,273	12,32%	0,496
Uno	19	20,710	6,536	2,557	12,34%	0,587
<b>Promedio</b>	22,125	18,765	5,860	2,407	12,927	0,513
<b>Desv. estándar</b>	1,642	1,310	1,287	0,275	2,105	0,068
Total						
<b>Promedio</b>	21,833	19,332	5,431	2,313	12,095	0,496
<b>Desv. estándar</b>	1,642	1,427	1,358	0,300	2,282	0,066

**Tabla 2 (Cont.)** Estadísticos del análisis descriptivo (valores mínimo y máximo, rango, sesgo estandarizado, curtosis estandarizada y suma de cuadrados) para la variable diámetro (cm) para “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito I”						
LOTE	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada	Suma de Cuadrados
Coyolito 1-A	16,488	24,701	8,213	1,644	-0,213	8444,12
Coyolito 1-B	18,271	25,019	6,748	0,705	0,360	9536,670
Coyolito 1-C	17,189	24,51	7,321	-0,770	-0,325	8697,690
Coyolito 1-D	15,279	25,146	9,867	1,073	0,282	9197,660
<b>Promedio</b>	16,807	24,844	8,037	0,663	0,026	9144,007
<b>Desv. estándar</b>	1,255	0,291	1,361	1,030	0,345	422,056
“Coyolito II”						
LOTE	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada	Suma de Cuadrados
Andropogón	12,35	22,6	10,25	1,075	-0,135	6260,010
Brizantha	15,152	23,81	8,658	0,376	-0,825	8218,270
Catarata	10,823	21,772	10,949	-0,602	-0,311	6632,960
Mango	16,361	24,892	8,531	1,586	0,397	9038,300
Milpas	17,189	23,555	6,366	1,470	-0,405	8854,360
Nimia	14,77	23,81	9,04	0,818	-0,241	8934,230
Portón Colorado	13,687	22,218	8,531	0,090	-0,175	7251,680
Uno	17,125	26,611	9,486	1,554	0,335	8267,080
<b>Promedio</b>	14,682	23,659	8,976	0,796	-0,170	7932,111
<b>Desv. estándar</b>	2,287	1,561	1,367	0,789	0,394	1083,594
Total						
<b>Promedio</b>	15,390	24,054	8,663	0,752	-0,105	8262,628
<b>Desv. estándar</b>	2,203	1,383	1,382	0,831	0,375	1085,353



**Figura 6.** Gráfico de dispersión de la variable diámetro (cm) por lote en la finca Coyolito.

#### 4.1.2. Análisis de varianza para factor finca

Los resultados del Anova para comprobar las diferencias estadísticas de los diámetros entre “Coyolito I” y “Coyolito II” indicaron que el diámetro de ambas fincas era significativamente diferente al 95% de probabilidad, al presentar un valor-p < 0,05 (Tabla 3).

Estas diferencias se comprobaron mediante el test de rango múltiple o prueba de múltiples rangos (LSD de Fisher) según el cual la finca “Coyolito I” tiene un diámetro estadísticamente superior de 1,67 cm respecto a “Coyolito II” (Tabla 4). Estas diferencias

estadísticas entre los diámetros de ambas fincas se pueden comprobar de forma gráfica en la Figura 7.

**Tabla 3.** Tabla Anova al 95% de confianza para la variable diámetro y el factor finca en Coyolito.

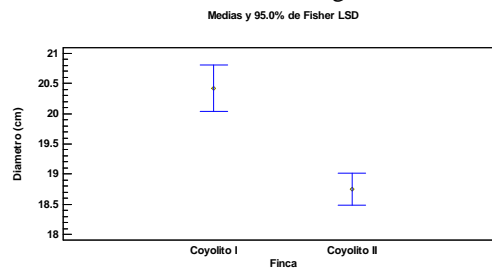
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	160,583	1	160,583	25,01	0,0
Intra grupos	1669,55	260	6,421		
Total (Corr.)	1830,13	261			

**Tabla 4.** Prueba de rango multiple según intervalos LSD de Fisher para el Anova al 95% de confianza del diámetro y la finca.

Finca	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Coyolito II	177	18,749	b
Coyolito I	85	20,421	a

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Coyolito I - Coyolito II	*	1,672	0,658

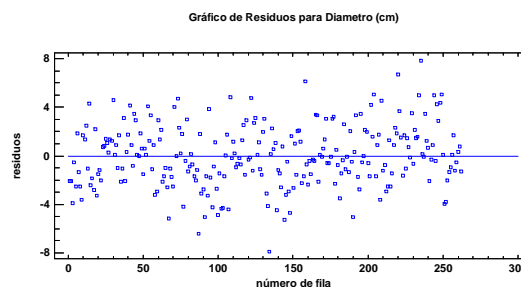
\* indica una diferencia significativa.



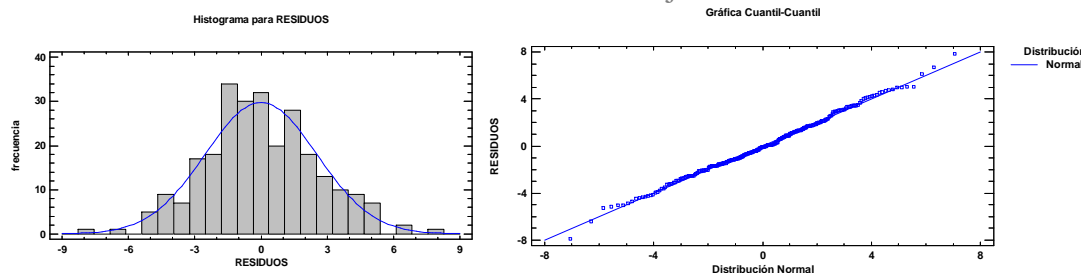
**Figura 7.** Gráfica de medias e intervalos LSD de Fisher para diámetro (cm) por finca.

Los residuos del anova para la variable diámetro por el factor finca variaron en el rango - 7,926 cm y 7,862 cm, con un valor medio de  $1,36 \cdot 10^{-7}$  cm y una desviación estándar de 2,529 cm. El grafico de distribución de los residuos aparece en la Figura 8; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Éste no muestran un patrón especial ni tendencia, siendo los residuos independientes y la varianza constante. De esta forma, se consideraron aprobadas las hipótesis de homocedasticidad y la linealidad.

La normalidad de los residuos se comprobó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con un p-valor de 0,946 ( $>0,05$ ) y la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con p-valor 0,802 ( $>0,05$ ). En la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) de los residuos, los puntos están bastante alineados, por lo que la normalidad de los mismos también se consideró comprobada (Figura 9).



**Figura 8.** Gráfico de residuos para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor finca en Coyolito.



**Figura 9.** Histograma de residuos (Izda.) y gráfica cuantil-cuantil de residuos (Dcha.) ajustados a una distribución normal para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor finca en Coyolito.

#### 4.1.3. Anova entre lotes

Los resultados del Anova entre lotes indicaron que existían diferencias significativas entre ellos al 95% de probabilidad, al presentar un valor- $p < 0,05$  (Tabla 5).

El test de rango múltiple (LSD de Fisher) para comprobar cuáles eran las diferencias entre los diámetros de los distintos lotes, mostraron que “Coyolito 1-C” (con dap medio de 21,230 cm) es estadísticamente superior al resto de los lotes de las fincas al 95% de confianza, formando un único grupo estadístico “a”. Le siguen el lote “Coyolito 1-B” (dap medio de 21,242 cm) y el lote “Uno” (dap medio de 20,710 cm), los cuales forman un grupos mixtos, “ab” y abc” respectivamente. A continuación, los lotes “Milpas” (dap medio de 19,530 cm) y “Coyolito 1-A” (dap medio 19,467 cm) forman un grupo homogéneo “cde”, sin diferencias estadísticas entre sus diámetros. El lote “Andropogón” (dap medio de 16,676 cm) es estadísticamente el que menos diámetro presentó formando el último grupo “f” (Tabla 6).

En Coyolito I, los lotes “Coyolito 1-A” y “Coyolito 1-B” son estadísticamente superiores e independientes de los lotes “Coyolito 1-C” y “Coyolito 1-D” para la variable diámetro (cm) al 95% de confianza. En “Coyolito II” el lote “Uno” tiene un dap superior e independiete al resto, mientras que el lote “Andropogón” tiene el dap inferior y también forma un único grupo homogéneo.

**Tabla 5.** Tabla Anova para diámetro (cm) por lote en “Coyolito I”.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	471,099	11	42,827	7,88	0,0
Intra grupos	1359,03	250	5,4361		
Total (Corr.)	1830,13	261			

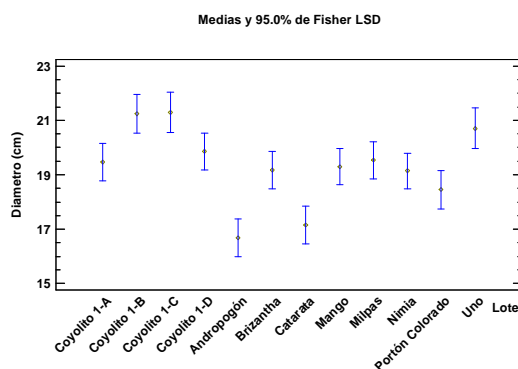
**Tabla 6.** Pruebas de Rango múltiple para diámetro (cm) por lote según el método de LSD de Fisher al 95% de confianza.

Lote	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Andropogón	22	16.6765	f
Catarata	22	17.1511	fg
Portón Colorado	21	18.4499	ef
Nimia	24	19.1384	de
Brizantha	22	19.1738	de
Mango	24	19.2922	de
Coyolito 1-A	22	19.4675	cde
Milpas	23	19.5304	cde
Coyolito 1-D	23	19.857	bcd
Uno	19	20.7103	abc
Coyolito 1-B	21	21.2419	ab
Coyolito 1-C	19	21.2999	a

**Tabla 7.** Diferencias entre los distintos lotes, significación y límites encontradas en el test de múltiples rangos de diámetro entre lotes.

Contraste	Sig.	Diferencia	Límites	Contraste	Sig.	Diferencia	Límites
Coyolito 1-A - Coyolito 1-B	*	-1,774	1,401	Coyolito 1-D - Mango		0,565	1,340
Coyolito 1-A - Coyolito 1-C	*	-1,832	1,438	Coyolito 1-D - Milpas		0,327	1,354
Coyolito 1-A - Coyolito 1-D		-0,389	1,369	Coyolito 1-D - Nimia		0,719	1,340
Coyolito 1-A - Andropogón	*	2,791	1,385	Coyolito 1-D - P. Colorado	*	1,407	1,386
Coyolito 1-A - Brizantha		0,294	1,385	Coyolito 1-D - Uno		-0,853	1,424
Coyolito 1-A - Catarata	*	2,316	1,385	Andropogón - Brizantha	*	-2,497	1,385
Coyolito 1-A - Mango		0,175	1,355	Andropogón - Catarata		-0,475	1,385
Coyolito 1-A - Milpas		-0,063	1,369	Andropogón - Mango	*	-2,616	1,355
Coyolito 1-A - Nimia		0,329	1,355	Andropogón - Milpas	*	-2,854	1,369
Coyolito 1-A - P.Colorado		1,018	1,401	Andropogón - Nimia	*	-2,462	1,355
Coyolito 1-A - Uno		-1,243	1,438	Andropogón - P. Colorado	*	-1,773	1,401
Coyolito 1-B - Coyolito 1-C		-0,058	1,454	Andropogón - Uno	*	-4,034	1,438
Coyolito 1-B - Coyolito 1-D		1,385	1,386	Brizantha - Catarata	*	2,023	1,385
Coyolito 1-B - Andropogón	*	4,565	1,401	Brizantha - Mango		-0,118	1,355
Coyolito 1-B - Brizantha	*	2,068	1,401	Brizantha - Milpas		-0,357	1,369
Coyolito 1-B - Catarata	*	4,091	1,401	Brizantha - Nimia		0,035	1,355
Coyolito 1-B - Mango	*	1,950	1,372	Brizantha - P. Colorado		0,724	1,401
Coyolito 1-B - Milpas	*	1,712	1,386	Brizantha - Uno	*	-1,537	1,438
Coyolito 1-B - Nimia	*	2,104	1,372	Catarata - Mango	*	-2,141	1,355
Coyolito 1-B - P.Colorado	*	2,792	1,417	Catarata - Milpas	*	-2,379	1,369
Coyolito 1-B - Uno		0,532	1,454	Catarata - Nimia	*	-1,987	1,355
Coyolito 1-C - Coyolito 1-D	*	1,443	1,424	Catarata - P.Colorado		-1,299	1,401
Coyolito 1-C - Andropogón	*	4,623	1,438	Catarata - Uno	*	-3,559	1,438
Coyolito 1-C - Brizantha	*	2,126	1,438	Mango - Milpas		-0,238	1,340
Coyolito 1-C - Catarata	*	4,149	1,438	Mango - Nimia		0,154	1,326
Coyolito 1-C - Mango	*	2,008	1,410	Mango - P. Colorado		0,842	1,372
Coyolito 1-C - Milpas	*	1,770	1,424	Mango - Uno	*	-1,418	1,410
Coyolito 1-C - Nimia	*	2,162	1,410	Milpas - Nimia		0,392	1,340
Coyolito 1-C - P.Colorado	*	2,850	1,454	Milpas - P. Colorado		1,081	1,386
Coyolito 1-C - Uno		0,590	1,490	Milpas - Uno		-1,180	1,424
Coyolito 1-D - Andropogón	*	3,180	1,369	Nimia - P.Colorado		0,689	1,372
Coyolito 1-D - Brizantha		0,683	1,369	Nimia - Uno	*	-1,572	1,410
Coyolito 1-D - Catarata	*	2,706	1,369	P. Colorado - Uno	*	-2,260	1,454

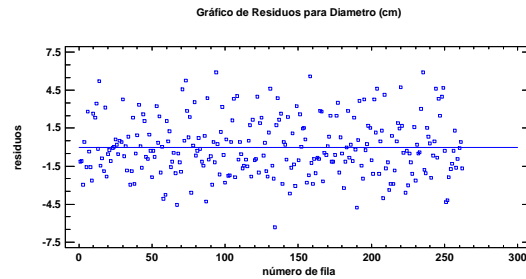
\* indica una diferencia significativa.



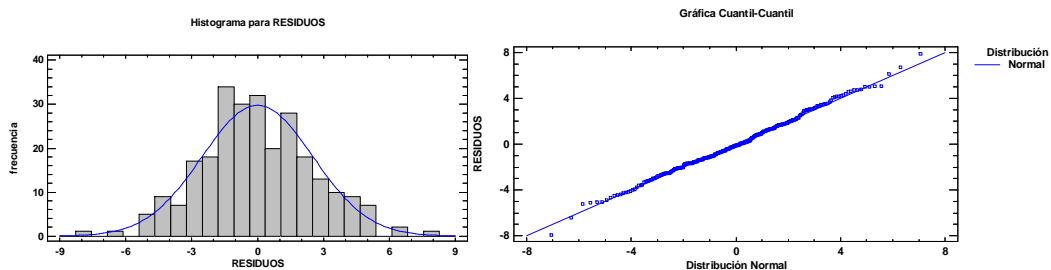
**Figura 10.** Gráfica de medias e intervalos LSD de Fisher para diámetro (cm) por lote en “Coyolito”.

Los residuos del Anova para la variable diámetro (cm) entre lotes de la finca Coyolito variaron en el rango -6,328 y 5,923, con un valor medio de  $1,05 \cdot 10^{-6}$  y una desviación estándar de 2,2819. Las hipótesis de homocedasticidad y linealidad se comprobaron en el gráfico de distribución de los residuos, los cuales no mostraron un patrón especial ni tendencia, considerándose por tanto, los residuos independientes y su varianza constante (Figura 8); **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La normalidad de los residuos se comprobó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con un p-valor de 0,005316 ( $>0,05$ ) y la prueba de bondad del ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con p-valor 0,17171 ( $>0,05$ ). De forma gráfica también se comprobó la normalidad de los residuos mediante la alineación de éstos en la gráfica cuantil-cuantil (QQ plot) (Figura 9).



**Figura 11.** Gráfico de residuos para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor lote en Coyolito.



**Figura 12.** Histograma de residuos (Izda.) y gráfica cuantil-cuantil de residuos (Dcha.) ajustados a una distribución normal para el Anova de la variable diámetro (cm) por el factor finca en Coyolito.

### 4.1.3. Frecuencias

En “Coyolito I” se contabilizaron un total de 85 individuos, repartidos en las 4 parcelas de muestreo (de 452,389 m<sup>2</sup> de superficie cada una de ellas). Esto equivale a una densidad de 469,7 p/ha repartidos entre las marcas de clase 15 y 25 cm. La marca de clase más representativa fue la de 19 cm, con una frecuencia absoluta de 154.7 p/ha y una frecuencia relativa de 32,9%. Este último valor representa la probabilidad de encontrar individuos dentro de la población de la marca de clase 19 cm. La frecuencia relativa acumulada de la marca de clase 19 fue de 47.1%, lo que representa la probabilidad de encontrar en la población pies con una marca de clase menor o igual a la de 19 cm (Tabla 8). La representación gráfica de la distribución diámetrica por hectárea muestra una distribución normal ligeramente asimétrica negativa (Figura 13).

En “Coyolito II” el número total de pies medidos fue 177, en 8 parcelas de muestreo. La densidad por hectárea en esta finca ascendió a 489,1 p/ha. A diferencia de “Coyolito I”, aquí la variabilidad del diámetro fue mayor, existiendo un rango de individuos entre las marcas de clases 11 y 27. De la misma forma que en “Coyolito I”, la marca de clase que mayor representatividad obtuvo fue la de 19 cm, con una frecuencia absoluta de 149.2 p/ha (Tabla 9). Sin embargo, la distribución de los individuos, en este caso, presenta una curva de Gauss ligeramente asimétrica positiva (Figura 14).

Finalmente, los resultados de la distribución de frecuencias de la finca en su conjunto (“Coyolito I” + “Coyolito II”) mostraron una densidad media de 482,6 p/ha. En ella se contabilizaron un total de 262 pies, en 12 parcelas de muestreo (Tabla 10). La distribución

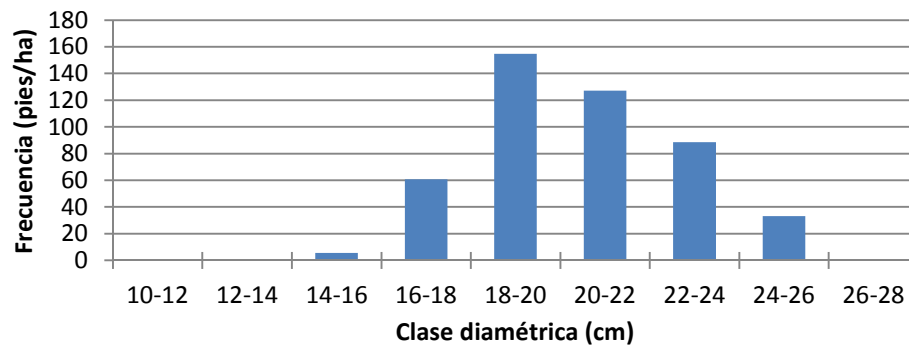


diámetrica de toda la finca presenta una distribución normal según la curva de Gauss casi perfecta (Figura 15).

**Tabla 8.** Tabla de frecuencias (absolutas, relativas y acumuladas) por clase diamétrica en “Coyolito I”.

Marca de clase (cm)	Límites (cm)	Frecuencia				
		Absoluta inventariada*	Absoluta por hectárea (n/ha)	Absoluta acumulada (n/ha)	Relativa (%)	Relativa acumulada (%)
11	10-12	0	0	0	0	0
13	12-14	0	0	0	0	0
15	14-16	1	5.5	5.5	1.2	1.2
17	16-18	11	60.8	66.3	12.9	14.1
19	18-20	28	154.7	221.0	32.9	47.1
21	20-22	23	127.1	348.2	27.1	74.1
23	22-24	16	88.4	436.6	18.8	92.9
25	24-26	6	33.2	469.7	7.1	100.0
27	26-28	0	0	469.7	0.0	100.0
<b>Total</b>		<b>85</b>	<b>469.7</b>		<b>100.0</b>	

\*La frecuencia absoluta inventariada se refiere a los individuos en 4 parcelas, una superficie de 1.809,55 m<sup>2</sup>.



**Figura 13.** Distribución diamétrica por hectárea en “Coyolito I”.

**Tabla 9.** Tabla de frecuencias (absolutas, relativas y acumuladas) por clase diamétrica en “Coyolito II”.

Marca de clase (cm)	Límites (cm)	Frecuencia				
		Absoluta inventariada	Absoluta por hectárea (n/ha)	Absoluta acumulada (n/ha)	Relativa (%)	Relativa acumulada (%)
11	10-12	1	2.8	2.8	0.6	0.6
13	12-14	5	13.8	16.6	2.8	3.4
15	14-16	19	52.5	69.1	10.7	14.1
17	16-18	43	118.8	187.9	24.3	38.4
19	18-20	54	149.2	337.1	30.5	68.9
21	20-22	34	93.9	431.0	19.2	88.1
23	22-24	18	49.7	480.8	10.2	98.3
25	24-26	2	5.5	486.3	1.1	99.4
27	26-28	1	2.8	489.1	0.6	100
<b>Total</b>		<b>177</b>	<b>489.1</b>		<b>100</b>	

\*La frecuencia absoluta inventariada se refiere a los individuos en 4 parcelas, una superficie de 3619,11 m<sup>2</sup>.

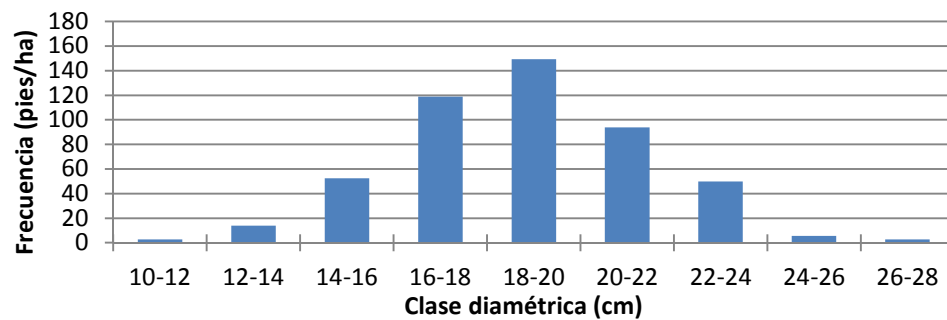


Figura 14. Distribución diamétrica por hectárea en "Coyolito II".

Tabla 10. Tabla de frecuencias (absolutas, relativas y acumuladas) por clase diamétrica en toda la finca.

Marca de clase (cm)	Límites (cm)	Frecuencia				
		Absoluta por parcela (n/parcela)	Absoluta por hectárea (n/ha)	Absoluta acumulada (n/ha)	Relativa (%)	Relativa acumulada (%)
11	10-12	1	1.8	1.8	0.38	0.38
13	12-14	5	9.2	11.1	1.91	2.29
15	14-16	20	36.8	47.9	7.63	9.92
17	16-18	54	99.5	147.4	20.61	30.53
19	18-20	82	151.0	298.4	31.30	61.83
21	20-22	57	105.0	403.4	21.76	83.59
23	22-24	34	62.6	466.0	12.98	96.56
25	24-26	8	14.7	480.8	3.05	99.62
27	26-28	1	1.8	482.6	0.38	100
<b>Total</b>		<b>262</b>	<b>482.6</b>		<b>100.0</b>	

\*La frecuencia absoluta inventariada se refiere a los individuos en 4 parcelas, una superficie de 5.428,67m<sup>2</sup>.

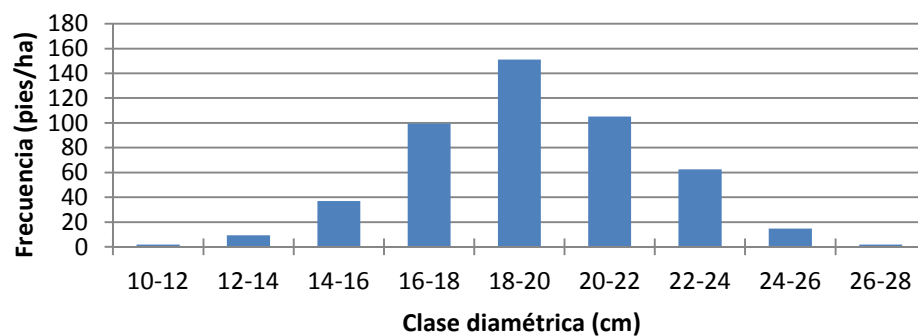


Figura 15. Distribución diamétrica por hectárea en la finca Coyolito.

#### 4.1.2. Resultados dasométricos

En "Coyolito I" el diámetro medio fue de  $20.467 \pm 0.942$  cm, el diámetro medio cuadrático  $20.574 \pm 0.916$  cm y la altura media de  $16.741 \pm 0.373$ . Además, la densidad media fue de  $469,728 \pm 37,751$  p/ha, el área basimétrica media de  $15,571 \pm 0,853$  m<sup>2</sup>/ha, el volumen medio estimado de  $110,534 \pm 6,451$  m<sup>3</sup>/ha, el volumen comercial de  $78,505 \pm 5,295$  m<sup>3</sup>/ha y la biomasa aérea total de  $96.838,128 \pm 6.090,699$  kg/ha. En esta finca, la mayor distribución de individuos se concentró en la marca de clase 19 cm (32,9%). Sin embargo, los mayores valores de las variables de las que depende la producción final de la plantación (casi el 29% del total) se concentran en la clase diamétrica de 21 cm, la cual representa el 27.1% de los individuos. En ella se obtuvo un volumen total de 31,62 m<sup>3</sup>/ha, un volumen comercial de 22,64 m<sup>3</sup>/ha y una biomasa aérea de 27.779,02 kg/ha (Tabla 11). La altura

Anejo III. Inventario continuo en PPM

dominante en esta finca fue de 18,44 m y el índice de densidad del rodal medio fue de  $335.194 \pm 25.616$ .

**Tabla 11.** Distribución diámetrica para las variables frecuencia, altura media, diámetro medio, área basal, volumen total, volumen comercial y biomasa aérea por lote, y valores medios por hectárea en “Coyolito I”.

Diámetro (cm)	Datos	Lote				Promedio
		Coyolito 1-A	Coyolito 1-B	Coyolito 1-C	Coyolito 1-D	
14-16	Frecuencia árbol (n/ha)				22.10	22.10
	Altura media (m)				14.50	14.50
	Diámetro medio (cm)				15.28	15.28
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)				0.41	0.41
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)				2.70	2.70
	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)				1.65	1.65
	Biomasa aérea (t/ha)				2.238	2.238
16-18	Frecuencia árbol (n/ha)	132.63		44.21	66.31	81.05
	Altura media (m)	15.37		15.50	15.17	15.34
	Diámetro medio (cm)	17.29		17.35	17.32	17.32
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	3.12		7.10	1.56	3.93
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	21.07		7.10	10.45	12.87
	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	13.89		4.70	6.87	8.49
	Biomasa aérea (t/ha)	18,073		6,059	9,077	11,070
18-20	Frecuencia árbol (n/ha)	221.05	110.52	44.21	243.15	154.73
	Altura media (m)	16.00	16.10	16.25	16.32	16.17
	Diámetro medio (cm)	18.82	19.00	19.10	19.09	19.00
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	6.15	3.14	8.79	6.96	6.26
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	42.24	21.61	8.79	48.52	30.29
	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	28.97	14.88	6.07	33.54	20.87
	Biomasa aérea (t/ha)	36,810	18,833	7,619	41,896	26,289
20-22	Frecuencia árbol (n/ha)	22.10	243.15	176.84	66.31	127.10
	Altura media (m)	17.00	17.05	17.06	17.00	17.03
	Diámetro medio (cm)	21.77	21.25	21.02	20.52	21.14
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	0.82	8.62	6.14	2.19	4.44
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	5.81	61.30	43.75	15.64	31.62
	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	4.19	43.97	31.30	11.11	22.64
	Biomasa aérea (t/ha)	5,204	54,041	38,310	13,559	27,779
22-24	Frecuencia árbol (n/ha)	88.42	66.31	132.63	66.31	88.42
	Altura media (m)	17.75	17.33	17.87	17.83	17.70
	Diámetro medio (cm)	22.47	22.60	23.19	22.79	22.76
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	3.51	2.66	5.61	2.71	3.62
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	25.67	19.04	41.11	19.85	26.42
	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	18.74	13.89	30.25	14.55	19.36
	Biomasa aérea (t/ha)	22,455	17,089	36,344	17,423	23,328
24-26	Frecuencia árbol (n/ha)	22.10	44.21	22.10	44.21	33.16
	Altura media (m)	18.50	18.25	18.00	18.50	18.31
	Diámetro medio (cm)	24.70	24.80	24.51	24.80	24.70
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	1.06	2.14	1.04	2.14	1.59
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	7.96	15.83	7.64	16.05	11.87
	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	5.94	11.82	5.69	12.00	8.86
	Biomasa aérea (t/ha)	7,029	14,190	6,900	14,193	10,578
Total	Frecuencia árbol (n/ha)	486.31	464.20	419.99	508.41	469.73
	Altura media (m)	16.92	17.18	16.94	16.55	16.90
	Diámetro medio (cm)	21.01	21.91	21.03	19.96	20.98
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	14.66	16.56	28.68	15.97	18.97
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	102.75	117.78	108.40	113.21	110.53
	Vol. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	71.74	84.55	78.00	79.72	78.51
	Biomasa aérea (t/ha)	89,573	104,154	95,234	98,389	96,838

En “Coyolito II”, el diámetro medio fue  $18,765 \pm 1,310$  cm, el diámetro medio cuadrático  $18,915 \pm 1,284$  cm y la altura media  $16,142 \pm 0,632$ . Además, la densidad total fue de  $489,070 \pm 36,298$  p/ha, el área basimétrica media de  $13,771 \pm 1,881$  m<sup>2</sup>/ha, el volumen total medio estimado de  $96,760 \pm 14,226$  m<sup>3</sup>/ha, el volumen comercial de  $66,784 \pm 11,356$  m<sup>3</sup>/ha y la biomasa aérea total de  $83.291,542 \pm 12.878.405$  kg/ha. En este caso, la marca de clase 19 que incluye el 30,5 % de los pies, es la que ofrece casi el 30% del total en las de las que depende la producción final. En esta marca de clase se acumula  $4,17$  m<sup>2</sup>/ha del área basimétrica,  $29,12$  m<sup>3</sup>/ha del volumen total,  $20,04$  m<sup>3</sup>/ha del volumen comercial y  $25.010,42$  kg/ha de la biomasa aérea total (Tabla 12). La altura dominante en esta finca fue de  $18,66$  m y el índice de densidad del rodal medio fue de  $297,382 \pm 50,940$ .

Anejo III. Inventario continuo en PPM

**Tabla 12.** Distribución diámetrica de las variables de interés por lotes y valor medio, referido a la hectárea, de éstas variables en la finca “Coyolito II”.

Diámetro (cm)	Variable	lote								Media
		Andropogón	Milpas	Catarata	Mango	P. Colorado	Brizantha	Uno	Nimia	
10-12	Frecuencia (n/ha)			22,1						22,1
	Altura media (m)			12,5						12,5
	Diámetro medio (cm)			10,82						10,82
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)			0,2						0,2
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)			1,42						1,42
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)			0,61						0,61
	Biomasa aérea (t/ha)			0,984						0,984
12-14	Frecuencia (n/ha)	66,31		22,1						44,21
	Altura media (m)	13,5		13,5						13,5
	Diámetro medio (cm)	13,31		13,5						13,4
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	0,92		0,32						0,62
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	6,14		2,08						4,11
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	3,36		1,15						2,25
	Biomasa aérea (t/ha)	4,851		1,665						3,258
14-16	Frecuencia (n/ha)	154,73		132,63		66,31	44,21		44,21	88,42
	Altura media (m)	14,29		14,33		14,5	15		14,25	14,47
	Diámetro medio (cm)	14,97		14,99		14,96	15,47		14,87	15,05
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	2,73		2,35		1,17	0,83		0,77	1,57
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	18,11		15,6		7,87	5,67		5,09	10,47
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	10,92		9,43		4,77	3,53		3,05	6,34
	Biomasa aérea (t/ha)	14,972		12,885		6,430	4,615		4,194	8,619
16-18	Frecuencia (n/ha)	154,73	110,52	110,52	110,52	132,63	154,73	44,21	132,63	118,81
	Altura media (m)	15,29	15,6	15,4	15,2	15,42	15,64	15,75	15,33	15,45
	Diámetro medio (cm)	17,13	17,47	16,87	16,76	17,28	17,05	17,41	17,26	17,15
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	3,57	2,65	2,47	2,44	3,11	3,54	1,05	3,11	2,74
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	24,06	18,08	16,85	16,45	21,1	24,37	7,26	20,97	18,64
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	15,78	12,01	11	10,67	13,92	16,04	4,82	13,81	12,26
	Biomasa aérea (t/ha)	20,597	15,405	14,203	13,954	18,041	20,395	6,114	17,983	15,837
18-20	Frecuencia (n/ha)	44,21	221,05	132,63	243,15	154,73	66,31	110,52	221,05	149,21
	Altura media (m)	16,5	16,2	16,33	16,18	16,14	16,67	16,4	16,35	16,35
	Diámetro medio (cm)	19,32	18,78	19,26	18,62	18,64	19,12	18,74	19,03	18,94
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	1,3	6,13	3,87	6,63	4,23	1,91	3,05	6,29	4,17
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	9,11	42,6	26,91	46,08	29,29	13,55	21,43	43,96	29,12
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	6,34	29,26	18,66	31,55	20,05	9,4	14,73	30,37	20,04
	Biomasa aérea (t/ha)	7,841	36,663	23,34	39,519	25,192	11,482	18,227	37,815	25,01
20-22	Frecuencia (n/ha)	44,21	132,63	66,31	110,52	66,31	154,73	132,63	44,21	93,95
	Altura media (m)	17	17	17,17	17,1	17,17	17	16,92	17,25	17,08
	Diámetro medio (cm)	20,53	21,17	21,05	21,05	21,35	20,59	20,37	21,04	20,89
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	1,46	4,67	2,31	3,85	2,37	5,15	4,32	1,54	3,21
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	10,43	33,16	16,55	27,48	16,98	36,72	30,73	11,08	22,89
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	7,41	23,76	11,86	19,67	12,2	26,11	21,78	7,94	16,34
	Biomasa aérea (t/ha)	9,05	29,241	14,426	24,04	14,911	31,907	26,659	9,607	19,98
22-24	Frecuencia (n/ha)	22,1	44,21		44,21	44,21	66,31	88,42	88,42	56,84
	Altura media (m)	18	17,75		17,5	17,75	18	17,88	18	17,84
	Diámetro medio (cm)	22,6	23,52		22,12	22,15	23,34	22,66	23,41	22,83
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	0,89	1,92		1,7	1,7	2,84	3,57	3,81	2,35
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	6,57	13,97		12,29	12,49	20,93	26,26	28,06	17,22
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	4,81	10,3		8,93	9,09	15,43	19,23	20,7	12,64
	Biomasa aérea (t/ha)	5,688	12,514		10,812	10,849	18,438	22,934	24,757	15,142
24-26	Frecuencia (n/ha)				22,1			22,1		22,1
	Altura media (m)				19			19		19
	Diámetro medio (cm)				24,89			25,46		25,18
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)				1,08			1,13		1,1
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)				8,28			8,65		8,46
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)				6,21			6,51		6,36
	Biomasa aérea (t/ha)				7,159			7,558		7,359
26-28	Frecuencia (n/ha)							22,1		22,1
	Altura media (m)							19		19
	Diámetro medio (cm)							26,61		26,61
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)							1,23		1,23
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)							9,4		9,4
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)							7,12		7,12
	Biomasa aérea (t/ha)							8,394		8,394
Suma	Frecuencia (n/ha)	486,31	508,41	486,31	530,52	464,2	486,31	419,99	530,52	489,07
	Altura media (m)	15,76	16,64	14,87	17	16,2	16,46	17,49	16,24	16,33
	Diámetro medio (cm)	17,98	20,23	16,08	20,69	18,88	19,11	21,88	19,12	19,25
	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	10,87	15,37	11,52	15,69	12,59	14,27	14,35	15,51	13,77
	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	74,42	107,81	79,42	110,59	87,74	101,24	103,72	109,15	96,76
	V. Comercial (m <sup>3</sup> /ha)	48,62	75,32	52,7	77,04	60,04	70,51	74,18	75,86	66,78
	Biomasa aérea (t/ha)	63,002	93,824	67,506	95,487	75,424	86,838	89,889	94,358	83,291

Alumno: Antonio Leceguí Peropérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

Anejo III. Inventario continuo en PPM

En la finca Coyolito, se obtuvo una densidad media de  $482,500 \pm 36,302$  p/ha. El área basimétrica media de la plantación fue de  $14,371 \pm 1,799$  m<sup>2</sup>/ha, el volumen total medio estimado alcanzó un valor de  $101,351 \pm 13,643$  m<sup>3</sup>/ha, el volumen comercial de  $70,691 \pm 11,091$  m<sup>3</sup>/ha y la biomasa aérea total estimada fue de  $87.807,071 \pm 12.654,941$  kg/ha, (Tabla 13). El índice de IDR medio fue de  $309.986 \pm 46.657$  y la altura dominante fue de  $18,55 \pm 0,15$  m.

**Tabla 13.** Resultados por hectárea de las variables estudiadas (densidad, diámetro medio, altura media, área basal, diámetro medio cuadrático, volumen total, volumen comercial y biomasa aérea total) para “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito I”										
Lote	N (n/parcela)	N (n/ha)	dm (cm)	hm (m)	dmc (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	Vt (m <sup>3</sup> /ha)	Vc (m <sup>3</sup> /ha)	Bat (t)
Coyolito 1-A	22	486,307	19,468	16,305	19,591	14,660	348,466	102,747	71,739	89,573
Coyolito 1-B	21	464,202	21,242	16,976	21,310	16,557	360,435	117,779	84,555	104,154
Coyolito 1-C	19	419,992	21,300	17,116	21,396	15,100	301,557	108,400	78,002	95,234
Coyolito 1-D	23	508,412	19,857	16,565	19,998	15,968	330,316	113,209	79,725	98,389
<b>Promedio</b>	21,250	469,728	20,467	16,741	20,574	15,571	335,194	110,534	78,505	96,838
<b>Desv. Est.</b>	1,708	37,751	0,942	0,373	0,916	0,853	25,616	6,451	5,295	6,090
“Coyolito II”										
Lote	N (n/parcela)	N (n/ha)	dm (cm)	hm (m)	dmc (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	Vt (m <sup>3</sup> /ha)	Vc (m <sup>3</sup> /ha)	Bat (t)
Andropogón	22	486,307	16,677	15,114	16,869	10,868	258,349	74,415	48,619	63,002
Milpas	23	508,412	19,530	16,413	19,621	15,372	338,935	107,810	75,319	93,824
Catarata	22	486,307	17,151	15,386	17,364	11,516	208,691	79,418	52,701	67,506
Mango	24	530,516	19,292	16,396	19,406	15,692	369,017	110,588	77,036	95,487
P.Colorado	21	464,202	18,450	16,000	18,583	12,590	270,902	87,738	60,041	75,424
Brizantha	22	486,307	19,174	16,477	19,328	14,268	290,666	101,241	70,510	86,838
Uno	19	419,992	20,710	17,079	20,859	14,352	325,188	103,719	74,182	89,889
Nimia	24	530,516	19,138	16,271	19,294	15,511	317,305	109,47	75,860	94,358
<b>Promedio</b>	22,125	489,070	18,765	16,142	18,915	13,771	297,382	96,760	66,784	83,291
<b>Desv. Est.</b>	1,642	36,298	1,310	0,632	1,284	1,881	50,940	14,226	11,356	12,878
Total “Coyolito”										
Lote	N (n/parcela)	N (n/ha)	dm (cm)	hm (m)	dmc (cm)	G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	Vt (m <sup>3</sup> /ha)	Vc (m <sup>3</sup> /ha)	Bat (t)
<b>Promedio</b>	21,833	482,623	19,332	16,342	19,468	14,371	309,986	101,351	70,691	87,807
<b>Desv. Est.</b>	1,642	36,302	1,427	0,615	1,394	1,799	46,657	13,643	11,091	12,654

Dónde: Desv. Est., Desviación estándar, N, densidad; dm, diámetro medio; hm, altura media; dmc, diámetro medio cuadrático; G, área basimétrica; IDR, índice de densidad del rodal; Vt, volumen total; Vc, Volumen comercial; Bat, Biomasa aérea total.

#### 4.1.4. Epidometria

De la comparación de este inventario con el realizado en el año 5,2 de la plantación, se obtuvo un Incremento Corriente Anual (ICA) en diámetro de 1,18 cm/año, un ICA en altura de 1,07 m/año y un ICA en área basimétrica de 0,48 m<sup>2</sup>/ha\*año. Además el Incremento Medio Anual (IMA) en diámetro fue de 2,56 cm/año, el IMA en altura de 2,06 m/año y un IMA en área basimétrica de 1,83 m<sup>2</sup>/ha\*año. Estos valores son inferiores a los obtenidos en años anteriores, por la edad de la plantación, que termina su etapa de crecimiento rápido y por el régimen de raleos que se realizó, los cuales abrieron claros que incrementaron el diámetro de los años posteriores.

Anejo III. Inventario continuo en PPM

**Tabla 14.** Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables diámetro, altura y área basimétrica, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito I”										
Edad	Densidad (n/ha)	Diámetro (cm)			Altura (m)			Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	647	15,20	3,80	3,80	12,40	3,10	3,10	11,94	2,99	2,90
4.1	608	15,47	2,70	3,77	12,56	1,60	3,06	11,61	-3,30	2,91
5.2	608	17,24	1,61	3,32	13,74	1,07	2,64	14,48	2,61	2,78
8*	469,73	20,47	1,15	2,56	16,74	1,07	2,09	15,57	0,39	1,95
“Coyolito II”										
Edad	Densidad (n/ha)	Diámetro (cm)			Altura (m)			Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	807	12,30	3,08	3,08	10,00	2,50	2,50	9,78	2,45	2,45
4.1	669	12,80	5,00	3,12	11,34	13,40	3,53	8,74	-10,40	2,13
5.2	669	15,40	2,36	2,96	14,48	2,85	2,18	12,42	3,35	2,39
8*	489,07	18,77	1,20	2,35	16,14	1,72	2,02	13,77	0,48	1,72
Total “Coyolito”										
Edad	Densidad (n/ha)	Diámetro (cm)			Altura (m)			Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	727	13,75	3,44	3,44	11,20	2,80	2,80	10,70	2,72	2,67
4.1	638,5	14,14	3,85	3,45	13,52	7,50	3,30	10,34	-6,85	2,52
5.2	638,5	16,32	1,99	3,14	12,54	1,96	2,41	13,45	2,98	2,59
8*	479,40	19,62	1,18	2,45	16,44	1,39	2,06	14,67	0,44	1,83

Dónde: ICA, Incremento corriente anual; IMA, Incremento medio anual.

\* Años en los que se realizaron raleos (claras).

En las variables estimadas mediante relaciones alométricas, también se observó un decrecimiento paulatino de los incrementos conforme la plantación avanza en edad, excepto en el periodo de los años 4,1 y 5,2 en el que el IMA fue superior debido a la apertura de claros por el raleo del año 4. El IMA en volumen comercial, variable que se utilizó para la estimación de los beneficios económicos mediante la modelización del crecimiento de la plantación, fue de 9,08 m<sup>3</sup>/ha/año en el último periodo. Este valor varió entre 9,81 m<sup>3</sup>/ha/año y 11,49 m<sup>3</sup>/ha/año en “Coyolito I”, con un promedio de 10,6 ± 0,66 m<sup>3</sup>/ha/año y entre 6,32 y 8,71 m<sup>3</sup>/ha/año en “Coyolito II” con promedio de 7,4 ± 1,38. Teniendo en cuenta los valores de ambas fincas, el IMA en volumen comercial promedio fue de 9,0 ± 1,99 m<sup>3</sup>/ha/año.

**Tabla 15.** Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables estimadas: volumen total y volumen comercial, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito I”							
Edad	Densidad (n/ha)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)			Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0		0		
4*	647	72,32	18,08	18,08	42,93	10,73	10,73
4.1	608	72,32	0	17,64	42,93	0	10,47
5.2	608	90,91	16,90	17,48	59,73	15,27	11,49
8*	407	110,53	7,01	13,82	78,51	6,71	9,81

Alumno: Antonio Leceguí Peropérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

**Tabla 16 (Cont.).** Incrementos corrientes anuales (ICA) e Incrementos medios anuales (IMA) para las variables estimadas: volumen total y volumen comercial, durante todos los periodos de medición, en “Coyolito I”, “Coyolito II” y total de la finca.

“Coyolito II”							
Edad	Densidad (n/ha)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)			Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0
4*	807	55,58	13,90	13,90	25,27	6,32	6,32
4.1	669	55,58	0	13,56	25,27	0	6,16
5.2	669	79,71	21,94	15,33	45,28	18,19	8,71
8*	489	96,76	6,09	12,10	66,78	7,68	8,35
Total Coyolito							
Edad	Densidad (n/ha)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)			Volumen comercial (m <sup>3</sup> /ha)		
		Total	ICA	IMA	Total	ICA	IMA
0	816	0	0	0	0	0	0
4*	727	63,95	15,99	15,99	25,27	8,53	8,53
4.1	638,5	55,58	0	15,60	25,27	0	8,32
5.2	638,5	85,31	19,42	16,41	52,51	16,73	10,10
8*	448	103,65	6,55	12,96	72,64	7,19	9,08

Donde: ICA, Incremento corriente anual; IMA, Incremento medio anual.

\* Años en los que se realizaron raleos (claras).

# ANEJOS

## **Anejo IV: Análisis financiero de las plantaciones**



## ÍNDICE ANEJO III

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>165</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>165</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>166</b>
3.1. Área de estudio .....	166
3.2. Planteamiento del análisis financiero .....	166
3.3. Estudio de mercado.....	166
3.3.1. Mercado de madera en Costa Rica.....	167
3.3.2. Comercio de la teca en el mundo .....	168
3.3.3. Marco comercial de la teca en Costa Rica .....	168
3.3.4. Precios de la madera de Teca en Costa Rica.....	169
3.3.5. Precio de la carne de res en Costa Rica.....	171
3.3.6. Mecanismos financieros de PSA en Costa Rica .....	172
3.3.7. Mercado Doméstico Voluntario de Carbono de Costa Rica.....	173
3.4. Rendimiento de la plantación e ingresos esperados.....	174
3.5. Identificación de las actividades de manejo, intensidad y costos asociados .....	175
3.6. Flujos de caja e indicadores de rentabilidad .....	175
3.7. Análisis de sensibilidad .....	177
3.8. Comparación de PSA y mercado de carbono .....	177
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>178</b>
4.1. Selección de parámetros de cálculo .....	178
4.2. Rendimiento de la plantación e ingresos esperados.....	179
4.3. Identificación de actividades de manejo, intensidad y costos asociados.....	180
4.4. Flujos de caja e indicadores financieros .....	184
4.5. Análisis de sensibilidad .....	189
4.6. Comparación de incentivos forestales de PSA y créditos de carbono.....	192

## ÍNDICE DE FIGURAS ANEJO IV

Figura 1. Fuentes de abastecimiento de materia prima en Costa Rica en el año 2013 y tendencia del consumo de madera (m <sup>3</sup> de madera en rollo) en la industria de transformación primaria según su procedencia entre los años 1998-2013. ....	167
Figura 2. Valor de los principales productos primarios de madera importados y exportados en Costa Rica por país de procedencia/destino para el 2013. ....	167
Figura 3. Distribución mundial de las plantaciones de teca por países/regiones .....	168
Figura 4. Tendencia de los precios de madera de teca en pie, en patio y aserrada en Costa Rica, expresada en colones por pmt-r (pulgadas madereras ticas en rollo) o pmt-s (pulgadas madereras ticas aserrada) en Costa Rica entre los años 2008 y 2011. ....	171
Figura 5. Precios promedio ponderados según tipo de productos (en \$/m <sup>3</sup> ), utilizados para determinar la rentabilidad de plantaciones de teca en estudios de casos en América Latina. ....	171
Figura 6. Evolución del precio del ganado bovino en pie en subasta en colones por kilogramo (¢/kg).....	172
Figura 7. Valores totales del Mercado Voluntario de Carbono mundial y precio medio de la tonelada de CO <sub>2</sub> equivalente.....	174
Figura 8. Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca”. ....	185
Figura 9. . Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca con ganado”. ....	186
Figura 10. Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “Plantación de teca con ganado y PSA”. ....	187
Figura 11. Variación del VAN en función de la variación de principales determinantes de ingresos y costos para el escenario 3.....	191
Figura 12. Variación del VAN en función de la tasa de descuento para los tres escenarios analizados en el estudio financiero. ....	191
Figura 13. Evolución de los posibles beneficios por hectárea en el mercado voluntario de carbono según precio del carbono para cada uno de los lotes de la finca “Coyolito”. ....	193

## ÍNDICE DE TABLAS ANEJO IV

Tabla 1. Distribución de superficies en hectáreas y porcentual de “Coyolito I” y “Coyolito II”... 166	166
Tabla 2. Precios de referencia de madera en pie, en troza puesta en patio de aserradero y aserrada expresada en colones por pulgada maderera tica (¢/pmt) para el primer semestre del 2014. .... 170	170
Tabla 3. Precios de la madera de teca en Costa Rica, según clases diamétricas, por la venta de madera en pie para el primer semestre de 2013 y precio de la madera de teca en Costa Rica, según clases diamétricas, para troza cargada en contenedor para el primer semestre de 2013 . .... 170	170
Tabla 4. Precio mensual, en colones por kilogramo (¢/kg), para venta de bovinos comercializados en subasta en los años 2014 y 2015 en Costa Rica. .... 172	172
Tabla 5. Distribución de montos asignados y distribución porcentual para el Pago de los Servicios Ambientales por modalidad para el año 2014 en Costa Rica. .... 172	172
Tabla 6. Precios de referencia en los principales mercados voluntarios de carbono. .... 173	173
Tabla 7. Estructura de los ingresos por productos y servicios generados en la finca para cada uno de los escenarios. .... 174	174
Tabla 8. Tasas de cambio monetario aplicado en el estudio financiero. .... 178	178
Tabla 9. Precios asumidos de las variables financieras para el estudio financiero. .... 178	178
Tabla 10. Modelización del crecimiento en volumen comercial y extracción de árboles en una hectárea de plantación de teca en Abangares, Guanacaste. .... 179	179
Tabla 11. Estructura de ingresos de la parte ganadera ..... 180	180
Tabla 12. Monto y distribución de los ingresos por PSA según modalidades ..... 180	180
Tabla 13. Monto y distribución de los ingresos por PSA en una ha media de 0,6823 ha de plantación de teca y 0,3109 ha de protección ..... 180	180
Tabla 14. Estructura de costos para la plantación de teca en el escenario de plantación de teca... 181	181
Tabla 15. Estructura de costos para la plantación de teca en el escenario de teca con ganado..... 182	182
Tabla 16. Resumen de la distribución de costos totales al final del periodo del analisis por escenarios y gran actividad de la plantación de teca..... 183	183
Tabla 17. Estructura de costos por hectárea según los dos periodos de diferente carga ganadera para el subsistema ganadero. .... 184	184
Tabla 18. Costos totales, relativos y anuales durante el periodo de rotación de la teca (18 años) y desglose de costos durante el periodo con carga ganadera 0,33 animales/ha (años3, 4 y 5) y el periodo con carga ganadera de 0,17 animales/ha (años 6-17). .... 184	184
Tabla 19. Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 1: “Plantación de teca”. .... 185	185
Tabla 20. Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 2. “Plantación de teca con ganado”. .... 186	186
Tabla 21. Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 3. “Plantación de teca con ganado y PSA”. .... 187	187
Tabla 22. Comparación de beneficio neto según escenarios..... 188	188
Tabla 23. Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año como un costo y en el último año como un activo..... 189	189
Tabla 24. Variación de los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, VET, B/C, PIR) en función de la variación del precio de la tierra, IMA, precio de la madera, precio del ganado y coste de la mano de obra en el escenario 1: “plantación de teca tradicional”. .... 189	189

Anejo IV. Análisis financiero

Tabla 25. Variación de los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, VET, B/C, PIR) en función de la variación del precio de la tierra, IMA, precio de la madera, precio del ganado y coste de la mano de obra en el escenario 2: “plantación de teca con ganado”. .....	190
Tabla 26. Variación de los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, VET, B/C, PIR) en función de la variación del precio de la tierra, IMA, precio de la madera, precio del ganado y coste de la mano de obra en el escenario 1: “plantación de teca con ganado y PSA”. .....	190
Tabla 27. Análisis de sensibilidad del VAN con variaciones en la tasa de descuento para los tres escenarios analizados. ....	191
Tabla 28. Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año como un costo y en el último año como un activo.....	192
Tabla 29. Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios sin tener en cuenta el coste de la tierra. ....	192
Tabla 30. Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios si se contabiliza el valor de la tierra como valor neto de la superficie útil para la plantación. ....	192
Tabla 31. Estimación del carbono y CO <sub>2</sub> almacenado medio y en cada lote de la finca Coyalito y valor en el mercado voluntario de carbono según precios de la tonelada equivalente de CO <sub>2</sub> .	193

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos estratégicos para la investigación, disseminación y asistencia técnica en la Forestaría de Ingreso Sostenible (FIS) es la sistematización rigurosa de las experiencias económicas en el sistema (De Camino *et al.*, 2013).

Para determinar de forma adecuada la rentabilidad de una plantación de teca en FIS es necesario contar con información técnica, financiera y administrativa específica sobre el país y la zona de trabajo. Sin embargo, en el campo forestal de América Latina, existen todavía limitantes con respecto a la disponibilidad de información sobre rendimientos, costos e ingresos de las plantaciones de teca, lo cual dificulta la elaboración de estudios de rentabilidad. (De Camino *et Morales*, 2013).

Se pone en evidencia la urgente necesidad de elaborar documentación sobre los resultados financieros reales y detallados de plantaciones en FIS si se quieren hacer proyecciones confiables con objeto de hacer más atractiva la inversión de pequeños productores en plantaciones forestales y servir en el proceso de toma de decisiones.

En este Anejo se presenta el estudio financiero y análisis de sensibilidad de valores corrientes, es decir, sin tener en cuenta la inflación, de una plantación de teca en Guanacaste según tres escenarios: “plantación de teca tradicional”, “plantación de teca con ganado” y “plantación de teca con ganado y PSA” para comprobar las diferencias en la rentabilidad de los tres escenarios.

Además, se incluye una comparación de los ingresos generados por los incentivos forestales de PSA en la finca con los generados en una posible venta de bonos de carbono en un mercado de carbono.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo general de este documento es elaborar y comparar los estudios financieros de una plantación de teca en tres escenarios: plantación de teca tradicional, plantación de teca con ganado y plantación de teca con ganado y PSA en una finca de Abangares, Guanacaste.

Los objetivos específicos son:

- Realizar un estudio de mercado con objeto de conocer los precios actuales de los parámetros que determinarán los costos e ingresos del sistema en Costa Rica.
- Identificar y documentar las operaciones realizadas en la finca desde el momento de la plantación de teca y evaluar financieramente los costos e ingresos asociados en cada uno de los escenarios,
- Elaborar los flujos de caja de cada escenario y calcular los beneficios netos y beneficios acumulados en cada año del proyecto.
- Determinar los indicadores clásicos de viabilidad económica de proyectos de inversión: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor esperado de la Tierra (VET), relación Beneficio/Coste (B/C) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PIR).

- Elaborar los análisis de sensibilidad en función de los principales determinantes de los costos e ingresos como: tasa de descuento, precio de la madera, costos de mano de obra, crecimiento medio anual de las plantaciones, precio del ganado etc.
- Comparar desde el punto de vista financiero los beneficios obtenidos por los mecanismos financieros estatales de PSA con el precio de la tonelada de carbono en el Mercado Voluntario de Carbono.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudio

El estudio se desarrolla en la finca “Coyolito” cuya localización y caracterización se encuentra en la Memoria del presente estudio. La finca tiene una superficie total de 301,05 ha separadas en dos subfincas, “Coyolito I” y “Coyolito II”, de 81,875ha y 219,175ha respectivamente. De toda la superficie de la finca, 205,42ha (68,23%) están plantadas con teca y 93,60ha (31,09%) es bosque de protección (Tabla 1).

**Tabla 1.** Distribución de superficies en hectáreas y porcentual de “Coyolito I” y “Coyolito II”.

	Plantación	Protección	Infraestructura	Otro	Total
<b>Coyolito I</b>	37,856	42,501	0,067	1,451	81,875
<b>Coyolito II</b>	167,559	51,094	0,522	-	219,175
<b>Total (ha)</b>	205,42	93,6	0,59	1,45	301,05
<b>Porcentaje (%)</b>	68,23	31,09	0,2	0,48	100

#### 3.2. Planteamiento del análisis financiero

Se realizó el análisis financiero según tres escenarios:

- Escenario 1: “Plantación de teca tradicional”
- Escenario 2: “Plantación de teca con ganado”
- Escenario 3: “Plantación de teca con ganado y PSA”

Según De Camino *et* Morales (2013), la principal información que se requiere para determinar la rentabilidad y el valor de las inversiones en teca, es:

1. Estudio de mercado
2. Rendimiento de la plantación e ingresos esperados
3. Identificación de las actividades de manejo, intensidad y costos asociados
4. Análisis de indicadores de rentabilidad y sensibilidad

En los siguientes epígrafes se desarrollan éstos puntos indicados por De Camino *et* Morales (2013) para los tres escenarios de la plantación de teca en Guanacaste

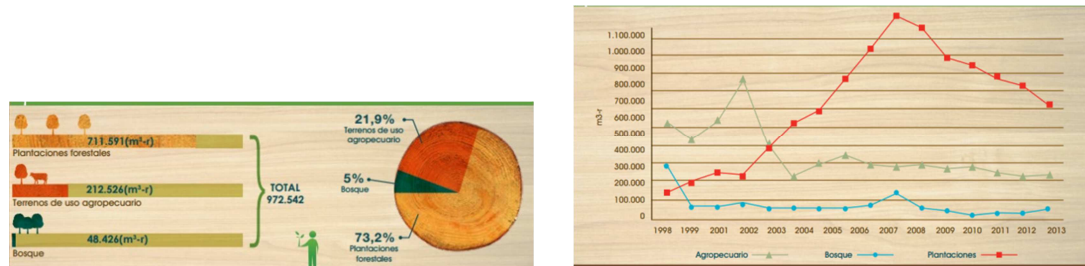
#### 3.3. Estudio de mercado

Puesto que el propósito final del proyecto es la comercialización de los productos generados, en este punto se investigaron las oportunidades reales y potenciales del mercado a nivel regional, nacional e internacional.

Se analizaron las principales rutas y precios del comercio de la madera en Costa Rica, haciendo especial hincapié en la madera de teca. Además, se investigaron los precios de la carne de res, los montos por mecanismos financieros de PSA y el Mercado Voluntario de Carbono en Costa Rica.

### 3.3.1. Mercado de madera en Costa Rica

En Costa Rica, la Oficina Nacional Forestal (ONF) realiza de manera continua, desde 2001, la actualización de las estadísticas del uso de la madera. Según datos del informe del año 2013 (ONF, 2014) el volumen total de madera en troza producido en el país es 972.542 m<sup>3</sup>-r (metros cúbicos de madera en rollo), lo que confirma un decrecimiento de un 7% respecto al volumen en troza reportado en el 2012 (Figura 1). Esta producción generó 14.226 empleos directos, disminuyendo esta cifra un 3% respecto al año anterior.



**Figura 1.** Fuentes de abastecimiento de materia prima en Costa Rica en el año 2013 (Izda.) y tendencia del consumo de madera (m<sup>3</sup> de madera en rollo) en la industria de transformación primaria según su procedencia entre los años 1998-2013 (Dcha).

**Fuente.** Fuente. ONF, 2014.

La balanza comercial del país de productos madereros para el año 2013 fue negativa, las exportaciones de carbón vegetal y manufacturas fueron de \$72.6 millones; mientras que las importaciones de \$98.7 millones. También se comprobó un descenso en las exportaciones madereras respecto al año 2013. Este descenso se manifestó, principalmente en la exportación de la teca que pasó de \$51.7 millones en 2012 a \$37.6 millones en 2013 (ONF, 2014).

Para el año 2013, Chile y China sumaron más el 66% de la madera importada. Chile importó el 55%, principalmente de madera aserrada (producto que suma el 48% de las importaciones de Costa Rica) y el 11% de China fue principalmente madera contrachapada (conocida como plywood). Por otra parte, el 28% de las exportaciones de productos primarios de madera se enviaron a Estados Unidos, principalmente paletas, cajones, cajas y similares para el embalaje. Otros destinos como Singapur, India, Vietnam, China, y Emiratos Árabes Unidos suman el 68% de las exportaciones, principalmente madera en bruto y aserrada de teca (Figura 2).

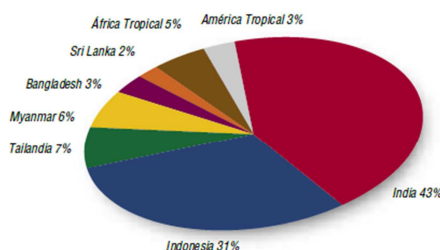


**Figura 2.** Valor de los principales productos primarios de madera importados (Izda.) y exportados (Dcha.) en Costa Rica por país de procedencia/destino para el 2013.

**Fuente.** ONF, 2014.

### 3.3.2. Comercio de la teca en el mundo

A nivel mundial, la región asiática domina desde hace largo tiempo la producción y comercialización de maderas tropicales (Keogh, 2009). En el caso de la teca, Asia acumula el 88% de las existencias mundiales, y solamente la India tiene más del 40% de las plantaciones mundiales de teca (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución mundial de las plantaciones de teca por países/regiones(Izda.); **Fuente.** Bhat *et Hwan*, 2004.

La India, además de ser el mayor productor mundial de teca y consumir localmente su inmensa producción, importa de Malasia, Myanmar e Indonesia y también de África y América Latina más del 80% de la teca comercializada en troza en el mundo (ITTO 2010). Tailandia e Indonesia ocupan los siguientes lugares en consumo de madera de teca. Estos países absorben la totalidad de sus producciones nacionales e importan volúmenes considerables de Myanmar, país que además presenta un activo comercio transfronterizo con China continental (ITTO 2006). Indonesia y Tailandia reportan importaciones cercanas a los 100.000 m<sup>3</sup> anuales cada uno; junto con la India, estos países concentran la importación de un volumen de teca en troza cercano al 98% del comercio internacional (Kollert *et Cherubini* 2005).

En los últimos años, la demanda interna en los países asiáticos productores ha aumentado considerablemente. De acuerdo con la capacidad de producción de madera en troza y con las tendencias del mercado actual, se considera que el mercado de la teca, tanto productor como consumidor seguirá dominado por el mercado asiático (Keogh 2010).

### 3.3.3. Marco comercial de la teca en Costa Rica

Las empresas locales de elaboración maderera en Costa Rica son, por lo general, artesanales y bien adaptadas a la transformación de trozas de pequeño diámetro. Por este motivo, varios de los países asiáticos han comenzado a importar teca proveniente de plantaciones en África y América Latina (ITTO 2010).

La experiencia de comercialización de la teca en América Latina es incipiente todavía, considerando que el 77% de las plantaciones establecidas tienen menos de 20 años (Kollert *et Cherubini* 2012). Los principales factores que el comprador considera son “la dimensión, la forma del fuste (la redondez y la rectitud), la proporción de duramen y albura, la regularidad de los anillos de crecimiento, el número de nudos, el color, la textura y la pudrición en la primera troza” (Kollert y Cherubini 2012).

El mercado asiático absorbe madera joven, de diámetros menores proveniente de raleos, lo cual implica anticipo de ingresos antes de la corta final. Es importante tener en cuenta que actualmente América Latina no puede competir con Asia en cuanto a la industrialización



de la madera debido principalmente a los costos más altos de mano de obra (De camino *et* Morales, 2013).

Zambrano (2011) elaboró un estudio sobre la comercialización de la teca en la península de Nicoya, Costa Rica, y encontró que el 84% de los 94 productores encuestados vendieron su teca en respuesta a iniciativas del comprador, es decir, no se elaboraron estudios de mercado y la venta de la madera en ese momento obedeció a la necesidad de ingresos de parte de los productores (64%).

### 3.3.4. Precios de la madera de Teca en Costa Rica

Dado que no existe información sistemática sobre los precios de la teca y a nivel del detalle requerido, se evidencia la necesidad de que los estudios de mercado incluyan claramente una etapa de búsqueda de información primaria para llenar las lagunas de información sobre los precios y otros factores de venta. (De Camino *et* Morales, 2013)

A nivel mundial, la Organización Internacional de Maderas Tropicales (OIMT) ha venido publicando precios de la teca en forma bimensual desde 1998. Sin embargo, los precios de la teca en rollo puesta en el mercado en la India (precios CIF) sirven como un punto de referencia y son una manera de revisar tendencias en el mercado internacional, pero no son apropiados para el análisis de rentabilidad a nivel local. (De Camino *et* Morales, 2013).

En el caso de Costa Rica, la Oficina Nacional Forestal (ONF, 2014) empezó a publicar en su página en internet desde el 2007 y en forma sistemática, los precios de especies de interés comercial, incluyendo la teca. Según OFN (2013), existen múltiples escenarios para el comercio de la madera de teca para la exportación:

1. Venta de madera en pie: Precio por hectárea, precio por árbol, precio por troza resultante.
2. Venta de madera en troza puesta en finca
3. Venta de madera cargada en contenedor
4. Venta de madera en bloque limpio (madera totalmente escuadrada sin restos de corteza) o bloque rústico (madera levemente escuadrada con restos de corteza) puesto en finca
5. Venta de madera en bloque limpio o bloque rústico cargado en contenedor.
6. Venta de madera en troza o en bloque puesta en puerto de embarque.
7. Venta de madera en troza o en bloque puesta en el puerto de destino.

Según OFN (2014) la teca es la tercera especie más valiosa después del Cenízaro y el Guanacaste con un precio de 196 colones por pulgada maderera tica (¢/pmt) en pie y 1.075 ¢/pmt la madera aserrada (Tabla 2).

En el informe de la OFN para el año 2013, se publicó el precio de la madera de teca según clases diamétricas para los escenarios de: venta de madera en pie y venta de madera en troza cargada en contenedor. Se comprueba el mayor precio de la troza cargada en contenedor y que los precios se incrementan de forma más que proporcional según su diámetro (Tabla 3).

Anejo IV. Análisis financiero

**Tabla 2.** Precios de referencia de madera en pie, en troza puesta en patio de aserradero y aserrada expresada en colones por pulgada maderera tica (¢/pmt) para el primer semestre del 2014.

Fuente. OFN, 2014

Especie	En pie (col/pmt)	En troza puesta en patio de aserradero (col/pmt)			Aserrada (col/pmt)
		<30cm	3-10cm	>10cm	
Acacia	45	392	136	147	352
Acéhuano	70	N/A	100	110	310
Ananillo	75	N/A	180	180	463
Areño	ND	N/A	240	240	600
Balsa	ND	85	85	100	ND
Bolarama	86	107	167	189	360
Caobilla	113	N/A	N/A	254	518
Ceibo	67	100	140	147	334
Cedro Amargo	180	N/A	N/A	311	657
Cenizaro	200	N/A	N/A	345	963
Chilamate	ND	N/A	N/A	170	350
Ciprés	99	133	175	210	400
Eucalipto	70	100	152	161	328
Formaleta	75	N/A	N/A	159	374
Fufo Dorada	ND	N/A	110	180	350
Gallinazo	67	N/A	ND	154	300
Gavilán	95	N/A	ND	210	612
Guanacaste	200	N/A	N/A	332	954
Jalú	60	120	140	150	290
Lagarto	100	N/A	180	ND	303
Laurel	95	123	178	213	520
Laurel (para tarimas)	69	98	140	160	278
Melina	80	N/A	156	168	426
Melina (para tarimas)	62	110	156	168	270
Nispero	ND	N/A	N/A	400	1500
Pilón	110	N/A	197	268	603
Pilón (cultivado)	55	105	ND	ND	338
Pino	106	125	170	190	430
Pochote	85	ND	190	264	648
Pochote (cultivado)	57	88	140	158	320
Pao	ND	N/A	N/A	ND	350
Roble Coral	73	N/A	N/A	230	650
Roble Coral (cultivado)	53	93	153	153	335
Semiduro	113	N/A	N/A	235	600
Tamarindo	100	N/A	N/A	185	766
Tilia	196	227	313	469	1075
Terminalla	56	103	150	160	245

Dónde:

Una pulgada maderera tica (pmt) equivale a una pieza de 1" x 1" x 4 varas (2,54 cm x 2,54 cm x 3,36 m)

En madera en rollo (en pie y en troza): 1 m<sup>3</sup> equivale a 362 pmt. 2,54 cm x 2,54 cm x 3,36 m

En madera aserrada: 1m<sup>3</sup> equivale a 462 pmt.

N/A: No aplica en vista de la especie y la categoría diamétrica.

N/D: no disponible.

**Tabla 3.** Precios de la madera de teca en Costa Rica, según clases diamétricas, por la venta de madera en pie para el primer semestre de 2013 (Izda.) y precio de la madera de teca en Costa Rica, según clases diamétricas, para troza cargada en contenedor para el primer semestre de 2013 (Dcha.).

Fuente. ONF, 2013

Circunferencia (cm)	Precio para trozas con largo =>6,0m (US\$/m <sup>3</sup> )	Precio para trozas entre con largo 4,5m - 5,95m (US\$/m <sup>3</sup> )	Precio para trozas con largo =2,2m o =2,6m (US\$/m <sup>3</sup> )
40-45	85	72	51
46-50	115	98	69
51-55	145	123	87
56-60	175	149	105
61-65	205	174	123
66-70	235	200	141
71-75	265	225	159
76-80	295	251	177
81-85	325	276	195
86-90	365	310	219
91-95	385	327	231
96-100	415	353	249
101-105	445	378	267
106-110	475	404	285
111-115	505	429	303
116-120	535	455	321
121+	565	480	339

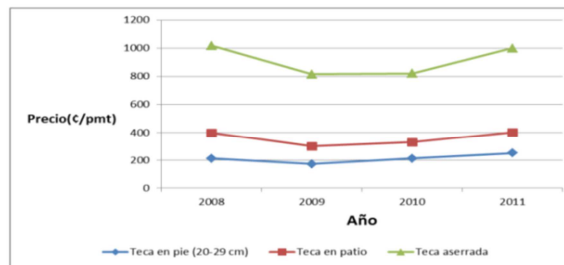
Circunferencia (cm)	Precio para trozas con largo =>6,0m (US\$/m <sup>3</sup> )	Precio para trozas entre con largo 4,5m - 5,95m (US\$/m <sup>3</sup> )	Precio para trozas con largo =2,2m o =2,6m (US\$/m <sup>3</sup> )
40-45	128	108	77
46-50	155	132	93
51-55	184	156	110
56-60	213	181	128
61-65	243	206	146
66-70	272	232	163
71-75	302	257	181
76-80	332	282	199
81-85	362	307	217
86-90	403	342	242
91-95	421	358	253
96-100	451	384	271
101-105	481	409	289
106-110	511	434	307
111-115	541	460	325
116-120	571	485	343
121+	601	511	361

Expresado en US\$/m<sup>3</sup> hoppus

Volumen m<sup>3</sup> hoppus = [(Circunferencia (cm))<sup>2</sup> \* Largo (m)]/160000 y castigos: 6 cm en circunferencia y 5 cm en el largo

En cuanto a la tendencia de los precios en Costa Rica, tras la baja generalizada en el precio de teca en 2009, los precios en pie y patio de industria muestran una tendencia creciente desde el 2010; mientras que la madera aserrada casi iguala el precio más alto registrado en

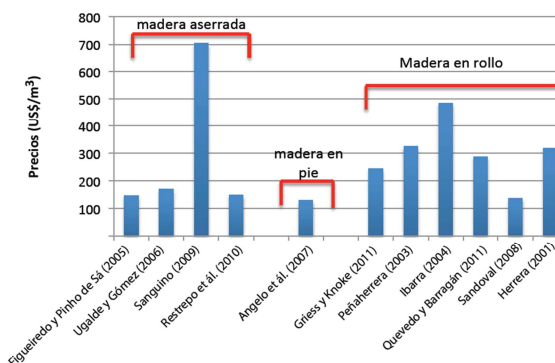
2008 (Figura 4). En el año 2011, el precio de la madera en pie aumentó un 18% y la madera en patio y aserrada un 22%. (Paniagua *et* Salazar, 2011).



**Figura 4.** Tendencia de los precios de madera de teca en pie, en patio y aserrada en Costa Rica, expresada en colones por pmt-r (pulgadas madereras ticas en rollo) o pmt-s (pulgadas madereras ticas aserrada) en Costa Rica entre los años 2008 y 2011.

**Fuente.** Paniagua *et* Salazar, 2011.

Según los resultados del estudio de Zambrano (2011), en la península de Nicoya, los pequeños y medianos productores de esta zona contaban con un promedio de 4 hectáreas, el 85% de los productores vendió su madera en pie, el 10% la vendió por árbol medido y el 5% como madera aserrada. La edad media de venta fue a los 16 años y el precio promedio de 42,74\$/árbol, esto es, 54 \$/m<sup>3</sup> (Figura 5). Este autor también afirma que los principales problemas de la comercialización de la teca en la península de Nicoya son: la falta de información, escaso nivel organizativo para la comercialización, poca capacidad de negociar y un alto nivel de intermediación.



**Figura 5.** Precios promedio ponderados según tipo de productos (en \$/m<sup>3</sup>), utilizados para determinar la rentabilidad de plantaciones de teca en estudios de casos en América Latina.

**Fuente.** Zambrano, 2011, extraído de De camino *et* Morales, 2013.

### 3.3.5. Precio de la carne de res en Costa Rica

En Costa Rica, la Corporación Ganadera (CORFOGA), creada por la Ley 7837 del Poder Legislativo y publicada en la Gaceta N° 210, facilita la información y el conocimiento de temas comerciales y de mercado para el sector cárnico bovino.

Se debe distinguir entre el precio canal, precio de la carne de res procesada para la venta, y precio en subasta. De la misma forma, el precio para individuos de distintos rangos de pesos es más o menos similar (CORFOGA, 2012).

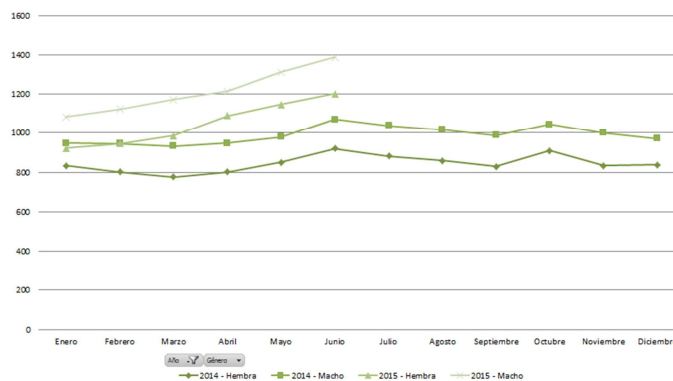
El precio del kg de res en subasta es ligeramente superior para los machos (promedio de 990 ¢/kg, en el año 2014) en relación con las hembras (promedio de 845 ¢/kg, en el año

2014). En los primeros meses del año 2015, el precio aumentó ligeramente, alcanzando en el mes de abril los máximos (1054 ¢/kg las hembras y 1229 ¢/kg los machos) de estos dos años (Tabla 4).

**Tabla 4.** Precio mensual, en colones por kilogramo (¢/kg), para venta de bovinos comercializados en subasta en los años 2014 y 2015 en Costa Rica.

**Fuente.** Federación de Subastas Ganaderas (FESUGAN), COFOGA, 2015.

Mes	Año 2014			Año 2015			Promedio general
	Hembra	Macho	Promedio	Hembra	Macho	Promedio	
Enero	834	949	894	925	1083	1008	951
Febrero	800	946	877	945	1124	1039	958
Marzo	775	933	858	986	1173	1085	971
Abril	801	947	878	1087	1215	1155	1016
Mayo	851	980	919	1146	1311	1233	1076
Junio	920	1070	999	1202	1389	1300	1149
Julio	883	1039	965	-	-	-	965
Agosto	858	1018	942	-	-	-	942
Septiembre	831	988	910	-	-	-	910
Octubre	910	1046	982	-	-	-	982
Noviembre	833	1001	921	-	-	-	921
Diciembre	839	969	907	-	-	-	907
<b>Total general</b>	<b>845</b>	<b>990</b>	<b>921</b>	<b>968</b>	<b>1130</b>	<b>1051</b>	<b>953</b>



**Figura 6.** Evolución del precio del ganado bovino en pie en subasta en colones por kilogramo (¢/kg)

**Fuente.** Federación de Subastas Ganaderas (FESUGAN), COFOGA, 2015.

### 3.3.6. Mecanismos financieros de PSA en Costa Rica

Como ya se desarrolló en el Anejo II, los mecanismos financieros por PSA son un reconocimiento financiero por parte del Estado a los propietarios y poseedores de bosques y plantaciones forestales por los servicios ambientales que éstos proveen y que inciden directamente en la protección y mejora del medio ambiente. (FONAFIFO, 2014).

El monto total para la modalidad de protección de bosque, en el año 2014, fue de 161.600 colones, repartidos de forma equitativa durante los 5 primeros años. Para la modalidad de reforestación el monto es de 494.900 colones de los cuales la mitad se ofrecen durante el primer año, el 20% en el segundo, 15% en el tercero, 10% en el cuarto y el 5% restante en el quinto año (Tabla 5).

**Tabla 5.** Distribución de montos asignados (Izda.) y distribución porcentual (Dcha.) para el Pago de los Servicios Ambientales por modalidad para el año 2014 en Costa Rica.

**Fuente.** FONAFIFO, 2014.

Alumno: Antonio Leceguí Perepérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

Modalidad	Monto (¢)
Protección de Bosque	161.600,00
Protección de Recurso Hídrico	202.000,00
Protección en Vacíos de Conservación	189.375,00
Protección Dentro de Áreas Silvestres Protegidas	161.600,00
Reforestación	494.900,00
Reforestación con Especies en Vías de Extinción	742.350,00
Reforestación en Áreas de Protección	494.900,00
Segundas Cosechas	494.900,00
Regeneración en Potrerros	103.525,00
Regeneración con Potencial Productivo	103.525,00
Manejo de Bosque	126.250,00
Sistemas Agroforestales	656,00
Sistemas Agroforestales en Café	656,00
Sistemas Agroforestales Especies en Extinción	985,00

Fuente: Decreto Ejecutivo No. 38323-MINAE

Distribución de los Pagos de los Servicios Ambientales del Período 2014, por Modalidad					
Modalidades	1er año	2do año	3er año	4to año	5to año
Protección de Bosque	20%	20%	20%	20%	20%
Protección dentro de Áreas Silvestres Protegidas	20%	20%	20%	20%	20%
Protección de Recurso Hídrico	20%	20%	20%	20%	20%
Protección en Vacíos de Conservación	20%	20%	20%	20%	20%
Regeneración en Potrerros	20%	20%	20%	20%	20%
Regeneración con Potencial Productivo	20%	20%	20%	20%	20%
Reforestación	50%	20%	15%	10%	5%
Reforestación en Áreas de Protección	50%	20%	15%	10%	5%
Reforestación con Especies en Vías de Extinción	50%	20%	15%	10%	5%
Segundas Cosechas	50%	20%	15%	10%	5%
Manejo de Bosque	20%	20%	20%	20%	20%
Sistemas Agroforestales	65%	20%	15%	-	-
Sistemas Agroforestales en Café	65%	20%	15%	-	-
Sistemas Agroforestales con Especies en Vías de Extinción	65%	20%	15%	-	-

Fuente: Decreto Ejecutivo No. 38323-MINAE

### 3.3.7. Mercado Doméstico Voluntario de Carbono de Costa Rica

El Mercado Doméstico Voluntario de Carbono en Costa Rica (MDVCCR), también desarrollado en el Anejo II, son instrumentos para el intercambio y la comercialización de créditos de carbono generados por proyectos o actividades y tiende a apoyar la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (MINAE, 2013)

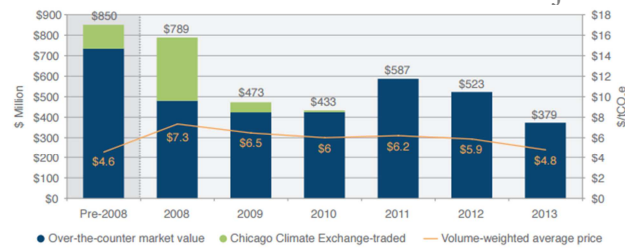
Los precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente es diferente según los principales mercados voluntarios de carbono. El Verified Carbon Standard (VCS) ofrece valores de entre 0,60 \$/t CO<sub>2eq</sub> y 4 \$/t CO<sub>2eq</sub>. Los créditos de compensación de carbono de Climate Reserve Tonnes (CRT) ofrece precios de entre 1,5\$/t CO<sub>2eq</sub> y 2,5\$/t CO<sub>2eq</sub> y el Gold Standard entre 5,36 \$/t CO<sub>2eq</sub> y 6,31 \$/t CO<sub>2eq</sub> (Tabla 6).

Los precios medios del mercado internacional, muestran valores de hasta 7,3 \$/t CO<sub>2eq</sub> en el año 2008 y hasta 4,8 \$/t CO<sub>2 eq</sub> para el año 2013, siendo el precio medio histórico promedio de 5,9 \$/t CO<sub>2eq</sub> (Figura 7). En base a estos valores, Salgado *et al.*, 2013 seleccionó un precio de referencia conservador relativamente bajo de 3\$/t CO<sub>2 eq</sub> como base de sus análisis. En América Latina, el precio de los créditos de carbono fue de 5 \$/t CO<sub>2 eq</sub> para el año 2010 y de 11 \$/t CO<sub>2 eq</sub> para el año 2011 (Peters-Stanley *et Hamilton*, 2012).

**Tabla 6.** Precios de referencia en los principales mercados voluntarios de carbono.

Fuente. Salgado *et al.*, 2013.

	LÍMITE INFERIOR (US \$)	LÍMITE SUPERIOR (US \$)	MEDIO (US \$)
VCS Premium	3.00	4.00	3.50
VCS Industrial	0.60	0.95	0.77
CRT Standard	1.50	2.50	2.00
Gold Standard	5.36	6.31	5.84



Notes: Based on responses representing 76 MtCO<sub>2</sub>e in transacted offset volume.  
Source: Forest Trends Ecosystem Marketplace. *Sharing the Stage: State of the Voluntary Carbon Markets 2014*.

**Figura 7.** Valores totales del Mercado Voluntario de Carbono mundial y precio medio de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente.

**Fuente.** Peters-Stanley *et* González, 2014.

### 3.4. Rendimiento de la plantación e ingresos esperados

Los ingresos económicos por los productos y servicios generados en la finca son aditivos según los escenarios. Así para el escenario 1 de “plantación de teca tradicional” los ingresos vienen en forma de venta de madera de teca. Para el escenario 2 a los ingresos por venta de madera se le suman los ingresos por venta de animales engordados y en el escenario 3 a estos ingresos se le añaden lo de PSA.

**Tabla 7.** Estructura de los ingresos por productos y servicios generados en la finca para cada uno de los escenarios.

Escenario		Producto/servicio	Periodo del ingreso	
1	2	3	Madera de raleos	Años 8 y 12
			Madera corta final	Año 18
			Carne de terneros	Desde el año 4 al 17
			Pagos por Servicios Ambientales	Desde el año 1 al 5

Los ingresos en forma de venta de madera se obtuvieron realizando un modelamiento del crecimiento de la plantación según el IMA en volumen comercial estimado en base a la comparación de inventarios de las PPM de la finca (Anejo III). El modelamiento se realizó aplicando un IMA de 8,1 m<sup>3</sup>/ha/año de volumen comercial para 8 cm en punta delgada. A este modelamiento se le añadió el régimen de raleos y su peso, reportado por el dueño de la finca para obtener el volumen de madera en troza puesta en contenedor de cada operación. Los raleos se realizaron en los años 4, 8, 12 y la corta final en el año 18, sin embargo, el raleo del año 4 se considera no comercial, por lo que no reporta ningún beneficio. Finalmente este volumen se multiplicó por el precio de la madera de teca según dimensiones, obtenido en el estudio de mercado, para estimar los ingresos por venta de madera en una hectárea. Al raleo del año 8 se le aplicó el precio de madera menor a 8 pulgadas, el del año 12 se consideró madera de entre 8 y 10 pulgadas y la corta final madera superior a 10 pulgadas.

En el sistema ganadero se asumió la constante de que los animales entran al sistema con un peso de 165 kg y a su salida, tras un año, pesan 337,5 kg. Los ingresos por la venta de ganado se calcularon a partir de la capacidad de carga de cada periodo reportado por el dueño de la finca (a la que finalmente se descontó un 5% por la pérdida de animales, muerte o robo), el peso de los animales al final de la etapa de engorde (a la que se le descontó un 6% por la pérdida de peso durante el transporte) y el precio de venta de la carne de res hembra en subasta (descontando el 4% por la comisión de la subasta).



Los montos y distribución de los ingresos por PSA en la modalidad de protección y repoblación se reportaron de la web del Fondo Forestal de Financiamiento Nacional (FONAFIFO) para el año 2014. Estos valores se extrapolaron según el porcentaje de superficie para cada una de estas modalidades para obtener el ingreso de una hectárea media (0,682 ha de plantación de teca y 0,311 ha de protección).

### 3.5. Identificación de las actividades de manejo, intensidad y costos asociados

Para cada escenario se documentaron, por medio de encuestas al propietario, las actividades de manejo y sus costes por insumos, servicios o mano de obra.

En el subsistema forestal se siguieron las recomendaciones de De Camino *et* Morales (2013), incluyendo todos los costos según los cinco grandes tipos de actividades requeridas para producir la teca:

- Establecimiento: Contemplan la compra o alquiler de la tierra, la construcción de caminos, la infraestructura, preparación de la tierra (limpieza, ahoyado), material de plantación, fertilización, maquinaria, herramientas, vehículos, servicios profesionales de ingenieros forestales etc.
- Mantenimiento/manejo: Labores que incluyen el manejo de plagas, control de incendios, eliminación de malezas, podas, desbejudadas etc.
- Raleos/aprovechamiento: costos asociados a los raleos precomerciales, comerciales, de corta final, transporte al patio de acopio, y sus respectivos costos de materiales, mano de obra y servicios.
- Comercialización: Costos del estudio de mercado al inicio y a lo largo del proyecto, búsqueda/negociación con el comprador para los productos de raleo y corta final.
- Administración: Actividades relacionadas con la gestión de la plantación, incluyendo costos de personal de administración, vigilancia, equipo y materiales de administración, servicios como teléfono y luz, impuestos, costos de certificación, inventarios e imprevistos.

El precio reportado por el propietario del coste de la tierra fue actualizado al momento actual mediante la siguiente fórmula:

$$C_n = C_o * (1 + i)^n$$

Dónde:

$C_n$  = Capital final

$C_o$  = Capital inicial

$i$  = Tipo de interés

$n$  = Número de años

En el caso del sistema ganadero, los costos que se diferenciaron fueron los referentes a la comercialización de los animales (compra y transporte), los insumos anuales para la producción, productos veterinarios y mano de obra.

### 3.6. Flujos de caja e indicadores de rentabilidad

Con la información recopilada sobre el precio de la tierra, los costos de establecimiento, ingresos y gastos anuales generados para cada escenario, se elaboraron los flujos de caja. Éstos se calcularon a partir de una tabla en la que se indicaron, para cada año, los costos e

ingresos, la diferencia entre ellos o flujo neto y el flujo acumulado definido como la suma de todos los valores de flujo neto anteriores al año considerado. En el caso del precio de la tierra, se incluyó en el año 0 como un coste, aunque en el análisis de sensibilidad también se contempló incluirlo como un activo con el mismo valor.

Los indicadores de viabilidad económica de proyectos de inversión, de tipo dinámico, que se evaluaron son: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor esperado de la Tierra (VET), relación Beneficio/Coste (B/C) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PIR). A continuación se describe cada uno de ellos:

- Valor Actual Neto (VAN) o Valor Presente Neto (VPN): Es el valor presente de un determinado número de flujos de caja (Ingresos – Costos) futuros originados por una inversión. Para una tasa de actualización ( $r$ ) constante, y una inversión a  $n$  años, siendo  $I_0$  el valor de la inversión,  $B_i$  los beneficios anuales y  $C_i$  los costos anuales para el año 1, el VAN se calcula como sigue:

$$VAN(r) = \sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1+r)^i} - I_0$$

El VAN nos informa del beneficio absoluto que se obtiene del proyecto de inversión. De esta forma, si se obtiene un VAN positivo el análisis nos indicará que el valor actualizado de las entradas y salidas de la inversión proporciona beneficio, expresado por dicho importe a la fecha inicial por encima del que obtendríamos considerando esa inversión a un coste o rendimiento mínimo exigido (coste de oportunidad). Sin embargo, si el VAN resulta negativo, indicará que a esa tasa de actualización se produce una pérdida de la cuantía que exprese el VAN.

- Tasa Interna de Retorno (TIR): Es la tasa de actualización o tipo interés que hace igual a cero el valor del VAN.

$$\sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1+TIR)^i} - I_0 = 0$$

El T.I.R. informa de la rentabilidad de la inversión, por lo tanto, es un indicador relativo al capital invertido. Se considera que el proyecto es rentable cuando el TIR es mayor que la tasa de interés seleccionada para el cálculo.

- Valor esperado de la Tierra (VET): Es el valor actual neto de una serie futura de rotaciones a intervalos regulares. Este indicador puede ser usado para comparar proyectos cuando se asume que el mejor uso de la tierra es bajo una plantación forestal en perpetuidad, y que cada rotación poseerá costos e ingresos idénticos. Puede ser calculado en base al VAN de la primera rotación de la siguiente manera (Balbuena, 2001):

$$VET = VAN * \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

- Relación Beneficio/Coste (B/C), Indica la ganancia neta generada por el proyecto por cada unidad monetaria invertida. Se calcula de la siguiente forma:



$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1-i)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1-i)^i}}$$

- Periodo de Recuperación de la Inversión (PIR) o payback: Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. El PIR se calculó mediante el cociente del valor absoluto del último flujo de caja acumulado negativo y el valor del flujo de caja en el siguiente año, sumado al último año con flujo de caja negativo.

### 3.7. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es el procedimiento por medio del cual se puede determinar cuánto afecta o qué tan sensible son los indicadores financieros ante cambios en determinadas variables de la inversión, considerando que las demás no cambian (Baca, 2006, Morales *et Morales*, 2009, citado por Pérez *et al.*, 2012). Se trata, en definitiva, de un análisis de riesgo.

Los factores principales que influyen en la rentabilidad de las plantaciones forestales, incluyendo la teca, y que deben ser evaluados por medio de un análisis de sensibilidad, son el crecimiento de los árboles, los precios de la madera, el valor de la tierra y los costos de manejo (Walotek, 2011). Siguiendo las afirmaciones Walotek (2011), se calculó la variación de los indicadores de rentabilidad modificando porcentualmente en un aumento y descenso del 5 y 10% de los siguientes determinantes de costos e ingresos:

- IMA (m<sup>3</sup>/ha\*año)
- Precio de la madera de los distintos tamaños (\$/m<sup>3</sup>)
- Precio de carne subasta de res hembra de compra y venta (\$/kg)
- Costo mano de obra (\$/h)
- Tasa de descuento (%)

Además, siguiendo las recomendaciones de De Camino *et Morales* (2013), se realizó un análisis incluyendo el valor de la tierra al inicio como un costo y en el último año del análisis como un activo.

También se realizó el análisis sin tener en cuenta el coste de la tierra y otro extrapolando los valores de la superficie de la finca a la superficie de plantación neta con objeto de facilitar la comparación de los resultados financieros con otros análisis.

### 3.8. Comparación de PSA y mercado de carbono

Se estimó el beneficio que se obtendría si la plantación participase en el Mercado Doméstico Voluntario de Carbono en Costa Rica (MDVCCR) valorando diferentes precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente y comparando dicho beneficio con el obtenido por los PSA en la modalidad de reforestación.

Se partió de la estimación de la biomasa que se realizó en el inventario continuo de las PPM (Anejo V), para la que se utilizó la relación alométrica de biomasa aérea total para teca en Costa Rica propuesta por Pérez *et Kanninen* (2003).

Con los valores de biomasa aérea por hectárea en cada lote se estimó el Carbono almacenado por hectárea siguiendo los criterios de Kollmann (1959), según el cual, la composición de la madera es idéntica en las distintas especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol, en sus diversas partes, tronco y ramas. Por esta razón se admite que todas las maderas en seco contienen un 50% de Carbono.

Puesto que los precios del MDVCCR de la literatura están en referencia a las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, se estimó el contenido de CO<sub>2</sub> para cada lote multiplicando su contenido de carbono por el factor 3,66. Este factor se obtuvo del cociente de los valores de las masas moleculares entre CO<sub>2</sub> y C, como sigue:

$$\frac{CO_2}{C} = \frac{12 * (16 + 2)}{12} = \frac{44}{12} = 3,66$$

Una vez obtenidos los valores de CO<sub>2</sub> almacenado en toneladas para cada lote de la plantación, se aplicaron distintos valores de precios en dólares por tonelada, para comprobar cómo evolucionarían los beneficios de la plantación en el MDVCCR.

Además, se calculó el precio que igualaba los montos recibidos por los incentivos financieros de PSA en la modalidad de reforestación para, finalmente, sacar conclusiones acerca de la conveniencia, desde el punto de vista económico, de adscribirse a PSA o al MDVCCR.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Selección de parámetros de cálculo

El periodo de análisis o el número de años en los que se contabilizaron los gastos e ingresos fue igual al periodo de rotación de la plantación, esto es 18 años para los tres escenarios.

La mayoría de la información para el estudio financiero se recopiló en colones, moneda oficial de Costa Rica. Con objeto de tener una interpretación más amplia, se decidió realizar el estudio en dólares americanos utilizando la tasa de cambio de 1\$=526,65¢ y una tasa de interés del 8%, según el Banco Central de Costa Rica a fecha de 27/5/2015 (Tabla 8).

**Tabla 8.** Tasas de cambio monetario aplicado en el estudio financiero.

1 Dólar (\$)	526,65 Colones (¢)
1 Euro (€)	1,08910 Dólar (\$)
1 Euro (€)	573,575 Colones (¢)

El Incremento Medio Anual (IMA) en volumen comercial de la plantación se asumió en 8,1 m<sup>3</sup>/ha/año (Anejo III), el precio de la madera utilizado para el cálculo fue de 156,03 \$/m<sup>3</sup> para trozas de diámetro menor a 8 pulgadas, 215,14 \$/m<sup>3</sup> para trozas entre 8 y 10 pulgadas y 322,37 para trozas mayores a 10 pulgadas. El precio de la carne de res fue de 2,27 \$/kg para la compra y 2,55 \$/kg para la venta y el costo de la mano de obra se asumió en 18,06 \$/jornal (Tabla 9).

**Tabla 9.** Precios asumidos de las variables financieras para el estudio financiero.

Parámetro	Valor reportado	Unidad	Valor de cálculo	Unidad
IMA (m <sup>3</sup> /ha/año)*	12	m <sup>3</sup> /ha/año	8,1	m <sup>3</sup> /ha/año
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> ) < 8 pulgadas (>20,32 cm)**	227	€/pmt	156,03	\$/m <sup>3</sup>
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> ) 8-10 pulgadas**	313	€/pmt	215,14	\$/m <sup>3</sup>
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> ) > 10 pulgadas (>25,4 cm)**	469	€/pmt	322,37	\$/m <sup>3</sup>
Precio de carne subasta de res hembra compra (\$/kg)	1197,8	€/kg	2,27	\$/kg
Precio de carne subasta de res hembra venta (\$/kg)***	1399,2	€/kg	2,55	\$/kg
Costo mano de obra (\$/jornal)	9509,34	€/jornal	18,06	\$/jornal

\* El IMA en m<sup>3</sup> de volumen comercial por hectárea, reportado en el inventario de las PPM, se multiplicó por 0,68 ha de plantación útil de teca que tiene una hectárea de la finca.

\*\* 1 m<sup>3</sup> equivale a 362 pmt

\*\*\* A la carne de res en subasta se le ha aplicado un descuento del 4% por la comision aplicada en la subasta.

#### 4.2. Rendimiento de la plantación e ingresos esperados

La modelización de crecimiento de la plantación forestal con el régimen silvícola reportado para los 18 años de ciclo, muestra que la posibilidad comercial de la plantación son 145,80 m<sup>3</sup> de madera de teca, lo que según el precio fijado equivale a 36.762,04 \$ de ingresos durante todo el periodo (Tabla 10).

**Tabla 10.** Modelización del crecimiento en volumen comercial y extracción de árboles en una hectárea de plantación de teca en Abangares, Guanacaste.

Edad de la plantación	Año	Densidad (p/ha)	Peso del raleo (%)	Arboles extraídos	Volumen comercial en pie (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial extraído (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen comercial remanente (m <sup>3</sup> /ha)	Ingreso bruto* (\$/ha)
0	2008	816			0		0	
1	2009	816			8,1		8,1	
2	2010	816			16,2		16,2	
3	2011	816			24,3		24,3	
4	2012	653	20	163	32,4	6,48	25,92	
5	2013	653			34,02		34,02	
6	2014	653			42,12		42,12	
7	2015	669			50,22		50,22	
8	2016	335	50	335	58,32	29,16	29,16	4549,88
9	2017	335			37,26		37,26	
10	2018	335			45,36		45,36	
11	2019	335			53,46		53,46	
12	2020	335	50	167	61,56	30,78	30,78	6622,16
13	2021	167			38,88		38,88	
14	2022	167			46,98		46,98	
15	2023	167			55,08		55,08	
16	2024	167			63,18		63,18	
17	2025	167			71,28		71,28	
18	2026	167			79,38	79,38	0	25590,01
<b>Total venta de madera (€/ha)</b>								<b>36762,04</b>

\* El precio de la madera puesta en contenedor utilizado es de 156,03 \$/m<sup>3</sup> para madera menor de 8 pulgadas (20,32 cm) para el primer raleo comercial; 215,14 \$/m<sup>3</sup> para madera entre 8 y 10 pulgadas (20,32 - 25,4 cm) del segundo raleo comercial y 322,37 \$/m<sup>3</sup> para madera mayor de 10 pulgadas (25,4 cm) en la corta final.

Los ingresos del subsistema ganadero son de 253,67 \$/año durante los años 3, 4 y 5 en los que la carga ganadera es 0,33 animales/ha y de 138,38 \$/año durante los años 6 al 17, durante los cuales se reduce la carga ganadera a 0,17 animales/ha (Tabla 11).

**Tabla 11.** Estructura de ingresos de la parte ganadera

Actividad	Carga ganadera (Animales/ha)	Precio subasta venta res hembra (\$) *	Peso total de reses para la venta (Kg) **	Periodo	Monto por año del periodo (\$)
Venta de terneros	0,33	2,55	99,46	Años 3,4 y 5	253,67
Venta de terneros	0,17	2,55	54,25	Año 6-17	138,37

\* El precio en subasta de la carne de res hembra se extrajo de COFOGA (2015). A este valor se le descontó un 4% por la comisión de la subasta.

\*\* El peso de los animales al final de la etapa de engorde fue reportado por el propietario de la finca (337,5 kg). Para el cálculo de los kilogramos de carne para su venta, se ha descontado un 5% de la carga ganadera final por pérdida, muerte o robo de ganado. Además, se descontó un 6% del peso al final de la etapa de engorde por la pérdida de peso durante el transporte.

Los ingresos aportados por los incentivos financieros de PSA según el FONAFIFO para el año 2014 son de 306,85 \$/ha en la modalidad de protección de bosque. Éstos se distribuyen equitativamente en un 20% anual durante los 5 primeros años de la plantación. En la modalidad de reforestación el monto a recibir es 939,71\$/ha, que se distribuyen en el 50% durante el primer año, 20% en el segundo, 15% en el tercero, 10% en el cuarto y 5% en el quinto año (Tabla 12).

**Tabla 12.** Monto y distribución de los ingresos por PSA según modalidades

Fuente. FONAFIFO.

Modalidad	Monto (€)	Monto (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Protección de bosque	161,600	306,85	20%	20%	20%	20%	20%
Reforestación	494,900	939,71	50%	20%	15%	10%	5%

Estos ingresos por incentivos financieros ajustados a la hectárea media de la finca, de 0,682 ha de plantación de teca, por la que recibe PSA en la modalidad de reforestación y 0,311 ha de protección, por las que se reciben PSA en la modalidad de protección de bosque, fueron de 736.59 \$/ha distribuidos durante los 5 primeros años (Tabla 13).

**Tabla 13.** Monto y distribución de los ingresos por PSA en una ha media de 0,6823 ha de plantación de teca y 0,3109 ha de protección

Modalidad	Monto (\$)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Protección de bosque	95,4	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08
Reforestación	641,19	320,6	128,24	96,18	64,12	32,06
<b>Total</b>	<b>736,59</b>	<b>339,68</b>	<b>147,32</b>	<b>115,26</b>	<b>83,2</b>	<b>51,14</b>

#### 4.3. Identificación de actividades de manejo, intensidad y costos asociados

El precio de compra del terreno, reportado por el propietario, fue de 2700\$/ha en el año 2006, incluyendo superficie de protección, infraestructura (caminos y cercas) y superficie de plantación. Este valor actualizado al momento actual (año 2015) es:  $2700 * (1 + 0,08)^{(2015-2006)} = 5546,21$  \$/ha.

**Tabla 14.** Estructura de costos para la plantación de teca en el escenario de plantación de teca

Actividad	Descripción	Unidad	Precio (\$) /unidad	Rendimiento por ha	Periodo	Monto/año del periodo (\$)
<b>Inversión inicial</b>						
Terreno e infraestructura (Caminos, edificios, cercas...)*	Terreno	ha	5.397,31		Año 0	5.397,31
<b>Preparación del terreno</b>						
Chapia de inicio	Mano de obra	jornal	18,06	6	Año 0, 1 y 2	108,34
Machete	Herramienta	Unidad	4,25	4	Año 0	17
Distribución de herbicida inicio	Servicio	h	20	2	Año 0	40
Preparación del herbicida	Mano de obra	jornal	18,06	1	Año 0	18,06
Glifosato	Insumo	litro	8	3	Año 0	24
<b>Plantación</b>						
Trazado y marcado	Mano de obra	jornal	18,06	4,5	Año 0	81,25
Cinta métrica	Herramienta	Unidad	15	2	Año 0	30
Pintura Spray	Herramienta	Unidad	12	2	Año 0	24
Subsolado	Servicio	h	20	4	Año 1	80
Ahoyado y plantación	Mano de obra	jornal	18,06	3	Año 1	54,17
Plantas puestas en terreno	Insumo	Unidad	0,32	850	Año 1	272
Palin	Herramienta	Unidad	17,9	3	Año 1	53,7
Aplicación fertilizante de inicio	Mano de obra	jornal	18,06	2	Año 1	36,11
Fertilizante 10-30-10	Insumo	kg	29,33	2	Año 1	58,66
Reposición de marras	Mano de obra	jornal	18,06	2,5	Año 2	45,14
Plantas puestas en terreno	Insumo	Unidad	0,25	50	Año 2	12,5
<b>Mantenimiento/manejo</b>						
Rodajea, poda, deshija y desbejudada	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 0,1,2	90,28
Poda, deshija y desbejudada	Mano de obra	jornal	18,06	3,5	Año 3-5	63,2
Limpia 1 m alrededor del árbol con herbicida	Mano de obra	jornal	18,06	2	Año 3-10	36,11
Glifosato	Insumo	litro	8	3	Año 3-10	24
Limpia total 1	Mano de obra	jornal	18,06	5,5	Año 3-5	99,31
Limpia total 2	Mano de obra	jornal	18,06	2,5	Año 6-17	45,14
Fertilización con urea	Mano de obra	jornal	18,06	3	Año 0,1, 2, 4, 6, 8, 10, 12	54,17
Fertilizante	Insumo	kg	5	3	Año 0,1, 2, 4, 6, 8, 10, 12	15
Poda	Mano de obra	jornal	18,06	4,5	Año 6-16	
Sierra rabo de zorro	Herramienta	Unidad	8	5	Año 0	40
Resina cicatrizante	Insumo	Unidad	8	2	Año 0	16
Aplicación control de plagas	Mano de obra	jornal	18,06	3	Año 0-13	54,17
Plaguicida	Insumo	kg	6	2,5	Año 0-13	15
Bomba espada	Herramienta	Unidad	32	3	Año 0	96
<b>Raleos/aprovechamiento</b>						
Raleo 1	Mano de obra	jornal	18,06	4	Año 4	72,23
Marcado Raleo 1	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 4	54,17
Motosierra	Herramienta	Unidad	55	5	Año 0	275
Raleo 2	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 8	90,28
Marcado Raleo 2	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 8	54,17
Corta y despunte	Mano de Obra	m3	18,06	2,5	Año 8	45,14
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	2,5	Año 8	50
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	2,5	Año 8	45,14
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	2,5	Año 8	45,14
Carga al contenedor	Servicio	h	20	2	Año 8	40
Raleo 3	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 12	90,28
Marcado Raleo 3	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Corta y despunte	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	3	Año 12	60
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Carga al contenedor	Servicio	h	20	3	Año 12	60
Corta final	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 15	90,28
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	3,5	Año 18	70
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	3,5	Año 18	63,2
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	3,5	Año 18	63,2
Carga al contenedor	Servicio	h	20	3,5	Año 18	70
<b>Comercialización y administración</b> (Costos de estudio de mercado, encargado de la finca, polizas, transporte, teléfono y luz, costos de certificación, inventarios, imprevistos y costos empresariales como tramites e impuestos.			62,5	1	Todos	62,5

Alumno: Antonio Leceguí Peropérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

**Tabla 15.** Estructura de costos para la plantación de teca en el escenario de teca con ganado

Actividad	Descripción	Unidad	Precio (\$) /unidad	Rendimiento por ha	Periodo	Monto por año del periodo (\$)
<b>Inversión inicial</b>						
Terreno e infraestructura (Caminos, edificios, cercas...)*	Terreno	ha	5.397,31	1	Año 0	5.397,31
<b>Preparación del terreno</b>						
Chapia de inicio	Mano de obra	jornal	18,06	6	Año 0, 1 y 2	108,34
Machete	Herramienta	Unidad	4,25	4	Año 0	17
Distribución de herbicida inicio	Servicio	h	20	2	Año 0	40
Preparación del herbicida	Mano de obra	jornal	18,06	1	Año 0	18,06
Glifosato	Insumo	litro	8	3.00	Año 0	24
<b>Plantación</b>						
Trazado y marcado	Mano de obra	jornal	18,06	4.5	Año 0	81,25
Cinta métrica	Herramienta	Unidad	15	2	Año 0	30
Pintura Spray	Herramienta	Unidad	12	2	Año 0	24
Subsolado	Servicio	h	20	4	Año 1	80
Ahoyado y plantación	Mano de obra	jornal	18,06	3	Año 1	54,17
Plantas puestas en terreno	Insumo	Unidad	0,32	850	Año 1	272
Palin	Herramienta	Unidad	17,9	3	Año 1	53,7
Aplicación fertilizante de inicio	Mano de obra	jornal	18,06	2	Año 1	36,11
Fertilizante 10-30-10	Insumo	kg	29,33	2	Año 1	58,66
Reposición de marras	Mano de obra	jornal	18,06	2.5	Año 2	45,14
Plantas puestas en terreno	Insumo	Unidad	0,25	50	Año 2	12,5
<b>Mantenimiento/manejo</b>						
Rodajea, poda, deshija y desbejucada	Mano de obra	jornal	18,06	5.00	Año 0,1,2	90,28
Poda, deshija y desbejucada	Mano de obra	jornal	18,06	3.50	Año 3-5	63,2
Limpia 1 m del árbol con herbicida	Mano de obra	jornal	18,06	2.00	Año 3-10	36,11
Glifosato	Insumo	litro	8	3	Año 3-10	24
Fertilización con urea	Mano de obra	jornal	18,06	3.00	Año 0,1, 2, 4, 6, 8, 10, 12	54,17
Fertilizante	Insumo	kg	5	3	Año 0,1, 2, 4, 6, 8, 10, 12	15
Poda	Mano de obra	jornal	18,06	4.50	Año 6-16	
Sierra rabo de zorro	Herramienta	Unidad	8	5	Año 0	40
Resina cicatrizante	Insumo	Unidad	8	2	Año 0	16
Aplicación control de plagas	Mano de obra	jornal	18,06	3	Año 0-13	54,17
Plaguicida	Insumo	kg	6	2.5	Año 0-13	15
Bomba espada	Herramienta	Unidad	32	3	Año 0	96
Mantenimiento de cercas	Mano de obra	jornal	18,06	1.5	Año 0	27,08
<b>Raleos/aprovechamiento</b>						
Raleo 1	Mano de obra	jornal	18,06	4	Año 4	72,23
Marcado Raleo 1	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 4	54,17
Motosierra	Herramienta	Unidad	55	5	Año 0	275
Raleo 2	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 8	90,28
Marcado Raleo 2	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 8	54,17
Corta y despunte	Mano de Obra	m3	18,06	2.5	Año 8	45,14
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	2.5	Año 8	50
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	2.5	Año 8	45,14
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	2.5	Año 8	45,14
Carga al contenedor	Servicio	h	20	2	Año 8	40
Raleo 3	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 12	90,28
Marcado Raleo 3	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Corta y despunte	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	3	Año 12	60
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	3	Año 12	54,17
Carga al contenedor	Servicio	h	20	3	Año 12	60
Corta final	Mano de obra	jornal	18,06	5	Año 15	90,28
Arrastre con tractor	Servicio	h	20	3.5	Año 18	70
Alistado	Mano de Obra	Jornal	18,06	3.5	Año 18	63,2
Medición	Mano de Obra	Jornal	18,06	3.5	Año 18	63,2
Carga al contenedor	Servicio	h	20	3.5	Año 18	70
<b>Comercialización y administración</b> (Costos de estudio de mercado, encargo de la finca, pólizas, transporte, teléfono y luz, costos de certificación, inventarios, imprevistos y costos empresariales como tramites e impuestos.			62,5	1	Todos	62,5

Alumno: Antonio Leceguí Peropérez

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (CAMPUS DE PALENCIA) – E.T.S. DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Titulación de: Máster en Ingeniería de Montes

Anejo IV. Análisis financiero

El manejo, así como la estructura de los costos, es diferente para el escenario 1: “plantación de teca tradicional” frente a los escenarios 2 y 3: “plantación de teca con ganado” y “plantación de teca con ganado y PSA”. En el escenario 1 no se incluyen las labores de mantenimiento de cercas, pues no son necesarias al no presentar ganado. Además, en este escenario se incluyen las actividades de mantenimiento de limpia total (en los escenarios 1 y 2 estas labores son realizadas por el ganado), las cuales tienen un costo de 99.31\$/ha en los años 3 al 5 y de 45,14\$/ha durante los años 6 al 17 (Tabla 14 y Tabla 15). Esto hace que en los escenarios 2 y 3 los costos de mantenimiento se reduzcan por la presencia del ganado. Esta reducción en los costos de mantenimiento también se manifiesta en los costos totales acumulados del periodo de rotación, los cuales fueron de 13.834,22 \$/ha para el escenario 1 y de 12.985,57 \$/ha para los escenarios 2 y 3.

Los costos, para los tres escenarios, son más pesados al inicio de la inversión, en la compra del terreno y el establecimiento de la plantación (años 0 y 1). Los costos de establecimiento (compra de la tierra, preparación del terreno y plantación) ascienden a 6.568,92\$/ha, lo que representa un 47,48% de los costos totales en el escenario 1 y, un 50,55% en los escenarios 2 y 3. Esto coincide con Gómez *et Reiche* (1996) según los cuales, los costos de establecimiento de una plantación forestal representan entre 46-53% de los costos totales.

Los costos de mantenimiento y manejo representan el 32,69 % de los costos totales en el escenario 1 y el 28,34% en los escenarios 2 y 3. Estos costos representan un costo anual de 1,82% de los costos totales en el escenario 1 y un costo anual de 1,91% de los costos totales en los escenarios 2 y 3. Los años de raleos y aprovechamiento (años 4, 8, 12 y 18) son los que acumulan unos mayores costos para los tres escenarios. En el escenario 1 estos costos representan el 11,24% de los costos totales y el 11,97% en los escenarios 2 y 3. Los costes de administración ascienden a 100.000 colones al año en toda la finca (1600ha), lo que supone un total de 62,5 \$/ha\*año. Esto representa un 8,58% de los costos totales en el escenario 1 y un 9,14% de los costos totales en los escenarios 2 y 3 (Tabla 16).

**Tabla 16.** Resumen de la distribución de costos totales al final del periodo del analisis por escenarios y gran actividad de la plantación de teca.

Gran actividad	Escenario 1			Escenarios 2 y 3		
	Costo total (\$)	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)	Costo total (\$)	Costo anual (\$)	Porcentaje (%)
Compra de la tierra	5.397,31	299,85	39,01	5.397,31	299,85	41,54
Preparación del terreno	424,07	23,56	3,07	424,07	23,56	3,26
Plantación	747,54	41,53	5,4	747,54	41,53	5,75
Mantenimiento/manejo	4.522,9	251,27	32,69	3.683,29	204,63	28,34
Raleos/aprovechamiento	1.554,9	86,38	11,24	1.554,9	86,38	11,97
Comercialización y administración	1.187,5	65,97	8,58	1.187,5	65,97	9,14
<b>Total</b>	<b>13.834,22</b>	<b>768,57</b>	<b>100</b>	<b>12.994,6</b>	<b>721,92</b>	<b>100</b>

\* Costo anual del periodo productivo (18 años).

Los costos totales acumulados durante el periodo de rotación de la teca, en el subsistema ganadero (escenarios 2 y 3) ascendieron a 1.905,9\$/ha. De éstos, el 38,2% (727,95\$/ha) se producen durante los años 3, 4 y 5, es decir, 242,65 \$/ha anuales durante ese periodo. El 61,8% restante de los costos totales (1.177,97\$/ha) se producen durante los años 6 al 17 con un promedio de 107,09\$/ha durante estos años. El 73,87% de los costos totales (1.408,01\$/ha) corresponden a actividades de comercialización de los animales, el 2,95%

Anejo IV. Análisis financiero

(56,25\$/ha) a la adquisición de insumos, el 1,88% (35,93\$/ha) a productos veterinarios y el 21,29% (405,73\$/ha) restante a la contratación de mano de obra (Tabla 17 y Tabla 18).

**Tabla 17.** Estructura de costos por hectárea según los dos periodos de diferente carga ganadera para el subsistema ganadero.

Actividad	Descripción	Unidad	\$/unidad	Rendimiento por ha*	Monto años 3,4 y 5	Monto años 6-17
<b>Comercialización de animales</b>						
Compra animales	Insumo	kg	2,27	54,45	123,84	67,55
Transporte de subasta a finca	Transporte	km/kg	0,06	54,45	3,27	1,78
Transporte de finca a subasta	Transporte	km/kg	0,06	99,45	5,97	3,65
<b>Insumos anuales</b>						
Sal común	Alimentación	kg	0,7	1	0,7	0,32
Minerales	Alimentación	kg	0,7	0,50	0,35	0,16
melaza	Alimentación	kg	0,8	0,50	0,4	0,18
Semolina	Alimentación	kg	1,5	0,50	0,75	0,34
Vitamina	Alimentación	kg	1,5	0,50	0,75	0,34
Alambre de púas, grapas y aretes	Insumo	km	0,15	20,00	3	1,36
<b>Productos veterinarios</b>						
Desparasitante (Ivomec)	Sanidad	litro	9	0,1	0,9	0,41
Desparasitante externo (Ectoline)	Sanidad	litro	9	0,1	0,9	0,41
Vacuna anticarbonosa (Antrax)	Sanidad	litro	10	0,1	1	0,45
Vacuna (Ultrachice)	Sanidad	litro	10	0,1	1	0,45
<b>Mano de obra</b>						
Servicios veterinarios	Mano de obra	jornal	91,65	0,25	22,91	10,41
Encargado del ganado	Mano de obra	jornal	18,06	0,4	7,22	3,28
Mantenimiento de cercas, corrales...	Mano de obra	jornal	18,06	0,2	3,61	1,64
Corte, acarreo y picado de pasto**	Mano de obra	jornal	18,06	0,2		5,42

\*\* El rendimiento indicado corresponde a los años con capacidad de carga ganadera de 0,33 animales/ha (años 3, 4 y 5).

\* Las operaciones de corte, acarreo y picado de pasto se desarrollan entre los años 2 y 17.

**Tabla 18.** Costos totales, relativos y anuales durante el periodo de rotación de la teca (18 años) y desglose de costos durante el periodo con carga ganadera 0,33 animales/ha (años 3, 4 y 5) y el periodo con carga ganadera de 0,17 animales/ha (años 6-17).

Actividad	Costos totales			Costos años 3,4 y 5		Costos años 6-17	
	Acumulado (\$/ha)	Relativo (%)	Anual (\$/ha*año)	Acumulado (\$/ha)	Relativo (%)	Acumulado (\$/ha)	Relativo (%)
Comercialización de animales	1.408,01	73,88	78,22	532,3	27,93	875,71	45,95
Insumos anuales	56,25	2,95	3,13	23,8	1,25	32,45	1,7
Productos veterinarios	35,93	1,89	2	15,2	0,8	20,73	1,09
Mano de obra	405,73	21,29	22,54	156,65	8,22	249,07	13,07
<b>Total</b>	<b>1.905,92</b>	<b>100</b>	<b>105,88</b>	<b>727,95</b>	<b>38,19</b>	<b>1.177,97</b>	<b>61,81</b>

#### 4.4. Flujos de caja e indicadores financieros

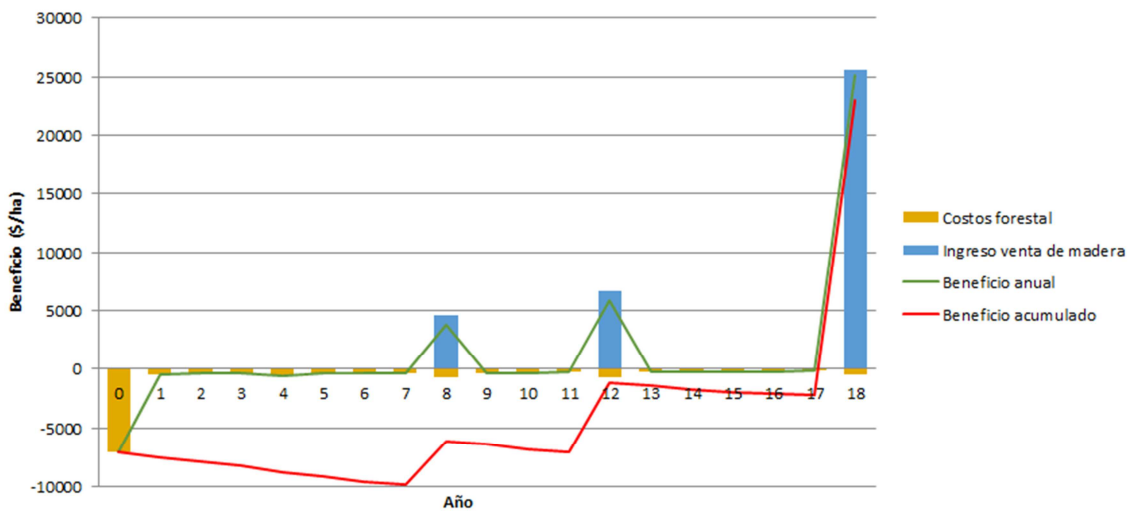
Para el escenario 1 (plantación de teca tradicional), el beneficio acumulado al final del periodo de rotación es de 22.927,82 \$/ha. Este beneficio acumulado al final del periodo de rotación se ve aumentado al incluir ganado en 1.364,12 \$/ha (24.291,94\$/ha), y aumenta 5.193,4\$/ha (28.121,22\$/ha) si, además, se reciben incentivos financieros en forma de PSA en la modalidades de reforestación y protección de bosques.

Además, se observa una mejora de cada uno de los beneficios anuales en los escenarios 2 y 3 respecto al escenario 1 excepto en el año 2, en el que se incluyen los costes de adquisición de los animales en el subsistema ganadero y se obtiene un beneficio anual menor.



**Tabla 19.** Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 1: “Plantación de teca”.

Año	Ingresos (\$/ha)	Costos (\$/ha)	Beneficio anual(\$/ha)	Beneficio acumulado (\$/ha)
0	-	7.048,83	-7.048,83	-7.048,83
1	-	457,1	-457,1	-7.505,93
2	-	399,46	-399,46	-7.905,39
3	-	354,29	-354,29	-8.259,67
4	-	549,85	-549,85	-8.809,53
5	-	354,29	-354,29	-9.163,81
6	-	387,34	-387,34	-9.551,16
7	-	318,18	-318,18	-9.869,33
8	4.549,88	757,22	3.792,66	-6.076,67
9	-	318,18	-318,18	-6.394,85
10	-	387,34	-387,34	-6.782,19
11	-	258,06	-258,06	-7.040,25
12	6.622,16	754,19	5.867,97	-1.172,28
13	-	258,06	-258,06	-1.430,35
14	-	258,06	-258,06	-1.688,41
15	-	258,06	-258,06	-1.946,47
16	-	188,89	-188,89	-2.135,37
17	-	107,64	-107,64	-2.243,01
18	25.590,01	419,18	25.170,83	22.927,82

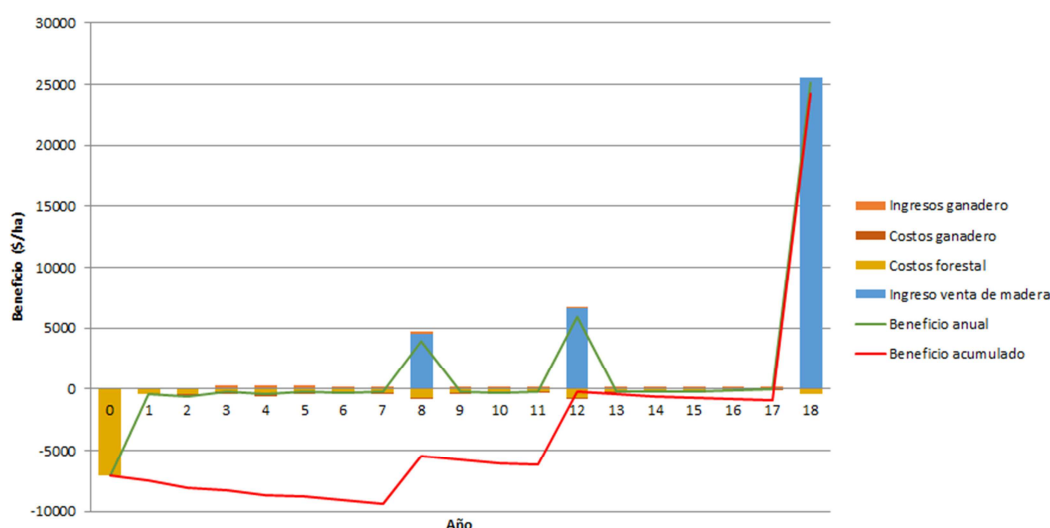


**Figura 8.** Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca”.

**Tabla 20.** Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 2. “Plantación de teca con ganado”.

Año	Subsistema forestal		Subsistema ganadero		Total			
	I.(\$/ha)	C. (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	B. anual (\$/ha)	B. acumulado (\$/ha)
0	-	7.039,8	0	0	0	7.039,8	-7039,8	-7.039,8
1	-	457,1	0	0	0	457,1	-457,1	-7.496,9
2	-	399,46	0	181,99	0	581,44	-581,44	-8.078,35
3	-	254,98	253,67	181,99	253,67	436,97	-183,3	-8.261,64
4	-	450,54	253,67	181,99	253,67	632,53	-378,86	-8.640,5
5	-	254,98	253,67	181,99	253,67	436,97	-183,3	-8.823,8
6	-	342,2	138,37	98,16	138,37	440,37	-302	-9.125,8
7	-	273,03	138,37	98,16	138,37	371,2	-232,83	-9.358,63
8	4.549,88	712,08	138,37	98,16	4.688,24	810,24	3878	-5.480,63
9	-	273,03	138,37	98,16	138,37	371,2	-232,83	-5.713,46
10	-	342,2	138,37	98,16	138,37	440,37	-302	-6.015,46
11	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-6.188,19
12	6.622,16	709,05	138,37	98,16	6.760,52	807,21	5.953,31	-234,88
13	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-407,6
14	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-580,32
15	-	212,92	138,37	98,16	138,37	311,09	-172,72	-753,04
16	-	143,75	138,37	98,16	138,37	241,92	-103,55	-856,59
17	-	62,5	138,37	98,16	138,37	160,66	-22,3	-878,89
18	25.590,01	419,18	0	0	25.590,01	419,18	25.170,83	24.291,94

Dónde: I, ingresos; C, costos; B., beneficio

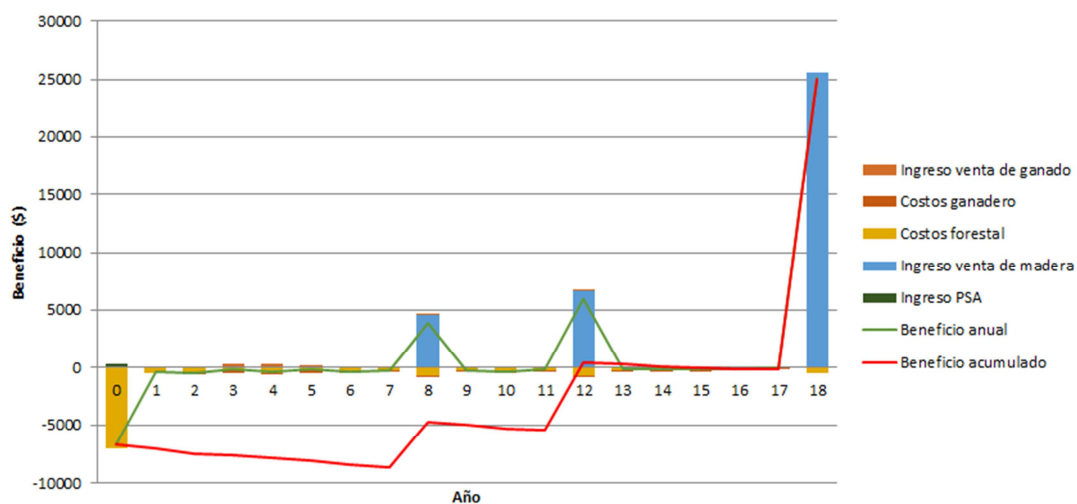


**Figura 9.** Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “plantación de teca con ganado”.

**Tabla 21.** Ingresos y costos, flujo de caja y beneficio acumulado en cada año del periodo del análisis, en dólares por hectárea, para el escenario 3. “Plantación de teca con ganado y PSA”.

Año	Subsistema forestal				Subsistema ganadero		Total			
	I. PSA (\$/ha)	I. madera (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	I. (\$/ha)	Costos (\$/ha)	I. (\$/ha)	C. (\$/ha)	B. anual (\$/ha)	B. acumulado (\$/ha)
0	469,86	-	469,86	4832,07	-	3,61	469,86	4835,68	-4.365,83	-4.365,83
1	187,94	-	187,94	457,1	-	3,61	187,94	460,71	-272,77	-4.638,59
2	140,96	-	140,96	399,46	-	176,57	140,96	576,03	-435,07	-5.073,66
3	93,97	-	93,97	254,98	253,67	176,57	347,64	431,55	-83,91	-5.157,57
4	46,99	-	46,99	414,43	253,67	176,57	300,66	591	-290,34	-5.447,92
5	-	-	-	254,98	253,67	176,57	253,67	431,55	-177,88	-5.625,79
6	-	-	-	342,2	138,37	92,75	138,37	434,95	-296,59	-5.922,38
7	-	-	-	273,03	138,37	92,75	138,37	365,78	-227,42	-6.149,8
8	-	4.549,88	4.549,88	526,65	138,37	92,75	4.688,24	619,4	4.068,84	-2.080,95
9	-	-	-	273,03	138,37	92,75	138,37	365,78	-227,42	-2.308,37
10	-	-	-	342,2	138,37	92,75	138,37	434,95	-296,59	-2.604,96
11	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	-2.772,26
12	-	6.622,16	6.622,16	513,63	138,37	92,75	6.760,52	606,37	6.154,15	3.381,89
13	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	3.214,59
14	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	3.047,28
15	-	-	-	212,92	138,37	92,75	138,37	305,67	-167,3	2.879,98
16	-	-	-	143,75	138,37	92,75	138,37	236,5	-98,14	2.781,84
17	-	-	-	62,5	138,37	92,75	138,37	155,25	-16,88	2.764,96
18	-	25.590,01	25.590,01	233,75	-	-	25.590,01	233,75	25.356,25	28.121,22

Dónde: I, ingresos; C, costos; B., beneficio



**Figura 10.** Representación de la distribución anual de ingresos y costos y del beneficio anual y acumulado en dólares por hectárea para el escenario de “Plantación de teca con ganado y PSA”.

La comparación de los beneficios anuales entre los escenarios 1 y 2 muestra una mejora de 170,99\$/ha durante los años con mayor carga ganadera (3,4 y 5) y de 85,34\$/ha en los años 6 al 17. Esto representa una mejora media del beneficio anual del 22,78%, con un máximo del 79,28%, durante el año 17 con un beneficio anual de -107,64 \$/ha para el escenario 1 y de -22,3\$/ha en el escenario 2. El escenario 3 respecto al 2 muestra una mejora media del beneficio anual de 11,86%. Esta mejora es más pronunciada en los cinco primeros años, en

los cuales se reciben las ayudas por los PSA. Las mayores mejoras del beneficio anual respecto al escenario 1 se obtuvieron respecto al escenario 3 con un promedio de 31,94% (Tabla 22).

**Tabla 22.** Comparación de beneficio neto según escenarios

Año	Beneficio neto (\$/ha)			Diferencia 1-2		Diferencia 2-3		Diferencia 1-3	
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Neta (\$/ha)	Relativa (%)	Neta (\$/ha)	Relativa (%)	Neta (\$/ha)	Relativa (%)
0	-7048,83	-7039,8	-4365,83	9,03	0,13	2673,97	37,98	2683	38,06
1	-457,1	-457,1	-272,77	0	0	184,33	40,33	184,33	40,33
2	-399,46	-581,44	-435,07	-181,98	-45,56	146,37	25,17	-35,61	-8,91
3	-354,29	-183,3	-83,91	170,99	48,26	99,39	54,22	270,38	76,32
4	-549,85	-378,86	-290,34	170,99	31,1	88,52	23,36	259,51	47,2
5	-354,29	-183,3	-177,88	170,99	48,26	5,42	2,96	176,41	49,79
6	-387,34	-302	-296,59	85,34	22,03	5,41	1,79	90,75	23,43
7	-318,18	-232,83	-227,42	85,35	26,82	5,41	2,32	90,76	28,52
8	3792,66	3878	4068,84	85,34	-2,25	190,84	-4,92	276,18	-7,28
9	-318,18	-232,83	-227,42	85,35	26,82	5,41	2,32	90,76	28,52
10	-387,34	-302	-296,59	85,34	22,03	5,41	1,79	90,75	23,43
11	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
12	5867,97	5953,31	6154,15	85,34	-1,45	200,84	-3,37	286,18	-4,88
13	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
14	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
15	-258,06	-172,72	-167,3	85,34	33,07	5,42	3,14	90,76	35,17
16	-188,89	-103,55	-98,14	85,34	45,18	5,41	5,22	90,75	48,04
17	-107,64	-22,3	-16,88	85,34	79,28	5,42	24,3	90,76	84,32
18	25170,83	25170,83	25356,25	0	0	185,42	-0,74	185,42	-0,74
	<b>Promedio</b>			<b>71,80</b>	<b>22,79</b>	<b>201,54</b>	<b>11,86</b>	<b>273,34</b>	<b>31,94</b>

La comparación de los indicadores financieros entre escenarios muestra una notable mejoría a medida que éstos se van enriqueciendo con distintas actividades productivas (Tabla 23).

El VAN o ganancia neta en valor actual al final del periodo de rotación es positivo para los tres escenarios, lo que indica que los tres proyectos proporcionan beneficios. Para el escenario 1 de plantación tradicional de teca, se obtiene un VAN de 709,88 \$/ha, en el escenario 2, al incluir el ganado, el VAN se duplica (1.378,40 \$/ha) y al incluir los PSA casi se triplica (2.056,93 \$/ha).

El análisis de la TIR también muestra la conveniencia de realizar los tres proyectos puesto que ésta es superior a la tasa de interés de mercado utilizada en los cálculos (8%). Esto indica que la inversión en estos proyectos es más rentable que el uso de los recursos en las inversiones alternativas. De la misma forma que el VAN, la TIR también es superior en el escenario 3 (9,73%) frente al 2 (9,11%) y más aún en comparación con el 1 (8,57%).

El VET determina el valor de las tierras en la producción forestal, éste resultó ser 946,83\$/ha en el escenario 1, 1.838,47\$/ha en el escenario 2 y 2.743,48 para el escenario 3, sin embargo, este valor no debe tenerse en cuenta ya que para su cálculo se incluyó el precio real de la tierra. Se ha tomado en cuenta el VET de obtenido en el análisis de sensibilidad en el que no se incluyó el valor de la tierra. En éste, fue de 8.145,63 \$/ha en el escenario 1, 9.037,28\$/ha en el escenario 2 y 9.942,29\$/ha en el escenario 3. Estos valores son superiores al precio de la tierra actual (precio actualizado reportado por el propietario)

de 5.397,31\$/ha por lo que los tres proyectos se consideran rentables siendo más atractivo el escenario 3 de FIS (Tabla 29).

La relación B/C refleja los beneficios brutos y netos obtenidos por cada unidad monetaria de inversión. Este indicador es superior a 1 en los tres escenarios, lo que indica que por cada unidad monetaria invertida en el proyecto, se obtiene más de una unidad de beneficio. El PIR fue de 17,09 años para el escenario 1, 17,03 para el escenario 2 y de 11,92 años en el escenario 3. Esto muestra la ventaja de recuperar el dinero invertido cinco años antes en el escenario 3 frente al 1 y 2.

**Tabla 23.** Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año como un costo y en el último año como un activo.

	VAN	TIR	VET	B/C	PIR
<b>Plantación de teca</b>	709,88	8,57%	946,83	1,07	17,09
<b>Plantación de teca con ganado</b>	1.378,40	9,11%	1.838,47	1,12	17,03
<b>Teca, ganado y PSA</b>	2.056,93	9,73%	2.743,48	1,18	11,92

#### 4.5. Análisis de sensibilidad

La variación porcentual de los determinantes de costos e ingresos muestra que la variable que más influye en los indicadores de rentabilidad de los tres escenarios son los beneficios obtenidos en el subsistema forestal por la venta de madera, determinados por el precio de la madera y el incremento medio anual en volumen comercial. En estos determinantes, al aumentar en un 5% su valor, provocan un aumento del 180,94% el VAN en el escenario 1, un 141,69 % en el escenario 2 y un 127,93% en el escenario 3 (Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26). La menor variación relativa del VAN en el escenario 3, muestra que la diversificación de las actividades de la empresa reduce el riesgo por la variación del precio de la madera en el mercado o por la reducción de la producción maderera en la plantación.

**Tabla 24.** Variación de los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, VET, B/C, PIR) en función de la variación del precio de la tierra, IMA, precio de la madera, precio del ganado y coste de la mano de obra en el escenario 1: “plantación de teca tradicional”.

Variable	Variación	Escenario 1: Plantación de teca tradicional				
		VAN	TIR	VET	B/C	PIR
<b>Todas</b>	0	709,88	8,57%	946,83	1,07	17,09
<b>Precio de la Tierra (\$/ha)</b>	-10%	1249,62	9,04%	1666,71	1,12	17,07
	-5%	979,75	8,8%	1306,77	1,09	17,08
	+5%	440,02	8,35%	586,89	1,04	17,1
	+10%	170,15	8,13%	226,95	1,02	17,11
<b>IMA (m<sup>3</sup>/ha*año)</b>	-10%	-439,29	7,63%	-585,92	0,96	17,15
	-5%	135,29	8,11%	180,45	1,01	17,12
	+5%	1284,47	9,01%	1713,2	1,12	17,06
	+10%	1859,06	9,43%	2479,57	1,17	17,04
<b>Precio de la madera (\$/m<sup>3</sup>)</b>	-10%	-439,29	7,63%	-585,92	0,96	17,15
	-5%	135,29	8,11%	180,45	1,01	17,12
	+5%	1284,47	9,01%	1713,2	1,12	17,06
	+10%	1859,06	9,43%	2479,57	1,17	17,04
<b>Precio del ganado (\$/kg)</b>	-10%	709,88	8,57%	946,83	1,07	17,09
	-5%	709,88	8,57%	946,83	1,07	17,09
	+5%	709,88	8,57%	946,83	1,07	17,09
	+10%	709,88	8,57%	946,83	1,07	17,09
<b>Coste de mano de obra (\$/jornal)</b>	-10%	1032,11	8,84%	1376,6	1,1	17,07
	-5%	871	8,7%	1161,71	1,08	17,08
	+5%	548,77	8,44%	731,94	1,05	17,1
	+10%	387,66	8,31%	517,05	1,03	17,11

Anejo IV. Análisis financiero

**Tabla 25.** Variación de los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, VET, B/C, PIR) en función de la variación del precio de la tierra, IMA, precio de la madera, precio del ganado y coste de la mano de obra en el escenario 2: “plantación de teca con ganado”.

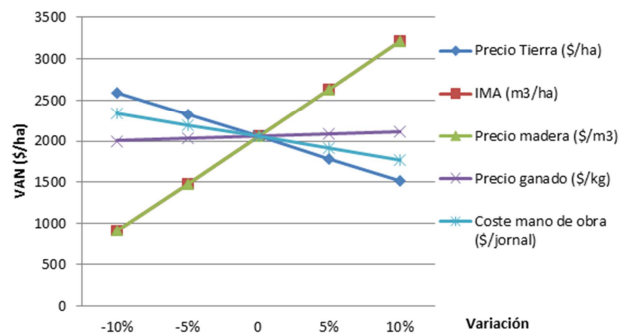
Variable	Variación	Escenario 2: Plantación de teca con ganado				
		VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Todas	0	1.378,40	9,11%	1.838,47	1,12	17,03
Precio de la Tierra (\$/ha)	-10%	2326.79	9.99%	3103.42	1.21	11.87
	-5%	1787.06	9.47%	2383.54	1.15	11.96
	+5%	1517.20	9.23%	2023.60	1.13	12.01
	+10%	2596.66	10.27%	3463.36	1.24	11.83
IMA (m <sup>3</sup> /ha*año)	-10%	229.22	8.19%	305.73	1.02	17.09
	-5%	803.81	8.66%	1072.10	1.07	17.06
	+5%	1952.99	9.54%	2604.85	1.17	17.01
	+10%	2527.57	9.95%	3371.22	1.22	17.01
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> )	-10%	229.22	8.19%	305.73	1.02	17.09
	-5%	803.81	8.66%	1072.10	1.07	17.06
	+5%	1952.99	9.54%	2604.85	1.17	17.01
	+10%	2527.57	9.95%	3371.22	1.22	17.01
Precio del ganado (\$/kg)	-10%	1324.01	9.07%	1765.93	1.12	17.04
	-5%	1351.20	9.09%	1802.20	1.12	17.04
	+5%	1405.59	9.13%	1874.74	1.12	17.03
	+10%	1432.79	9.15%	1911.02	1.13	17.03
Coste de mano de obra (\$/jornal)	-10%	1664.91	9.35%	2220.62	1.15	17.02
	-5%	1521.65	9.23%	2029.54	1.14	17.03
	+5%	1235.14	8.99%	1647.40	1.11	17.04
	+10%	1091.88	8.87%	1456.33	1.09	17.05

**Tabla 26.** Variación de los indicadores de rentabilidad (VAN, TIR, VET, B/C, PIR) en función de la variación del precio de la tierra, IMA, precio de la madera, precio del ganado y coste de la mano de obra en el escenario 1: “plantación de teca con ganado y PSA”.

Variable	Variación	Escenario 3: Plantación de teca con ganado y PSA				
		VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Todas	0	2.056,93	9,73%	2.743,48	1,18	11,92
Precio de la Tierra (\$/ha)	-10%	2596.66	10.27%	3463.36	1.24	11.83
	-5%	2326.79	9.99%	3103.42	1.21	11.87
	+5%	1787.06	9.47%	2383.54	1.15	11.96
	+10%	1517.20	9.23%	2023.60	1.13	12.01
IMA (m <sup>3</sup> /ha*año)	-10%	907.75	8.80%	1210.73	1.08	12.12
	-5%	1482.34	9.28%	1977.11	1.13	12.01
	+5%	2631.52	10.16%	3509.85	1.23	11.83
	+10%	3206.11	10.57%	4276.23	1.28	11.76
Precio de la madera (\$/m <sup>3</sup> )	-10%	907.75	8.80%	1210.73	1.08	12.12
	-5%	1482.34	9.28%	1977.11	1.13	12.01
	+5%	2631.52	10.16%	3509.85	1.23	11.83
	+10%	3206.11	10.57%	4276.23	1.28	11.76
Precio del ganado (\$/kg)	-10%	1324.01	9.07%	1765.93	1.12	17.04
	-5%	1351.20	9.09%	1802.20	1.12	17.04
	+5%	1405.59	9.13%	1874.74	1.12	17.03
	+10%	1432.79	9.15%	1911.02	1.13	17.03
Coste de mano de obra (\$/jornal)	-10%	1664.91	9.35%	2220.62	1.15	17.02
	-5%	1521.65	9.23%	2029.54	1.14	17.03
	+5%	1235.14	8.99%	1647.40	1.11	17.04
	+10%	1091.88	8.87%	1456.33	1.09	17.05

El comportamiento del VAN según variaciones en la tasa de descuento para los tres escenarios muestra la disminución de la rentabilidad en función del aumento de la tasa de descuento empleada para los tres escenarios. Para el escenario 1, el VAN es negativo a partir de la tasa de descuento del 8,57 %, en el escenario 2, el VAN alcanza la negatividad a partir de una tasa de descuento del 9,11%, mientras que en el escenario 3, la tasa de descuento que torna el VAN negativo es a partir de 9,73%.

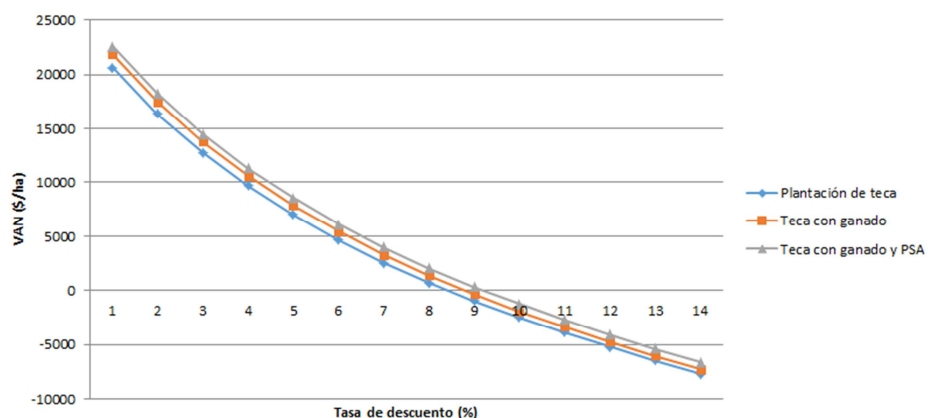
**Forestería de Ingreso Sostenible, evaluación financiera y aportes de carbono en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L.F) con ganado y PSA en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.**



**Figura 11.** Variación del VAN en función de la variación de principales determinantes de ingresos y costos para el escenario 3.

**Tabla 27.** Análisis de sensibilidad del VAN con variaciones en la tasa de descuento para los tres escenarios analizados.

Tasa de descuento (%)	Escenario		
	Plantación de teca	Teca con ganado	Teca con ganado y PSA
1	20635,18	21872,69	22601,11
2	16400,61	17526,13	18246,66
3	12785,34	13811,51	14524,43
4	9677,75	10615,56	11321,12
5	6986	7844,99	8543,45
6	4634,24	5422,74	6114,34
7	2559,63	3284,94	3969,89
8	709,88	1378,4	2056,93
9	-958,67	-341,33	330,98
10	-2482,69	-1911,58	-1245,28
11	-3893,14	-3363,86	-2703,4
12	-5216,28	-4724,96	-4070,15
13	-6474,56	-6017,76	-5368,42
14	-7687,31	-7261,96	-6617,94



**Figura 12.** Variación del VAN en función de la tasa de descuento para los tres escenarios analizados en el estudio financiero.

Al realizar el análisis financiero incluyendo el coste de la tierra como un activo que se vende al final del periodo de análisis (al mismo precio de compra), mejoran ligeramente los indicadores de rentabilidad. Este aumento de la rentabilidad no es muy elevado debido a los descuentos aplicados para llevar los beneficios del último año al momento actual (Tabla 28).

## Forestería de Ingreso Sostenible, evaluación financiera y aportes de carbono en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L.F) con ganado y PSA en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

**Tabla 28.** Resumen de los indicadores financieros según escenarios incluyendo el precio de la tierra actualizado en el primer año como un costo y en el último año como un activo.

Escenario	VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Plantación de teca tradicional	2060,56	9,53%	2748,32	1,19	17,07
Plantación de teca con ganado	2729,07	10,02%	3639,97	1,24	17,03
Plantación de teca, ganado y PSA	3407,60	10,63%	4544,98	1,30	11,92

Al realizar el análisis financiero sin incluir el coste de la tierra, se obtienen indicadores de rentabilidad muy altos para los tres escenarios. Por ejemplo, El VAN en el escenario 1 aumenta en un 860%, en el escenario 2 un 491% y en el escenario 3 un 362% (Tabla 29). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que al no incluir el coste de la tierra se está realizando una valoración incompleta de los costos y de las inversiones. (De Camino *et Morales*, 2013).

**Tabla 29.** Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios sin tener en cuenta el coste de la tierra.

Escenario	VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Plantación de teca tradicional	6107,20	16,64%	8145,63	2,13	11,28
Plantación de teca con ganado	6775,71	17,70%	9037,28	2,13	11,13
Plantación de teca, ganado y PSA	7454,24	20,04%	9942,29	2,25	7,83

Finalmente, al tener en cuenta únicamente el costo de la tierra neta útil para la plantación, los indicadores de rentabilidad se reducen considerablemente. Además de que no se trata de una valoración real de las inversiones. (Tabla 30).

**Tabla 30.** Resumen de indicadores financieros para cada uno de los escenarios si se contabiliza el valor de la tierra como valor neto de la superficie útil para la plantación.

Escenario	VAN	TIR	VET	B/C	PIR
Plantación de teca tradicional	176,56	8,11%	235,50	1,01	17,14
Plantación de teca con ganado	845,08	8,52%	1127,14	1,06	17,10
Plantación de teca, ganado y PSA	1523,61	8,97%	2032,15	1,11	17,08

### 4.6. Comparación de incentivos forestales de PSA y créditos de carbono

La biomasa aérea total media por hectárea estimada en la finca fue de 91,21±13 t/ha, lo que equivale a 45,61±6,5 t/ha de Carbono y 166,92±23,79 t/ha de CO<sub>2</sub> (Tabla 31). Al valorar económicamente los valores de CO<sub>2</sub> de cada lote según diferentes precios para los bonos de carbono, se obtienen los beneficios en el MDVCCR (Figura 13).

El monto de los incentivos forestales de PSA para el 2014 en la modalidad de reforestación es 939,71 \$/ha. Por tanto, el precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente en el MDVCCR que iguala la cantidad recibida en forma de PSA es:

$$166,92 * x = 939,71$$

$$x = 5,629\$/tCO_2$$

De esta forma, para la plantación de teca de Abangares, precios de la tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente en el MDVCCR superiores a 5,629\$/tCO<sub>2</sub> hacen más rentable al MDVCCR frente a los PSA y viceversa.



## Forestería de Ingreso Sostenible, evaluación financiera y aportes de carbono en plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L.F) con ganado y PSA en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

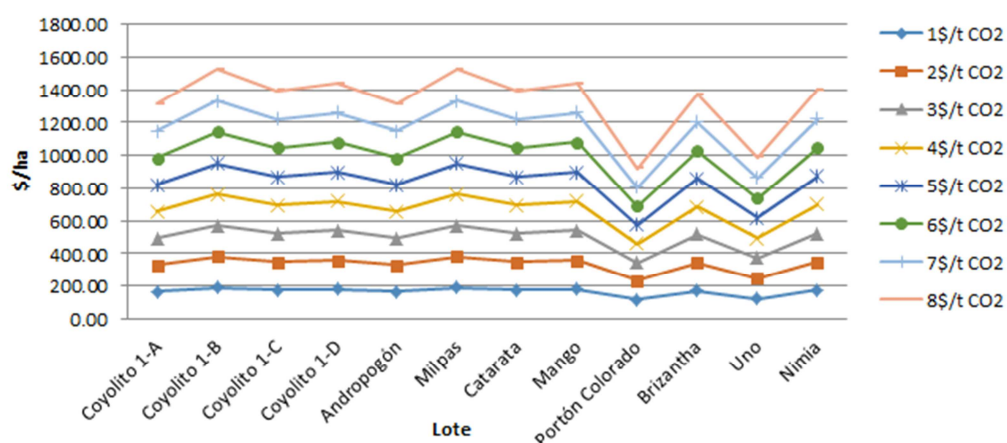
**Tabla 31.** Estimación del carbono y CO<sub>2</sub> almacenado medio y en cada lote de la finca Coyolito y valor en el mercado voluntario de carbono según precios de la tonelada equivalente de CO<sub>2</sub>.

Lote	Biomasa (t/ha)	Carbono *(t/ha)	CO <sub>2</sub> ** (t/ha)	Precio de la tonelada de CO <sub>2</sub> equivalente (\$)						
				1	2	3	4	5	6	7
Coyolito 1-A	89,57	44,79	163,92	163,92	327,84	491,76	655,68	819,59	983,51	1.147,43
Coyolito 1-B	104,15	52,08	190,6	190,6	381,21	571,81	762,41	953,01	1.143,62	1.334,22
Coyolito 1-C	95,24	47,62	174,28	174,28	348,56	522,84	697,12	871,4	1.045,68	1.219,96
Coyolito 1-D	98,39	49,19	180,05	180,05	360,11	540,16	720,21	900,27	1.080,32	1.260,37
Andropogón	89,57	44,79	163,92	163,92	327,84	491,76	655,68	819,59	983,51	1.147,43
Milpas	104,15	52,08	190,6	190,6	381,21	571,81	762,41	953,01	1.143,62	1.334,22
Catarata	95,24	47,62	174,28	174,28	348,56	522,84	697,12	871,4	1.045,68	1.219,96
Mango	98,39	49,19	180,05	180,05	360,11	540,16	720,21	900,27	1.080,32	1.260,37
P. Colorado	63	31,5	115,29	115,29	230,59	345,88	461,17	576,47	691,76	807,06
Brizantha	93,82	46,91	171,7	171,7	343,4	515,1	686,8	858,5	1030,2	1.201,9
Uno	67,51	33,75	123,54	123,54	247,08	370,61	494,15	617,69	741,23	864,76
Nimia	95,49	47,74	174,74	174,74	349,48	524,22	698,96	873,71	1.048,45	1.223,19
<b>Promedio</b>	<b>91,21</b>	<b>45,61</b>	<b>166,92</b>	<b>166,92</b>	<b>333,83</b>	<b>500,75</b>	<b>667,66</b>	<b>834,58</b>	<b>1.001,49</b>	<b>1.168,41</b>
<b>Desv. Est.</b>	<b>13</b>	<b>6,5</b>	<b>23,79</b>	<b>23,79</b>	<b>47,58</b>	<b>71,36</b>	<b>95,15</b>	<b>118,94</b>	<b>142,73</b>	<b>166,51</b>

Dónde: Desv. Est., Desviación estándar

\*El contenido en Carbono se obtuvo como el 50% de la biomasa siguiendo los criterios de Kollmann (1959).

\*\* El contenido de CO<sub>2</sub> se obtuvo de multiplicar el carbono por el factor 3,67.



**Figura 13.** Evolución de los posibles beneficios por hectárea en el mercado voluntario de carbono según precio del carbono para cada uno de los lotes de la finca "Coyolito".

Con estos resultados, se puede afirmar que, con los precios actuales, es más rentable inscribirse en PSA que en el mercado voluntario de carbono del Verified Carbon Standard (VCS) y del Climate Reserve Tonnes (CRT), cuyos precios varían entre 0,60 \$/t CO<sub>2</sub> eq y 4 \$/t CO<sub>2</sub> eq. Para el mercado del Gold Standard, cuyos valores varían entre 5,36 \$/t CO<sub>2</sub> eq y 6,31 \$/t CO<sub>2</sub> eq (Peters-Stanley *et* González, 2014) habría que comprobar el precio del momento, pues se encuentra en el límite, aunque sería más conservador inscribirse en PSA, pues es un valor seguro y sin riesgo.

Según los precios del crédito de carbono reportados por Peters-Stanley *et* Hamilton (2012) para América Latina en los años 2010 y 2011 de 5 \$/t CO<sub>2</sub> eq y de 11 \$/t CO<sub>2</sub> eq respectivamente, sería más rentable participar en el mercado voluntario de carbono que en los PSA.

# ANEJOS

## **Anejo V: Reportaje fotográfico de los trabajos realizados.**

## ÍNDICE ANEJO VI

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>195</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>195</b>
<b>3. IMAGENES.....</b>	<b>195</b>
3.1. Finca “Abangari” .....	195
3.2. Finca “Coyolito” .....	203

## 1. INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan una serie de fotografías tomadas durante la fase de campo y laboratorio del proyecto: “Forestería de ingreso sostenible, aportes de carbono y evaluación financiera y de una plantación forestal de teca (*Tectona grandis* L.f.) con ganado y PSA en la provincia de Guanacaste, Costa Rica”.

Las imágenes se presentan según la finca en la que fueron tomadas, en la finca de Abangares se realizó el muestreo de biomasa para la validación de la ecuación alométrica de Perez et Kanniem (2003), mientras que en la finca Coyolito se realizó el inventario continuo de las PPM y el estudio financiero.

## 2. OBJETIVO

El objetivo principal de este anejo es presentar una colección de imágenes que muestren las condiciones de las plantaciones y de las fincas, así como los procedimientos para el registro de la información de campo y laboratorio en el presente proyecto.

## 3. IMAGENES

### 3.1. Finca “Abangari”



**Imagen 1.** Panorámica del sistema silvopastoril, ganado vacuno y equino pastando en un lote de teca de tres años.



**Imagen 2.** Sistema silvopastoril, ganado vacuno y equino pastando en un lote de teca de tres años.



**Imagen 3.** Panorámica del parque de acopio de madera o cargadero en la finca.



**Imagen 4.** Operarios realizando la medición de los fustes comerciales en el parque de acopio.



Anejo VI. Reportaje fotográfico



**Imagen 5.** Fustes comerciales preparados para ser cargados en el contenedor.



**Imagen 6.** Situación del lote Mangos, de 17 años de edad.



**Imagen 7.** Tecal de tres años en el lote Aserradero I.



**Imagen 8.** Chirpial de teca de ocho años en lote Aserradero I.



**Imagen 9.** Situación del lote Casas Viejas, de 17 años de edad.



**Imagen 10.** Situación del lote Cabo Luis, de 15 años de edad.





**Imagen 11.** Detalle de un rebrote de teca sin deshijar en el primer año.



**Imagen 12.** Detalle de un rebrote de teca deshijado de 8 años de edad.



**Imagen 13.** Detalle de una hoja de teca joven.



**Imagen 14.** Suelo agrietado por la falta de agua en Guanacaste.



**Imagen 15.** Selección del árbol muestra para el muestreo de biomasa y medición de la variable diámetro a la altura del pecho (dap).





**Imagen 16.** Corte en cuña en la dirección de caída del árbol.



**Imagen 17.** Corte de caída en el lado opuesto al de caída del árbol.



**Imagen 18.** Apeo del árbol muestra.



**Imagen 19.** Árbol muestra en el suelo para la medición de sus parámetros.



**Imagen 20.** Medición de la variable altura total tras el apeo del árbol.



Anejo VI. Reportaje fotográfico



**Imagen 21.** Separación de la troza comercial del árbol y troceado de la parte no comercial.



**Imagen 22.** Separación de la troza comercial y troceado de la parte no comercial.



**Imagen 23.** Amontonado de las partes no comerciales para facilitar su pesado.



**Imagen 24.** Amontonado de las partes no comerciales para facilitar su pesado.



**Imagen 26.** Pesado de las distintas partes no comerciales del árbol mediante la balanza romana de colgar.



**Imagen 27.** Pesadas sucesivas de las partes no comerciales del árbol para obtener su peso en fresco total.





**Imagen 28.** Recogida y pesado de la alícuota de las ramas para obtención del peso en fresco.



**Imagen 29.** Atado de la alícuota de las ramas para su colocación en la bolsa de papel sin encerar y facilitar su transporte a laboratorio.



**Imagen 30.** Fuste comercial tras la separación de la parte no comercial.



**Imagen 31.** Medición de la variable altura comercial en el fuste.



**Imagen 32.** Marcado de las secciones cada 2 m con rotulador permanente y medición del perímetro en cada una de ellas para estimar su volumen por Smalian.



Anejo VI. Reportaje fotográfico



**Imagen 33.** Corte de las alícuotas o rodelas en base y en punta delgada del fuste comercial.



**Imagen 34.** Detalle de una alícuota o rodela de la base.



**Imagen 35.** Pesado de las alícuotas en base y punta delgada con la balanza romana de colgar



**Imagen 36.** Materiales utilizados en el muestreo: motosierra, balanza romana, cinta métrica, estadillos, bolsas de papel sin encerar, lápiz, permanente, agua, gasolina...



**Imagen 37.** Transporte a caballo dentro de la finca para llegar a los distintos lotes.



**Imagen 38.** Operario afilando la motosierra en la sombra tras el almuerzo.





**Imagen 39.** Perimetración de la rodela en hoja de papel milimetrado.



**Imagen 40.** Medición del espesor de la rodela con escalímetro o pie de rey.



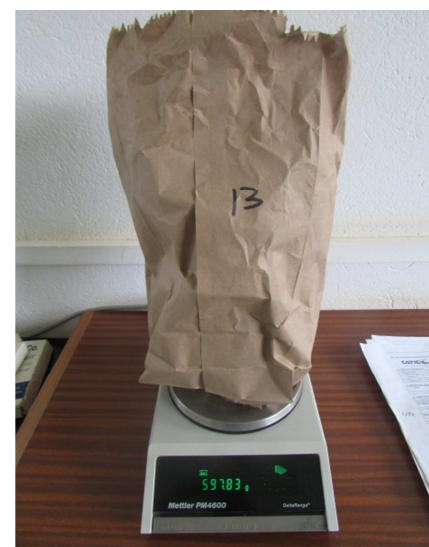
**Imagen 41.** Alícuotas de ramas en las bolsas de papel sin encerar y rodela base y punta delgada colocadas en el horno para su secado



**Imagen 42.** Detalle de todas las muestras medidas en el horno para su secado.



**Imagen 43.** Balanza de precisión para el pesado de las muestras secas.



**Imagen 44.** Pesado de alícuota de ramas en la balanza de precisión.





**Imagen 45.** Pesado de alícuota en punta delgada en la balanza de precisión.



**Imagen 46.** Pesado de alícuota de base en la balanza de precisión.

### 3.2. Finca “Coyolito”



**Imagen 47.** Panorámica en la finca “Coyolito” con un Coyol (*Acrocomia aculeata*) en el centro, especie que da nombre a la finca.



**Imagen 48.** Marcado del centro de las PPM en el fuste de un árbol.



**Imagen 49.** Transporte en caballo dentro de la finca



**Imagen 50.** Transporte en caballo dentro de la finca





**Imagen 51.** Medición de la variable altura mediante la pértiga telescópica.



**Imagen 52.** Medición de la variable diámetro a la altura del pecho con la cinta diamétrica.



**Imagen 53.** Medición del rumbo de los árboles de la parcela con la brújula.



**Imagen 54.** Vivero con plántulas de teca de la empresa Forestal Rio Grande S.A



**Imagen 55.** Detalle de plántulas de teca en el vivero.





**Imagen 56.** Detalle del fruto Subgloboso de la teca.



**Imagen 57.** Detalle del fruto de la teca abierto.



**Imagen 58.** Frotado de las hojas tiernas de teca para obtener el tinte rojo.



**Imagen 59.** Tinte rojo obtenido de las hojas tiernas de teca.



**Imagen 60.** Familia de monos aulladores o monos congo (*Alouatta palliata*) presentes en la zona de los estudios.



**Imagen 61.** Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), árbol nacional de Costa Rica y símbolo de la provincia donde se desarrolla el proyecto.





**Imagen 62.** Fruto de Guanacaste en forma de oreja humana que da nombre a la especie en el idioma indígena náhuatl.



**Imagen 63.** Detalle de la semilla de Guanacaste



**Imagen 64.** Artesanía hecha con semillas de teca.



**Imagen 65.** Artesanía hecha con semillas de teca, guanacaste y guapinol.

# PLANOS



## **ÍNDICE DE PLANOS**

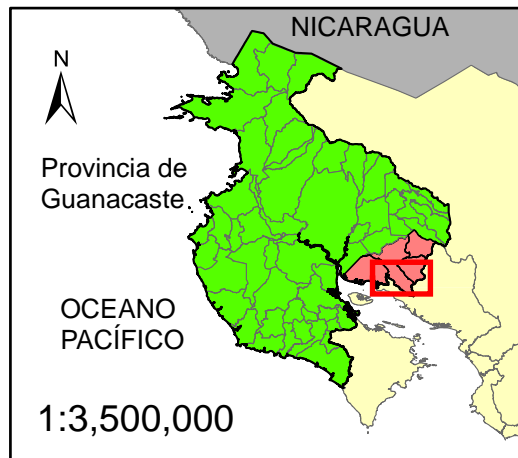
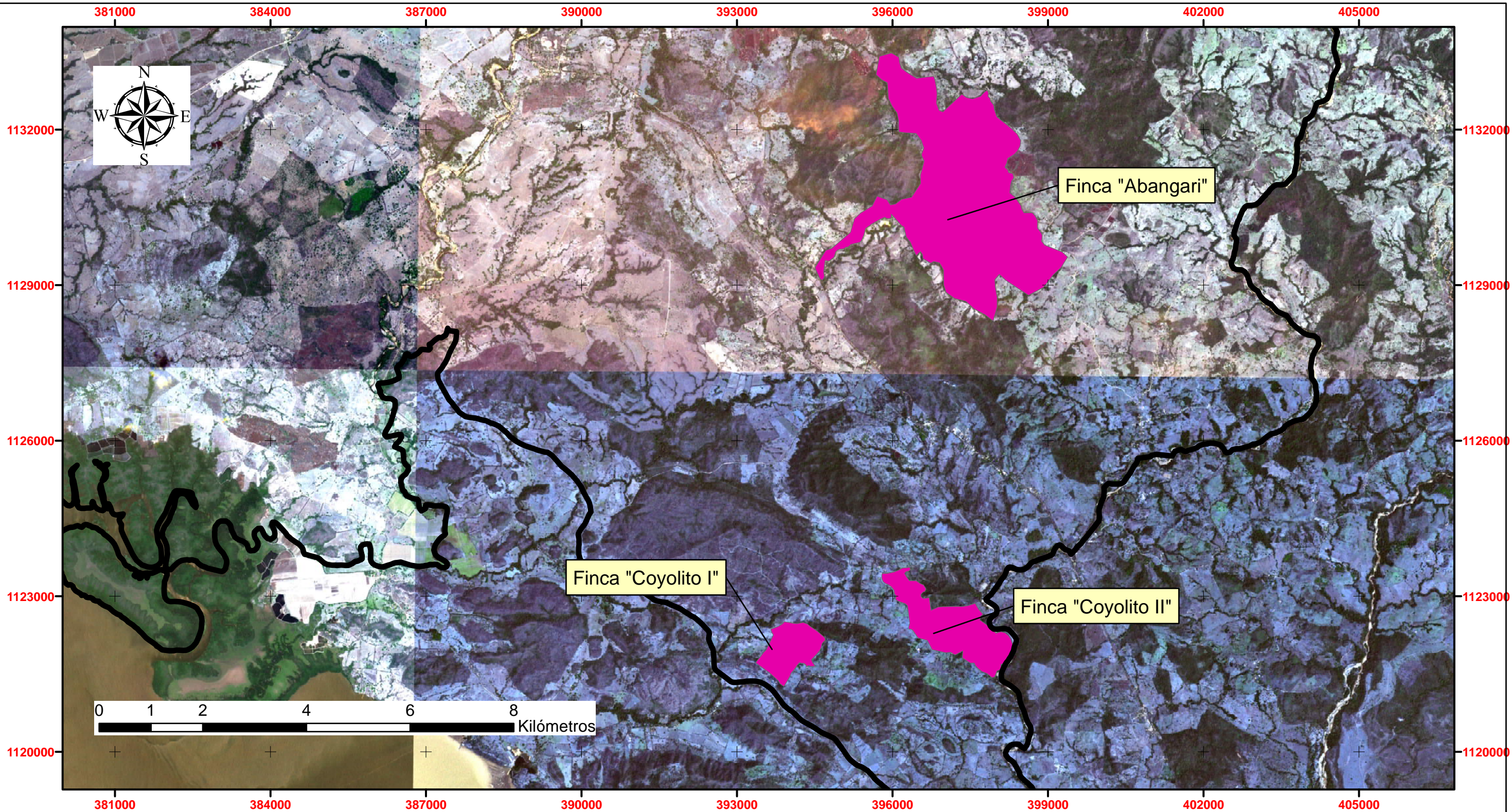
**Plano I.** Situación de las parcelas en el cantón de Abangares, provincia de Guanacaste.

**Plano II.** Localización y distribución de superficies en la finca “Abangari”.

**Plano III.** Localización y distribución de superficies y PPM en la finca “Coyolito I”.

**Plano IV.** Localización y distribución de superficies y PPM en la finca “Coyolito II”.



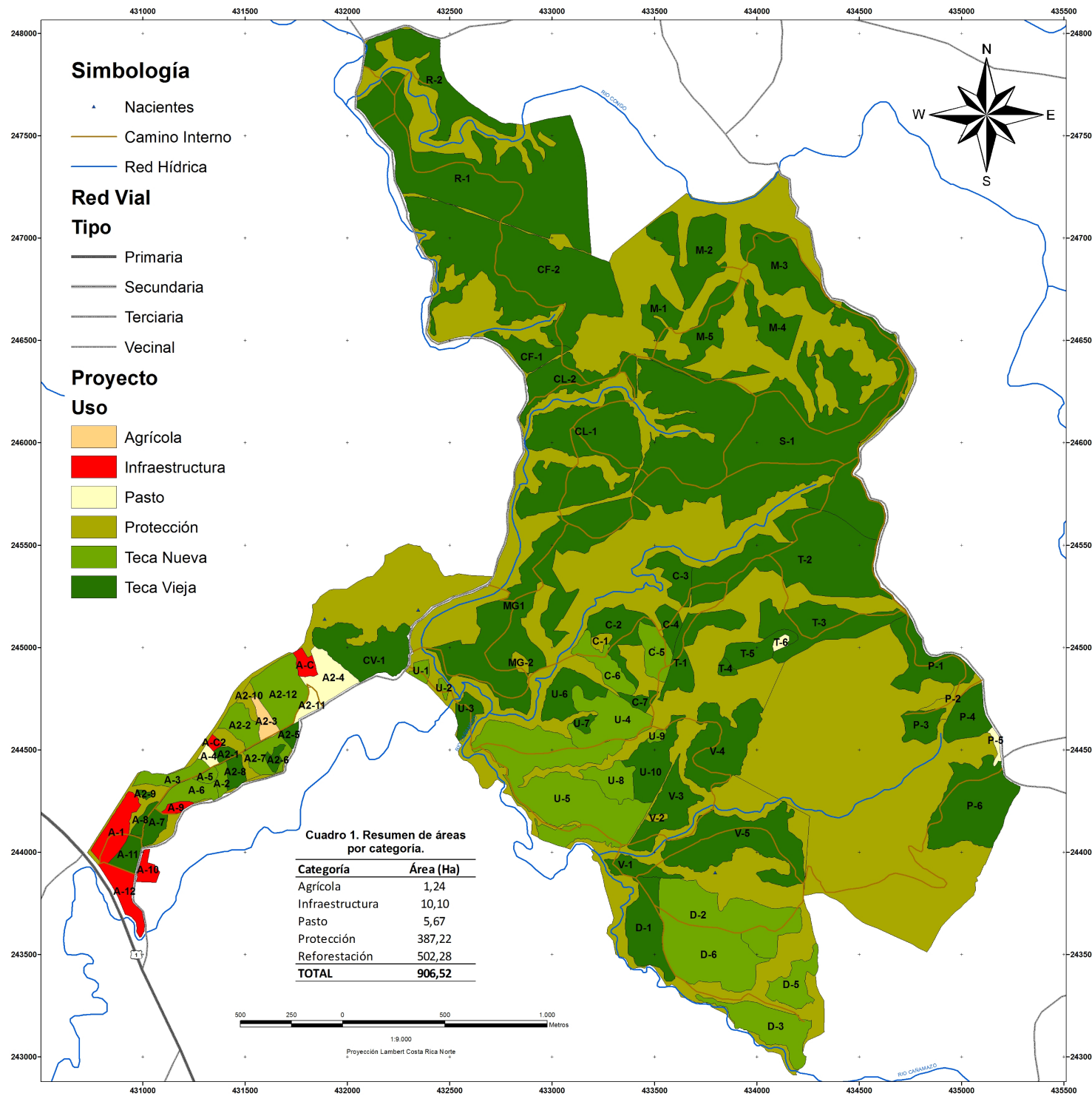


- Leyenda**
- Area seleccionada
  - Fincas del estudio
  - Canton Abangares

<b>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</b> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIAS AGRARIAS Master en Ingeniería de Montes		
TITULO DEL PROYECTO FORESTERÍA DE INGRESO SOSTENIBLE, APORTES DE CARBONO Y EVALUACIÓN FINANCIERA EN PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F.) CON GANADO Y PSA EN LA PROVINCIA DE GUANACASTE, COSTA RICA.		FECHA <b>SEPTIEMBRE 2015</b>
SIST. DE REFERENCIA <b>CRTM05/WGS84</b>	DENOMINACION DEL PLANO <b>SITUACIÓN DE LAS FINCAS EN EL CANTÓN DE ABANGARES, PROVINCIA DE GUANACASTE</b>	FIRMA
ESCALA <b>1:75.000</b>	ALUMNO <b>ANTONIO LECEGUI PEREPÉREZ</b>	
Nº DE PLANO <b>I</b>		



# Proyecto Forestal Abancari - Ganadera Abancari S.R.L.



**Cuadro 1. Resumen de áreas por categoría.**

Categoría	Área (Ha)
Agrícola	1,24
Infraestructura	10,10
Pasto	5,67
Protección	387,22
Reforestación	502,28
<b>TOTAL</b>	<b>906,52</b>

**Cuadro 2. Cobertura y área reforestada por sector y lote.**

Sector/lote	Cobertura	Área (Ha)	Sector/lote	Cobertura	Área (Ha)	Sector/lote	Cobertura	Área (Ha)
<b>Aseradero</b>			<b>Coyolada</b>			<b>Renacientes</b>		
A-2	Teca 2010	0,22	C-2	Teca 1998	4,87	R-1	Teca 2006	40,15
A-3	Teca 2012	2,04	C-3	Teca 1998	3,17	R-2	Teca 2006	10,07
A-5	Teca 2012	0,57	C-4	Teca 1998	1,79	<b>Total Renacientes</b>		<b>50,22</b>
A-6	Teca 2010	2,46	C-5	Teca 2013	3,11	Sitios		
A-7	Teca 2008	1,42	C-6	Teca 2013	3,31	S-1	Teca 1999	75,30
A-8	Teca 2008	0,66	C-7	Teca 1998	0,98	<b>Total Sitios</b>		<b>75,30</b>
A-11	Teca 2008	1,48	<b>Total Coyolada</b>		<b>17,17</b>	Tejitas		
A2-1	Rebrote 2007	0,58	<b>Democracia</b>			T-1	Teca 1999	5,44
A2-2	Teca 2012	2,53	D-1	Teca 2008	6,94	T-2	Teca 1999	24,49
A2-5	Rebrote 1997	0,66	D-2	Teca 2010	12,80	T-3	Teca 1999	10,03
A2-6	Teca 1997	0,69	D-3	Teca 2010	6,84	T-4	Teca 1999	0,57
A2-7	Teca 2010	2,34	D-5	Teca 2013	3,71	T-5	Teca 2008	3,10
A2-8	Rebrote 1997	1,19	D-6	Teca 2011	11,90	<b>Total Tejitas</b>		<b>43,63</b>
A2-9	Teca 2008	0,79	<b>Total Democracia</b>		<b>42,20</b>	La Uva		
A2-12	Teca 2013	6,11	<b>Mangos</b>			U-1	Teca 2011	0,77
<b>Total Aseradero</b>		<b>23,74</b>	MS1	Teca 1998	29,98	U-2	Teca 2011	0,30
<b>Cabo Luis</b>			<b>Total Mangos</b>		<b>29,98</b>	U-3	Teca 2001	1,83
CL-1	Teca 2000	22,36	Matias			U-4	Teca 2013	7,01
CL-2	Teca 2000	6,87	M-1	Teca 2003	2,69	U-5	Teca 2012	26,54
<b>Total Cabo Luis</b>		<b>29,23</b>	M-2	Teca 2003	9,38	U-6	Teca 1997	4,30
<b>Casas Viejas</b>			M-3	Teca 2003	8,90	U-7	Teca 1997	0,63
CV-1	Teca 1998	8,64	M-4	Teca 2003	4,65	U-8	Teca 2013	3,18
<b>Total Casas Viejas</b>		<b>8,64</b>	M-5	Teca 2003	6,98	U-9	Teca 2013	0,38
<b>Corrales Falsos</b>			<b>Total Matias</b>		<b>32,60</b>	U-10	Teca 1997	5,37
CF-1	Teca 1999	3,28	<b>Picado</b>			<b>Total La Uva</b>		<b>50,31</b>
CF-2	Teca 1999	36,33	P-1	Teca 2006	6,56	<b>Volcancillo</b>		
<b>Total Corrales Falsos</b>		<b>39,60</b>	P-3	Teca 2006	2,62	V-1	Teca 1998	2,20
			P-4	Teca 2006	4,13	V-3	Teca 1998	5,70
			P-6	Teca 2006	13,32	V-4	Teca 1998	10,65
			<b>Total Picado</b>		<b>26,63</b>	V-5	Teca 1998	14,50
						<b>Total Volcancillo</b>		<b>33,04</b>

Ganadera Finca Abancari S.R.L.  
Céd. Jurídica 3-102-120161

Ing. Fo. Manuel Francisco Torres Ortega  
CIA N° 6336

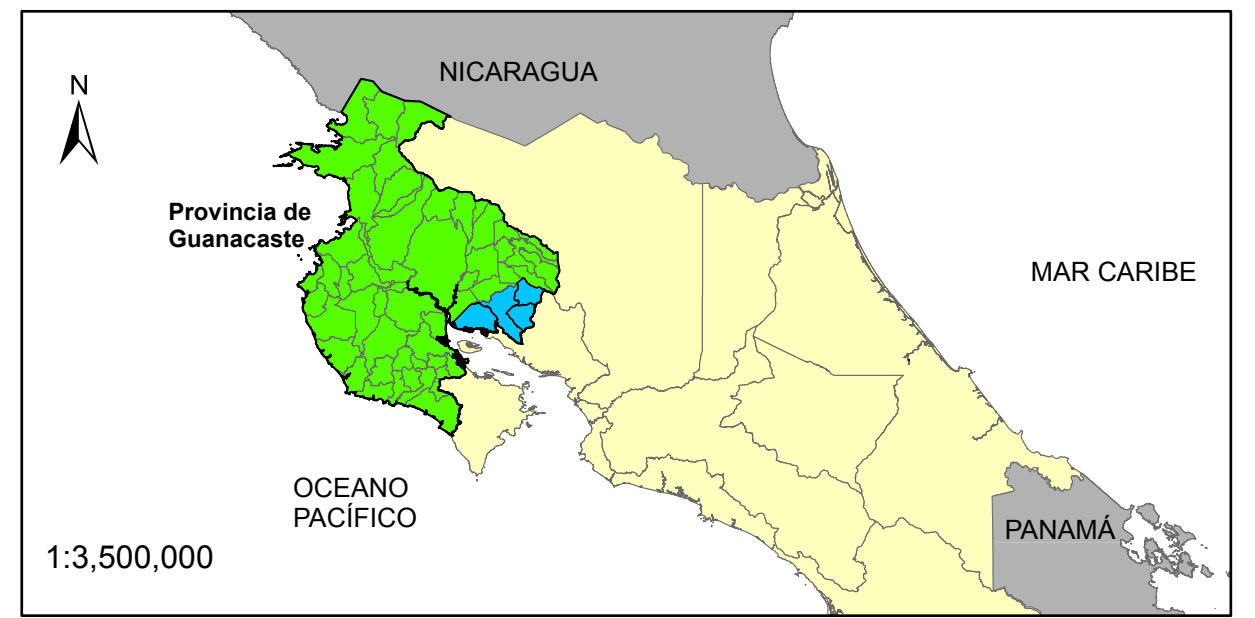
Datos Registrales: 06/08/2013

Planos Catastrados: Folios Reales: Ubicación Cartográfica: Hoja Cartográfica 1:50 000 Juntas 3246 IV Cordenadas 430000-436000 Longitud Oeste y 242000-249000 Latitud Norte

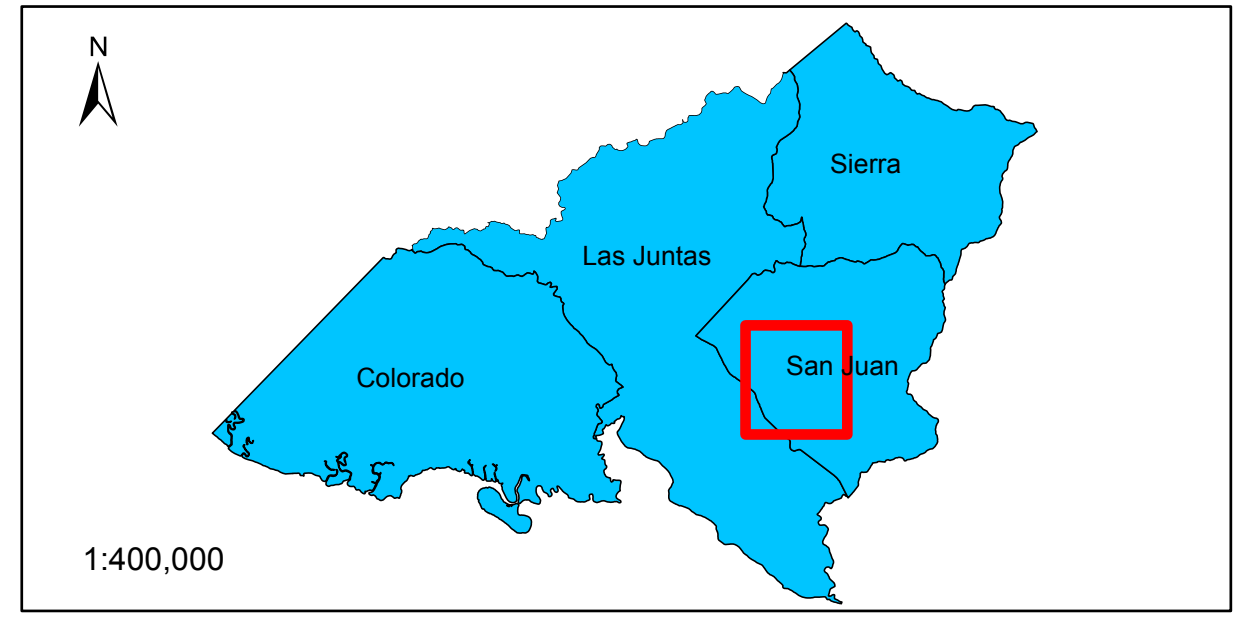
Fuentes de información:  
- Actualización del mapa Proyecto Forestal Abancari de Mayo 2013 elaborado por el Ing. Fernando Miranda Chavarría.  
- Atlas Digital. 2004. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR.  
- Datos de Campo GPS.

Nota:  
- Los lotes plantados se midieron "a la gotera" que significa una distancia de entre 3,5 y 4 metros de los fustes de los árboles plantados en los bordes por ser el espacio vital de crecimiento. La actualización del mapa de mayo 2013 redujo en 6,26 hectáreas el área plantada y aumentó el área de protección en la misma superficie.

## Localización de la provincia de Guanacaste en Costa Rica



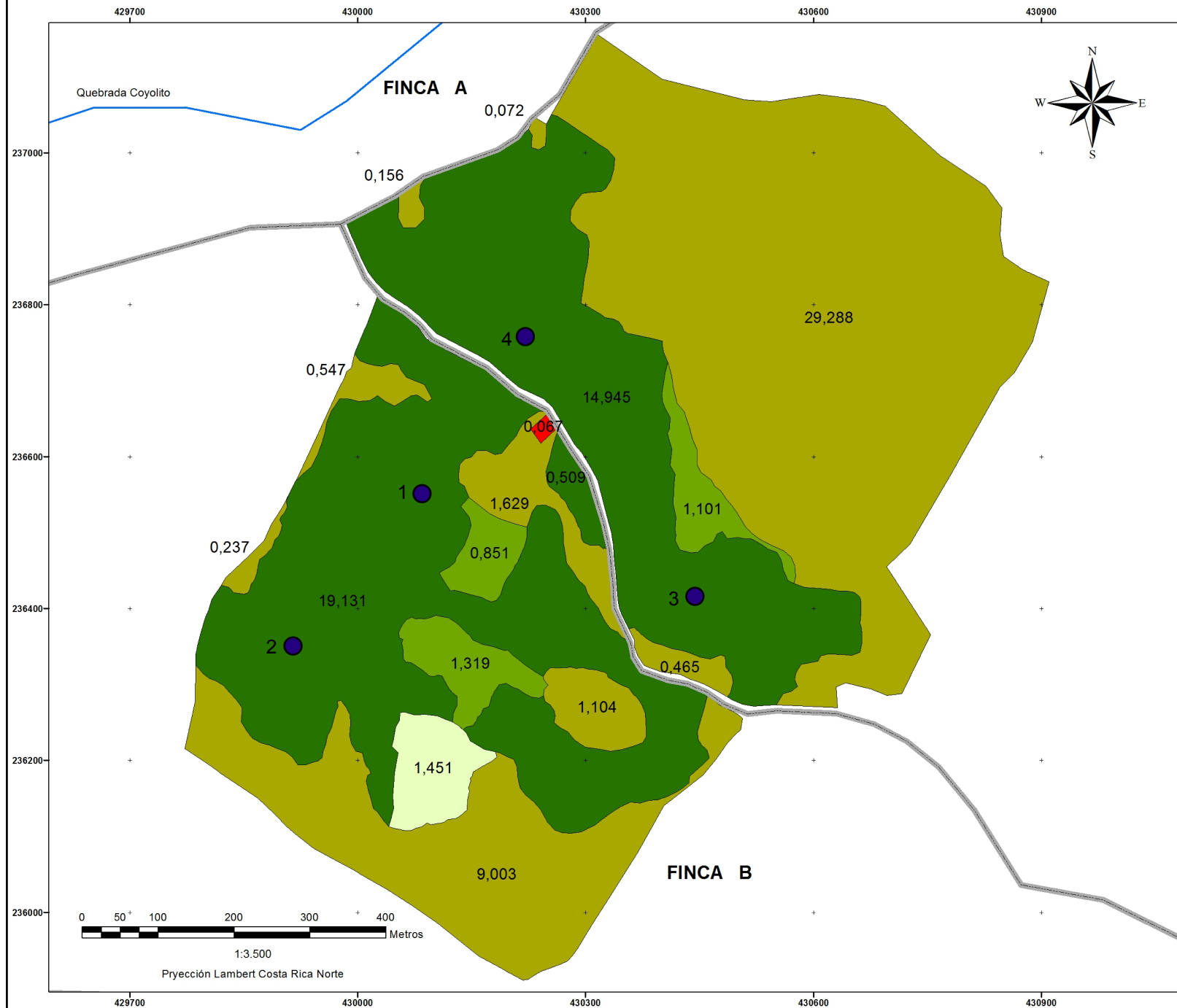
## Localización de la finca en el distrito de San Juan, cantón de Abangares



**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIAS AGRARIAS**  
**Master en Ingeniería de Montes**

<b>TITULO DEL PROYECTO</b> FORESTERÍA DE INGRESO SOSTENIBLE, APORTES DE CARBONO Y EVALUACIÓN FINANCIERA EN PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F.) CON GANADO Y PSA EN LA PROVINCIA DE GUANACASTE, COSTA RICA.		<b>FECHA</b> SEPTIEMBRE 2015
<b>SIST. DE REFERENCIA</b> CR LAMBERT NORTE	<b>DENOMINACION DEL PLANO</b> LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES EN LA FINCA "ABANGARI"	
<b>ESCALA</b> 1:30.000	<b>FIRMA</b> ALUMNO ANTONIO LECEGUI PEREPÉREZ	
<b>Nº DE PLANO</b> II		

# Proyecto Coyolito I - Forestal Río Grande S.A.



## Simbología

- Red vial
  - Red hídrica
- Finca**
- Casa
  - Protección
  - Posible Expansión
  - Teca 2010
  - Teca 2007

Forestal Río Grande S.A.  
Céd. Jurídica 3-101-329807

Ejecutor: Consultora y Ejecutora en  
Procesos Naturales S.A. 2007

### Datos Registrales

Planos Catastrados: G 1092276 06, G 0009014 72  
Folios Reales: 5 35647 000, 5 27553 000

### Ubicación Cartográfica

Hoja Cartográfica 1:50 000 Chapernal 3246 III  
Cordenadas 429000-431000 Longitud Oeste y 235000-238000 Latitud Norte

Ing. Fo. Manuel Francisco Torres Ortega  
CIA N° 6336

20/03/2010

### Cuadro 1. Área (Ha) por categoría de uso.

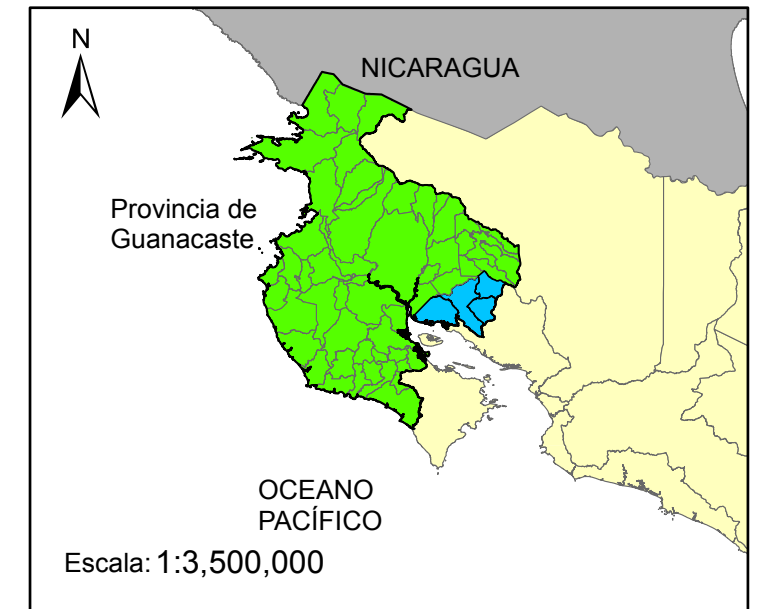
USO	FINCA A	FINCA B	Total	%
Casa	0,067	0,067	0,067	0,08
Protección	29,981	12,520	42,501	51,91
Posible Expansión		1,451	1,451	1,77
Teca nueva (2010)	1,101	2,17	3,271	4,00
Teca vieja (2007)	14,945	19,640	34,585	42,24
<b>Total</b>	<b>46,027</b>	<b>35,848</b>	<b>81,875</b>	<b>100,00</b>

Fuentes de Información:  
- Plano Catastrado.  
- Atlas Digital. 2004. Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR.  
- Datos de Campo GPS.

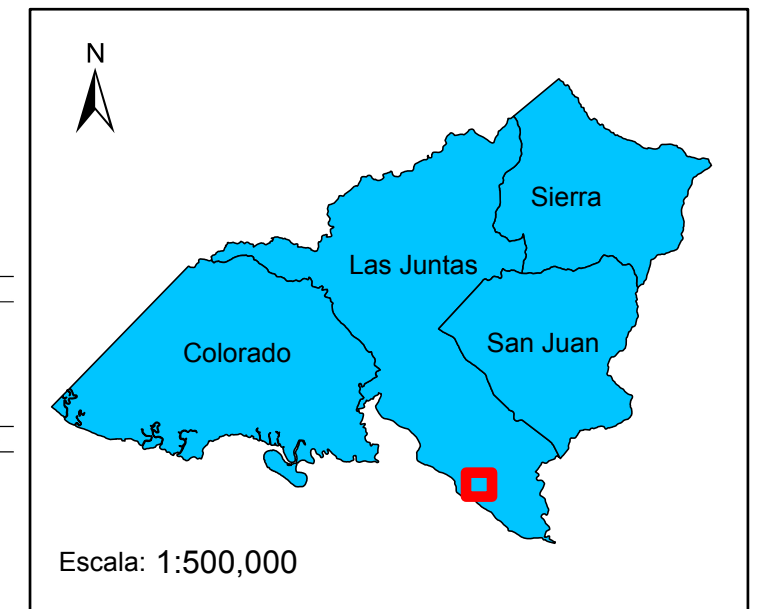
### Nota:

- Los lotes plantados se midieron "a la gotera" que significa una distancia de entre 3,5 y 4 metros de los fustes de los árboles plantados en los bordes por ser el espacio vital de crecimiento.

## Localización de la provincia de Guanacaste en Costa Rica



## Localización de la finca en el distrito de Las Juntas, cantón de Abangares



Cuadro 2. Ubicación por lote y localización de las PPM

PPM	Ubicación por lote	Coordenadas Projectadas CR Lambert Norte	
		Latitud	Longitud
1	Coyolito 1-A	430057	236580
2	Coyolito 1-B	429901	236362
3	Coyolito 1-C	430481	236426
4	Coyolito 1-D	430230	236803

## Simbología

- PPM

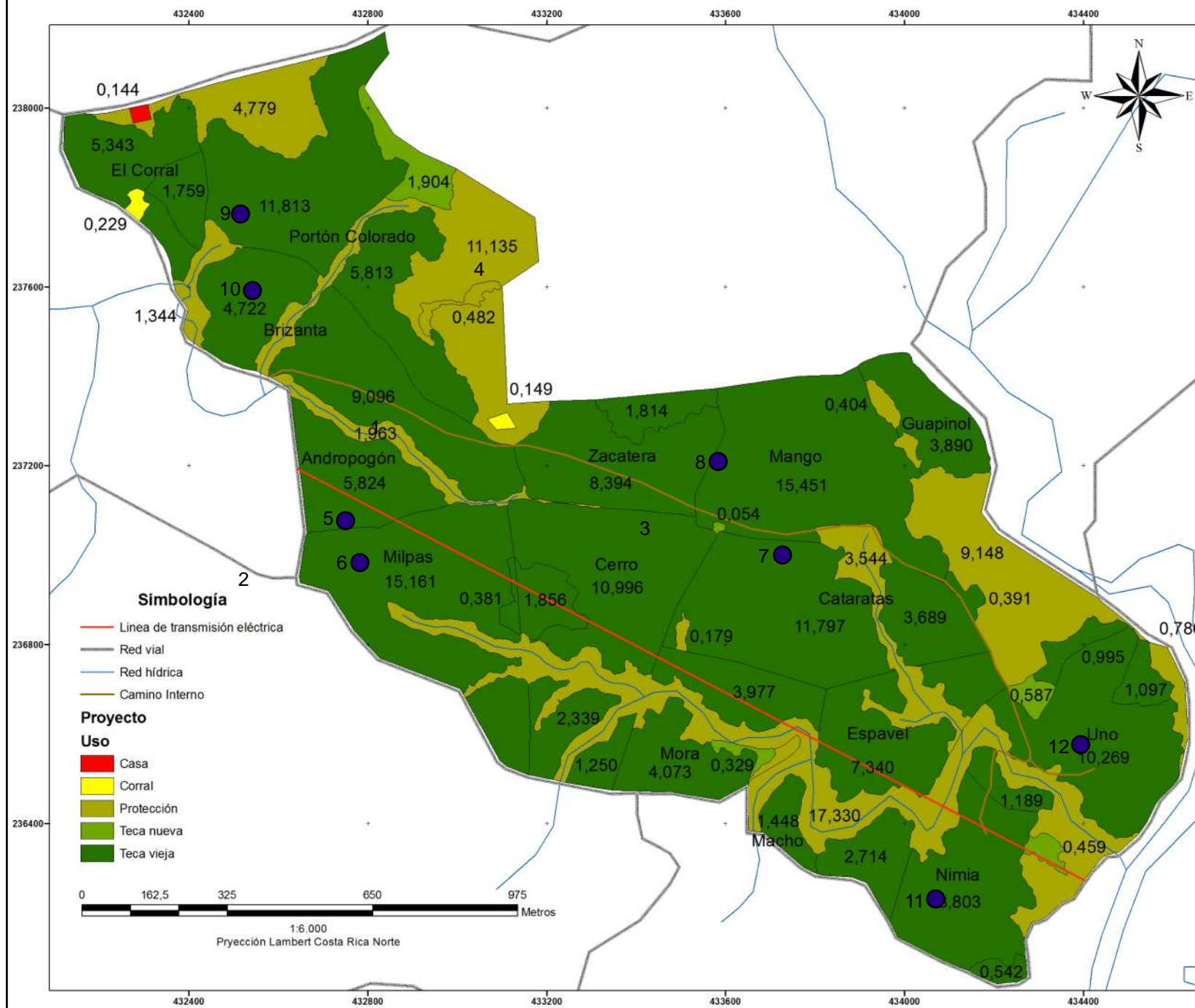
CATIE UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIAS AGRARIAS  
Master en Ingeniería de Montes



TITULO DEL PROYECTO FORESTERÍA DE INGRESO SOSTENIBLE, APORTES DE CARBONO Y EVALUACIÓN FINANCIERA EN PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F.) CON GANADO Y PSA EN LA PROVINCIA DE GUANACASTE, COSTA RICA.		FECHA SEPTIEMBRE 2015
SIST. DE REFERENCIA CR LAMBERT NORTE	DENOMINACION DEL PLANO LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES Y PPM EN LA FINCA "COYOLITO I"	FIRMA
ESCALA 1:8.000	ALUMNO	
Nº DE PLANO III	ANTONIO LECEGUI PEREPÉREZ	



# Proyecto Coyolito II - Forestal Río Grande S.A.



Forestal Río Grande S.A.  
Céd. Jurídica 3-101-329807

Ejecutor: Consultora y Ejecutora en  
Procesos Naturales S.A.

Datos Registrales

Planos Catastrados Folios Reales  
G 1134561 07 5 39124 000  
G 0643441 86 5 56929 000

Ubicación Cartográfica

Hoja Cartográfica 1:50 000 Chapernal 3246 III  
Cordenadas 432000-435000 Longitud  
Oeste y 235000-239000 Latitud Norte

Ing. Fo. Manuel Francisco Torres Ortega  
CIA N° 6336

06/12/2012

Cuadro 1. Fecha de plantación y área  
efectiva por lote

Lote	F. Plantación	Área (Ha)
Mango	jul-07	15,451
Milpas	jul-07	15,542
Uno	jul-07	11,458
Cataratas	ago-07	15,486
Cerro	ago-07	16,441
Espavel	ago-07	10,054
Mora	ago-07	8,050
Nimia	ago-07	8,803
Zacatera	ago-07	10,208
Brizanta	sep-07	13,818
El Corral	sep-07	5,343
<b>Reforestado 2007</b>		<b>130,654</b>
Andropogón	ago-08	5,824
El Corral	ago-08	1,759
Guapinol	ago-08	4,281
Nimia	ago-08	0,542
Portón Colorado	ago-08	17,626
Uno	ago-08	2,092
Macho	sep-08	1,448
<b>Reforestado 2008</b>		<b>33,572</b>
Uno		0,587
Portón Colorado		1,904
Mora		0,329
Nimia		0,459
Mango		0,054
<b>Replante/reposición</b>		<b>3,333</b>
<b>Área Efectiva Total</b>		<b>167,559</b>
<b>Infraestructura</b>		<b>0,522</b>
<b>Protección</b>		<b>51,094</b>
<b>Área Total</b>		<b>219,175</b>

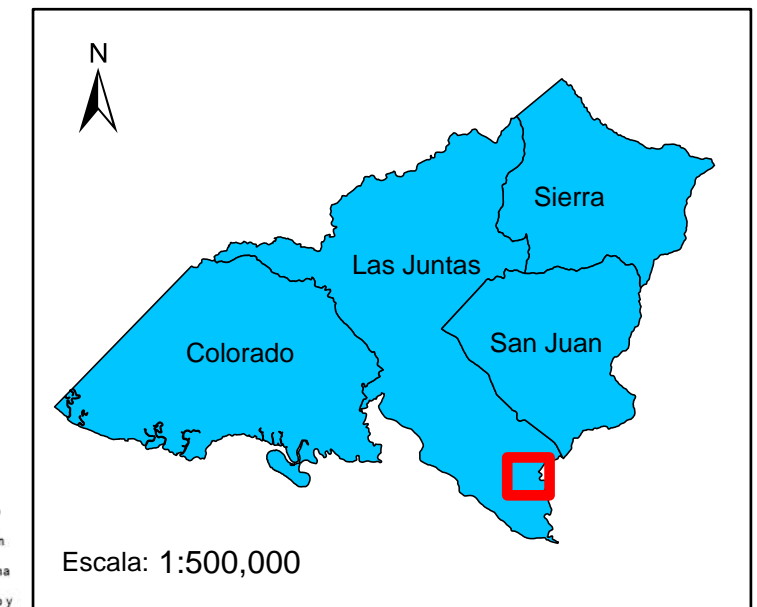
Fuentes de Información:  
- Mapa anterior.  
- Atlas Digital. 2004. Escuela de  
Ingeniería Forestal, ITCR.  
- Datos de Campo GPS.

Notas:  
- Los replantes realizados en el proyecto son: Milpas 0,381 ha en jun-09, Cerro 1,856 ha en jun-09 y Zacatera 1,814 ha en jun-09.  
- Se han realizado reducciones de 4,889 ha en el área efectiva por rectificación de los linderos con respecto a los caminos que bordean la finca.  
- Las áreas de replante 2012-2013 corresponden a 0,587 ha en el Uno, 0,054 ha en el Mango y 0,329 ha en el Mora.  
- Las áreas de reposición 2013 corresponden a 2,386 ha en el Portón Colorado y 0,459 ha en el Nimia.  
- Los lotes plantados se midieron "a la gotera" que significa una distancia de entre 3,5 y 4 metros de los fustes de los árboles plantados en los bordes por ser el espacio vital de crecimiento.

## Localización de la provincia de Guanacaste en Costa Rica



## Localización de la finca en el distrito de Las Juntas, cantón de Abangares



Cuadro 2. Ubicación por lote y localización de las PPM

PPM	Ubicación por lote	Coordenadas Projectadas CR Lambert Norte	
		Latitud	Longitud
5	Andropogón	432762	237082
6	Milpas	433013	236900
7	Catarata	433808	236991
8	Mango	433653	237241
9	Portón colorado	432536	237799
10	Brizanta	432547	237626
11	Uno	434511	236551
12	Nimia	434161	236197

### Simbología

● PPM

CATIE UNIVERSIDAD DE VALLADOLID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERIAS AGRARIAS  
Master en Ingeniería de Montes



TITULO DEL PROYECTO FORESTERÍA DE INGRESO SOSTENIBLE, APORTES DE CARBONO Y EVALUACIÓN FINANCIERA EN PLANTACIONES FORESTALES DE TECA (TECTONA GRANDIS L.F.) CON GANADO Y PSA EN LA PROVINCIA DE GUANACASTE, COSTA RICA.		FECHA SEPTIEMBRE 2015
SIST. DE REFERENCIA CR LAMBERT NORTE	DENOMINACION DEL PLANO LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES Y PPM EN LA FINCA "COYOLITO II"	FIRMA ANTONIO LECEGUI PEREPÉREZ
ESCALA 1:13.000	ALUMNO	
Nº DE PLANO IV		