

**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE
QUEVEDO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN
AMBIENTAL**

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TEMA:

Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y en el suelo en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.F.) en los cantones Quevedo y Balzar, Ecuador.

AUTORA:

FREYA JOHANNA ARIAS BRAVO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. PEDRO SUATUNCE CUNUHAY

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2011

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

Tesis de grado presentada al Honorable Consejo Directivo, como
requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y en el
suelo en plantaciones de teca (*Tectona grandis L.F.*) en los
cantones Quevedo y Balzar, Ecuador.

AUTORA:

FREYA JOHANNA ARIAS BRAVO

Aprobada por:

Ing. For. Pedro Suatunce
Director de Tesis

Ing. Jimmy Briones Moreira
Presidente del Tribunal

Ing. For. Fidel Troya
Integrante del Tribunal

Ing. Jorge Neira
Integrante del Tribunal

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2011

CERTIFICACIÓN

El suscrito, catedrático de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Certifica: que la señorita Freya Johanna Arias Bravo, egresada de la Escuela de Ingeniería en Gestión Ambiental, realizó bajo mi dirección la Tesis titulada “Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea y en el suelo en plantaciones de teca (*Tectona grandis L.F.*) en los cantones Quevedo y Balzar, Ecuador”, habiendo cumplido a cabalidad con todas las disposiciones legales pertinentes.

Ing. For. Pedro Suatunce Cunuhay M Sc
DIRECTOR DE TESIS

La responsabilidad de la investigación, resultados y conclusiones presentados en esta tesis, pertenecen exclusivamente la autora.

Freya Johanna Arias Bravo

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro

A Dios sobre todas las cosas porque es bueno, porque siempre me dio y sigue dándome las fuerzas y sabiduría que tanto necesito en mi diario vivir.

A mi amado esposo Leonel, por su paciencia y amor incondicional, cariño sin tu ayuda no lo hubiera logrado...

A mi hija Leonelita quien llena de felicidad y satisfacción cada día de mi vida.

A mis padres Mario y Freya que dieron todo su empeño para hacerme alcanzar lo que tanto anhelaba, sin ustedes no hubiera alcanzado esta meta.

A mis queridos hermanos Mario, Daniel, Néstor, Karina, Karen, y a mi abuelita Luz por su apoyo y amor incondicional...

Freya Johanna Arias Bravo

AGRADECIMIENTOS

¡¡No puedo poner en otro sitio que no sea El Principal!! En primer lugar A ti mi Dios, Mi Padre de Amor, que restauraste mi vivir y me diste La oportunidad de conocer La verdadera felicidad y tener La esperanza de encontrarme contigo un dia muy próximo.

A mi familia, gracias por todo el cariño y su apoyo incondicional esto es por ustedes y para ustedes...

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

A la Facultad de Ciencias Ambientales de la UTEQ.

A la Escuela de Ingeniería en Gestión Ambiental de la UTEQ.

Al Ing. Pedro Suatunce, por su enorme paciencia y dedicación. Le agradezco profundamente por su aporte e interés de contribuir en mi formación.

A la Ing. Betty Gonzales que me invito a formar parte de este grupo selecto e hizo posible su apoyo financiero atreves de la UICYT y SENASYT para la realización de esta investigación.

Al Ing. Antonio Veliz Mendoza, decano de la Facultad de Ciencias Ambientales.

Al Ing, Garis Ramírez Huila, subdecano de la Facultad de Ciencias Ambientales.

A la Unidad de Investigación Científica y Tecnológica (**UICYT**), por su aporte financiero.

A los Ingenieros; Jimmy Briones, Jorge Neira, Fidel Troya y Agustín Leiva integrantes del tribunal de tesis, por sus importantes aportes metodológicos en la definición de este proyecto de investigación, por su tiempo y dedicación a la contribución del documento final.

A todos los encargados de los distintos laboratorios; Biotecnología, Química y Bromatología, que fueron utilizados para realizar gran parte de la metodología.

De manera especial quiero agradecer a mis queridos amigos Wendy, Néstor, Harrys, Norma, Mariela, Adriana, Lenin C, Víctor, Washington, Oscar, Mauro, Ceci, Christian, Carolina, David, José, Jorge, Guillermo, Kathy y al Ing. Carlos González por todos los momentos compartidos y por su gran contribución a la elaboración de esta tesis, con ustedes el trabajo fue más fácil, Dios les bendecirá por ello.

Finalmente a todas aquellas personas que de una u otra forma estuvieron ahí para extenderme su mano... GRACIAS ES UNA PALABRA QUE NO ABARCA LO QUE SIENTO EN MI CORAZÓN...

ÍNDICE

Capítulo	Páginas
Información legal.....	i
Certificación.....	ii
Autoría	iii
Dedicatoría.....	iv
Agradecimientos.....	v
Índice	vii
Lista de cuadros	xi
Lista de figuras.....	xiii
Resumen.....	xiv
Summary.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. CAMBIO CLIMATICO	4
2.2. EFECTO INVERNADERO	5
2.2.1. Emisiones antropogenicas de gases de efecto invernadero (GEI) de larga permanencia.....	8
2.2.2. Mitigación.....	10
2.2.3. Sumidero	10
2.2.3.1. <i>Absorciones producidas por los sumideros</i>	11
2.2.3.2. <i>Adaptación de la vegetación al cambio climático</i>	12
2.2.3.3. <i>La energía proveniente del sol</i>	13
2.2.3.4. <i>Radicación fotosintéticamente activa</i>	14

2.2.3.5. <i>Absorción del CO₂ en las planta</i>	15
2.2.3.6. <i>Almacenamiento del CO₂ absorbido en la fotosíntesis</i>	15
2.2.3.7. <i>Captura de carbono CO₂</i>	17
2.2.4. <i>Clases de biomasa</i>	20
2.2.4.1. <i>Biomasa aérea de la vegetación herbácea y leñosa pequeña</i>	20
2.2.4.2. <i>Necromasa sobre el suelo</i>	20
2.2.4.3. <i>La hojarasca fina</i>	21
2.2.4.4. <i>Los detritos de la madera gruesa</i>	21
2.3. GENERALIDADES DE LA TECA	21
2.3.1. <i>Historia de la introducción al país</i>	22
2.3.2. <i>Clasificación taxonómica de la teca</i>	22
2.3.3. <i>Distribución y condiciones de hábitat</i>	22
2.3.4. <i>Dendrología</i>	23
2.3.4.1. <i>La corteza</i>	23
2.3.4.2. <i>Las hojas</i>	23
2.3.4.3. <i>Las flores</i>	23
2.3.4.4. <i>El fruto</i>	23
2.3.4.5. <i>Las semillas</i>	24
2.3.4.6. <i>La madera</i>	24
2.3.4.7. <i>Requerimientos edafológicos de la teca</i>	24
2.3.4.8. <i>Requerimientos ambientales</i>	25
2.4. ALMACENAMIENTO DEL CARBONO EN EL SUELO	27
2.4.1. <i>Medida de las existencias de carbono en el suelo</i>	27
2.4.2. <i>Evaluación del cambio en el almacenamiento</i>	28
III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.2. DISEÑO Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.3. MATERIALES	32

3.3.1. Campo.....	32
3.3.2. Laboratorio.....	32
3.3.3. Oficina.....	33
3.4. MÉTODOLÓGÍA.....	33
3.4.1. Variables en estudio.....	33
3.4.2. Tamaño y forma de las parcelas de muestreo.....	33
3.4.3. Determinación de la biomasa aérea en árboles.....	34
3.4.3.1. Fuste.....	35
3.4.3.2. Ramas.....	35
3.4.3.3. Hojas.....	36
3.4.3.1. Biomasa aérea total del árbol.....	36
3.5. CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA DEL ÁRBOL.....	37
3.5.1. Determinación de la necromasa fina (hojarasca).....	38
3.5.2. Determinación de la necromasa gruesa (ramas).....	38
3.5.3. Carbono almacenado en la necromasa fina y gruesa.....	38
3.5.4. Carbono total de la biomasa aérea.....	39
3.5.5. Muestreo del suelo.....	39
3.5.6. Carbono almacenado en el suelo.....	40
3.5.7. Carbono de la raíz.....	41
3.5.8. Almacenamiento total de carbono.....	41
3.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	41
IV. RESULTADOS.....	44
4.1. VARIABLES DE CRECIMIENTO.....	44
4.1.1. Quevedo.....	44
4.1.2. Balzar.....	45
4.2. DAP ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS.....	46
4.3. ALTURA TOTAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS.....	46
4.4. ALTURA COMERCIAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS.....	47

4.5. VOLUMEN TOTAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS.....	47
4.6. VOLUMEN COMERCIAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS.....	48
4.7. CONTENIDO DE CARBONO	48
4.7.1. Quevedo	48
4.7.2. Balzar.....	49
4.8. CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS	50
4.9. CONTENIDO DE CARBONO DEL SUELO ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS	50
4.10. CONTENIDO DE CARBONO DEL SUELO MAS RAÍZ ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS	51
4.11. CONTENIDO DE CARBONO TOTAL ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS	51
4.12. CORRELACIÓN	52
4.12.1. Correlación entre profundidad y el carbono del suelo.....	52
V. DISCUSIÓN	55
5.1. VARIABLES DASOMÉTRICAS.....	55
5.2. CONTENIDO DE CARBONO	56
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
6.1. CONCLUSIONES	58
6.2. RECOMENDACIONES	60
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	61
VIII. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	64
IX. ACRÓNIMO.....	66
X. ANEXOS.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadros	pag.
Cuadro 1. Gases efecto Invernadero afectados por actividades humanas.....	8
Cuadro 2. Emisiones de CO ₂ en el mundo procedentes de combustibles fósiles (1990-2007).....	9
Cuadro 3. Reservorios considerados sumideros de ecosistemas terrestres.....	16
Cuadro 4. Datos de ubicación y las características de suelo y clima de los dos sitios de estudio.....	30
Cuadro 5. Coordenadas de las ocho localidades de estudio.....	31
Cuadro 6. Descripción de la división de la unidad de muestreo para la medición de biomasa y captura de carbono.....	34
Cuadro 7. Análisis de varianza del carbono almacenado en la biomasa aérea.....	42
Cuadro 8. Análisis de varianza del carbono almacenado en el suelo.....	42
Cuadro 9. Análisis de varianza combinado para el carbono almacenado.....	43
Cuadro 10. Promedios del diámetro (cm), altura (m) y volumen (m ³) en plantaciones de teca en cuatro fincas del cantón Quevedo.....	44
Cuadro 11. Promedios del diámetro (cm), altura (m) y volumen (m ³) en plantaciones de teca en cuatro fincas del cantón Balzar.....	45
Cuadro 12. Promedios del diámetro (cm) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.....	46
Cuadro 13. Promedios de altura total (m) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.....	46
Cuadro 14. Promedios de altura comercial (m) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.....	47
Cuadro 15. Promedios de volumen total (m ³) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.....	47

Cuadro 16. Promedios de volumen comercial (m ³) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar	48
Cuadro 17. Promedios de Contenidos de carbono en t ha ⁻¹ en el cantón Quevedo.....	49
Cuadro 18. Promedios de Contenidos de carbono en t ha ⁻¹ en el cantón Balzar	50
Cuadro 19. Promedios de carbono de la biomasa aérea (t ha ⁻¹) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar	50
Cuadro 20. Promedios de carbono del suelo (t ha ⁻¹) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar	51
Cuadro 21. Promedios de carbono del suelo mas raíz (t ha ⁻¹) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar	51
Cuadro 22. Promedios de carbono total (t ha ⁻¹) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar	52
Cuadro 23. Coeficiente y probabilidad de la correlación entre la profundidad y el contenido de carbono en el suelo, en las localidades de Quevedo y Balzar	52
Cuadro 24. Cuadrados medios de la ecuación polinómica del contenido de carbono en la localidad de de Quevedo	54
Cuadro 25. Valores estimados de la regresión de la profundidad del suelo y el contenido de carbono en la localidad de Quevedo	54
Cuadro 26. Cuadrados medios de la ecuación polinómica del contenido de carbono en la localidad de de Balzar	54
Cuadro 27. Valores estimados de la regresión de la profundidad del suelo y el contenido de carbono en la localidad de Balzar.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figuras	pag.
Figura 1. Efecto Invernadero	5
Figura 2. Evolución de la concentración de carbono en los suelos limosos entre 1928 y 1991 con o sin adición de abonos orgánicos (lugar experimental del INRA, <i>Las 42 parcelas</i> , Versailles, Francia).....	28
Figura 3. Diseño de la unidad de muestreo Fonseca (2007)	34
Figura 4. Esquema de la división de los componentes de un árbol	37
Figura 5. Forma de muestreo de carbono orgánico en el suelo	40
Figura 6. Correlación entre las diferentes profundidades y el contenido de carbono en el suelo, en la localidad de Quevedo	53
Figura 7. Correlación entre las diferentes profundidades y el contenido de carbono en el suelo, en la localidad de Balzar	53

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue la cuantificación de carbono almacenado en plantaciones de *Tectona grandis* en los cantones Quevedo y Balzar. Para la ejecución de este trabajo, se seleccionaron cuatro fincas en cada cantón con plantaciones en edades de 10 a 12 años. En cada finca se establecieron cuatro parcelas; dentro de las parcelas se señalaron cuatro puntos de muestreo de 1 m² para la necromasa fina y otra de 25 m² para la necromasa gruesa; además, en el centro de la parcela se realizó la calicata de 1 m² y 60 cm de profundidad para tomar muestras del suelo. Para determinar el contenido de carbono se talaron dos árboles representativos en cada parcela. Las variables estudiadas fueron las siguientes: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial (HC), altura total (HT), carbono orgánico activo de la biomasa aérea (fuste, ramas, hojas, necromasa fina y gruesa) y del suelo (raíces y suelo). Los promedios de volumen y carbono total almacenado en plantaciones de *T. grandis* presentaron diferencias significativas. Los promedios de volumen total fueron de 0,5270 m³ y 0,4148 m³, para Quevedo y Balzar, respectivamente; los promedios de carbono total almacenado fueron de 113,80 t ha⁻¹ y 79,26 t ha⁻¹ para Quevedo y Balzar, respectivamente. La correlación entre el contenido de carbono y la profundidad de suelo fue de tendencia negativa en los dos cantones. Esta información sobre almacenamiento de carbono servirá como referencia para establecer valores para los pagos por servicios ambientales.

SUMMARY

The objective of this study was the quantification of carbon stored in *Tectona grandis* plantations in the Quevedo and Balzar cantons. For the execution of this work, four farms were selected in each canton with plantations in ages from 10 to 12 years. In each farms four parcels were settled down; inside the parcels four points of sampling of 1 m² were pointed out for the fine necromass and another of 25 m² for the thick necromass; also, in the center of the parcel a pit of 1 m² and 60 cm of depth was carried out in order to take samples of the floor. To determine the content of carbon two representative trees were cut down in each parcel. The studied variables were as follow: diameter to the chest height (DAP), commercial height (HC), total height (HT), active organic carbon of the air biomass (shaft, branches, leaves, fine and thick necromass) and of the floor (roots and floor). The averages of volume and total carbon stored in plantations of *T. grandis* presented significant differences. The averages of total volume were of 0,5270 m³ and 0,4148 m³, for Quevedo and Balzar, respectively; the averages of stored total carbon were of 113,80 t ha⁻¹ and 79,26 t ha⁻¹ for Quevedo and Balzar, respectively. The correlation between the content of carbon and the floor depth was of negative tendency in the two cantons. This information about storage of carbon will serve as reference to establish values for the environmental services payments.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático inducido por las actividades humanas es un problema mundial que afecta de forma negativa los procesos ecológicos, económicos y sociales que rigen el planeta (IPCC 2001). El cambio climático es inducido principalmente por gases de efecto invernadero como el metano, el óxido nitroso y el dióxido de carbono (CO₂), los cuales provocan el incremento de su concentración en la atmósfera. En lo que respecta a los contenidos de carbono atmosférico, éstos se han incrementado principalmente por dos actividades humanas: el cambio de uso de la tierra y la combustión de fósiles. Se estima que el cambio de uso de la tierra emite $1,6 \pm 1,0$ Gt ($1 \text{ Gt} = 1 \times 10^9 \text{ t}$) de carbono al año y que la combustión de fósiles emite $5,5 \pm 0,5$ Gt de carbono al año (Lal y Kimble *et ál.* 1998). Esta situación se ha agravado en los últimos cien años, por lo que la comunidad científica ha concentrado gran parte de sus esfuerzos de investigación en esta área y, en las últimas décadas, ha sido también causa de preocupación y de discusión entre políticos.

El almacenamiento de carbono es un servicio ambiental que valoriza la incorporación de especies arbóreas en sistemas agroforestales, y representa un atractivo para el financiamiento de proyectos de inversión y desarrollo rural combatiendo la pobreza en el ámbito regional y nacional, encontrándose varios casos de proyectos agroforestales bajo programas de financiamiento por segundos países (IPCC 1996).

La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO₂ de la atmósfera produciendo carbohidratos, liberan oxígeno y carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, incluyendo la madera en los árboles. En ese sentido, los bosques tropicales, las plantaciones forestales y las prácticas agroforestales, y en general, aquellas actividades que lleven a la ampliación de una cobertura vegetal permanente, deben cumplir la función de "sumideros de carbono" (Cuéllar *et al.* 1999).

Investigaciones recientes sugieren que la calidad del manejo forestal puede hacer una contribución significativa en controlar los niveles de CO₂ en la atmósfera. Otras actividades de uso de la tierra que pueden contribuir a este fin son: la conservación de los bosques nativos en peligro de deforestación, rehabilitación de bosques, forestación, reforestación, agricultura y agroforestería (Ducan *et al.* 1999; Fischer *et al.* 1999).

Este trabajo fue realizado con el objetivo de cuantificar el carbono almacenado en plantaciones forestales de los cantones Quevedo y Balzar, específicamente en árboles de teca.

La mayoría de las estrategias de mitigación del efecto invernadero tienen como objetivo la reducción de la concentración de CO₂ en la atmósfera, uno de los principales gases de dicho efecto. Como los árboles, durante su crecimiento actúan como sumideros de carbono al absorber el CO₂ y almacenar carbono en la madera, el mantenimiento de bosques o plantaciones forestales se ha convertido en un servicio ambiental de potencial valor económico en países en vías de desarrollo. En la actualidad este proceso que es relativamente nuevo para el caso de Ecuador, es voluntario y no está sujeto a ninguna obligación de los dueños de plantaciones forestales o propietarios que tengan bajo manejo forestal bosques nativos y plantaciones. Sin embargo existe la posibilidad de reconocer bonos de carbono por evitar la deforestación y por la realización de proyectos que ejecuten actividades de forestación y reforestación.

La determinación del contenido de carbono en plantaciones forestales es muy importante, por un lado, para saber la cantidad almacenada en este tipo de ecosistemas y, por otro lado para determinar su tasa de acumulación y pasar de lo actual a lo potencial. Un parámetro para determinar la cantidad de carbono que es fijado en un ecosistema forestal es la cuantificación de biomasa existente, debido a que la siembra de nuevas plantaciones o la pérdida de cubierta vegetal pueden significar un aumento en la absorción o emisión de carbono.

Entre las especies forestales tropicales establecidas en el Litoral ecuatoriano, la teca ha ganado una reputación mundial debido a la atracción y durabilidad de su madera. En Ecuador, las plantaciones de teca cubren aproximadamente una superficie total de 30000 ha. lo que la convierte en una alternativa atractiva para la fijación y almacenamiento de carbono.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Determinar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo de plantaciones de teca

1.1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea de las plantaciones de teca.
- ✓ Cuantificar el carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de teca.

1.2. HIPÓTESIS

Las plantaciones de *T. grandis* almacena grandes cantidades de carbono.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO

Se llama cambio climático a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. En teoría, son debidos tanto a causas naturales como antropogénicas. El término suele usarse de forma poco apropiada, para hacer referencia tan sólo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término *cambio climático* sólo para referirse al cambio por causas humanas (Oreskes, 2004).

Por “cambio climático” se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables. Como se produce constantemente por causas naturales se lo denomina también variabilidad natural del clima. En algunos casos, para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión cambio climático antropogénico (Hughes, 2001).

Además del calentamiento global, el cambio climático implica cambios en otras variables como las lluvias globales y sus patrones, la cobertura de nubes y todos los demás elementos del sistema atmosférico. La complejidad del problema y sus múltiples interacciones hacen que la única manera de evaluar estos cambios sea mediante el uso de modelos computacionales que simulan la física de la atmósfera y de los océanos. La naturaleza caótica de estos modelos hace que en sí tengan una alta proporción de incertidumbre, aunque eso no es óbice para que sean capaces de prever cambios significativos futuros que tengan consecuencias tanto económicas como las ya observables a nivel biológico (Knutti y Hegerl 2008).

2.2. EFECTO INVERNADERO

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad económica humana. Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero (IPCC, 2001).

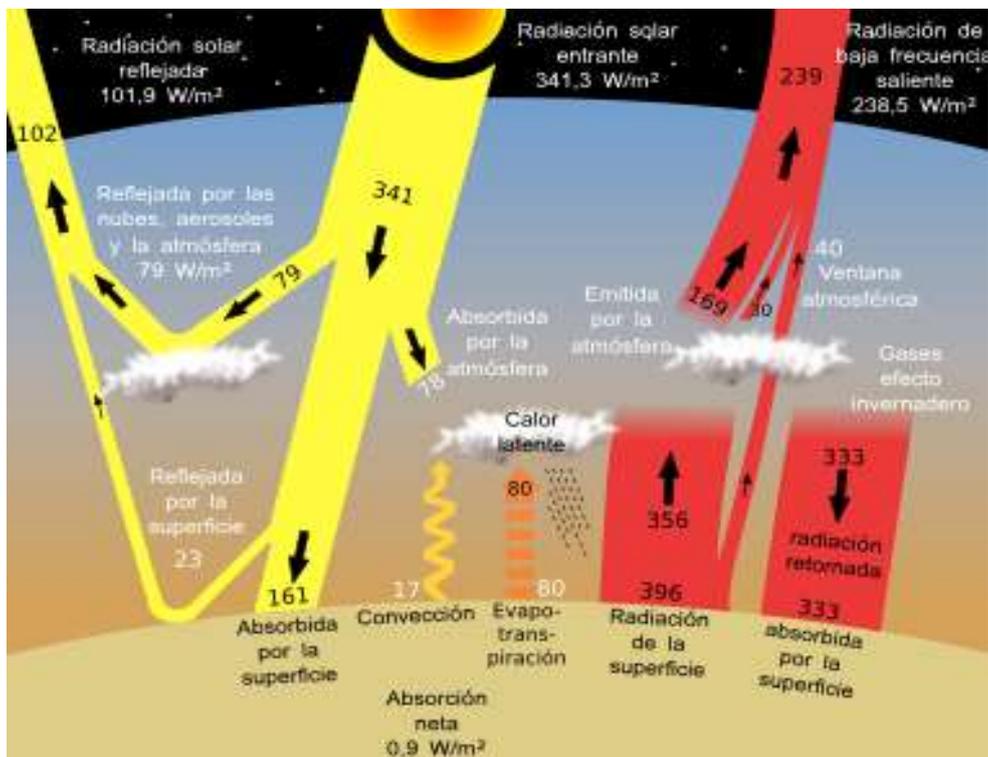


Figura 1. Efecto invernadero

Balance anual de energía de la Tierra desarrollado por Trenberth, Fasullo y Kiehl de la NCAR en 2008. Se basa en datos del periodo marzo de 2000 - Mayo de 2004 y es una actualización de su trabajo publicado en 1997. La superficie de la Tierra recibe del Sol 161 w/m² y del Efecto Invernadero de la Atmósfera 333w/m², en total 494 w/m², como la superficie de la Tierra emite un

total de 493 w/m^2 ($17+80+396$), supone una absorción neta de calor de $0,9 \text{ w/m}^2$, que en el tiempo actual está provocando el calentamiento de la Tierra.

En la atmósfera el mantenimiento del equilibrio entre la recepción de la radiación solar y la emisión de radiación infrarroja, devuelve al espacio la misma energía que recibe del Sol. Esta acción de equilibrio se llama balance energético de la Tierra y permite mantener la temperatura en un estrecho margen que posibilita la vida.

En un período suficientemente largo el sistema climático debe estar en equilibrio, la radiación solar entrante en la atmósfera está compensada por la radiación saliente. Pues si la radiación entrante fuese mayor que la radiación saliente se produciría un calentamiento y lo contrario produciría un enfriamiento. Por tanto, en equilibrio, la cantidad de radiación solar entrante en la atmósfera debe ser igual a la radiación solar reflejada saliente más la radiación infrarroja térmica saliente.

Toda alteración de este balance de radiación, ya sea por causas naturales u originado por el hombre (antropógeno), es un forzamiento radiactivo y supone un cambio de clima y del tiempo asociado. Los flujos de energía entrante y saliente se juntan en el sistema climático ocasionando muchos fenómenos tanto en la atmósfera, como en el océano o en la tierra. Así la radiación solar entrante se puede dispersar en la atmósfera o ser reflejada por las nubes y los aerosoles. La superficie terrestre puede reflejar o absorber la energía solar que le llega. La energía solar de onda corta se transforma en la Tierra en calor (IPCC, 2001).

Esa energía no se disipa, se encuentra como calor sensible o calor latente, se puede almacenar durante algún tiempo, transportarse en varias formas, dando lugar a una gran variedad de tiempo y a fenómenos turbulentos en la atmósfera o en el océano. Finalmente vuelve a ser emitida a la atmósfera como energía radiante de onda larga. Un proceso importante del balance de calor es el albedo, por el que algunos objetos reflejan más energía solar que otros.

Los objetos de colores claros, como las nubes o las superficies nevadas, reflejan más energía, mientras que los objetos oscuros, como los océanos y los bosques, absorben más energía solar que la que reflejan. Otro ejemplo de estos procesos es la energía solar que actúa en los océanos, la mayor parte se consume en la evaporación del agua de mar, luego esta energía es liberada en la atmósfera cuando el vapor de agua se condensa en lluvia. La energía infrarroja emitida por la Tierra es atrapada en su mayor parte en la atmósfera y reenviada de nuevo a la Tierra. Este fenómeno se llama Efecto Invernadero y garantiza las temperaturas templadas del planeta.

Los denominados gases de efecto invernadero o gases invernadero, responsables del efecto descrito, son:

- ✓ Vapor de agua (H_2O)
- ✓ Dióxido de carbono (CO_2)
- ✓ Metano (CH_4)
- ✓ Óxidos de nitrógeno (N_xO_y)
- ✓ Ozono (O_3)
- ✓ Clorofluorocarbonos ($CFCI_3$)

Si bien todos ellos (salvo los CFCs) son naturales, en tanto que ya existían en la atmósfera antes de la aparición del hombre, desde la Revolución industrial y debido principalmente al uso intensivo de los combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono emitidas a la atmósfera, con el agravante de que otras actividades humanas, como la deforestación, han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero (Lal y Kimbleet ál. 1998).

Cuadro 1. Gases efecto Invernadero afectados por actividades humanas

DESCRIPCIÓN	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC-23	CF ₄
Concentración pre industrial	280 ppm	700 ppb	270 ppb	0	0	40 ppt
Concentración en 1998	365 ppm	1.745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
Permanencia en la atmósfera	de 5 a 200 años	12 años	114 años	45 años	260 años	<50000 años

Fuente: IPCC, Clima 2001, La base científica, Resumen técnico del Informe del Grupo de Trabajo I, p. 38

2.2.1. Emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) de larga permanencia

Las actividades humanas generan emisiones de cuatro GEI de larga permanencia: dióxido de carbono CO₂, metano (CH₄), óxido de dinitrógeno (N₂O) y halocarbonos (gases que contienen flúor, cloro o bromo).

Cada GEI tiene una influencia térmica (forzamiento radiactivo) distinta sobre el sistema climático mundial por sus diferentes propiedades radiactivas y períodos de permanencia en la atmósfera. Tales influencias se homogenizan en una métrica común tomando como base el forzamiento radiactivo por CO₂ (emisiones de CO₂-equivalente). Homogenizados todos los valores, el CO₂ es con mucha diferencia el gas invernadero antropógeno de larga permanencia más importante, representando en 2004 el 77% de las emisiones totales de GEI antropógeno.

Pero el problema no sólo es la magnitud sino también las tasas de crecimiento. Entre 1970 y 2004, las emisiones anuales de CO₂ aumentaron un 80%. Además en los últimos años el incremento anual se ha disparado: en el reciente periodo 1995-2004, la tasa de crecimiento de las emisiones de CO₂-eq fue de 0,92 GtCO₂-eq anuales, más del doble del periodo anterior 1970-1994 (0,43 GtCO₂-eq anuales).

Ya se ha señalado que la concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de un valor de 280 ppm en la época preindustrial a 379 ppm en 2005. El CH₄ en la

atmósfera ha cambiado de los 715 ppm en 1750 (periodo preindustrial) hasta 1732 ppm en 1990, alcanzando en 2005 las 1774 ppm. La concentración mundial de N₂O en la atmósfera pasó de 270 ppm en 1750 a 319 ppm en 2005. Los halocarbonos prácticamente no existían en la época preindustrial y las concentraciones actuales se deben a la actividad humana (IPCC, 1996.)

Según el Informe Stern, que estudió el impacto del cambio climático y el calentamiento global en la economía mundial, encargado por el gobierno británico y publicado en 2006, la distribución total mundial de las emisiones de GEI por sectores es: un 24% se debe a la generación de electricidad, un 14% a la industria, un 14% al transporte, un 8% a los edificios y un 5% más a actividades relacionadas con la energía. Todo ello supone unas 2/3 partes del total y corresponde a las emisiones motivadas por el uso de la energía. Aproximadamente el 1/3 restante se distribuye de la siguiente forma: un 18% por el uso del suelo (incluye la deforestación), un 14% por la agricultura y un 3% por los residuos (Lal y Kimbleet ál. 1998).

Entre 1970 y 2004, las mejoras tecnológicas han frenado las emisiones de CO₂ por unidad de energía suministrada. Sin embargo el crecimiento mundial de los ingresos (77%) y el crecimiento mundial de la población (69%), han originado nuevas formas de consumo y un incremento de consumidores de energía. Esta es la causa del aumento de las emisiones de CO₂ en el sector de la energía. También el Informe Stern señala que desde el año 1850, Estados Unidos y Europa han generado el 70% de las emisiones totales de CO₂.

Cuadro 2. Emisiones de CO₂ en el mundo procedentes de combustibles fósiles (1990-2007)

DESCRIPCIÓN	1990	1995	2000	2005	2007	% Cambio 90-07
CO ₂ en millones de toneladas	20980	21810	23497	27147	28962	38,0%
Población mundial en millones	5259	5675	6072	6382	6535	25,7%
CO ₂ per cápita en toneladas	3,99	3,84	3,87	4,20	4,38	9,8%
Fuente: Agencia Internacional de la Energía						

2.2.2. Mitigación

El propósito de la mitigación es la reducción de la vulnerabilidad, es decir la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento:

- ✓ Geológico, como un sismo o tsunami.
- ✓ Hidrológico, inundación o sequía.
- ✓ Sanitario.
- ✓ Eventos fortuitos, como un incendio.

Se entiende también por mitigación al conjunto de medidas que se pueden tomar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que pudieran tener algunas intervenciones andrógenas. Estas medidas deben estar consolidadas en un Plan de mitigación, el que debe formar parte del estudio de impacto ambiental (Oreskes, 2004).

2.2.3. Sumidero

Se considera sumidero al “área por donde son canalizados el agua, los nutrientes o cualquier tipo de compuesto, físico o químico, o que sirve de almacén de los mismos. En la actualidad este término se aplica a los bosques para significar su papel en la absorción del anhídrido carbónico de la atmósfera y la consiguiente reducción del efecto invernadero” (Diccionario forestal).

El concepto de sumidero, en relación con el cambio climático, fue adoptado en la Convención Marco de Cambio Climático de 1992. Un sumidero de gases de efecto invernadero, según la Convención, es cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera uno de estos gases o uno de sus precursores, o bien un aerosol y que lo almacena. En el ámbito del Protocolo de Kioto, la definición se limita a determinadas actividades de uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de tierras agrícolas, entre otras) que se traducen en una captura del CO₂ presente en la atmósfera y su almacenamiento posterior

en forma de materia vegetal. Esta captura de CO₂ contribuye a reducir la concentración de los Gases de Efecto Invernadero de la atmósfera, y por lo tanto, a mitigar el cambio climático (IPCC, 2001).

2.2.3.1. Absorciones producidas por los sumideros

El cálculo o estimación de las absorciones de las formaciones vegetales no es tarea fácil. Para facilitar la comprensión del cálculo, como ejemplo, se estimará el carbono almacenado en un árbol de dos especies distintas. Se ha elegido el pino resinero (*Pinus pinaster*) y la encina (*Quercus ilex*) por ser, respectivamente, la conífera y la frondosa, más abundantes en España.

Los datos necesarios para la estimación del CO₂ retirado de la atmósfera por un árbol son:

- ✓ Volumen maderable con corteza (V_{cc}): es el volumen con corteza del fuste, es decir, del tronco del árbol sin considerar ramas ni raíces.
- ✓ Densidad (D): tonelada de materia seca (tms) por metro cúbico de árbol recién cortado.
- ✓ Factor de expansión de biomasa (BEF, por sus siglas en inglés): parámetro o función que permite estimar el volumen aéreo del árbol a partir de su volumen maderable, es decir, multiplicando el V_{cc} por el BEF obtendremos el volumen de todo el árbol.
- ✓ Factor R: relación entre biomasa aérea y raíces.
- ✓ Factor FC: factor de conversión de tonelada de materia seca (tms) a tonelada de Carbono (tC), fijado en 0,5 tC/1tm.
- ✓ 44/12: proporción molecular para pasar de carbono (C) a dióxido de carbono (CO₂).

Para realizar la estimación del carbono almacenado por ambas especies y poder comparar, tomamos como ejemplo un pie de cada una de estas dos especies (pino resinero y encina) con un volumen maderable con corteza de 0,2 m³, lo que nos permitirá diferenciar entre las distintas capacidades de absorción de las distintas especies (IPCC, 2001).

La fórmula que se aplica es la siguiente:

Cantidad de CO₂ acumulada $(t \text{ CO}_2/\text{árbol}) = (V_{cc} \cdot D \cdot BEF) \cdot (1+R) \cdot FC \cdot 44/12$

2.2.3.2. *Adaptación de la vegetación al cambio climático*

Hasta ahora, se ha analizado el papel de las formaciones vegetales en la mitigación del cambio climático. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la persistencia de estas formaciones vegetales también está condicionada por el mismo cambio climático. Para asegurar esta persistencia es importante la adaptación a los efectos provocados por este fenómeno.

Los vegetales tienen capacidad de adaptación natural a los cambios en las condiciones climáticas, sin embargo, debido a que estos cambios se están produciendo de una manera muy rápida, es probable que muchas especies no logren adaptarse a tiempo, lo que puede llevar a su desaparición.

Es posible facilitar la adaptación de los ecosistemas al cambio climático a través de una gestión coherente con las condiciones futuras del clima de cada zona. Por ejemplo, en los sistemas agrícolas, la adaptación a corto plazo puede basarse en sencillas prácticas agrícolas, como cambios de fechas de siembra o en las variedades utilizadas. Sin embargo, a largo plazo es necesario adaptar los sistemas a las nuevas condiciones climáticas.

En cuanto a los bosques, es necesario seleccionar las especies que se utilicen en las repoblaciones, así como adaptar sus sistemas de gestión, teniendo en cuenta los cambios previsibles en los recursos hídricos, las temperaturas, la duración y agresividad de plagas y enfermedades, etc. Se trata de utilizar las especies y sistemas de manera que se favorezca la supervivencia y sostenibilidad de la masa forestal bajo las nuevas condiciones.

El cambio climático es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible y constituye un importante reto mundial que ya está causando impactos ambientales en la economía global, la salud, la biodiversidad, el

medio ambiente y el bienestar humano. Este cambio climático se produce por la creciente concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, entre los que se encuentra el CO₂. Para luchar contra este fenómeno, se debe evitar la concentración progresiva de estos gases en la atmósfera, reduciendo las emisiones o aumentando su absorción (Knutti y Hegerl 2008).

Los principales instrumentos internacionales establecidos para la lucha contra este fenómeno son la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y su Protocolo de Kioto.

El artículo 4 de la Convención Marco establece que los países deben impulsar la gestión sostenible de los bosques (que permite un aprovechamiento sostenido de los recursos sin que éstos disminuyan a largo plazo) y promover y apoyar la conservación y el reforzamiento de los “sumideros”, incluyendo la biomasa y los bosques.

El Protocolo de Kioto permite a los países firmantes que utilicen parte de las toneladas de carbono absorbido por estos “sumideros” para facilitar el cumplimiento de los compromisos de limitación de emisiones que dichos países adquieren al ratificar el Protocolo.

2.2.3.3. La energía proveniente del sol

La tierra recibe 174 petavatios de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% es reflejada de vuelta al espacio mientras que el resto es absorbida por las nubes, los océanos y las masas terrestres. El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre está ocupado principalmente por luz visible y rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta. La radiación absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra incrementan la temperatura de éstas. El aire calentado contiene agua evaporada que asciende de los

océanos, y también en parte de los continentes, causando circulación atmosférica o convección.

Cuando el aire asciende a las capas altas, donde la temperatura es baja, va disminuyendo su temperatura hasta que el vapor de agua se condensa formando nubes. El calor latente de la condensación del agua amplifica la convección, produciendo fenómenos como el viento, borrascas y anticiclones. La energía solar absorbida por los océanos y masas terrestres mantiene la superficie a 14 °C. Para la fotosíntesis de las plantas verdes la energía solar se convierte en energía química, que produce alimento, madera y biomasa, de la cual derivan también los combustibles fósiles.

Se estima que la energía total que absorben la atmósfera, los océanos y los continentes puede ser de 3.850.000 exajulios por año. En 2002, esta energía en un segundo equivalía al consumo global mundial de energía durante un año.^{12 13} La fotosíntesis captura aproximadamente 3.000 EJ por año en biomasa, lo que representa solo el 0,08% de la energía recibida por la Tierra. La cantidad de energía solar recibida anual es tan vasta que equivale aproximadamente al doble de toda la energía producida jamás por otras fuentes de energía no renovable como son el petróleo, el carbón, el uranio y el gas natural.

2.2.3.4. Radiación fotosintéticamente activa

Se denomina Radiación Fotosintéticamente Activa a la cantidad de radiación integrada del rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética en las plantas y otros organismos fotosintéticos como microalgas y bacterias. Este rango es el comprendido aproximadamente entre los 400 y los 700 nanómetros y se corresponde, también aproximadamente, con el espectro visible.

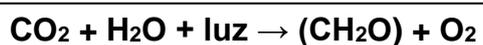
Las unidades de medida de la Radiación Fotosintéticamente Activa suelen ser las habituales para cualquier radiación: los microEinsteins/m²/s o micromoles de fotones/m²/s. No todos los organismos usan las mismas longitudes de onda.

2.2.3.5. *Absorción del CO₂ en las plantas*

La vida en la tierra depende fundamentalmente de la energía solar, la cual es atrapada por las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis, que es responsable de la producción de toda la materia orgánica que conocemos. La materia orgánica está presente en los alimentos que, tanto las personas como los animales, consumen a diario; en los combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón); así como en la leña, madera, pulpa para papel, etc.

La fotosíntesis es el proceso por el que las plantas son capaces de capturar la energía de la luz del sol y convertirla en energía química y materia orgánica.

La ecuación química que resume este proceso sería la siguiente:



CO₂ = dióxido de carbono, H₂O = agua, (CH₂O) = hidratos de carbono (azúcares) y O₂ = oxígeno

Se trata de un proceso complejo, que se traduce en la captación del dióxido de carbono de la atmósfera y emisión de oxígeno a la atmósfera.

2.2.3.6. *Almacenamiento del CO₂ absorbido en la fotosíntesis*

Como ya se ha visto, el CO₂ absorbido de la atmósfera se almacena en forma de carbono (C) formando parte de la materia orgánica de las plantas. Cierta parte del mismo pasa, posteriormente, a almacenarse en la hojarasca, en el suelo, los reservorios son almacenes de carbono, es decir, sistemas capaces de acumular o liberar carbono.

Algunos ejemplos de estos almacenes de carbono son la biomasa forestal, los productos de la madera o los suelos. Si la cantidad de carbono que entra en estos reservorios es mayor que la que sale de ellos, serán considerados sumideros (captadores de CO₂ de la atmósfera). En el caso contrario, serán una fuente de gases de efecto invernadero (Knutti y Hegerl 2008). Los reservorios que se consideran a la hora de medir la capacidad como sumidero de un ecosistema terrestre (forestal o agrícola) son los siguientes:

Cuadro 3. Reservorios considerados sumideros de ecosistemas terrestres

RESERVORIO		DESCRIPCIÓN
Biomasa viva	Biomasa sobre tierra	Toda la biomasa viva sobre el suelo, incluyendo tronco, ramas, corteza, semillas, hojas y tocones
	Biomasa bajo tierra	Toda la biomasa de las raíces vivas. Las raíces finas de menos de 2mm de diámetro son, a menudo, excluidas por su proceso continuado de degradación- regeneración.
Materia Orgánica Muerta	Madera muerta	Toda la biomasa no viva, aparte de la hojarasca. Incluye madera sobre la superficie, raíces muertas y tocones mayores o iguales a 10 cm. de diámetro.
	Hojarasca	Incluye toda la biomasa no viva de pequeño tamaño en varios estados de descomposición, sobre el suelo mineral u orgánico.
Suelos	Materia	Incluye carbono orgánico en suelos orgánicos y minerales (incluyendo turba).
Fuente: Elaboración propia		

Una cuestión clave en los sumideros es la permanencia del carbono almacenado. Las cantidades de CO₂ absorbidas por un sumidero, por ejemplo, un bosque, pueden volver a la atmósfera si esa formación vegetal desaparece por cualquier circunstancia. Las causas más comunes de la disminución de los reservorios en los que se encuentra almacenado el carbono son las plagas, las enfermedades, los aprovechamientos (extracción de madera o recogida de cosecha, por ejemplo) y los incendios forestales. Debido a estos eventos, parte

del CO₂ previamente absorbido, y almacenado como carbono en los reservorios, sería remitido a la atmósfera (Fonseca, 2007).

Teniendo en cuenta la cuestión de la permanencia, el ciclo que sigue el carbono en los ecosistemas vegetales es el siguiente:

En el Paso 1 se produce la absorción de CO₂, que, a través de la fotosíntesis, entrará a formar parte de la planta en forma de carbono orgánico. Cuando las hojas, ramas, etc., caen al suelo, se produce el Paso 2, incorporación del carbono al suelo desde la vegetación (COS – Carbono Orgánico del Suelo). Pero también, como parte del ciclo del carbono, se producen emisiones, es decir, pérdidas de carbono acumulado en el suelo por mineralización, actividad de los microorganismos descomponedores del suelo... (Paso 3) y también emisiones por la propia respiración de la vegetación (para mantenimiento y formación de nuevos tejidos por la vegetación) y emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (Paso 4). Por último, la mayor fuente de emisiones de las formaciones vegetales se produce por retirada de carbono por eliminación de la vegetación (cosecha, aprovechamiento forestal, incendio, etc.) (Paso 5). Si la cantidad de CO₂ absorbida por las actividades 1 y 2 es mayor que la cantidad de CO₂ emitida por las actividades 3, 4 y 5, la formación vegetal (ya sea bosque, cultivo, matorral,...) será un sumidero de carbono. Si ocurre lo contrario, las emisiones serán mayores que las absorciones y el ecosistema será una fuente de CO₂ (Fonseca, 2007).

2.2.3.7. Captura de carbono CO₂

Los árboles absorben dióxido de carbono (CO₂) atmosférico junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de troncos y ramas. La cantidad de CO₂ que el árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono (Fonseca, 2007).

Aproximadamente 42% a 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar madurez. Cuando el árbol muere, emite la misma cantidad de carbono que capturó. Un bosque en plena madurez aporta finalmente la misma cantidad de carbono que captura. Lo primordial es cuanto carbono (CO₂) captura el árbol durante toda su vida.

Los árboles, al convertir el CO₂ en madera, almacenan muy lentamente sólo una pequeña parte del CO₂ que producimos en grandes cantidades por el uso de combustibles fósiles (petróleo, gasolina, gas, etc.) para el transporte y la generación de energía eléctrica en las actividades humanas que diariamente contaminan el medio ambiente. Después de varios años, cuando los árboles han llegado a su madurez total, absorben (capturan) únicamente pequeñas cantidades de CO₂ necesarias para su respiración y la de los suelos (Fonseca, 2007).

El dióxido de carbono atmosférico (CO₂) es absorbido por los árboles mediante la fotosíntesis, y es almacenado en forma materia orgánica (biomasa-madera). El CO₂ regresa a la atmósfera mediante la respiración de los árboles y las plantas, y por descomposición de la materia orgánica muerta en los suelos (oxidación).

Para calcular la captura de carbono es necesario conocer el período en cual el bosque alcanzará su madurez. Los índices de captura de carbono varían de acuerdo al tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. La acumulación de carbono en los bosques, llega eventualmente a un punto de saturación, a partir del cual la captura de carbono resulta imposible. El punto de saturación se presenta cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo. Las prácticas para captura de carbono deben continuar, aún después de haber llegado al punto de saturación para impedir la emisión de carbono nuevamente a la atmósfera (Fonseca, 2007).

Plantas, humanos y animales, son formas de vida basadas en el carbono. Estas formas de vida utilizan energía solar para obtener el carbono que es

necesario en la química de las células. Los árboles absorben CO₂ a través de los poros en sus hojas. Y particularmente por la noche, los árboles emiten más CO₂ del que absorben a través de sus hojas.

Una tonelada de carbono en la madera de un árbol ó de un bosque, equivale a 3.5 toneladas aprox. de CO₂ atmosférico. Una tonelada de madera con 45% de carbono contiene 450 Kg. de carbono y 1575 Kg. de CO₂. Árboles maduros, plantados a distancia de 5 metros forman bosque de 400 árboles por hectárea. Si cada árbol contiene 300 Kg. de carbono, y 42% de la madera del árbol es carbono, esto significaría que cada árbol pesa 714 Kg. En este caso, la captura de carbono sería de 120 toneladas por hectárea (400 x 714 x 42%).

Estimaciones sobre captura de carbono durante 100 años oscilan entre 75 y 200 toneladas por hectárea, dependiendo del tipo de árbol y de la cantidad de árboles sembrados en una hectárea. Es posible entonces asumir 100 t de carbono capturado por hectárea, equivalente a 350 t de CO₂ por hectárea en 100 años. Esto es una tonelada de carbono y 3.5 t de CO₂ por año y por hectárea, sin tomar en cuenta la pérdida de árboles. Calculando la pérdida de árboles en 25% por hectárea. Entonces la captura de carbono es de 75 t/ha equivalente a 2.6 ton de CO₂ por año y por hectárea (Fonseca, 2007).

El promedio mundial de emisiones de CO₂ en 2001 fue 3.9 ton por persona (Banco Mundial). Se necesitarían 1.5 ha por persona, plantadas con árboles en desarrollo en regiones sin forestación para compensar las emisiones de CO₂ de esta sola persona. Y 9,000 millones de hectáreas para compensar temporalmente las emisiones de los 6,000 millones de habitantes en el mundo. Sin embargo, esto sería insuficiente, porque la población y las emisiones de CO₂ aumentan diariamente.

Cada año se requerirían mucho más de 9,000 millones de hectáreas plantadas con árboles en desarrollo en regiones sin forestación para compensar las emisiones de CO₂ y reponer los árboles muertos. Sin embargo, 70 % del planeta Tierra está cubierto por agua; las tierras sin forestación generalmente

no son adecuadas para la mayoría de las especies de árboles; y los suelos fértiles se requieren para producir alimentos.

La plantación de árboles beneficia enormemente el medio ambiente, pero no resuelve el problema de calentamiento global que es causa de la deforestación. Se requiere modificar nuestros patrones de vida y de consumo relacionados con la energía y las emisiones de CO₂ (gas de efecto invernadero) para estar en posibilidad de mitigar los efectos del calentamiento global.

Hay que insistir en que la captura de carbono en bosques y suelos es reversible. El carbono (CO₂) que tomo muchos años (décadas) para ser capturado y almacenado en troncos y ramas de árboles en los bosques podría quedar liberado en la atmósfera, debido a incendios forestales; manejo inadecuado de los bosques; cambios en los usos de suelo; plagas y enfermedades vegetales; y por efectos del calentamiento global. De tal manera, el CO₂ regresaría a la atmósfera empeorando la situación actual que afecta negativamente las condiciones climáticas, la salud humana y la vida en el planeta (Fonseca, 2007).

2.2.4. Clases de biomasa

2.2.4.1. Biomasa aérea de la vegetación herbácea y leñosa pequeña

La vegetación herbácea y leñosa está conformada por gramíneas, helechos, pequeños arbustos, bejucos, plantas pequeñas y regeneración de árboles cuyo diámetro normal D (a 1,3 m de altura) o altura total sean menores a un límite determinado.

2.2.4.2. Necromasa sobre el suelo

Los detritos vegetales se definen como la materia orgánica que reposa en la superficie del suelo, generalmente en estado fresco y con bajo grado de descomposición (MacDicken 1997). Esta puede incluir además material cosechado por animales y materia orgánica lixiviada, pero frecuentemente su

evaluación es difícil. La necromasa o detritos vegetales pueden separarse en hojarasca fina y detritos no finos o detritos de madera gruesa.

2.2.4.3. La hojarasca Fina

Está conformada por hojas, flores, frutos, semillas y fragmentos de estos, ramitas y material leñoso con diámetros variables definidos. Algunos autores consideran un diámetro límite de 2 cm.

2.2.4.4. Los detritos de madera Gruesa

Se definen como la masa vegetal muerta compuesta por pedazos de madera, leños, ramas o árboles muertos en pie o caídos.

2.3. GENERALIDADES DE LA TECA

Tectona grandis L. f. (teca), pertenece a la familia VERBENACEAE. Esta especie forestal es originaria de Asia, tiene una distribución natural en países como la India, Birmania, Indonesia y Tailandia. En el Ecuador se establecieron las primeras plantaciones en la década de los 50 en las zonas de Milagro, Balzar y Quevedo; las actuales plantaciones se han realizado con las semillas obtenidas de estas primeras introducciones.

La teca es un árbol grande, que puede alcanzar en su hábitat natural los 60 m de altura, un diámetro a la altura de pecho de 2,6 m y un tronco libre de ramas de 30 m. Sus hojas y ramas son opuestas; Son comunes unas gambas pronunciadas pero bajas y con acanaladuras. La madera es moderadamente dura y fácil de trabajar; se utiliza en la fabricación de muebles, construcción rural, postes, cercas y leña, la teca es una especie que demanda manejo silvicultural intensivo y por tanto los costos de producción son altos (Lazo y otros, 1987).

2.3.1. Historia de la introducción al país

Inicialmente la teca fue introducida a Centro América (isla Trinidad) procedente de Birmania en 1913 y desde allí fue traída a Cuba y otros países del Caribe, en forma de semilla (Fors citado por Betancourt, 1987)

En el Ecuador fue introducida a principios de los años cincuenta, Presumiblemente procedentes de Centro América, por medio de semillas, a varias zonas del Litoral ecuatoriano, especialmente en las zonas de Balzar, Milagro, Montalvo, Quevedo y Quinindé, bajo diferentes modalidades de plantación: cortinas rompe vientos, división pastos, cultivos y linderos y en plantaciones puras.

2.3.2. Clasificación taxonómica de la Teca

Reino	:	Vegetal
Clase	:	Angiospermae
Subclase	:	Dicotyledonae
Orden	:	Lamiales
Familia	:	Verbenacea
Género	:	Tectona
Especie	:	grandis
Nombre científico	:	<i>Tectona grandis</i>
Nombres comunes	:	Teak, teck, sag y teka

2.3.3. Distribución y condiciones de hábitat

T. grandis forma parte, en su área de distribución natural, de los bosques tropicales mixtos deciduos, aunque también se encuentra en los semideciduos, mezclados con especies siempre verdes. Esta especie logra su máximo desarrollo y tamaño en un clima tropical cálido y húmedo, con precipitación pluvial de 1.720 a 3.800 mm, aunque puede existir en sitios donde las lluvias no pasen de 760 mm y en las que alcanzan más de 5.000 mm anuales (Haigetal, 1959 citado por Betancourt, 1987).

En nuestro país las plantaciones de teca se encuentran entre 0 y 1000 msnm en zonas tropicales con precipitaciones entre 800 y 2000 mm, pero las mejores plantaciones se ubican en zonas semi secas con estaciones fijas sin lluvias (tres meses).

En cuanto a la temperatura, los autores citados expresan que la teca se puede desarrollar en lugares donde las temperaturas mínimas bajen hasta 7,1°C y en los que los máximos alcancen 46 grados Celsius.

2.3.4. Dendrología

Los árboles de **T. grandis** son de fuste recto y elevado. En los bosques de área natural de la especie, los árboles dominantes miden entre 25 y 30 m de altura y 55 a 80 cm de diámetro. Sin embargo se han localizado árboles de mayores dimensiones, con fustes limpios de ramas hasta una altura de 30 m y diámetros de 1,43 m a 1,91 m (Betancourt, 1987).

2.3.4.1. *La corteza* de la teca en su parte exterior es de color castaño claro, escamosa y agrietada y en su interior de coloración blanquecina. Tiene un grosor de 1 a 1,5 cm. La copa es de forma esférica.

2.3.4.2. *Las hojas* ovadas, de unos 60 cm de longitud y 30 cm de anchura, tomentosas en la cara inferior, y cuando están tiernas poseen un líquido de color púrpura.

2.3.4.3. *Las flores* son de color blanco azulado, se reúnen en grandes panículas terminales, muchas de las cuales son estériles.

2.3.4.4. *El fruto* es una drupa parda peluda cubierto por un cáliz persistente, son pesadas y compactas y ofrecen escasas posibilidades para la diseminación anemófila.

2.3.4.5. *La semilla* es pequeña, de 5 mm a 6 mm de largo. Los frutos contiene contienen desde 1 hasta 4 semillas, pero en la práctica cada fruto se considera como una semilla. Un kilogramo contiene entre 1100 y 1500 frutos (semillas), pero existiendo diferencias en cuanto al tamaño y peso de las semillas de distintas procedencias, así por ejemplo un kilogramo de semillas procedentes de Birmania o de Java contiene entre 1250 y 1760 frutos secos (semillas); mientras que la misma unidad de peso de semillas procedentes de las provincias centrales de la India se requieren entre 1980 y 3100 frutos (semillas) (Tulstrup citado por Betancourt, 1987). En nuestro país se ha observado que un kilogramo de semilla procedente de las distintas plantaciones del Litoral ecuatoriano contiene un promedio de 1200 frutos (semillas).

2.3.4.6. *La madera* tiene una albura de color claro susceptible a ser atacado por los termites y los hongos; en cambio el duramen es inmune y durante el proceso de agrietamiento cambia de color amarillo a marrón con estrías de color más oscuro (Lanzara y Pizzetti, 1976 citado por Cevallos y Mora, 1989).

2.3.4.7. *Requerimientos edafológicos de la teca*

- Sitios óptimos.- La experiencia en Costa Rica demuestra que los mayores crecimientos se dan en sitios con altitudes menores a 500msnm, 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). Los sitios buenos deben tener entre 150 y 160 ppm de P total, al menos 15 ppm de manganeso (Mn), hasta 2 ppm de zinc (Zn) y más de 10 cm ol/l de Ca + Mg + K/100 gr de suelo, en los primeros 10 cm profundidad del suelo; una relación Ca/CIC pH 7

mayor al 50% entre 20 y 30 cm de profundidad y una relación Mg/CICE superior al 15- 20% en los primeros 10 cm profundidad del suelo. Bajo estas características, los sitios buenos son aquellos que tienen un porcentaje de saturación de acidez menor a 5,8% y un porcentaje de saturación de calcio mayor a 67%. El porcentaje de acidez se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Sat. Acidez (\%)} = \frac{\text{acidez (cmol/L)} * 100}{\text{CICE}}$$
$$\text{CICE} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{acidez extraíble}$$

2.3.4.8. *Requerimientos ambientales:*

- *Temperatura:* 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. En Ecuador se encuentra en clima seco y húmedo en donde la temperatura alcanza hasta 38 °C, pero con promedios anuales de 23 y 27 °C.⁷
- *Precipitación:* 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.
- *Suelos:* Se adapta a gran variedad de suelos, pero prefiere suelos planos, aluviales, de texturas franco-arenosas o arcillosas, profundas, fértiles, bien drenadas 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).

- *Altitud:* Tectona crece desde 0 a 1000 msnm. En Centro América se ha ensayado desde 16 m hasta 600 m, mientras en Costa Rica las plantaciones más grandes en altura se encuentran a pocos metros sobre el nivel del mar.
- *Factores limitantes:* Entre los factores limitantes más importantes para el crecimiento de teca se consideran los terrenos relativamente planos, el suelo poco profundo (con afloramiento rocoso o roca a poca profundidad), mal drenados, o sitios anegados (tipo Vertisoles de depresión), suelos compactados o arcillosos. Sitios planos con un estrato superficial de arena, suelos lateríticos duros, suelos profundos secos y arenosos no son recomendables. En cuanto a las condiciones químicas, el bajo contenido de calcio, magnesio y fósforo, limitan el buen desarrollo de la especie, también el alto contenido de hierro (Fe) y de aluminio (Al) intercambiable. La especie es sensible al fósforo y las deficiencias producen bajo volumen de biomasa radicular que posiblemente afecta la producción y la salud de la planta. La restitución de elementos como fósforo y potasio al suelo a través de la hojarasca presenta niveles bajos comparados con otros elementos como nitrógeno, calcio y magnesio. Altitudes mayores a 1000 m.s.n.m afectan negativamente el crecimiento, así como los sitios bajos con alta precipitación (mayores a 3500 mm al año) o sin un período seco marcado de 3 meses no son recomendados para plantar la especie. Deben evitarse sitios con una distribución de las lluvias en periodos muy cortos o que presentan un veranillo muy largo, aquí la especie tiende a botar las hojas dos veces con el consecuente gasto de energía.

La teca es una especie heliófita, con alta demanda de luz vertical total y requiere de un espacio amplio alrededor para el desarrollo apropiado. Se mencionan también como factores limitantes la presencia de malezas ya que es muy sensible a la competencia radical y los incendios. Se recomienda no plantar en lugares con: pendiente mayor al 30% para no causar problemas de

erosión, en la parte media y en la cima de las laderas porque el incremento es pobre en sitios con fuertes vientos.

2.4. ALMACENAMIENTO DEL CARBONO EN EL SUELO

En los próximos 25 años, para estimar el potencial de captura de carbono en suelos bajo distintos escenarios será necesario distinguir dos aspectos: cuál es la existencia original de carbono en el suelo y cuáles son los cambios en las existencias de carbono.

2.4.1. Medida de las existencias de carbono en el suelo

La materia orgánica que está sobre la superficie del suelo no es tomada en consideración en la evaluación de las existencias de carbono del suelo. En los suelos cultivados, esto significa que los residuos vegetales son considerados una fase transitoria; sin embargo, los residuos superficiales de los cultivos, los cultivos de cobertura o la cobertura en si misma son partes importantes del agrosistema. Del mismo modo, los residuos de los bosques pueden llegar a 8 o 9 kg/C/m² en los bosques de zona templada (Dupouey *et al.*, 1999) y a 5 o 6 kg/C/m² en un bosque tropical sobre un ferralsol. Las raíces vivas son consideradas como biomasa de carbono y en las tierras de pastoreo, por ejemplo, pueden contribuir con la mayor parte del carbono del suelo.

El método más comúnmente aplicado es la determinación del carbono orgánico total a diferentes profundidades o globalmente para uno o más horizontes y transformar los datos tomando en consideración la densidad y la pedregosidad del suelo. Las estadísticas se calculan sobre diferentes muestras para determinar las existencias de carbono. Los resultados pueden ser expresados en kg/cm², t/ha o Gt (Pg) totales sobre áreas especificadas y a varios rangos de profundidad.

La escala puede ser el lugar o parcela, la cuenca, la región, un país específico o un continente o la zona agroecológica (FAO/IIASA, 1999). La extensión espacial es construida usando mapas digitales para las distintas unidades de suelos considerados. El número de análisis de perfiles de suelos usados es

muy importante y hasta ahora, en general, ha habido una falta de buenos datos referenciados.

Con respecto a las existencias de carbono a escala mundial, hay tres referencias importantes. Sombroek *et al.*, (1993), usaron el *Mapa Mundial de Suelos FAO/UNESCO* (a escala 1:5 000 000) y cerca de 400 perfiles de suelos, agrupados por unidades de suelo de la FAO, con el rango y los valores medios para el contenido de carbono orgánico y la densidad para cada unidad de suelo. Fue posible estimar las existencias de carbono orgánico según los grupos de suelos de la FAO y las existencias de carbono total en el mundo. En conclusión, los autores remarcan en su estimación la importancia de tomar en consideración el uso de la tierra y los cambios en el manejo de la tierra.

2.4.2. Evaluación del cambio en el almacenamiento

Existen numerosos ejemplos históricos bien documentados de cambios en las existencias de carbono del suelo en las zonas templadas, muchos de ellos procedentes de experimentos agronómicos a largo plazo.

El experimento de Versailles (Francia) conocido como *Las 42 parcelas* fue establecido en 1929, sin ningún cultivo y quitando toda la vegetación natural y con o sin fertilización o enmiendas del suelo. El suelo es típicamente limoso con un contenido inicial de carbono de 1,7 por ciento. En 50 años el contenido de carbono orgánico en el suelo sin enmiendas disminuyó de un 60 por ciento a un 0,7 por ciento; en el suelo con fertilizantes orgánicos (100 t/ha/año) aumentó en 50 por ciento a 2,5 por ciento. En ambos casos, la tasa de cambio es decreciente y el nivel nuevo estado de equilibrio es cercano.

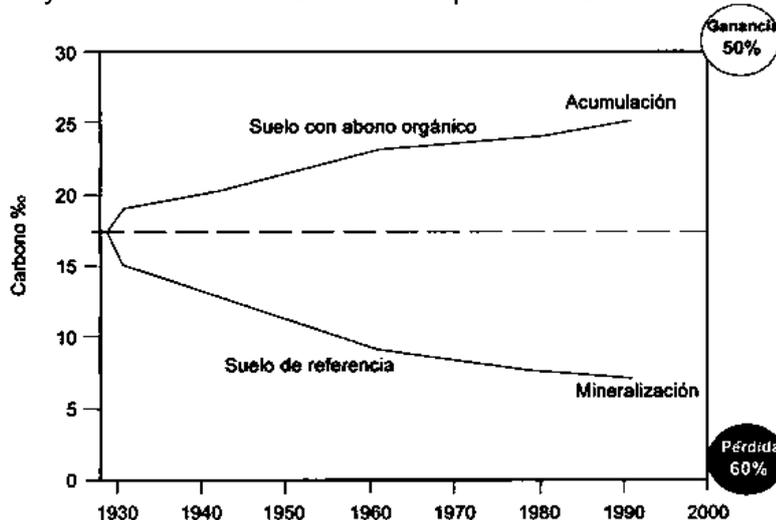


Figura 2. Evolución de la concentración de carbono en los suelos limosos entre 1928 y 1991 con o sin adición de abonos orgánicos (lugar experimental del INRA, *Las 42 parcelas*, Versailles, Francia)

El experimento de Rothamsted -trigo Broadbalk- es el experimento agronómico a largo plazo más antiguo. Fue establecido en 1843 con cultivo continuo de trigo y con rotaciones y las parcelas han sido sometidas a diferentes tratamientos. La aplicación de estiércol ha llevado a la duplicación del contenido del carbono orgánico; con solo residuos de los cultivos, el contenido de carbono del suelo permaneció estable. En el mismo conjunto de experimentos la conversión de tierras de pastoreo a tierras arables resultó en una pérdida de 55 por ciento de carbono total en un plazo de 20 años, de 3,5 por ciento a 2 por ciento de carbono; pérdidas similares de carbono se encontraron donde las praderas naturales se convirtieron a tierras agrícolas, en Canadá o los Estados Unidos de América.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se realizó en los cantones Quevedo y Balzar, localizados en el Litoral ecuatoriano. Las principales características edafoclimáticas se indican a continuación:

Cuadro 4. Datos de ubicación y las características de suelo y clima de los dos sitios de estudio.

Parámetros	Quevedo	Balzar
Ubicación Geográfica	01° 03' 18" Sur 79° 25' 24" Oeste	01° 21' 39" Sur 79° 04' 00" Oeste
Altitud	73 msnm	40 msnm
Precipitación anual	2280 mm	1222 mm
Temperatura media	24,4°C	25,4°C
Humedad relativa	86,2%	72,9%
Zona ecológica	bh-T	bs-T
Topografía	Irregular	Irregular
Textura del Suelo	Franco arcilloso- limoso	Arcilloso-arenoso
pH	Ligeramente ácido	Alcalino
Fuente: Anuarios meteorológicos del INAMHI		

En estos cantones se seleccionaron al azar cuatro fincas con plantaciones de Teca. Las coordenadas de las fincas se presentan a continuación.

Cuadro 5.Coordenadas de las ocho localidades de estudio.

#	LOCALIDADES	COORDENADAS UTM	
		X	Y
BALZAR			
1	Instituto Tecnológico Agropecuario “26 de Septiembre”	0622540	9850738
2	Hda. Las Piedras	0626003	9849457
3	Hda. Alianza	0636473	9862932
4	Hda. Cerro de Hojas	0622425	9848897
QUEVEDO			
5	Finca Experimental “La Represa”	0675696	9883185
6	Hda. El Bosque	0673191	9888052
7	Hda. Olvera	0664976	9880063
8	Hda. Haon	0666094	9881022
Fuente: Elaboración propia.			

3.2. DISEÑO Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo inductivo, este es un método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Es el método científico más usual, que se caracteriza por cuatro etapas básicas las cuales fueron empleadas en este estudio: la observación y el registro de todos los hechos; el análisis y la clasificación de los hechos; la derivación inductiva de una generalización a partir de los hechos; y por último la contrastación.

Se aplicaron las siguientes formulas:

Media Aritmética
$$\bar{(x)} = \frac{\sum Xi}{n}$$

Varianza
$$S^2 = \sum (xi)^2 - \frac{(\sum xi)^2}{n} / n - 1$$

Desviación Estándar

$$(S) = \sqrt{S^2}$$

3.3. MATERIALES

3.3.1. Campo

- Adhesivos para etiquetar
- Balanza romana
- Balanzas analítica
- Barra
- Barreno
- Bolígrafo
- Calculadora
- Cámara digital
- Cilindro de volumen conocido
- Cinta diamétrica
- Cinta métrica
- Cuadrantes
- Estacas
- Fundas de papel
- Fundas plásticas
- GPS
- Hipsómetro
- Lavacaros
- Libreta de anotaciones
- Lupas
- Machete
- Martillo
- Marcadores
- Mascarilla
- Motosierra
- Navaja
- Pala
- Sacos de yute
- Spray paint
- Tabla de picar
- Tijera podadora

3.3.2. Laboratorio

- Balanza analítica
- Estufa para secado de muestra
- Molino eléctrico
- Molino manual

3.3.3. Oficina

- Cd's
- FlashMemory
- Impresora
- Paquetes estadísticos
- Internet
- Ordenador
- Papel bond

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Variables en estudio

Las variables de estudio fueron las siguientes:

1. Diámetro a la altura del pecho (DAP)
2. Altura Comercial (HC)
3. Altura Total (HT)
4. Carbono orgánico activo de la biomasa
5. Carbono orgánico del suelo

Para el alcance del primer objetivo, es decir, la estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea de las plantaciones de teca se aplicó la técnica de observación y la investigación documental.

3.4.2. Tamaño y forma de las parcelas de muestreo

Se utilizó como unidad de muestreo parcelas rectangulares de 20x25m (500m²). Dentro de cada parcela se midió el DAP (diámetro a la altura del pecho, es decir, a 1,30 m sobre el suelo) y altura del fuste de cada árbol. Con estos datos se determinó el área basal (m²/ha) $G: 0.7854 \cdot DAP^2$ y volumen (m³/ha) $V: G \cdot H \cdot f$ con la finalidad de conocer el árbol promedio, por clase diamétrica, por unidad de muestreo y estimar la biomasa por árbol y total de la plantación.

En el centro de la parcela se realizó una calicata de 1 m² de área (0,6 m³) para determinar la cantidad de carbono almacenado en el suelo (Figura 3).

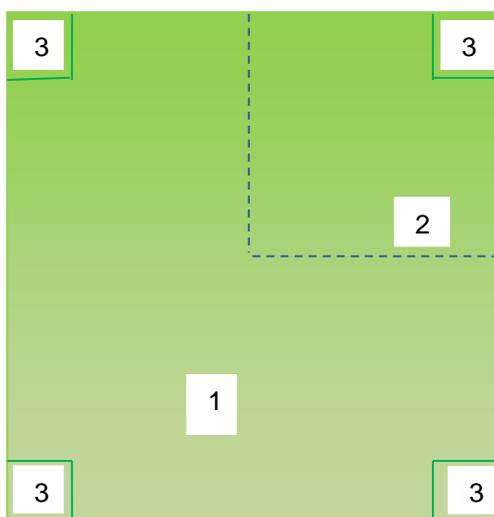


Figura 3. Diseño de la unidad de muestreo Fonseca (2007)

Cuadro 6. Descripción de la división de la unidad de muestreo para la medición de biomasa y captura de carbono.

Nº	Nombre	Dimensión	Parámetros
1	Unidad de Muestreo	20 x 25m	Medición de altura y DAP de todos los árboles. Evaluación del árbol promedio de la unidad de muestreo.
2	Sub Unidades	5 x 5m	Evaluación de la necromasa leñosa.
3	Cuadros	1 x 1m	Evaluación de la necromasa hojarasca
Fuente: Elaboración propia			

3.4.3. Determinación de la biomasa aérea en árboles

Para determinar la biomasa aérea se utilizó el método destructivo (método directo). En cada parcela se midieron todos los árboles y se establecieron dos

clases diamétrica. Se determinó el árbol promedio de cada clase diamétrica y luego se procedió con la tala de los mismos (MacDicken 1997).

Cada árbol de la muestra destructiva (árboles talados), fue dividido en tres componentes: fuste, ramas y hojas, con el fin de obtener el volumen y biomasa de cada una de estas partes. A continuación se detalla el procedimiento realizado para calcular los volúmenes y la conversión de estos a biomasa:

3.4.3.1. Fuste

Una vez separado el fuste se dividió en porciones de 0,8 a 1 m de longitud y se procedió a pesar las trozas obtenidas. Para obtener la muestra del fuste (1 kg aproximadamente) se procedió a cortar en pequeñas porciones (desmenuzar) para embalarlos luego en fundas plásticas debidamente etiquetados y llevarlos al laboratorio a fin de obtener la biomasa. Las muestras fueron secadas en una estufa a 60° C, durante 72 horas. La biomasa del fuste (B_f) se obtuvo directamente con el peso en campo de todas las trozas y con el % de materia seca de los resultados de laboratorio.

$$B_f = (P_{hf} \times \% MS) \div 100$$

Donde:

B_f = Biomasa del Fuste

P_{hf} = Peso húmedo del fuste

MS= Materia seca

3.4.3.2. Ramas

Las ramas gruesas y delgadas fueron recortadas, separadas y pesadas. Para obtener la muestra de las ramas gruesas y delgadas (1 kg aproximadamente) se procedió a cortar en pequeñas porciones (desmenuzar) para embalarlos luego en fundas plásticas debidamente etiquetadas y llevadas al laboratorio a fin de obtener la biomasa. Las muestras fueron secadas en una estufa a 60° C, durante 72 horas. La biomasa de las ramas (B_r) se obtuvo directamente con el

peso en campo de todas las ramas y con él % de materia seca de los resultados de laboratorio.

Volumen de ramas gruesas (Vr): Se obtuvo con la fórmula de Smallian que considera los diámetros de los extremos de la troza y la longitud de la misma.

$$B_r = (P_{hr} \times \% MS) \div 100$$

Donde:

B_r = Biomasa de Ramas

P_{hr} = Peso húmedo de las ramas

MS = Materia seca

3.4.3.3. Hojas

Una vez separadas las hojas se procedió a pesarlas para obtener la muestra (1 kg aproximadamente) se procedió a cortar en pequeñas porciones (desmenuzar) para embalarlos luego en fundas plásticas debidamente etiquetados y llevarlos al laboratorio a fin de obtener la biomasa de las hojas. Las muestras fueron secadas en una estufa a 60° C, durante 72 horas. La biomasa de las hojas (B_h) se obtuvo directamente con el peso en campo de todas las hojas y con él % de materia seca de los resultados de laboratorio.

$$B_h = (P_h \times \% MS) \div 100$$

Donde:

B_h = Biomasa de Hojas

P_h = Peso húmedo de las hojas

MS = Materia seca

3.4.3.4. Biomasa aérea total del árbol

Se obtuvo por la sumatoria de la biomasa de las tres partes del árbol, consideradas en este estudio: fuste, ramas y hojas.

$$B_t = B_f + B_r + B_h$$

Donde:

B_f = Biomasa del fuste

B_r = Biomasa de ramas

B_h = Biomasa de hojas

3.5. CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA DEL ÁRBOL

La fracción de carbono de la biomasa aérea almacenado en los árboles se determinó a partir de cada una de las muestras de las partes del árbol (fuste, ramas y hojas). El carbono fue determinado utilizando el método de Schollemlberger.

$$C_{baa} = C_f + C_r + C_h$$

Donde:

C_{baa} = Carbono almacenado en la biomasa aérea del árbol

C_f = Carbono del fuste

C_r = Carbono de las ramas

C_h = Carbono de las hojas

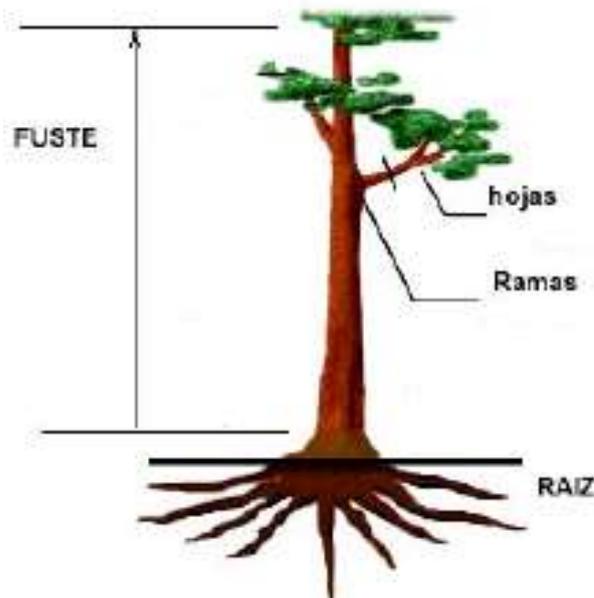


Figura 4. Esquema de división de los componentes de un árbol.

3.5.1. Determinación de la necromasa fina (hojarasca)

Para determinar la necromasa fina se establecieron en cada parcela de muestreo, cuatro subparcelas (uno en cada cuadrante) de 0,5 x 0.5 m. (0.25m²). En cada subparcela se recolectó toda la necromasa fina que comprendió: parte de hojas, corteza, flores, frutos, ramas menores de 2 cm de diámetro que se encontraron en el suelo de la plantación.

Una vez que fue recolectada la necromasa se procedió a pesar el material obtenido en las cuatro subparcelas y se apartó una muestra aproximada de 1 kg de este material, el cual fue desmenuzado, embalado en una funda plástica y debidamente etiquetado y fue llevado al laboratorio. Las muestras fueron secadas en una estufa a 60° C, durante 72 horas.

3.5.2. Determinación de la necromasa gruesa (ramas)

Para determinar la necromasa gruesa se establecieron en cada parcela de muestreo, una subparcela (en uno de los extremos de la parcela) de 5 x 5 m (25 m²) En la subparcela se recolectó toda la necromasa gruesa que comprende: ramas mayores de 2 cm de diámetro y partes del fuste en descomposición que se encontró en el suelo de la plantación.

Una vez recolectado se procedió a pesar el material obtenido en la subparcela y se apartó una muestra aproximada de 1 kg de este material, el cual fue desmenuzado, embalado en una funda plástica y debidamente etiquetado para ser llevado al laboratorio. Las muestras fueron secadas en una estufa a 60° C, durante 72 horas.

3.5.3. Carbono almacenado en la necromasa fina y gruesa

La fracción de carbono de la necromasa fina y gruesa se determinó a partir de las respectivas muestras. Las muestras fueron enviadas al laboratorio del INIAP en Boliche.

3.5.4. Carbono total de la biomasa aérea

La cantidad de carbono de la biomasa aérea total del árbol se determinó a partir de la suma del carbono almacenado en la biomasa aérea del árbol más el carbono de la materia necrosada fina más el carbono de la materia necrosada gruesa.

$$C_{tba} = C_{baa} + C_{nf} + C_{ng}$$

Donde:

C_{tba} = Carbono total de la biomasa aérea

C_{baa} = Carbono almacenado en la biomasa aérea del árbol

C_{nf} = Carbono de la materia necrosada fina

C_{ng} = Carbono de la materia necrosada gruesa

Así mismo para determinar el segundo objetivo, es decir, la cuantificación del carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de teca se aplicó la técnica de observación y la investigación documental.

3.5.5. Muestreo del suelo

Para el muestreo de suelo, para la cuantificación de carbono orgánico se realizó calicatas en cada una de las parcelas de muestreo (4 en total), hasta 60 cm de profundidad. La calicata siempre estuvo ubicada en el centro de la parcela y quedó dividida en tres niveles: de 0-20; 20-40; y de 40-60 cm (Figura 4).

Para obtener las muestras del suelo se utilizó el método del "Cilindro de volumen conocido" descrito por MacDicken (1997) como se presenta a continuación:

1. Se utilizó un cilindro de volumen conocido.
2. Se preparó la superficie del suelo a la profundidad deseada.
3. Se introdujo el cilindro en el suelo sin comprimir el mismo.

4. Se colocó la muestra en una bolsa plástica numerada para así obtener el peso húmedo (p1).
5. Se lo llevó al laboratorio y fue secado en un horno a 105° C durante 24 horas.
6. Luego se procedió a pesar para obtener el peso seco.

Además se tomaron muestras de suelo de 1 kilo aproximadamente, en cada nivel (0-20, 20-40 y 40-60), para determinar el carbono almacenado en el suelo.

3.5.6. Carbono almacenado en el suelo

El contenido de carbono orgánico activo en el suelo, se determinó por el método de Walkley y Black (1934). El carbono orgánico activo contenido en el suelo se calculó a partir de los valores obtenidos en las muestras llevadas al laboratorio según los porcentajes de carbono (C), densidad aparente y profundidad con la siguiente ecuación:

$$C_a = P_c \times D_a \times P$$

Donde:

C_a: Carbono orgánico activo almacenado

P_c: Carbono orgánico activo en el suelo (%)

D_a: Densidad aparente (g/cm³)

P: Profundidad del suelo (cm)

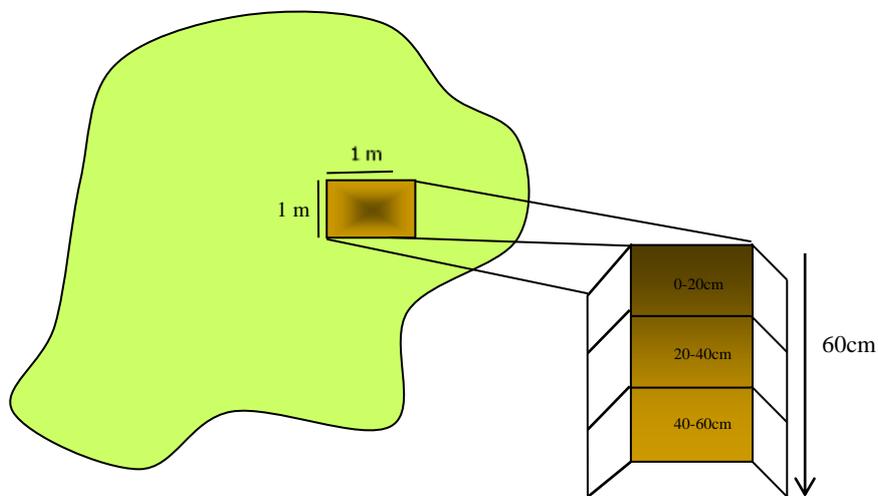


Figura 5. Forma de muestreo de carbono orgánico en el suelo.

3.5.7. Carbono de la raíz

El carbono de la raíz (C_r) se determinó aplicando la proporción, sugerida por Fonseca, quien señala que la biomasa de la raíz es el 20% de la biomasa del fuste. A partir de esta proporción se determinó el contenido de carbono de la raíz.

$$C_{ts} = C_a + C_r$$

Donde:

C_{ts} : Carbono total del suelo

C_a : Carbono almacenado

C_r : carbono de la raíz

3.5.8. Almacenamiento total de carbono

Se obtuvo mediante la suma del carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo de las plantaciones de teca. El contenido de carbono fue reportado en kg ha^{-1} y transformado a ton ha^{-1} .

$$C_{tp} = C_{ba} + C_{ts}$$

Donde:

C_{tp} = Carbono total de la parcela

C_{ba} = Carbono biomasa aérea

C_{ts} = Carbono total del suelo

3.6. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para las variables estudiadas (DAP, HT, HC, Carbono de la biomasa y del suelo) se aplicó las estadísticas descriptivas a través de los momentos estadísticos: Media Aritmética, Desviación Estándar y Varianza, para la determinación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea y del suelo en plantaciones de Teca, además se realizó una extrapolación a

hectáreas (ha), en base a los promedios del carbono obtenido en las parcelas; para lo cual se utilizó la hoja electrónica Excel versión 2007.

También, se realizaron análisis de varianza con el fin de determinar si existen diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico activo en la biomasa aérea y del suelo, en las fincas muestreadas. Para la separación de medias de los tratamientos (fincas) se aplicó la Prueba de Rangos Múltiples de Tukey con el 95% de probabilidad de error. En los cuadros 7 y 8 se presentan los análisis de varianza.

Cuadro 7. Análisis de varianza del carbono almacenado en la biomasa aérea (t1 finca 1; t2 finca 2; t3 finca 3; y t4 finca 4).

F. VARIACIÓN	G. L.
Tratamiento	$t - 1 = 3$
Error	$t (r - 1) = 12$
Total	$tr - 1 = 15$

Cuadro 8. Análisis de varianza del carbono almacenado en el suelo (t1 profundidad 0-20; t2 profundidad 20-40; t3 profundidad 40-60).

F. VARIACIÓN	G. L.
Tratamiento	$t - 1 = 2$
Error	$t (r - 1) = 9$
Total	$tr - 1 = 11$

Además, se realizó un análisis combinado para ejecutar la comparación del contenido de carbono en las plantaciones de teca entre las dos localidades Quevedo y Balzar estudiadas en el análisis de varianza combinado se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de varianza combinado para el carbono almacenado.

(Localidad: Quevedo y Balzar; tratamientos: fincas).

F. VARIACIÓN	G. L.
Localidad	$l - 1 = 1$
Repetición x localidad	$(l - 1)(r - 1) = 3$
Tratamiento	$t - 1 = 3$
Localidad x tratamiento	$(l - 1)(t - 1) = 3$
Error	$(r - 1)[(l*t) - 1] = 21$
Total	$ltr - 1 = 31$

IV. RESULTADOS

4.1. VARIABLES DE CRECIMIENTO

4.1.1. Quevedo

El DAP de la teca, presentó diferencias significativas entre fincas. El mayor diámetro promedio se obtuvo en la Hda. El Bosque y el menor diámetro en la Hda. Haon (Anexo 1 y Cuadro 10).

En la altura total y comercial no presentaron diferencias significativas entre las fincas (Anexo 1, Cuadro 10).

En el volumen total y comercial presentaron diferencias significativas entre fincas. Los mayores volúmenes se obtuvieron en la Hda. El bosque y los menores volúmenes en la Hda. Haon (Anexo 1 y Cuadro 10).

Cuadro 10. Promedios del diámetro (cm), altura (m) y volumen (m³) en plantaciones de teca en cuatro fincas del cantón Quevedo.

Fincas	Diámetro (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)	Volumen Total (m ³)	Volumen Comercial (m ³)
1. La Represa	24,67 a	18,56 a	9,68 a	0,53 a	0,28 a
2. El Bosque	25,89 a	20,33 a	10,37 a	0,64 a	0,32 a
3. Hda. Haon	20,52 c	19,58 a	9,99 a	0,38 b	0,19 b
4. Hda. Olvera	23,56 b	20,71 a	10,25 a	0,54 a	0,26 ab
CV (%)	3,73	6,47	11,25	10,20	18,47

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente, según la prueba de Tukey (P=0,05)

4.1.2. Balzar

El DAP de la teca, presentó diferencias significativas entre fincas. El mayor diámetro promedio se obtuvo en la Hda. Cerro de Hojas y el menor diámetro en el Colegio Balzar (Anexo 2 y Cuadro 11).

En la altura total presentó diferencias significativas entre fincas. El mayor diámetro promedio se obtuvo en el Colegio Balzar y el menor diámetro en la Hda. Cerro de Hojas (Anexo 2 y Cuadro 11).

En la altura comercial presentó diferencias significativas entre fincas. El mayor diámetro promedio se obtuvo en la Hda. Alianza y el menor diámetro en el Colegio Balzar (Anexo 2 y Cuadro 11).

En el volumen total y comercial no presentaron diferencias significativas (Anexo 2 y Cuadro 11).

Cuadro 11. Promedios del diámetro (cm), altura (m) y volumen (m³) en plantaciones de teca en cuatro fincas del cantón Balzar.

Fincas	Diámetro (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)	Volumen Total (m ³)	Volumen Comercial (m ³)
1. Hda. Las Piedras	22,59 a	18,27 a	9,12 a	0,44 a	0,1446 a
2. Hda. Alianza	23,19 a	16,74 b	9,38 a	0,42 a	0,1241 a
3. Hda. Cerro de hojas	23,35 a	16,54 b	9,36 a	0,42 a	0,1208 a
4. Colegio Balzar	20,50 b	18,46 a	8,37 b	0,36 a	0,1350 a
CV (%)	5,20	4,04	3,82	11,34	11,33

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente, según la prueba de Tukey (P=0,05)

4.2. DAP ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS

El DAP presentó diferencias significativas entre localidades y entre fincas. La localidad con mayor promedio del DAP fue Quevedo; las fincas con mayor promedio del DAP fueron El Bosque y Hda. Alianza (Anexo 3 y Cuadro 12).

Cuadro 12. Promedios del diámetro (cm) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 Represa y Las piedras	24,67 a	22,59 a	23,63 a
2 El bosque y Alianza	25,89 a	23,19 a	24,54 a
3 Haon y Cerro de hojas	20,52 c	23,35 a	21,93 b
4 Olvera y Colegio Balzar	23,56 b	20,50 b	22,03 b
Localidad	23,66 a	22,41 b	23,03
CV (%)			3,89

4.3. ALTURA TOTAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS

La altura total presentó diferencias significativas entre localidades y entre fincas, El mayor promedio de altura total se obtuvo en la localidad de Quevedo; las fincas con mayor promedio del DAP fueron Olvera y el Colegio Balzar (Anexo 3 y Cuadro 13).

Cuadro 13. Promedios de altura total (m) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 Represa y Las piedras	18,56 a	18,27 a	18,42 ab
2 El bosque y Alianza	20,33 a	16,74 b	18,54 ab
3 Haon y Cerro de hojas	19,58 a	16,54 b	18,06 b
4 Olvera y Colegio Balzar	20,71 a	18,46 a	19,59 a
Localidad	19,80 a	17,50 b	18,65
CV (%)			5,38

4.4. ALTURA COMERCIAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS

La altura comercial entre localidades, presenta diferencias significativas. El mayor promedio de la altura comercial se lo obtuvo en la localidad de Quevedo; las fincas no presentaron diferencias (Anexo 3, Cuadro 14).

Cuadro 14. Promedios de altura comercial (m) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 Represa y Las piedras	9,68 a	9,12 a	9,40 a
2 El bosque y Alianza	10,37 a	9,38 a	9,87 a
3 Haon y Cerro de hojas	9,99 a	9,36 a	9,67 a
4 Olvera y Colegio Balzar	10,25 a	8,37 b	9,31 a
Localidad	10,07 a	9,06 b	9,56
CV (%)			6,11

4.5. VOLUMEN TOTAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS

El volumen total entre localidades, presenta diferencias significativas. El mayor promedio del volumen total se lo obtuvo en la localidad de Quevedo. Las fincas con mayor promedio fueron Olvera y el Colegio Balzar (Anexo 3, Cuadro 15).

Cuadro 15. Promedios de volumen total (m³) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 Represa y Las piedras	0,53 a	0,44 a	0,49 a
2 El bosque y Alianza	0,64 a	0,42 a	0,53 a
3 Haon y Cerro de hojas	0,38 b	0,42 a	0,40 a
4 Olvera y Colegio Balzar	0,54 a	0,36 a	0,45 a
Localidad	0,52	0,41	0,47
CV (%)			9,83

4.6. VOLUMEN COMERCIAL ENTRE LOCALIDADES Y FINCAS

El volumen comercial entre localidades, presenta diferencias significativas. El mayor promedio del volumen comercial se lo obtuvo en la localidad de Quevedo. El mayor promedio lo obtuvieron las fincas El Bosque y la Hda Alianza (Anexo 3, Cuadro 16).

Cuadro 16. Promedios de volumen comercial (m³) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 Represa y Las piedras	0,28 a	0,14 a	0,21 a
2 El bosque y Alianza	0,32 a	0,12 a	0,22 a
3 Haon y Cerro de hojas	0,19 b	0,12 a	0,16 a
4 Olvera y Colegio Balzar	0,26 ab	0,13 a	0,20 a
Localidad	0,26	0,13	0,20
CV (%)			13,51

4.7. CONTENIDO DE CARBONO

4.7.1. Quevedo

El carbono de la biomasa aérea presentó diferencias significativas. El mayor promedio de carbono de la biomasa aérea se obtuvo en la Finca la Represa y el menor promedio fue para la Hda. Olvera (Cuadro 17 y Anexo 3).

El carbono almacenado en el suelo presentó diferencias significativas. El mayor promedio de carbono encontrado en el suelo se obtuvo en la Finca la Represa y el menor promedio fue para la Hda. El Bosque (Cuadro 17 y Anexo 3).

El carbono almacenado en el suelo mas raíz presentó diferencias significativas. El mayor promedio se obtuvo en la Hda. El Bosque y el menor promedio en la Hda. Haon (Cuadro 17 y Anexo 3).

El carbono total almacenado presento diferencias significativas. El mayor promedio se obtuvo en la Finca la Represa y el menor promedio fue para la Hda. El Bosque (Cuadro 17 y Anexo 3).

Cuadro 17. Promedios de Contenidos de carbono en tha^{-1} en el cantón Quevedo

Fincas	C. B. Aérea (tha^{-1})	C. Suelo (tha^{-1})	C. Suelo + Raíz (tha^{-1})	C. TOTAL (tha^{-1})
1. La Represa	135,89 a	137,83 a	158,80 a	294,69 a
2. El Bosque	131,02 a	48,76 c	169,44 a	200,46 b
3. Hda. Haon	101,78 b	89,83,b	103,92 b	205,70 b
4. Hda. Olvera	86,48 b	119,06 a	130,05 a	216,52 b
CV (%)	14,61	20,27	18,72	15,19

4.7.2. Balzar

El carbono de la biomasa aérea no presentó diferencias significativas (Cuadro 18 y Anexo 4).

El carbono almacenado en el suelo presentó diferencias significativas. El mayor promedio de carbono encontrado en el suelo se obtuvo en la Hda. Cerro de Hojas y el menor promedio fue para el colegio Balzar (Cuadro 18 y Anexo 4).

El carbono almacenado en el suelo mas raíz presentó diferencias significativas. El mayor promedio se obtuvo en la Hda. Cerro de Hojas y el menor promedio para el colegio Balzar (Cuadro 18 y Anexo 4).

El carbono total almacenado no presento diferencias significativas (Cuadro 18 y Anexo 4).

Cuadro 18. Promedios de Contenidos de carbono en tha^{-1} en el cantón Balzar

Fincas	C. B. Aérea (tha^{-1})	C. Suelo (tha^{-1})	C. Suelo + Raíz (tha^{-1})	C. TOTAL (tha^{-1})
1. Hda. Las Piedras	71,32 a	107,35 a	117,87 a	189,19 a
2. Hda. Alianza	81,02 a	86,00 b	95,82 b	176,84 a
3. Hda. Cerro de hojas	74,23 a	122,72 a	129,86 a	204,08 a
4. Colegio Balzar	90,53 a	78,34 c	88,23 c	178,76 a
CV (%)	21,37	12,29	11,52	13,26

4.8. CONTENIDO DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS

El contenido de carbono de la biomasa aérea presentó diferencias entre las localidades y entre las fincas. El mayor contenido de carbono se registró en la localidad de Quevedo; las fincas El bosque y Alianza obtuvieron el mayor promedio de carbono (Cuadro 19 y Anexo 6).

Cuadro 19. Promedios de carbono de la biomasa aérea (tha^{-1}) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 La represa y Las piedras	135,89 a	71,32 a	103,60 a
2 El bosque y Alianza	131,02 a	81,02 a	106,02 a
3 Haon y Cerro de hojas	101,78 b	74,23 a	88,01 b
4 Olvera y Colegio Balzar	86,48 b	90,53 a	88,50 b
Localidad	113,80 a	79,26 b	96,53
CV (%)			14,20

4.9. CONTENIDO DE CARBONO DEL SUELO ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS

El contenido de carbono en el suelo presentó diferencias significativas entre las fincas, pero no entre localidades. El mayor contenido de carbono se registró en las fincas La represa y Las piedras (Cuadro 20 y Anexo 6).

Cuadro 20. Promedios de carbono del suelo (tha^{-1}) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 La represa y Las piedras	137,83 a	107,35 a	122,59 a
2 El bosque y Alianza	48,76 c	86,00 b	67,38 b
3 Haon y Cerro de hojas	89,83 b	122,72 a	106,27a
4 Olvera y Colegio Balzar	119,06 a	78,34 c	98,70a
Localidad	98,87a	98,60 a	98,73
CV (%)			17,53

4.10. CONTENIDO DE CARBONO DEL SUELO MAS RAÍZ ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS

El contenido de carbono en el suelo mas raíz no presentó diferencias entre localidades más si entre fincas. El mayor contenido de carbono se registró en las fincas La represa y Las piedras (Cuadro 21 y Anexo 6).

Cuadro 21. Promedios de carbono del suelo mas raíz (tha^{-1}) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 La represa y Las piedras	158,80 a	117,87 a	138,33 a
2 El bosque y Alianza	69,44 c	95,82 b	82,63 c
3 Haon y Cerro de hojas	103,92 b	129,86 a	116,86 a
4 Olvera y Colegio Balzar	130,05 a	88,23 c	109,14 b
Localidad	115,55 a	107,94 a	111,75
CV (%)			15,95

4.11. CONTENIDO DE CARBONO TOTAL ENTRE LOCALIDADES Y ENTRE FINCAS

El contenido de carbono total presentó diferencias significativas entre las localidades y entre fincas. El mayor promedio de contenido de carbono lo registró la localidad de Quevedo, las fincas La represa y Las piedras obtuvieron el mayor promedio de carbono (Cuadro 22 y Anexo 6).

Cuadro 22. Promedios de carbono total (tha^{-1}) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fincas	Localidades		Promedio de Fincas
	Quevedo	Balzar	
1 La represa y Las piedras	294,69 a	189,19 a	241,94 a
2 El bosque y Alianza	200,46 b	176,84 a	188,65 b
3 Haon y Cerro de hojas	205,70 b	204,08 a	204,89 a
4 Olvera y Colegio Balzar	216,52 b	178,76 a	197,64 b
Localidad	229,34 a	187,22 b	208,28
CV (%)			13,41

4.12. CORRELACIÓN

4.12.1. Correlación entre profundidad y el carbono del suelo

La correlación entre la profundidad y el contenido de carbono en el suelo fue significativa para las localidades de Quevedo y Balzar. Existió una mediana correlación negativa para las dos localidades (Cuadro 23 y Figura 6 y 7).

Cuadro 23. Coeficiente y probabilidad de la correlación entre la profundidad y el contenido de carbono en el suelo, en las localidades de Quevedo y Balzar.

Localidades	Profundidad	
	r	Prob.
Carbono Quevedo	-0,5140	0,0002
Carbono Balzar	-0,6253	0,0001

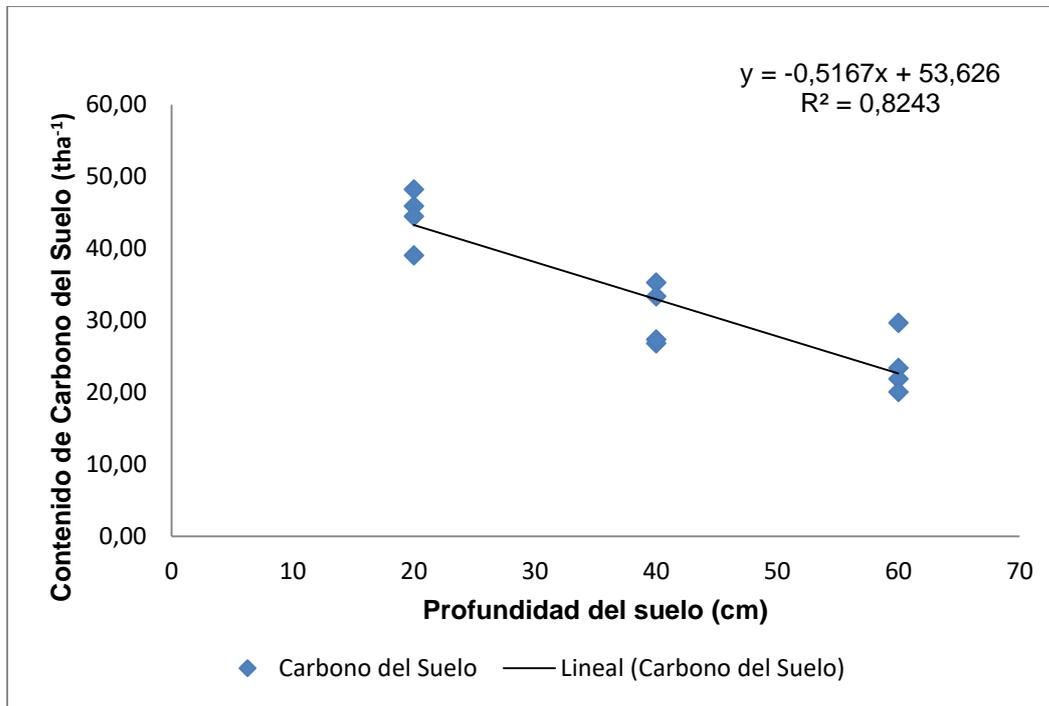


Figura 6. Correlación entre las diferentes profundidades y el contenido de carbono en el suelo, en la localidad de Quevedo.

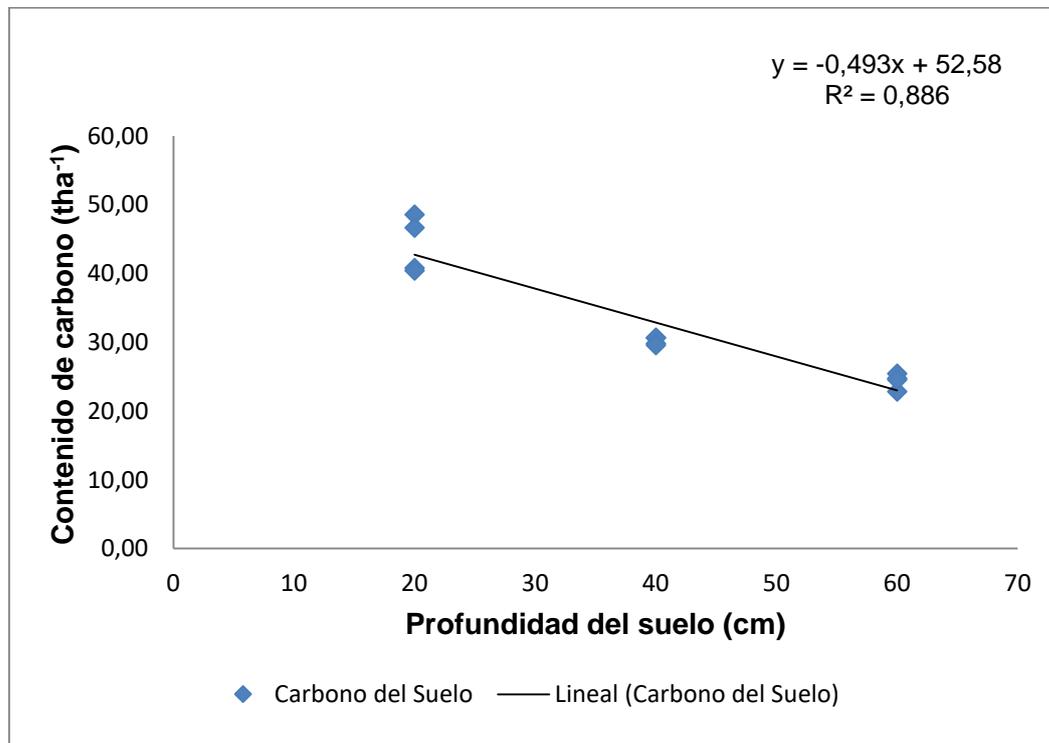


Figura 7. Correlación entre las diferentes profundidades y el contenido de carbono en el suelo, en la localidad de Balzar.

Cuadro 24. Cuadrados medios de la ecuación polinómica del contenido de carbono en la localidad de Quevedo.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados medios de carbono
Carbono del suelo	1	2637,69**
Error	10	56,23

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

Cuadro 25. Valores estimados de la regresión de la profundidad del suelo y el contenido de carbono en la localidad de Quevedo.

Variable	Estimación	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Término in	56,84867704	4,63175718	12,27	<,0001
Carbono t	-0,51124376	0,12579697	-4,06	0,0002

Cuadro 26. Cuadrados medios de la ecuación polinómica del contenido de carbono en las localidades de Balzar.

Fuente de Variación	GL	Cuadrados medios de carbono
Carbono del suelo	1	2835,66**
Error	10	36,43

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

Cuadro 27. Valores estimados de la regresión de la profundidad del suelo y el contenido de carbono en la localidad de Balzar.

Variable	Estimación	Error Estándar	Valor t	Pr > t
Término in	66,07109508	5,15156508	12,83	<,0001
Carbono t	-0,79320299	0,14593842	-5,44	<,0001

V. DISCUSIÓN

5.1. VARIABLES DASOMÉTRICAS

El promedio del DAP de la teca, a los diez años, encontrado en este estudio en la localidad de Quevedo fue mayor al promedio obtenido en Balzar, esto se puede atribuir a las condiciones propias de suelo y precipitación en cada sitio. Esto concuerda con Baker *et al.*, citados por Quinto y Moreno (2010), quienes indican que el crecimiento de los árboles es influido por varios factores ambientales, entre los cuales se destaca el suministro de agua y las condiciones de suelo. Los promedios de DAP registrados en este estudio, en Quevedo y Balzar, fueron inferiores a los reportados por UICYT (2006) (23,8 cm), en una plantación de teca de diez años de edad y a 6 x 6 m de distancia, en Quevedo.

El promedio de altura total registrado, en este estudio, en Quevedo fue mayor a la de Balzar. El promedio de altura total de Quevedo fue similar a los reportados por UICYT en el (2006) (19,79 cm). En cambio el promedio de la altura total obtenido en Balzar fue inferior a los reportados por UICYT (2006). Estas diferencias sugieren que el sitio influye sobre el crecimiento de los árboles, tal como señalan Baker *et al.*, citados por Quinto y Moreno (2010).

El promedio de volumen total obtenido, en este estudio, en Quevedo fue mayor a la de Balzar. El promedio de volumen total de Quevedo fue similar a los reportados por UICYT en el (2006) (0.5280 m³). En cambio el promedio del volumen total obtenido en Balzar fue inferior a los reportados por UICYT (2006). Igualmente estas diferencias se pueden atribuir a los factores mencionados por Baker, Swaine y Burslen, citados por Quinto y Moreno (2010).

5.2. CONTENIDO DE CARBONO

El contenido de carbono de la biomasa aérea difiere entre las localidades por cuanto el carbono almacenado esta en relación directa con la cantidad de biomasa de las plantaciones. Al igual que el volumen total el mayor contenido de carbono se registro en la localidad de Quevedo, debido a la mayor cantidad de biomasa. Esto concuerda con lo indicado con Brown et ál. (1997), quien menciona que la biomasa varía entre 60 y 230 t ha⁻¹ en los bosques secundario y primarios respectivamente. El promedio del contenido de carbono en la biomasa aérea encontrado en este estudio es superior a los 92,42 t ha⁻¹ reportado por Ibrahim et ál. (2007), para plantaciones de teca en Costa Rica.

El contenido de carbono orgánico en el suelo de las plantaciones de teca, en este estudio, varió con la profundidad; los valores más altos se encontraron en primer estrato (0-20 cm) y los más bajos en el tercer estrato (40-60 cm); estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Alvarado et al. (2007), quienes encontraron mayor concentración de carbono en el suelo en los primeros 15 cm, en un bosque secundario de Costa Rica.

El promedio del contenido de carbono orgánico en el suelo fue similar en las localidades de Quevedo y Balzar, esto sugiere que el contenido de carbono en el suelo depende directamente del tipo de vegetación presente. El promedio del contenido de carbono orgánico en el suelo, obtenidos en este estudio, están dentro de los valores reportados por Ibrahim et ál.(2007), quienes encontraron valores que van desde 43 a 62 t ha⁻¹, en suelos de bosque riparios de Colombia. Pero son inferiores a los valores reportados en suelos con plantaciones forestales en Costa Rica (101 a 139 t ha⁻¹) y a los suelos con bosque secundarios de Nicaragua (119a 159 t C ha⁻¹), según los autores citados.

Además, el promedio del carbono orgánico del suelo, encontrados en este estudio, son superiores a los valores reportados por Arias et al. (2001) para suelos con *Gliricidiasepium* con una densidad de 2204 plantas asociadas con pastos en Venezuela (62,7t ha⁻¹); según los autores mencionados, el contenido de carbono en suelo depende del tipo del suelo y el contenido de nutrientes.

El promedio del contenido de carbono orgánico total difiere en las localidades de Quevedo y Balzar, esto sugiere que el contenido de carbono total depende del manejo de las plantaciones y el tipo de suelo, como señalan Arias *et al.* (2001). Los resultados obtenidos en este estudio son superiores a los valores reportados por los autores citados (0,653t ha⁻¹), para *G.sepium* plantada en callejones con una densidad de 1980 plantas, en Venezuela; también, son superiores a los valores obtenidos por Landeta *et al.* (2009)(24,28) para plantaciones de teca de ocho años en, Ecuador. Además, los resultados obtenidos en este estudio son superiores al promedio reportados por Ibrahim *et al.* (2007) para plantaciones de teca en Costa Rica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se aplica la hipótesis alternativa: las plantaciones de *T. grandis* almacenan grandes cantidades de carbono.

El DAP presentó diferencias significativas entre localidades y entre fincas. La localidad con mayor promedio del DAP fue Quevedo; las fincas con mayor promedio del DAP fueron: Hda. El bosque en Quevedo y Hda. Cerro de Hojas en la localidad de Balzar.

La altura total presentó diferencias significativas entre localidades y entre fincas; El mayor promedio de altura total se obtuvo en la localidad de Quevedo; las fincas con mayor promedio del DAP fueron: Finca Olvera en Quevedo y Colegio 26 de septiembre en Balzar.

La altura comercial presentó diferencias significativas entre localidades pero no entre fincas. El mayor promedio de la altura comercial se lo obtuvo en la localidad de Quevedo en la Hda. El Bosque y la Hda. Alianza en Balzar.

El volumen total presento diferencias significativas entre localidades y fincas. El mayor promedio del volumen total se lo obtuvo en la localidad de Quevedo en la Hda. Olvera y el Colegio 26 de Septiembre en la localidad de Balzar.

El volumen comercial presento diferencias significativas entre localidades pero no entre fincas. El mayor promedio del volumen comercial lo obtuvo la localidad de Quevedo en la finca La Represa y la Hda. Olvera respectivamente.

El contenido de carbono de la biomasa aérea presentó diferencias significativas entre localidades y fincas. El mayor contenido de carbono se registró

en la localidad de Quevedo en la Hda. El Bosque y el Colegio 26 de Septiembre en la localidad de Balzar.

El contenido de carbono en el suelo presentó diferencias significativas entre las fincas, pero no entre localidades. El mayor promedio de carbono encontrado en el suelo se obtuvo en la Finca la Represa de la localidad de Quevedo y en la Hda. Cerro de Hojas para la localidad de Balzar.

El contenido de carbono en el suelo mas raíz no presentó diferencias entre localidades más si entre fincas. El mayor promedio se obtuvo en la Hda. El Bosque de la localidad de Quevedo y en la Hda. Cerro de Hojas en la localidad de Balzar.

El contenido de carbono total presentó diferencias significativas entre las fincas mas no entre localidades. El mayor contenido de carbono se registró en la finca La Represa.

La correlación entre la profundidad y el contenido de carbono en el suelo fue significativa para las localidades de Quevedo y Balzar. Existió una mediana correlación negativa para las dos localidades.

Existe muy poca información sobre la captura de carbono en los sistemas forestales sobre todo en plantaciones de teca, en el Ecuador.

6.2. RECOMENDACIONES

Realizar estudios en plantaciones de teca de diferentes edades con el fin de determinar el carbono almacenado.

Efectuar investigaciones en plantaciones de teca en otras localidades del Litoral ecuatoriano para realizar comparaciones del carbono almacenado entre sitios distintos.

Realizar estudios en almacenamiento de carbono en otras especies tropicales de importancia comercial.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, M; Rodríguez, J; Cerrato, M. 2007. Concentración de carbono y nitrógeno a seisfrecuencias de poda en *Gliricidia sepium* *Erythrina* sp. *Tierra Tropical* 3 (2): 211-220.
- Arias, K; Ruiz, C; Milla, M; Fabio, H; Escobar, A. 2001. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. *Livestock Research for Rural Development* 13 (5): 1-11.
- Betancourt, A. 1987. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Editor. Juan Valdez. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba. 438 p.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO Forestry Paper no. 137. Rome, IT. 55 p.
- Cevallos, J y Mora, L. 1989. Tablas de volúmenes de una y doble entradas de la especie *Tectona grandis* (teca). Tesis. Ing. Forestal. Quevedo, Ecuador. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 199 p.
- Crowley, Thomas J.; North, Gerald R. (1988), "Abrupt Climate Change and Extinction Events in Earth History" (en english), *Science* 240 (4855): 996-1002, doi:10.1126/science.240.4855.996, ISSN1095-9203
- Cuéllar, N; Rosa, H; González, M. 1999. Los servicios ambientales del agro: El caso del café de sombra en El Salvador. *PRISMA*. No. 34:1-16.
- Dixon, A; Scura, F; Carpenter, A; Sherman, B. 1994 Análisis económico de impactos ambientales. In: *Desarrollo ambiental y el papel del análisis económico*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 249 p.
- Duncan, et al 1999. No habrá bosques sin manejo: sustentación de ecosistemas forestales bajo condiciones inciertas. *Actualidad Forestal Tropical* 6 (4):10-12.
- Fernández, W. 1991. Cambios climáticos: el calentamiento global. *Tecnología en Marcha*, 11 (2): 11 – 22.
- Fischer, M.J; Trujillo, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neotropicales. In *Seminario Internacional intensificación de la Ganadería Centroamericana: Beneficios Económicos y Ambientales*. (1999, Turrialba, Costa Rica). Turrialba, Costa Rica; FAO - CATIE, SIDE. p.115 -135.
- Fisher, MJ; Rao, IM; Ayarza, MA; Lascano, CE; Sanz, JI; Thomas, RJ; Vera, RR. 1990. Carbon storage by introduced deeprooted grasses in the South American savannas. *Nature* 371:236-238.

- Fonseca William, Seminario – Taller Internacional: “Herramientas para la Evaluación de Biomasa y el Monitoreo del Secuestro de Carbono en Proyectos Forestales “Realizado del 9 al 13 de Julio 2007.
- Hughes, Lesley (2001), «Biological consequences of global warming: is the signal already apparent» (En english), Trends in Ecology and Evolution 15 (2): 56-61, doi:10.1016/S0169-5347(99)01764-4, ISSN0169-5347
- Hughes, R. F, J. B. Kauffman, and V,J. Jaramillo. 1999. Biomass, Carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. Ecology 80 (6): 2001
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, US). 2001. Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. In McCarthy, JJ; Canziani, OF; Leary, NA; Dokken, DJ; White, KS.eds. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Parte de la contribución del Grupo de trabajo II al Tercer Informe de Evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, CH, Cambridge UniversityPress. 1000 p.
- IPCC, 1996. Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra. Informe especial. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Montreal, Canada. 24 p.
- Jiménez, S. 1999. Comunicación Personal. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- Kyoto Protocol: Status of Ratification» (en inglés) (PDF). Organización de las Naciones Unidas. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (14 de enero de 2009). Consultado el 23 de julio del 2010
- Knutti, Retto; Hegerl, Gabriele C. (2008), "The equilibrium sensitivity of the Earth's temperature to radiation changes" (en english), Nature Geoscience 1 (11): 735 743, doi:10.1038/ngeo337, ISSN1752-0894, <http://www.iac.ethz.ch/people/knuttir/papers/knutti08natgeo.pdf>
- Kyrlunk, B.1990. Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. Unasylva 41(163): 2-15.
- Lal, R.; Kimble J. 1998. Pedospheric processes and the carbon cycle.In Lal, R; Kimble, KM; Follett, RF; Stewart, BA.eds. Soil processes and the carbon cycle. EstadosUnidos, CRC Press. p. 1-8.
- Landeta A,. Consulta personal. Fomento Forestal-Bosques y Mercado del Carbono, Dirección Forestal Nacional, Quito, Enero 2009.
- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects.EstadosUnidos, F. C. M. P. WinrockInternational Institute for Agricultural Development.91 p.

- Naciones Unidas 1998. «Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Las Naciones unidas sobre el Cambio Climático» (PDF). Consultado el 23 de abril de 2010.
- Oreskes, Naomi 2004, "Beyond the Ivory Tower. The Scientific Consensus on Climate Change" (en english), *Science* 306 (5702): 1686, doi:10.1126/science.1103618, ISSN1095-9203.
- Quinto, H; Moreno. F. 2010. Crecimiento de árboles en un bosque pluvial tropical del chocó y sus posibles efectos sobre las líneas de energía. *Revista de Biología e Ciências da Terra*. 10 (2): 12-28.
- Schlegel B; Gayoso J; Guerra J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 14 p.
- Stern, N. 2006, «The Economics of Climate Change» (en english), *American Economic Review* 98 (2): 1-37, doi:10.1257/aer.98.2.1, ISSN0002-8282
- Walkley, A; Black, I.1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*. 37:29-38.
- Unidad de Investigación Científica y Tecnológica (UICYT). 2006. Densidad de plantación de cuatro especies forestales tropicales. Informe Técnico anual. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador, 2007, 85 p.

VIII. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Biomasa: peso (o estimación equivalente) de la materia orgánica, por encima y por debajo del suelo (Aird P., 1994).

Bosque naturales: áreas forestales en las que están presentes las características principales y los elementos claves de los ecosistemas naturales, tales como la complejidad, estructura y diversidad (FSC, 1996).

Bosque Primario: un ecosistema caracterizado por la abundancia de árboles maduros, relativamente no afectados por actividades humanas. Los impactos humanos en estas áreas forestales han sido normalmente limitados a niveles bajos de caza artesanal, pesca y cosecha de productos forestales y, en algunos casos, a niveles bajos de densidad, de agricultura con periodos de descanso prolongados. Tales ecosistemas son llamados “maduros”, “viejos” o bosques “vírgenes” (FSC, 1996).

Bosque: ecosistema compuesto predominantemente por árboles y otra vegetación leñosa que crecen juntos de manera más o menos densa (Society OF America Foresters 1994).

Bosques Secundarios: los ecosistemas que se regeneran luego de disturbios sustanciales (inundaciones, fuegos, cambios en el uso del suelo o extracciones de madera extensivas o intensivas), caracterizados por la escasez de arboles maduros y por la abundancia de especies pioneras, al igual que por rebrotes en el sub piso densos y plantas herbáceas. Aunque los bosques secundarios generalmente llegan a su punto máximo de acumulación de biomasa dentro del ciclo de aprovechamiento, la transición hacia un bosque primario usualmente requiere de varias rotaciones de distintas duraciones, dependiendo de la severidad del disturbio original. La transformación Irreversible de los suelos subyacentes y del ciclo de nutrientes ocasionados por el uso crónico o intenso pueden hacer imposible el retorno del bosque primario original (FSC, 1996).

Carbono fijado: se refiere al flujo de carbono de la atmosfera a la tierra producto de la recuperación de zonas (regeneración) previamente deforestadas, desde pastizales, bosques secundarios hasta llegar a bosques clímax. El cálculo por lo tanto está definido por el crecimiento de la biomasa convertida a carbono (Alpizar W., 1996).

Carbono no emitido: se refiere al carbono salvado de emitirse a la atmosfera por un cambio de cobertura. Se fundamenta en un supuesto riesgo que se tiene de eliminación de los bosques y por ende de emisiones de carbono. El valor estimado considerando el carbono real y una tasa de deforestación (Alpizar W., 1996).

Carbono potencial: se refiere al carbono máximo o carbono real que pudiera contener un determinado tipo de vegetación, asumiendo una cobertura total y original (Alpizar W., 1996).

Carbono real: se refiere al carbono almacenado considerando a las condiciones actuales de cobertura en cuanto al área y el estado sucesional: bosque primario, bosque secundario, potrero (Alpizar W., 1996).

Sistemas agroforestales: Es el conjunto de arreglos, normas y técnicas que están orientadas a obtener una mejor producción mediante la asociación de especies vegetales (árboles con cultivos agrícolas), tratando que la productividad sea permanente y sostenible a través del tiempo de todos los recursos que conforman un sistema.

IX. ACRÓNIMOS

CC: cambio climático

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas para el CC

COP: Conferencia de las Partes de la Convención sobre el CC

CORDELIM: Corporación para la Promoción del Mecanismo de Desarrollo Limpio

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

GEF: Global Environmental Facility (Fondo Ambiental Mundial [FAM])

GEI: Gases de Efecto Invernadero

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

IPCC: Intergubernamental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático)

MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio

OCC: Oficina de Cambios Climáticos

OMM: Organización Meteorológica Mundial

PICC: Panel Intergubernamental sobre el CC

SOGC: Sistema de Observación Global del Clima

BEF: Factor de expansión de biomasa

A

Z

E

X

O

S

QUEVEDO

Anexo 1. Cuadrados medios del diámetro (cm), altura (m) y volumen (m³) en plantaciones de teca en cuatro fincas del cantón Quevedo.

F de V	GL	Diámetro (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)	Volumen Total (m ³)	Volumen Comercial (m ³)
Tratamiento	3	21,165006**	3,592522 ns	0,373716 ns	0,000164 **	0,000040 **
Error	12	0,781806	1,645610	15,441850	0,00000001	0,00000001

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

Anexo 2. Cuadrados medios del Carbono Aéreo (t ha⁻¹), Carbono del Suelo (t ha⁻¹) y Carbono del Suelo mas Raíz (t ha⁻¹) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

F de V	GL	C. B. Aérea (t ha ⁻¹)	C. Suelo (t ha ⁻¹)	C. Suelo + Raíz (t ha ⁻¹)	C. TOTAL (t ha ⁻¹)
Tratamiento	3	2234,12 **	6024,28 **	5789,66 **	7770,33 **
Error	12	276,73	401,94	467,91	1215,04

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

BALZAR

Anexo 3. Cuadrados medios del diámetro (cm), altura (m) y volumen (m³) en plantaciones de teca en cuatro fincas del cantón Balzar.

F de V	GL	Diámetro (cm)	Altura Total (m)	Altura Comercial (m)	Volumen Total (m ³)	Volumen Comercial (m ³)
Tratamiento	3	6,914439 *	4,011822 **	0,903708 **	0,000130 **	0,000469 **
Error	12	1,360693	0,502647	0,119820	0,00000008	0,000221

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

Anexo 4. Cuadrados medios del Carbono Aéreo (t ha⁻¹), Carbono del Suelo (t ha⁻¹) y Carbono del Suelo mas Raíz (t ha⁻¹) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

F de V	GL	C. B. Aérea (t ha ⁻¹)	C. Suelo (t ha ⁻¹)	C. Suelo + Raíz (t ha ⁻¹)	C. TOTAL (t ha ⁻¹)
Tratamiento	3	291,27 **	1636,34 **	1485,61 **	623,24 **
Error	12	287,06	147,06	154,70	617,07

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

COMBINADOS

Anexo 5. Cuadrados medios del diámetro (cm), altura (m) y volumen (m³) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fuente de Variación	GL	DAP (cm)	Altura Total	Altura Comercial	Volumen Total	Volumen Comercial
Localidad	1	12,475012 **	42,044450 **	8,221512 **	0,0000067 **	0,130066 **
Repetición x Localidad	6	1,875764 ns	1,273889 ns	1,784637 **	0,0000001 ns	0,000244 *
Fincas	3	12,909633 **	3,446737 *	0,532345 ns	0,0002942 **	0,000226 *
Localidad x Tratamiento	3	15,169812 **	4,157608 *	0,745079 ns	0,0000010 **	0,000283 *
Error	18	1,007542	1,007542	0,342881	0,0000001	0,000066

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

COMBINADOS

Anexo 6. Cuadrados medios del Carbono Aéreo ($t\ ha^{-1}$), Carbono del Suelo ($t\ ha^{-1}$) y Carbono del Suelo mas Raíz ($t\ ha^{-1}$) en plantaciones de teca en cuatro fincas en los cantones Quevedo y Balzar.

Fuente de Variación	GL	C. B. Aérea ($t\ ha^{-1}$)	C. Suelo ($t\ ha^{-1}$)	C. Suelo + Raíz ($t\ ha^{-1}$)	C. TOTAL ($t\ ha^{-1}$)
Localidad	1	9531,317 **	0,564 ns	463,144 **	14194,440 **
Repetición x Localidad	6	563,428 ns	199,746 ns	292,324 **	1324,826 ns
Fincas	3	739,212 ns	4290,640 **	4234,302 **	4380,833 **
Localidad x Tratamiento	3	1786,188 **	3369,995 **	3040,974 **	4012,749 **
Error	18	188,057	299,424	317,638	779,805

*ns: no significativo ; *: significativo; **: altamente significativo*

Tomando el DAP



Tomando la altura de los árboles



Talado del árbol promedio



Recolección de hojas para pesaje



Pesaje de ramas finas y gruesas



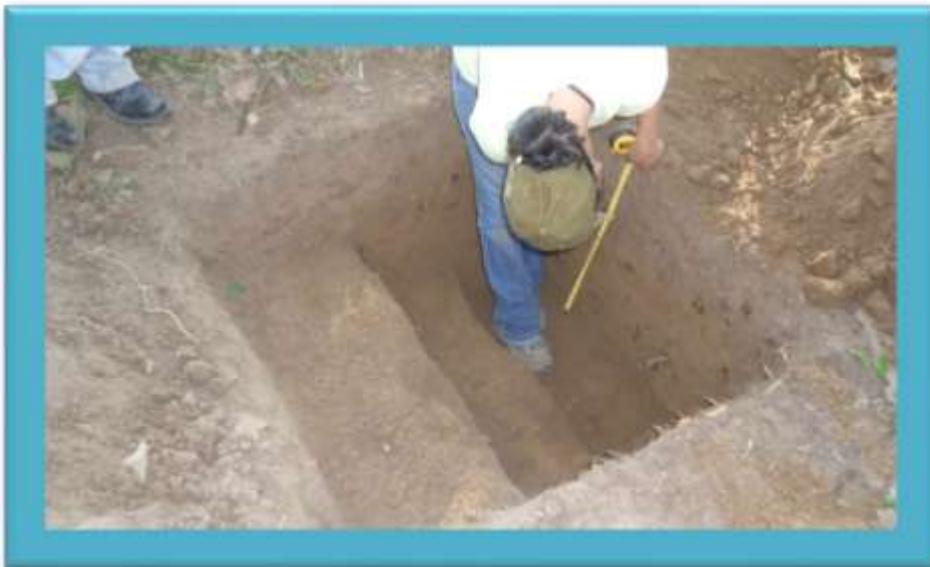
Pesaje de fuste



Picando muestras



Cavado de calicatas



Toma de muestras de suelo



Molido de muestras secas



Etiquetado de muestras



Pesado de muestras

