

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Escuela de Posgrado

Maestría en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible

**ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE LA CAPACIDAD
DE CAPTURA DEL CO₂ EN PLANTACIONES DE
OLIVOS EN EL DISTRITO DE TACNA, 2010**

TESIS

PRESENTADA POR:

Blgo. Mblgo. CARLOS FRANCISCO TITO VARGAS

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGÍSTER SCIENTIAE*) CON
MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA - PERÚ

2012

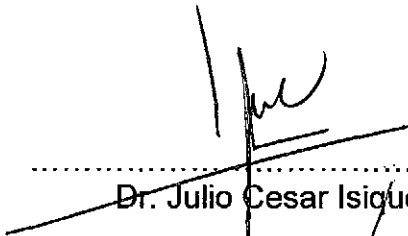
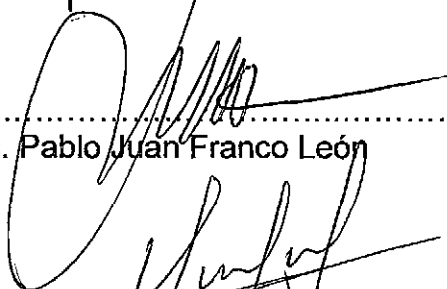
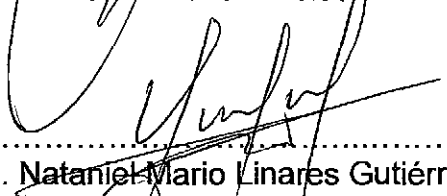
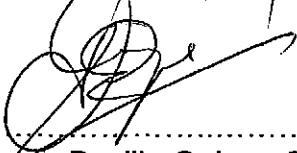
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DE LA CAPACIDAD DE CAPTURA
DEL CO₂ EN PLANTACIONES DE OLIVOS EN EL
DISTRITO DE TACNA, 2010**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de julio del 2012; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE	:	 Dr. Julio Cesar Isique Calderón
SECRETARIO	:	 MSc. Pablo Juan Franco León
MIEMBRO	:	 MSc. Nataniel Mario Linares Gutiérrez
ASESOR	:	 Dr. Alberto Bacilio Quispe Cohaila

Dedicatoria:

A Dios por guiar mis pasos que doy,
a la memoria de mi padre Genaro, a mi familia
(mi Madre Juana, mis hermanos Jorge, Alberto, Fresia,
Jesús y José) y en especial a mi esposa Julia por ser quienes
me brindaron todo su apoyo en mi vida académica y personal.

Agradecimientos:

Mis sinceros agradecimientos están dirigidos al Dr. Alberto Quispe Cohaila, al Mgr. Eloy Casilla García, a los directivos del CFAT-Tacna, a mi colega Rosalía Callohuari y a todas aquellas personas que, de alguna forma, me brindaron su apoyo, para la culminación de este trabajo de investigación.

CONTENIDO

	Pág.
Página de jurado	<i>i</i>
Dedicatoria	<i>ii</i>
Agradecimientos.....	<i>iii</i>
Contenido	<i>iv</i>
Resumen.....	<i>xiii</i>
Abstract.....	<i>xiv</i>
INTRODUCCIÓN.....	01
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	05
1.1 Formulación del problema	05
1.2 Justificación e importancia de la investigación.....	06
1.3 Objetivos de la investigación	07
1.3.1 Objetivo general.....	07
1.3.2 Objetivos específicos	07
1.4 Hipótesis.....	07

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	08
2.1 Antecedentes del estudio.....	08
2.2 Bases teóricas.....	09
2.2.1 Ciclo del carbono	09
2.2.2 La captura de carbono	13
2.2.3 Proceso de acumulación de carbono.....	14
2.2.3.1 Carbono acumulado sobre el suelo	16
2.2.3.2 Carbono acumulado bajo el suelo.....	16
2.2.3.3 Carbono acumulado en la hojarasca y necromasa..	17
2.2.3.4 Carbono en suelos	18
2.2.4 El olivo como sumidero de carbono	18
2.2.5 Cuantificación de la biomasa	20
2.2.6 Ecuaciones alométricas	24
2.3 Definición de términos.....	25
 CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	 36
3.1 Tipo y diseño de investigación	36
3.2 Población y muestra de estudio	35
3.2.1 Población	37
3.2.2 Tamaño de muestra.....	37
3.3 Operacionalización de variables.....	38
3.3.1 Identificación de las variables	38

3.3.2	Caracterización de las variables	38
3.3.3	Definición operacional de las variables	39
3.4	Materiales y métodos para la recolección de datos.....	39
3.5	Acciones y actividades para la ejecución del trabajo	40
3.5.1	Determinación de las zonas de muestreo	40
3.5.2	Determinación de la cantidad de biomasa seca.....	41
3.5.2.1	Medición del diámetro de árboles.....	41
3.5.2.2	Medición de altura de árboles	41
3.5.3	Determinación del contenido de biomasa	42
3.6	Determinación del contenido de CO ₂ capturado	43
3.6.1	Biomasa arbórea	43
3.6.2	Contenido de Carbono.....	44
3.6.3	Estimación del contenido de CO ₂ capturado.....	44
3.7	Tratamiento de datos (análisis estadístico)	45
3.7.1	Parámetros estadísticos.....	45
3.7.1.1	Coeficiente de determinación (R ²).....	45
3.7.1.2	Coeficiente de variación	46
3.7.1.3	Análisis de varianza.....	46

CAPÍTULO IV. RESULTADOS	47
4.1 Área de estudio y estratificación de las parcelas.....	47
4.2 Biomasa seca en estratos del olivo	51
4.2.1 Parámetros de crecimiento de los olivos.....	51
4.2.2 Relación de crecimiento a través de ecuaciones alométricas	53
4.2.3 Biomasa seca en estratos de árboles de olivo.....	53
4.3 Carbono total almacenado en plantaciones de olivos	54
4.4 Contratación de hipótesis	56
4.5 Análisis estadístico.....	56
4.5.1 Coeficiente de variación.....	56
4.5.2 Análisis de varianza	57
DISCUSIÓN	60
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS ..	86

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Operacionalización de variables en el estudio de la estimación de carbono en la biomas	38
Cuadro 2: Áreas cultivadas con plantaciones de olivos en la región de Tacna.....	48
Cuadro 3: Superficie cultivada de olivos <i>Olea europea</i> en el distrito de Tacna.....	50
Cuadro 4: Desarrollo de los parámetros de crecimiento (DAP, altura y diámetro de copa de árboles de olivo) relacionado con la edad (años)	51
Cuadro 5: Biomasa seca en diferentes estratos de los árboles de olivo .	54
Cuadro 6: Carbono total almacenado en las plantaciones de olivos en el distrito de Tacna	55
Cuadro 7: Biomasa, carbono y dióxido equivalente en 10 000 m ² o una hectárea (ha)	55
Cuadro 8: Diámetro a la altura del pecho (DAP)	57
Cuadro 9: Análisis de varianza de la altura de los árboles de olivo con un nivel de confianza del 95%.....	58
Cuadro 10: Análisis de varianza de la altura del diámetro de copa de los árboles de olivo con un nivel de confianza del 95%.....	58

Cuadro 11: Análisis de varianza del (DAP) de los árboles de olivo con un nivel de confianza del 95%.....	59
Cuadro 12: Análisis de varianza de la biomasa de los árboles de olivo con un nivel de confianza del 95%.....	59
Cuadro 13: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en la Yarada.....	91
Cuadro 14: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en la Yarada.....	92
Cuadro 15: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en la Yarada.....	93
Cuadro 16: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en la Yarada.....	94
Cuadro 17: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en Los Palos (A).....	95
Cuadro 18: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en Los Palos (B).....	96
Cuadro 19: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en Los Palos (C).....	97
Cuadro 20: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos de 30 años en Magollo	98
Cuadro 21: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de	

copa y biomasa de olivos de 10 años en Magollo	99
Cuadro 22: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos de 4 años en Magollo	100
Cuadro 23: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos de 2,5 años en Magollo	101
Cuadro 24: Relación de la edad de los olivos con los diferentes parámetros de crecimiento y biomasa de olivos en Magollo	101
Cuadro 25: Relación de la altura de los olivos según la edad, en las plantaciones de olivos en Magollo	102
Cuadro 26: Relación del diámetro de copa de los olivos según la edad, en las plantaciones de olivos en Magollo	103
Cuadro 27: Relación de la medición diámetro a la altura del pecho (DAP) del tallo según la edad, en plantaciones de olivos en Magollo	104
Cuadro 28: Relación de la biomasa de los árboles de olivos según la edad, en las plantaciones de olivos en Magollo	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo del carbono.....	12
Figura 2: Acumulación de carbono en los diferentes estratos de la planta de olivo.....	15
Figura 3: Medición del diámetro a la altura pecho (DAP) del tallo de los arboles de olivos, que es a 1,30 m. a) en forma vertical b) en forme inclinada y c) en forma bifurcada.....	21
Figura 4: Método destructivo para estimar la biomasa seca, a partir del troceado de las partes del árbol de olivo.....	23
Figura 5: Determinación del incremento de biomasa a través del uso de la ecuación alométrica.	25
Figura 6: Ubicación de las áreas con mayores superficies cultivadas, con olivos en el distrito de Tacna.....	47
Figura 7: Superficie cultivada con plantaciones de olivos en los periodos de 1996 al 2010 en el distrito de Tacna.....	49
Figura 8: Superficie cultivada en hectáreas de olivo en las principales localidades en el distrito de Tacna..	50
Figura 9: Variación del crecimiento de copa, altura y DAP con respecto a la edad del árbol..	52

Figura 10: Relación del incremento de la biomasa de un árbol de de olivo con el incremento en edad del árbol..	52
Figura 11: Determinación de parcelas con vistas satelitales	87
Figura 12: Zona de muestreo en el Centro de Formación Agrícola Los Palos – CFAT, Tacna..	87
Figura 13: Altura, diámetro de copa y DAP de los árboles de olivo en el distrito de Tacna.	88
Figura 14: Medición del DAP de tallos en árboles de olivos..	88
Figura 15: Ecuación alométrica que determina la altura de los árboles de olivos a través del DAP en olivos..	89
Figura 16: Ecuación alométrica que determina la biomasa a través de la edad de los árboles de olivos..	89
Figura 17: Proceso de cortado y troceado de árboles de olivos para determinar biomasa seca, a través del método destructivo.....	90
Figura 18: Proceso de separación de hojas de las ramas de olivo para su pesado y secado.....	90

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo, determinar cuantitativamente el CO₂ capturado y almacenado como carbono en tejidos de olivo (*Olea europea*) en el distrito de Tacna. Las plantaciones de olivo en Tacna tienen una gran importancia en el ciclo del carbono, los cuales regulan el intercambio de carbono entre la atmósfera y la biomasa existente. De las plantaciones la Yarada es la de mayor expansión con 44 196 000 m², seguido por Los Palos con 23 646 000 m² y Magollo con 12 812 000 m².

El carbono almacenado en plantaciones de olivo, se estableció a través de un muestreo aleatorio estratificado, teniendo como tamaño de muestra 24 parcelas con 11 árboles por parcela. La biomasa se determinó por método destructivo: 27,80 Kg en troncos; 17,70 Kg en ramas; 13,42 Kg en raíces y 7,89 Kg en hojas. Además se crearon ecuaciones alométricas que relacionan biomasa con la edad: **Biomasa kg = 127,61*ln(Edad)-117,81**; y la ecuación que relaciona altura y DAP fue: **Altura = 0,4328*ln(DAP)+1,6746**.

La biomasa, el carbono almacenado y el CO₂ eq, fueron: 562 051,3; 281 025,7 y 1 031 364,319 toneladas respectivamente de olivo en el distrito de Tacna. Todos los datos se sustentan en base a coeficiente de variación y de un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%.

ABSTRACT

The present work had as objective, to determine the captured CO₂ quantitatively and stored as carbon in olive tree tissue in Tacna district. The plantations of olive trees in Tacna have a great importance in the cycle of the carbon, which regulate the exchange of carbon between the atmosphere and the existent biomass. Of the plantations The Yarada is of more expansion with 44 196 000 m², continued by The Palos with 23 646 000 m² and Magollo with 12 812 000 m².

The carbon stored in olive tree plantations, settled down through a stratified random sampling, having as size of sample of 24 parcels with 11 trees for parcel. The biomass was determined by destructive method: 27.80 Kg in trunks; 17.70 Kg in branches; 13.42 kg in roots and 7.89 kg in leaves. Equations alométricas were also created that relate biomass with the age: Biomass (kg) = 127,61ln (Age) - 117,81; and the equation that relates height and DAP was: Height = 0,4328ln (DAP) + 1,6746.

Biomass, carbon stocks and CO₂ eq, were: 562 051.3, 281; 025.7 and 1031 364.319 tons respectively in olive Tacna district. All the data are sustained based on variation coefficient and of a variance analysis with a level of trust of 95%.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de olivo en Tacna presentan árboles con cubierta heterogénea, con una superficie foliar que se localiza dentro de una zona envolvente (copa del árbol). El factor de crecimiento de los olivos, está determinado por la activa radiación fotosintética, interceptado por la cubierta vegetal, que determina la producción de biomasa, desarrollado por las hojas, que presentan un crecimiento vegetativo durante todo el año. Los tejidos de la planta utilizan parte de los asimilados para el crecimiento anual y la respiración; los asimilados sobrantes se almacenan en los órganos de acumulación como son: frutos y tejidos de reserva (COI, 2007).

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas fotosintéticas utilizan la energía solar para producir carbohidratos y otras moléculas orgánicas a partir de dióxido de carbono (CO_2) y agua. La conversión de CO_2 en moléculas orgánicas se refiere a la fijación de carbono y, en muchas plantas, se produce por el ciclo de pentosa fosfato reductivo, referido al ciclo de C3. El ciclo de C3 implica la carboxilación de difosfato de ribulosa (RuDP) con CO_2 para producir hexosas y otras moléculas orgánicas (Nonomura, 2000).

Según Tattini, M., Marzi, L., Tafani, R. y Traversi, M. L., (1999) al olivo se caracteriza como una planta C3 no halophyta con tolerancia intermedia al estrés de salinidad. Los cambios en los parámetros de intercambio gaseoso foliar que induce la salinidad y que han sido reportados en olivo son la reducción de la tasa neta de asimilación de CO₂ (Bastías, E., Escobar, H., Carrasco, L., Figueroa, L. y Tapia, L., 2002).

Las plantas que presentan metabolismo C3 presentan las siguientes características: funcionan mejor con altas concentraciones de CO₂, grande apertura estomática con luz fuerte, una temperatura óptima de fotosíntesis de 15 a 25 °C, tasa de fotosíntesis neta de 10 a 30 mgCO₂/dm².h y una tasa de crecimiento de 0,5 a 2 g/dm².dia.

Para la mayoría es conocida la gran longevidad del olivo, pudiéndose observar árboles milenarios con relativa frecuencia. No obstante, desde el punto de vista agrícola, debemos centrarnos en el periodo que va desde su nacimiento a la disminución notoria de su productividad. Así, según su productividad, podemos dividir la vida del olivo en tres fases: Etapa juvenil, de 1 a 7 años (sin producción), de producción de 7 a 150 años y senil, después de los 150 años (poca producción).

Los árboles absorben dióxido de carbono atmosférico junto con elementos en suelos y aire para convertirlos en madera que contiene carbono y forma parte de troncos, ramas, raíces y hojas. Aproximadamente el 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) corresponde a carbono. Hay una captura de carbono neta, solo cuando el árbol se desarrolla para alcanzar la madurez. Cuando el árbol muere emite la misma cantidad de carbono atmosférico que capturó.

Los índices de captura de carbono dependen del tipo de árbol, suelos, topografía y prácticas de manejo en las plantaciones de olivo. La acumulación de este elemento llega a un punto de saturación, a partir del cual la captura de carbono se hace imposible. Para este caso las prácticas para capturar carbono deben continuar para impedir la emisión nuevamente a la atmósfera.

Para determinar la biomasa seca de árboles existen dos métodos: el directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Klinge y Herrera 1983; Araujo, Higuchi y De Carvalho. 1999). Dentro de los indirectos se utilizan métodos de Cubicación del árbol donde se suman los volúmenes de madera, se toman muestras de ésta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión

de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura y Kanninen. 1997). Otra forma de estimar la biomasa es mediante ecuaciones alométricas basadas en análisis de regresión, que utiliza variables colectadas en el campo tales como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura (h), la biomasa (B), (Jordan y Uhl 1978; Saldarriaga, West, Tharp y Uhl 1988; Brown 1997, Araujo *et al.* 1999 y Francis, 2000).

Dada la importancia de las plantaciones de olivo como reguladores del cambio climático, y la necesidad de modelos para estimar el carbono almacenado en las plantaciones (IPCC, 2000, Pérez y Kanninen, 2003, Segura y Kanninen 2005), para esto se realizó este estudio cuyo objetivo fue cuantificar la producción de biomasa en olivos en el distrito de Tacna. Como aportes de este trabajo se presentan las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa en árboles individuales en plantaciones forestales. Además, es importante destacar en este trabajo el esfuerzo hecho para cuantificar la biomasa a través del método directo e indirecto para estimar la biomasa de la raíz.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Formulación del problema

Generalmente las plantaciones de olivo en la Región Sur del Perú son consideradas como árboles frutales del cual se obtiene la aceituna para la elaboración de diversos productos alimenticios, sin embargo, muy poco o casi nada se le ha tomado en cuenta como un organismo vegetal capaz de capturar el carbono proveniente del CO_2 , y almacenarlos en sus estructuras formando parte de raíces, tallos, ramas, etc., con lo cual contribuye con la disminución de este gas de efecto invernadero como es el CO_2 .

Los árboles contribuyen grandemente a la disminución de este gas (CO_2) de efecto invernadero, a través de la fotosíntesis, absorbiendo el dióxido de carbono (CO_2) del aire para formar hidratos de carbono (glucosa) que son utilizados en la estructura como celulosa y las funciones de la planta y a la vez restituyen el oxígeno al ambiente que hace posible la respiración.

En la actualidad, los bosques y la agricultura con sus plantaciones (sobre todo los olivos en la región de Tacna, captan el CO₂ durante todo el año), se han convertido en un gran sumidero de dióxido de carbono, los cuales no están siendo reconocidos ni compensados hacia los agricultores que los cultivan. Una de las causas se debe al escaso conocimiento de trabajos de investigación al respecto como son los datos de acumulación de carbono por árbol y por hectárea sin considerar la agricultura herbácea por ser neutra en cuanto a su balance de emisiones. Para la realización de este trabajo de tesis se ha planteado la siguiente interrogante:

¿Será posible determinar el contenido de Carbono en las plantaciones de olivo en el distrito de Tacna?

1.2 Justificación e importancia de la investigación

Ante la escasa existencia en nuestra región, de trabajos de investigación que den importancia a las plantaciones de árboles de olivo, así como su determinación cuantitativa de acumulación de carbono en sus tejidos los cuales son mecanismos eficientes para la descontaminación de la atmósfera por los gases de efecto invernadero como el CO₂ y a la vez como un aporte al

conocimiento científico y ambiental, se plantea realizar este trabajo de investigación.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar cuantitativamente la capacidad de almacenamiento de dióxido de carbono en plantaciones de olivo en el distrito de Tacna.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar y estratificar el área del proyecto de olivos en el distrito de Tacna.
2. Determinar la cantidad de biomasa seca en los diferentes estratos.
3. Estimar el contenido de CO₂ capturado a través del carbono acumulado en la biomasa.

1.4 HIPÓTESIS

Es cuantificable la capacidad de CO₂ capturado en las plantaciones de olivo, por ecuaciones alométricas, en el distrito de Tacna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

En el Perú, más precisamente en el extremo sur de nuestro país, la producción de este cultivo de olivo está en mayor cantidad, muy poco se ha estudiado para determinar la cantidad de carbono que puede estar absorbiendo y fijando en los tejidos de este árbol de olivo (*Olea europea*). Según estudios de plantaciones de Andalucía, España, cada árbol de olivo "fija" 2 kg de CO₂ al año aproximadamente, y aun se siguen plantando miles de árboles, absorbiendo gran cantidad de CO₂ durante todo el año. En estos lugares han cambiado los distintos cultivos de siembra por el cultivo de olivo, teniendo como única fuente de captura de carbono del CO₂ ambiental y fijarlos en sus tejidos para su crecimiento y desarrollo. (Machado, 2007). Además en ese continente los estudios de acumulación de carbono en los árboles, han determinado que absorbe entre el 7 y el 12% las emisiones de los gases de efecto invernadero (Lamo, 2005).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Ciclo de carbono

El proceso de fotosíntesis, comenzó hace tres mil millones de años aproximadamente, fijando carbono y liberando oxígeno, oxidando la superficie terrestre primitiva, y acumulando oxígeno libre desde hace 2 millones de años aproximadamente. La absorción del CO₂ por la fotosíntesis y la incorporación de grandes cantidades de carbono en las rocas sedimentarias redujeron progresivamente el contenido de CO₂ del aire. Al final de la era secundaria, aun había aproximadamente dos veces más de CO₂ que en 1800 de la era industrial (Berner, 1994).

Actualmente la atmósfera es el resultado del equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración, así como de procesos fisicoquímicos como la absorción de CO₂ en aguas frías oceánicas, subsaturadas de CO₂ y su liberación por aguas calientes, sobresaturadas de CO₂. El equilibrio natural de estos dos ciclos condujo a bajas concentraciones de CO₂ en

la atmósfera. Sin embargo, hoy en día, esta situación se está alterando a nivel global, por causas antropogénicas como: quema de combustibles fósiles, producción de cemento y cambio de uso de suelo o deforestación (Álvarez, 2009).

El carbono en la naturaleza se encuentra por doquier. En el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono. Todos los organismos vivos están constituidos, por alrededor del 50% de estos compuestos de carbono en peso seco, siendo por tal motivo uno de los más importantes de la vida (Smith. Cramer. Dixon, Leeman, Neilson y Solomon, 1993).

El ciclo del carbono empieza con la fijación de CO_2 atmosférico a través de la fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos, que junto con el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno, el cual pasa a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta, y el CO_2 así formado se libera a través de sus hojas o de sus raíces.

Otra parte es consumida por los animales, que también respiran y liberan CO₂. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en dióxido de carbono y regrese a la atmósfera (Smith y col., 1993a).

Cuando los organismos vegetales son comprimidos, sin ser atacados por las bacterias, pueden sufrir una serie de cambios químicos para formar turba, luego lignita, y finalmente carbón. Los cuerpos de algunos organismos marinos pueden sufrir cambios semejantes y formar, en un largo periodo, petróleo. Estos fenómenos significan la sustracción de parte del carbono al ciclo, pero más tarde los trastornos geológicos o las obras de minería o perforación realizadas por el hombre llevan a la superficie el carbón o el petróleo, que será quemado hasta convertirlo en CO₂, volviendo en esta forma al ciclo inicial (Álvarez, 2009).

La mayor parte del carbono de la tierra se encuentra en rocas bajo la forma de carbonatos, como la piedra caliza

y el mármol. Las rocas se gastan poco a poco y con el tiempo los carbonatos vuelven al ciclo del carbono. Sin embargo, en el fondo del mar se forman otras rocas a partir de los sedimentos de animales y plantas muertas, de modo que la cantidad de carbono en el ciclo permanece casi constante (Sampson, Apps, Brown, Cole, Downing, Heath, Ojima, Smith, Solomon y Wisniewski, 1993).

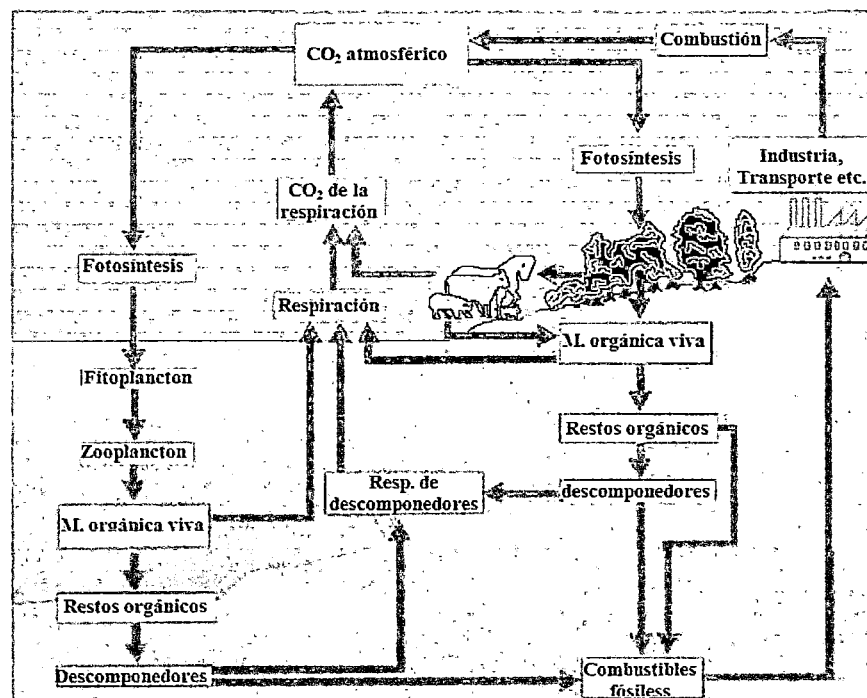


Figura 1: Ciclo de carbono

Fuente: Álvarez, 2009 y Sampson y col., 1993.

2.2.2 La captura de carbono

La captura de carbono es un proceso que tiene su origen con la fotosíntesis. El CO₂ de la atmósfera y el agua, reaccionan formando carbohidratos y liberando oxígeno a la atmósfera. En un bosque la captura de carbono se detiene por que llega a su equilibrio con los procesos de descomposición y respiración.

El hombre puede actuar para aumentar el potencial de captura de carbono a través de la gestión forestal sostenible, incrementando la masa de material mediante el crecimiento de árboles, y por la extracción de madera, lo cual se convierte en productos duraderos. En el caso de los olivos esta acumulación de carbono se da por la duración que tienen las plantaciones a través del tiempo cuando son cosechables tanto para aceite de oliva como para aceituna de mesa, este periodo de producción puede extenderse hasta los 150 años, permitiendo almacenar el carbono extraído o capturado del CO₂ atmosférico por este espacio de tiempo. En este contexto los procesos de almacenaje son válidos si son de largo plazo.

Los bosques capturan y conservan mas carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90% de flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie de la tierra. Por lo tanto la gestión forestal puede compensar las crecientes emisiones de CO₂ en dos formas.

Otro factor que influye en la importancia de la fijación de CO₂ a través de los sistemas forestales es que por cada tonelada de carbono absorbido en la biomasa forestal, la cantidad de CO₂ en la atmósfera se reduce en 3,7 toneladas. Esto es debido a la conformación química que tienen los compuestos carbonados de las plantas frente al CO₂ libre en la atmósfera.

2.2.3 Proceso de acumulación de carbono

A través de la fotosíntesis, las plantas capturan CO₂ de la atmósfera, extrayendo el carbono de este gas y que luego lo fijan en la biomasa de las plantas y liberando el oxígeno. La biomasa está definida como el peso (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema y normalmente se cuantifica en (1000 kg/10 000 m²) o (t/ha) de peso seco.

En un ecosistema forestal, el carbono se acumula en la biomasa sobre el suelo (sotobosque), bajo el suelo (raíces), necromasa (árboles muertos en pie y troncos caídos), hojarasca y suelo. A este proceso se le entiende también como sumidero porque a través de este mecanismo absorbe gases de efecto invernadero y lo almacena en océanos, bosques o la tierra.

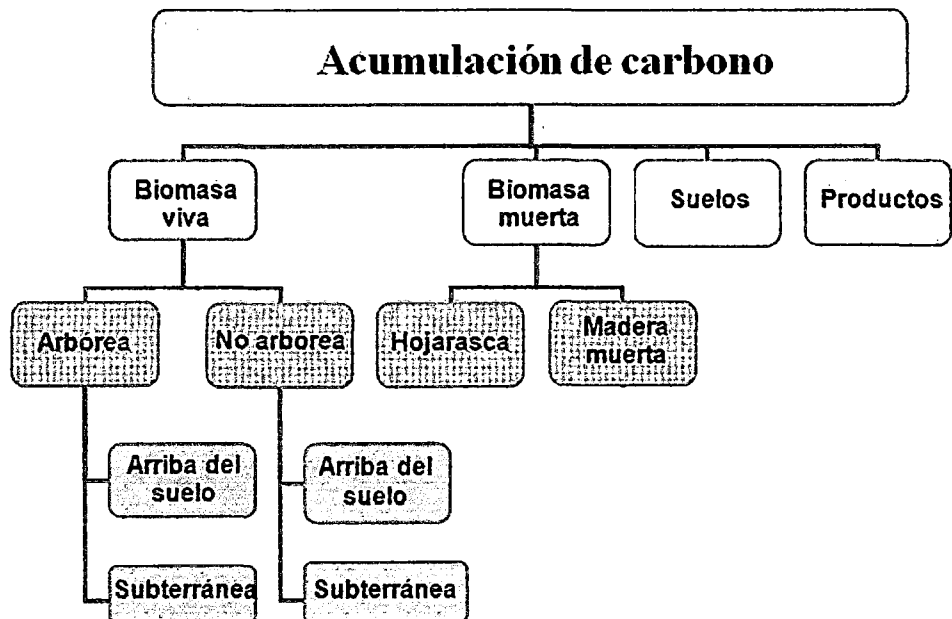


Figura 2: Acumulación de carbono en los diferentes estratos de la planta de olivo.

Fuente: Huánuco, 2001.

2.2.3.1 Carbono acumulado sobre el suelo:

La biomasa sobre el suelo considera los árboles, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea. Estos componentes de la biomasa se muestrean en parcelas de proporciones acordes a cada tipo de vegetación.

De la biomasa aérea el componente más importante son los árboles, por lo que es necesario, particularmente en este componente, ser riguroso en las mediciones y en el posterior procesamiento de la información (Huánuco, 2001).

2.2.3.2 Carbono acumulado bajo el suelo:

La biomasa bajo el suelo se refiere a las raíces de la vegetación del ecosistema estudiado, tanto de los árboles como del sotobosque y de la vegetación herbácea.

Determinar la biomasa bajo el suelo, o biomasa radical, es un proceso muy costoso

(alrededor de 120 US\$/raíz). Por lo que generalmente se estima como un porcentaje de la biomasa arbórea sobre el suelo (biomasa aérea).

2.2.3.3 Carbono acumulado en la hojarasca y necromasa:

La capa de hojarasca, también conocida como el horizonte O, es una capa de material orgánico constituida por el material leñoso, hojas, ramillas, flores y frutos no descompuesto que cae de los árboles y cuyas formas se pueden reconocer a simple vista. Se conoce también como mantillo o litera.

La necromasa se refiere a la materia vegetal muerta, sobre todo a árboles muertos, ya sea en pie o caídos. En este componente es importante el grado de descomposición en que se encuentren los elementos, principalmente los troncos que son el mayor contribuyente a los sumideros.

2.2.3.4 Carbono en suelos

De acuerdo al IPCC (1996) el suelo necesita ser medido en el sitio del proyecto hasta una profundidad de 30 cm, ya que el cambio de uso de la tierra tiene un mayor efecto en los estratos superiores. El contenido de carbono de los suelos se estima a partir del contenido de materia orgánica (Godoy, 2002).

2.2.4 El olivo como sumidero de carbono

El olivo (*Olea europea*) es una especie típicamente mediterránea adaptada al clima de la zona sur del Perú. El almacenamiento de carbono en estas plantaciones de olivos es un proceso muy importante de estudiar en Tacna, para acceder al cobro de créditos por captura de carbono a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto.

Desde el punto de vista de Recursos Naturales, el país tiene un alto potencial para la venta de servicios

ambientales por concepto de captura de carbono (Rosa et al., 2004; Burstein et al., 2002).

La biomasa de los árboles de olivo representa la cantidad total de materia orgánica vegetal viva, (almacenada en los estratos o porciones aéreas y subterráneas del ecosistema) por unidad de área en un tiempo establecido, expresada en g/m^2 o t/ha , incluye hojas, ramas, troncos y raíces, pero excluye la hojarasca y la materia orgánica en descomposición. Generalmente, se hace la distinción entre biomasa aérea, a lo que está por encima del suelo y subterránea, a lo que está por debajo del suelo, tanto en aspectos conceptuales como metodológicos.

Los ecosistemas boscosos juegan un gran papel en el balance de carbono global al ser importantes reservorios de carbono. La estimación de biomasa provee información del carbono en la vegetación de los bosques ya que cerca del 50% de la misma es carbón (IPCC, 1996). En consecuencia, la biomasa representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberada a la atmósfera como CO_2 cuando el

bosque sea clareado o quemado (Hiratzuka et al., 2005; Lufafa et al., 2008) sin desconocer que el contenido del mismo varía entre sitios, y que el factor de 0,5 resulta en muchos casos una sobre o sub-estimación de la verdadera capacidad de fijación de carbono (Alvarez et al., 2005).

En el caso de Perú las extensas superficies de plantaciones de olivos podrían contribuir a la mitigación de las emisiones de CO₂, principalmente al actuar como enormes sumideros de carbono, el manejo adecuado de las plantaciones permitiría obtener beneficios adicionales al mantener el flujo de bienes y servicios ecosistémicos, permitiendo equiparar las necesidades humanas con el cuidado del medio ambiente.

2.2.5 Cuantificación de la biomasa

De todos los componentes de la biomasa, el mayor aporte al total de un sitio dado lo hace la fracción leñosa arbórea aérea, denominada densidad de biomasa y definida como la cantidad total de materia orgánica viva aérea

presente en los árboles, incluyendo hojas, ramas, tronco principal, corteza, y medida como masa (tonelada de peso seco) por unidad de área (en m² o ha) (Brown, 1997). Principalmente su determinación, considera la categoría ≥ 10 cm de diámetro a la altura de pecho (DAP), por convención se mide a 1,30 m desde el suelo (Manrique y col., 2009) y empleando dos grupos de metodologías: la primera es directa o destructiva y la segunda es indirecta o no destructiva. La elección dependerá del objetivo propuesto; de los recursos disponibles; del nivel de precisión requerido, entre otros aspectos (Castro y col., 1996).

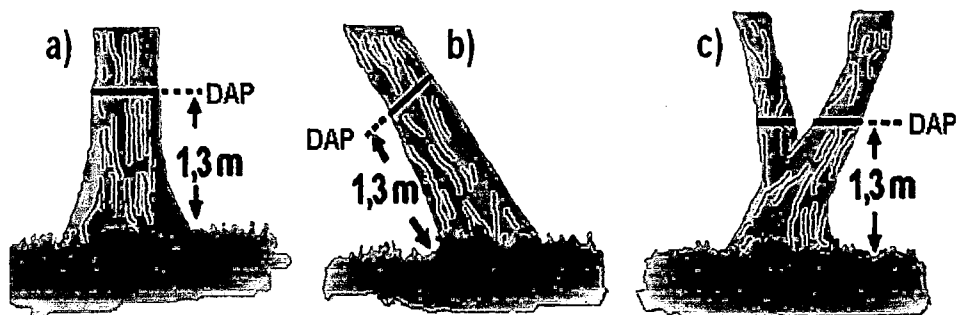


Figura 3: Medición del DAP del tallo de los árboles de olivos, a 1,30 m. a) en forma vertical b) en forma inclinada y c) en forma bifurcada.

Fuente: Castro et al., 1996

La aplicación de metodologías destructivas muchas veces resulta prohibitivamente costosa en tiempo y recursos, por lo cual se restringe a estudios locales y sobre especies particulares (Rivera y Chaidez, 2004; Peichl y Arain, 2006; Manrique y col., 2009).

La biomasa en peso seco de una especie se estima a partir de un proceso destructivo sobre un número relativamente reducido de muestras. Con ellas se establece una función predictiva que relacione un parámetro característico de la estructura del vegetal con la biomasa (Hierro et al., 2000). Resulta muy útil disponer de funciones o ecuaciones alométricas adecuadas que permitan el cálculo de la biomasa sin necesidad de realizar en cada ocasión el proceso completo (Montero y Montagnini, 2005).



Figura 4: Método destructivo para estimar la biomasa seca, a partir del troceado de las partes del árbol de olivo.

Fuente: Segura M, M. kanninen. 2002.

Por otra parte, las metodologías no destructivas son menos demandantes en tiempo de ejecución y recursos económicos, ya que no implican la colecta del material para su secado, y en ciertos casos resultan suficientes (Manrique y col., 2009). Pueden aplicarse dos aproximaciones metodológicas no destructivas: 1) factores de expansión de biomasa (FEB) y 2) ecuaciones alométricas (EA). El FEB

utiliza mediciones de volúmenes existentes que son convertidas a densidad de biomasa (t/ha) usando una variedad de herramientas, que relacionan la biomasa del fuste con la biomasa total (Brown et al., 1999).

2.2.6 Ecuaciones alométricas (EA)

Las ecuaciones alométricas son relaciones matemáticas para estimar una variable (volumen o biomasa) en base a una o más variables independientes (diámetro, altura, área basal, diámetro de copa, entre otros). El uso de EA basado en el diámetro, permite el cálculo de la biomasa de una especie de manera no destructiva y extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Montero y Montagnini, 2005), sin embargo, no existen funciones para todas las especies de árboles ni registros en los inventarios de todas las especies que viven en los bosques. Por otra parte, estas ecuaciones son solo válidas dentro del rango de diámetros de tallo cubiertos en el muestreo (Haase y Haase, 1995). También es posible que las relaciones alométricas dependan de una estructura vegetal determinada y debe investigarse si

las ecuaciones pueden aplicarse a otros bosques con estructuras diferentes (Chave et al., 2003; Hiratzuka et al., 2005).

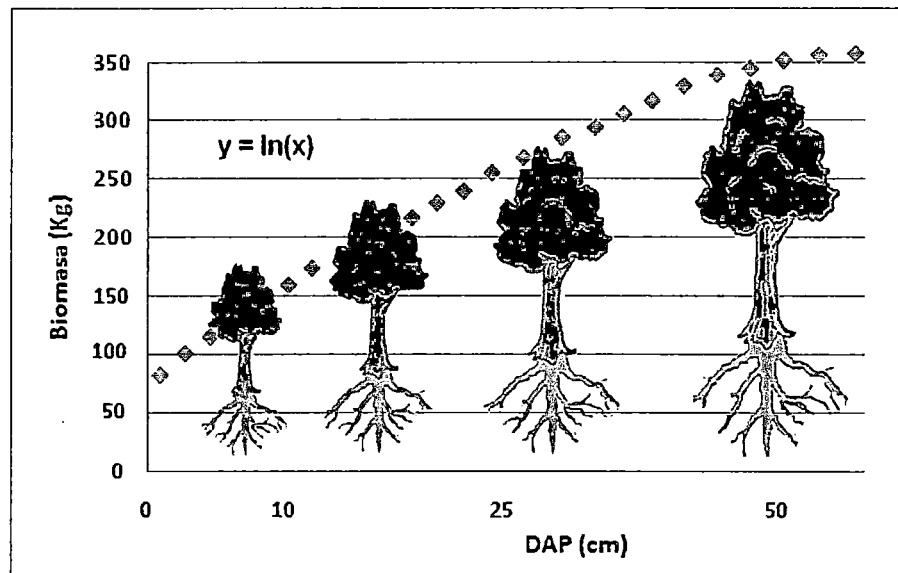


Figura 5: Determinación del incremento de biomasa a través del uso de la ecuación alométrica.

Fuente: Elaboración propia

2.3 Definición de términos

- **Árbol:** Planta perenne, de tronco leñoso y elevado, caracterizada por tener un tallo principal erguido leñoso que se ramifica a cierta altura del suelo. Su gran variedad de formas hace que sean un componente esencial del paisaje, además de aportarnos alimento, fibra, aceite y otros

importantes productos para las industrias y nuestras propias casas.

- **Biomasa:** Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. También se refiere al peso, volumen o equivalente energético total de los organismos de un área dada; materiales vegetales y restos animales utilizados como fuente de combustible o de otros productos industriales; en biotecnología, la materia microbiana del sistema.
- **Carbono:** es el elemento químico fundamental de los compuestos orgánicos, que circula por los océanos, la atmósfera, el suelo, y subsuelo. Estos son considerados depósitos (reservorios) de carbono. El carbono pasa de un depósito a otro por medio de procesos químicos, físicos y biológicos.

- **Coefficiente de variación:** El coeficiente de variación elimina la dimensionalidad de las variables y tiene en cuenta la proporción existente entre medias y desviación estándar

$$CV = S / \bar{x} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: S: Desviación estándar

\bar{x} : Promedio

- **Concentración de O₂ y CO₂ del aire:** Un aumento en la concentración de O₂ disminuye la fotosíntesis favoreciendo el proceso de fotorrespiración (efecto Warburg), por el contrario una disminución de su concentración favorecerá enormemente la fotosíntesis. Esto ha sido demostrado en condiciones experimentales modificando enormemente las concentraciones de O₂. Sin embargo, dado que la concentración a la que se encuentra el O₂ en el aire (21%) es muy grande comparada con la de CO₂ (0,035%) cualquier pequeña oscilación, que en condiciones naturales se puede producir en su concentración, no afecta el funcionamiento del aparato fotosintético, mientras que una oscilación de la misma magnitud en la concentración de CO₂ produce cambios significativos.

La concentración de CO_2 en el aire influye de gran manera en la fotosíntesis. Cuando la concentración de CO_2 aumenta, las plantas aumentan su fotosíntesis incluso dos o tres veces, a excepción de las plantas C_4 , que apenas se nota el efecto.

- **Contaminantes:** La inhibición de la fotosíntesis debida a contaminantes generalmente tiene lugar antes de que se detecten daños visibles sobre la planta o que se produzca reducción en el crecimiento. Así, altas dosis de SO_2 , dióxido de nitrógeno (NO_2) producen una merma en la capacidad fotosintética. También el óxido de magnesio, el óxido de hierro y los metales pesados producen una inhibición de la fotosíntesis. En el caso del ozono (O_3), la reducción de la fotosíntesis tiene lugar a niveles relativamente bajos.
- **Cuantificación de la biomasa:** De todos los componentes de la biomasa, el mayor aporte al total de un sitio dado lo hace la fracción leñosa arbórea aérea, denominada densidad de biomasa y definida como la cantidad total de materia orgánica viva aérea presente en los árboles, incluye hojas, ramas,

tronco principal y corteza medida como masa (kg): (tonelada de peso seco) por unidad de área (m²).

- **Desviación estándar:** La varianza no tiene la misma magnitud que las observaciones (si las observaciones se miden en m, la varianza lo hace en m²). Si queremos que la medida de dispersión sea de la misma dimensionalidad que las observaciones bastarán con tomar su raíz cuadrada. Por ello se define la desviación típica, S, como

$$S = \sqrt{S^2} \quad (\text{Ec. 2})$$

- **Dióxido de carbono (CO₂):** gas más abundante en la atmósfera y juega un papel importante en los procesos vitales de plantas, animales y, en definitiva del ser humano, como en la fotosíntesis, la respiración o en diversas actividades internas del cuerpo humano. El CO₂, en cantidades adecuadas, es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la tierra tenga una temperatura habitable, ya que sin el CO₂, la tierra sería un bloque de hielo.

- **Flores:** Las flores del olivo son pequeñas y de color blanco. Fácilmente pasarían inadvertidas, si no fuese porque se agrupan en inflorescencias axilares. Éstas son racimos compuestos bastante alargados en los que se disponen las flores en número de varias decenas.

- **Gestión de tierras agrícolas:** Son aquellas prácticas en tierras dedicadas a cultivos agrícolas en tierras mantenidas en reserva o no utilizadas temporalmente para la agricultura.

- **Hojas:** Las hojas del olivo son enteras y lanceoladas, disponiéndose sobre las ramas mediante un peciolo de corto tamaño. Como en todas las oleáceas, son opuestas; aunque la forma general es lanceolada, sus proporciones varían desde ovaladas a casi lineales, dependiendo de la variedad.

- **Inventario de carbono:** El inventario cuantifica el almacenamiento de carbono en diferentes depósitos presentes en distintos usos de ecosistemas de la tierra, permitiendo también medir el impacto de un determinado proyecto en la remoción (secuestro) del dióxido de carbono

(CO₂) presente en la atmósfera, por medio de su fijación en la biomasa existente.

- **Metodologías destructivas:** muchas veces resulta prohibitivamente costoso en tiempo y recursos, por lo cual se restringe a estudios locales y sobre especies particulares. La biomasa en peso seco de una especie se estima a partir de un proceso destructivo sobre un número relativamente reducido de muestras. Con ellas se establece una función predictiva que relacione un parámetro característico de la estructura del vegetal con la biomasa total. Resulta muy útil disponer de funciones adecuadas que permitan el cálculo de la biomasa sin necesidad de realizar en cada ocasión el proceso completo (Montero y Montagnini, 2005).
- **Metodologías no destructivas:** son menos demandantes en tiempo de ejecución y recursos económicos, ya que no implican la colecta del material para su secado, y en ciertos casos resultan suficientes. Se basan en realizar estimaciones y cálculos a partir de datos estructurales obtenidos sobre un determinado bosque o ecosistema. Estos datos pueden

provenir de un muestreo local con un número de parcelas estimadas como representativas de las condiciones particulares de un sitio, o de inventarios forestales realizados a nivel regional o nacional.

- **Promedio:** Es la media aritmética y se calcula sumando un grupo de mediciones y dividiendo a continuación por el recuento de dichos números de mediciones (n).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ec. 3})$$

- **Raíces:** El olivo suele presentar raíces fasciculadas, sin embargo, si se observa la germinación de una semilla sólo se desarrolla una raíz pivotante, de la que se diferenciarán raicillas secundarias. La causa de esto hay que buscarla en el método de plantación. Así las raíces surgen fasciculadas a partir de un estacón, y cuando los plantones proceden de semillas, las raíces pivotantes se despuntan para favorecer la aparición de raíces secundarias.
- **Ramificaciones fructíferas:** Las flores, y por tanto, los frutos del olivo, no se desarrollan sobre cualquier rama, sino que

aparecen en los brotes formados durante el año anterior. Estos brotes suelen tener una longitud aproximada de 50 cm y de su número y posición depende la cosecha. Un número demasiado bajo causará una cosecha escasa, mientras que si éste es muy alto dará lugar a una gran cantidad de frutos de pequeño tamaño y por tanto de menor valor.

- **Ramificaciones secundarias:** de las ramificaciones primarias surgen otras que, mediante nuevas divisiones, formarán la copa del árbol, siendo las portadoras de las ramificaciones fructíferas.

- **Ramificaciones primarias:** A partir del tronco, se desarrollan unas gruesas ramificaciones que dan la forma general al árbol. Su número varía según el tipo de poda y son muy importantes a la hora de regular la producción y la facilidad de recolección. Cuando el árbol envejece, estas ramas son podadas, e incluso cortadas, para que el nacimiento de ramas jóvenes mantenga la vitalidad de las ramificaciones fructíferas y por tanto la producción del olivo.

- **Reforestación:** Conversión por actividad humana directa de tierras no boscosas en boscosas mediante plantación, siembra o fomento antrópico de semilleros naturales, en tierras que estuvieron forestadas pero que actualmente están deforestadas.

- **Sumidero:** se entiende por sumidero “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de gas de efecto invernadero de la atmósfera” (convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático); sin embargo la fijación de carbono considerada por el protocolo de Kioto es aquella que depende directamente de la actividad humana y se ha desarrollado a partir de 1990, año base del protocolo.

- **Terreno forestal:** o bosque es aquella superficie mínima de tierras de entre 500 y 10 000 m²) con una cubierta de copas (o una densidad de población equivalente) que exceda del 10 al 30 % y con árboles que puedan alcanzar una altura mínima de entre 2 y 5 m en su madurez in situ. Un bosque puede consistir en formaciones forestales densas, donde los árboles

de diversas alturas y el sotobosque cubre una proporción considerable del terreno, o bien en una masa boscosa clara, según la conferencia de Marrakech en 2001.

- **Tronco principal del olivo:** es fácilmente reconocible por su corteza oscura y profundamente agrietada, presentando normalmente gruesos cordones y oquedades que a veces llegan hasta el centro del árbol. Esto ocurre en ejemplares de cierta edad, pero en árboles jóvenes, el tronco es mucho más liso, de color más claro y de contornos regulares.
- **Varianza:** Se refiere a la media de las desviaciones cuadráticas de una variable aleatoria, referidas al valor medio de esta, es decir:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad (\text{Ec. 4})$$

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación

En este trabajo se empleó el diseño de investigación transeccional de tipo correlacional/causal, en la cual se estudió la relación alométrica que tiene la cantidad de carbono almacenado en los tejidos de los árboles de olivo con las dimensiones en altura, diámetro de tallo y cantidad de biomasa que presentan los árboles de olivo.

3.2 Población y muestra de estudio

Antes de determinar el número de muestras o parcelas para la estimación de carbono con determinado nivel de confianza, se obtuvo la varianza en cada estrato. Cada estrato tuvo muestras de cuatro a ocho repeticiones, para que los resultados tengan validez estadística se utilizaron el promedio, varianza, desviación estandar y coeficiente de variación (Chave et al, 2005; Hairiah et al, 2001; Higuchi, 1982; Silva y Lopes, 1984).

3.2.1 Población

La población estuvo comprendida por las mayores plantaciones de olivos, *Olea europea*, del distrito de Tacna (La Yarada 54,8%, los Palos 29,3% y Magollo 15,9%); estas plantaciones se dividieron en parcelas de 400 m² de área cultivada con árboles de *Olea europea*. Los datos de superficie de cultivos de olivos se recolectaron de información obtenidos en el INEI (2010).

3.2.2 Tamaño de muestra (método de parcelas, Rüginitz y col, 2009)

El tamaño adecuado de muestra se obtuvo a través de una ecuación finita. En la cual la población comprendió la suma total de cada una de las parcelas (20 m x 20 m= 400 m²) en las que se divide el área cultivada 8 599 0000 m² de plantaciones de olivos en el distrito de Tacna, y comprendió 201 635 parcelas, por lo tanto el número de muestras que se tomó en cuenta fue de 24 parcelas que constituyeron 264 árboles de *O. europea*, ver Anexo 3.

La estratificación fue de acuerdo a las áreas cultivadas en cada localidad, obteniéndose el número de árboles por localidad a ser muestreada, resultando para La Yarada 145 árboles, para Los Palos 77 árboles y para Magollo 42 árboles de *O. europea*.

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Identificación de las variables

Las características fisiológicas que tienen los árboles de olivo es absorber CO₂ (variable dependiente) y otros bioelementos, para tener un aumento de: altura, diámetro de tallo y de biomasa (variables independientes). El carbono lo almacena en sus tejidos (raíces, tallo, ramas y hojas).

3.3.2. Caracterización de las variables

- **La variable dependiente:** lo constituye la cantidad de carbono acumulado en el tejido de los árboles de olivo.

- **La variable independiente:** Está comprendida por la altura, el diámetro y la cantidad de biomasa (en raíces, tallo, ramas y hojas) de los árboles de olivos.

3.3.3. Definición operacional de las variables

Cuadro 1: Operacionalización de variables en el estudio de la estimación de Carbono en la biomasa

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala
Diámetro de fuste	Característica de crecimiento	Diámetro de tallo	Razón
Altura de árbol	Característica de crecimiento	Tamaño del árbol	Razón
Biomasa	Característica de especie	Cantidad de biomasa	Razón
Carbono acumulado	Relación biomasa y Carbono en tejidos.	Cantidad de carbono	Razón

Fuente: Elaboración propia

3.4 Materiales y métodos para la recolección de datos

- Fotografías aéreas
- Bolsas de papel para muestras
- Equipo personal y de seguridad
- Cuerda plástica de 100 m
- Mochila para equipo de recorrido
- Hacha, serruchos y machete
- Etiquetas plásticas
- Brújula, GPS
- Wincha métrica
- Cuaderno de campo
- Tijeras podadoras
- Balanza (1 kg y 10 kg)

3.5 Acciones y actividades para la ejecución del trabajo

3.5.1 Determinación de las zonas de muestreo (por estratificación, Rüginitz y col, 2009)

Para la estimación de la capacidad de captura de CO₂ en plantaciones de olivos, en el distrito de Tacna, se estableció las diferentes plantaciones de olivos a través de registros actualizados del INEI y del Ministerio de Agricultura, y contrastando con navegadores satelitales de Google (www.maps.google.com.pe).

Obtenidos los datos, se procedió a estratificar las áreas de trabajo, determinándolas en porcentajes y en cantidades de superficie (hectáreas) de cultivo de olivos en las diferentes zonas de producción de olivos en el distrito de Tacna.

A través de las fotos satelitales se determinó las zonas de muestreo que fueron en La Yarada, Los Palos y Magollo por tener mayores superficies cultivadas de olivos. Para lo cual se realizó el muestreo de acuerdo a la estratificación establecida en el acápite tamaño de muestra.

3.5.2 Determinación de la cantidad de biomasa seca

3.5.2.1. Medición del diámetro de árboles

Una vez ubicado en cada zona de muestreo se procedió a la toma de muestras:

- a) El diámetro del tallo a la altura del pecho (DAP) de los árboles de *O. europea*, se midió a una (a 1,3 m desde el suelo) como se ve en la figura 3, 13 y 14.
- b) La medición se realizó con una cinta métrica (cinta flexible usada para medir el DAP de los árboles de olivo.
- c) El responsable en registrar los datos del diámetro anotó los valores que le son dictados por el segundo miembro de medición el cual colocó la cinta métrica junto al tallo del árbol (en forma transversal al tallo) a la altura del pecho o a 1,30 m desde el suelo y así se determinó el tamaño del diámetro.

3.5.2.2 Medición de altura de árboles

- a) La medición de la altura de los árboles se realizó por medio del uso de escalas de medición, los cuales están graduados, y al hacer coincidir esta con el árbol de olivo se realiza una

toma fotográfica para luego en gabinete (centro de cómputo) determinar las alturas y los diámetros de copa de cada uno de los árboles que conforman la parcela a muestrear.

- b) El responsable en registrar los datos, colocó la escala de medición junto a la base del árbol. El otro miembro del equipo se posicionó a una distancia definida para realizar la toma fotográfica.
- c) En el gabinete se realizó las conversiones de la escala en centímetros a valores reales de metros.

3.5.3 Determinación del contenido de biomasa (método, destructivo, Rüginitz y col, 2009)

Se utilizó el método indirecto realizando ecuaciones o factores de expansión que relacionan dimensiones básicas obtenidas en campo (DAP y altura) con características de interés, de forma que se pudo utilizar una ecuación que permitió calcular la biomasa total de un árbol mediante la medición de su diámetro. Estas ecuaciones se generaron por medio de una técnica estadística llamada análisis de regresión. (Gayoso y Schlegel, 2001), (Houghton, et al. 1996) y (Huanuco, 2001).

$$B_{ASU} = f \text{ (datos dimensionales)} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

B_{ASU} : biomasa arbórea sobre el suelo de una unidad, en kg de materia seca por árbol ($kgB_A/\text{árbol}$);

f (datos dimensionales): ecuación alométrica (EA) relacionando la biomasa sobre el suelo ($kg \text{ ms}/\text{árbol}$) a los datos medidos en campo (DAP y altura total del árbol).

3.6 Determinación del contenido de CO_2 capturado

3.6.1 Biomasa arbórea ($1000 \text{ kg}/10\ 000 \text{ m}^2$) o (t/ha) (Rügnitz y col, 2009)

La biomasa arbórea (B_A) por tonelada (t) y por hectárea (ha) se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$B_A = (\sum_{AU}/1000) \times (10\ 000/\text{área de la parcela}) \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

B_A : B_A sobre el suelo ($1000 \text{ kg}B_A/10\ 000 \text{ m}^2$) o (tB_A/ha);

\sum_{AU} : Sumatoria de B_A de árboles ($kgB_A/\text{área de parcela}$);

Factor 1000: Conversión de unidades de muestra de $kg B_A/tB_A$

Factor 10 000: Conversión del área (m^2) a ha.

3.6.2 Contenido de carbono (ton C/ha)

El stock de carbono en la biomasa arbórea se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta C_{BA} = (B_A * C_F) \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

ΔC_{BA} : C en la B_A sobre el suelo (1000 kgC/ 10 000 m²) o (tC/ha);

B_A : B_A sobre el suelo (1000 kg B_A /10 000 m²) o (t B_A /ha);

C_F : Fracción de C (1000 kgC/1000 B_A). (Valor IPCC =0,5.)

3.6.3 Estimación del contenido de CO₂ capturado (método de los pesos moleculares, Rüginitz y col, 2009)

Para estimar la cantidad de CO₂ capturado a partir de la cantidad de carbono de un determinado depósito se hizo uso de la relación: (ICF, 1999) y (IPCC, 1998).

$$tCO_2 = 3,67 tC \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

tCO_2 : toneladas de CO₂ (1000 kg CO₂) atmosférico en biomasa.

tC : toneladas de C (1000 kg C) almacenado en biomasa.

3.7 Tratamiento de datos (análisis estadístico)

3.7.1 Parámetros estadísticos

3.7.1.1 Coeficiente de determinación (R^2),

Coeficiente que mide el grado de relación o dependencia entre variables aleatorias, el valor 0 en una correlación nula o el valor 1 en una correlación total. Las variables para este estudio son: aumento del DAP, altura, diámetro de copa y biomasa. Cuanto más próximo a uno se considera que mejor fue realizado el ajuste, frecuentemente denominado correlación. El coeficiente de correlación se calcula dividiendo la covarianza de las dos variables aleatorias por el producto de las desviaciones típicas individuales de las dos variables aleatorias. Las correlaciones nos proporcionaron una ayuda vital en la creación de ecuaciones alométricas en el estudio de parámetros biométricos de las plantaciones de olivos.

3.7.1.2 Coeficiente de variación (CV%) (Rügnitz y col, 2009)

Permitió comparar la variación resultante de dos variables distintas (de una misma población) cuanto menor sea su valor, mejor el modelo. Ambas variables tienen una relación causal con ese factor. Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación estándar. A mayor valor de CV mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor CV, mayor homogeneidad de la variable.

3.7.1.3 Análisis de varianza (ANOVA), (Rügnitz y col, 2009)

Este análisis nos permitió encontrar las diferencias de mediciones de grupos al comparar más de dos medias. También permite analizar la información sobre variabilidad de las unidades de muestreo, contenida en las mediciones de las observaciones de los olivos en el distrito de Tacna. Para lo cual se utilizó el programa Microsoft Office Excel versión 2007, para análisis de varianza monofactorial.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Área de estudio y estratificación de las parcelas

Las áreas de estudio de las plantaciones de olivo de los Palos, La Yarada y Magollo en el distrito de Tacna, se observan en la Fig. 6.

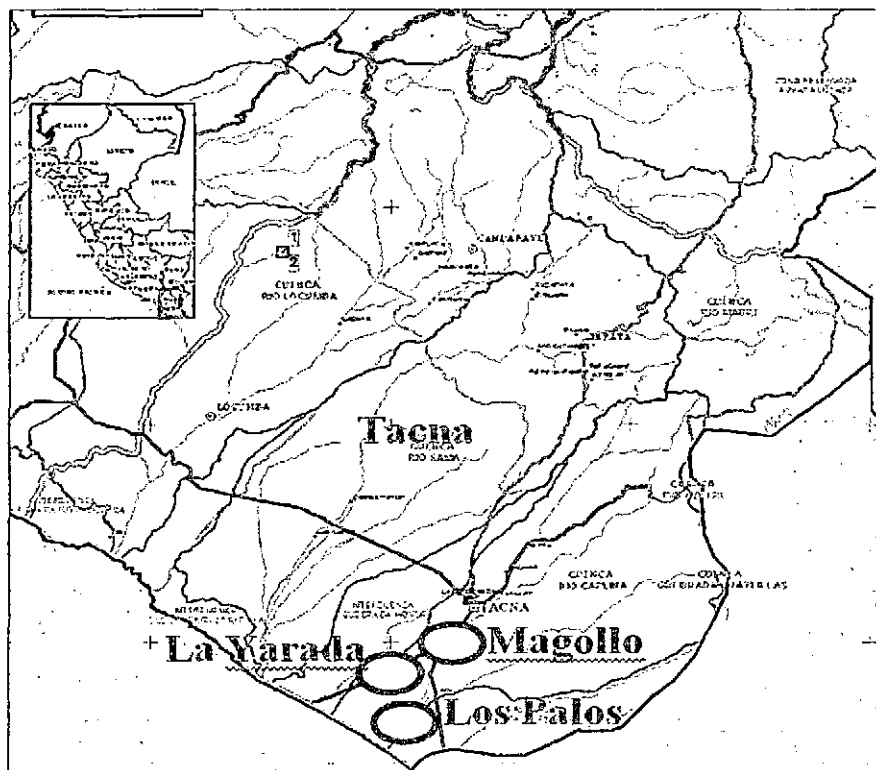


Figura 6: Ubicación de las áreas con mayores superficies cultivadas, con olivos en el distrito de Tacna.

Fuente: Elaboración propia

Estas localidades con elevada producción de olivos en esta región sur del Perú se deben en gran medida a las condiciones climáticas óptimas para este vegetal.

Cuadro 2: Áreas cultivadas con plantaciones de olivo en la región de Tacna desde los periodos de 1998 hasta el 2011,

Tiempo (años)	Cultivo (ha)
1996	2184
1997	1979
1998	2018
1999	2038
2000	2864
2001	3179
2002	3226
2003	3647
2004	4101
2005	4730
2006	5465
2007	5479
2008	5867
2009	6817
2010	7216
2011	8599

Fuente: INEI 2008

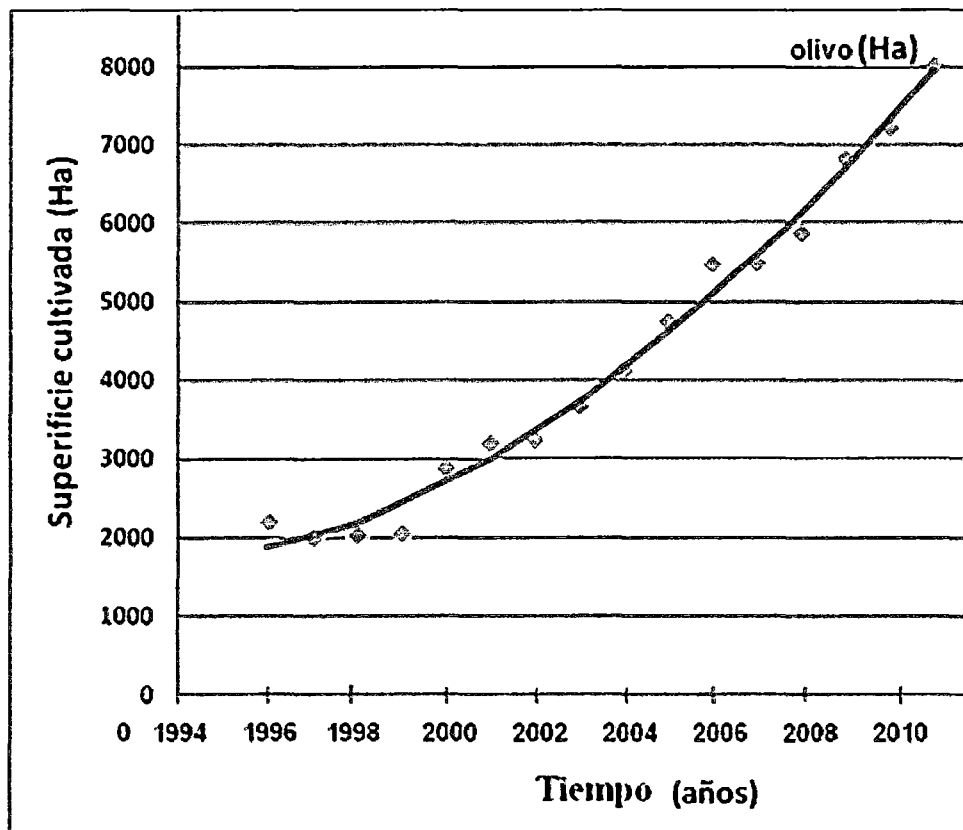


Figura 7: Superficie cultivada con plantaciones de olivo en los periodos de 1996 al 2010 en el distrito de Tacna.

Fuente: Elaboración propia

De las plantaciones de olivos en el distrito de Tacna, La Yarada tuvo mayor expansión con 44 196 000 m² seguido por Los Palos con 23 646 000 m² y Magollo con 12 812 000 m², ver Cuadro 3 y Figura 8.

Cuadro 3: Superficie cultivada de Olivos *Olea Europea* en el distrito de Tacna.

Localidades del distrito de Tacna	Superficie cultivada (ha)	Porcentaje de cultivo (%)
La Yarada	4 419,6	54,8
Los Palos	2 364,6	29,3
Magollo	1 281,2	15,9
Total	8 065,4	100,0

Fuente: Elaboración propia

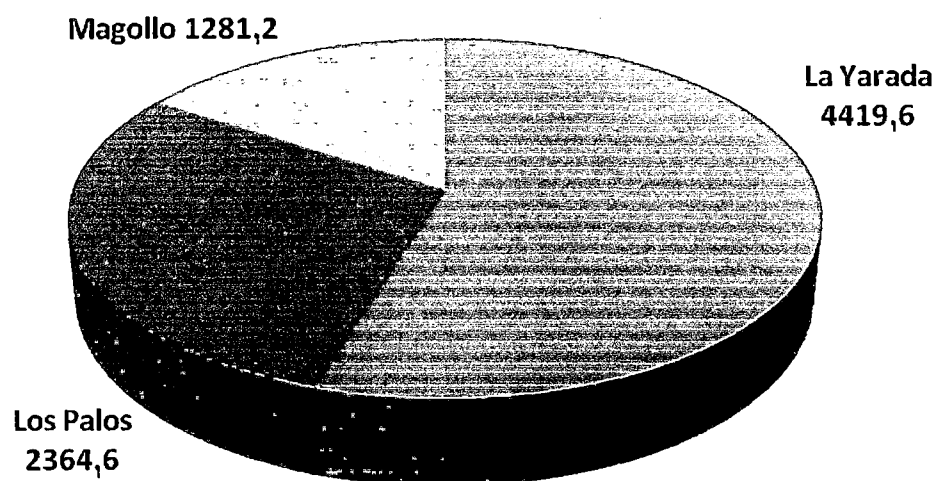


Figura 8: Superficie cultivada en hectáreas de olivo en las principales localidades en el distrito de Tacna.

Fuente: Elaboración propia

4.2 Biomasa seca en estratos del olivo

4.2.1 Parámetros de crecimiento de los olivos

Los valores obtenidos de biomasa seca de los árboles, se captaron a través de un método destructivo, propuestos por Castro et al., 1996 y Hierro et al., 2000, los cuales se presentan a continuación en el Cuadro 4 y Figuras 9 y 10.

Cuadro 4: Desarrollo de los parámetros de crecimiento (DAP, altura y diámetro de copa de árboles de olivo) relacionados con la edad (años).

Edad (años)	DAP (cm)	Altura (m)	Copa (m)
2,5	4,0	2,26	1,27
4,0	7,0	2,71	2,05
10,0	26,5	3,36	3,27
30,0	56,8	3,71	4,60

Fuente: Elaboración propia

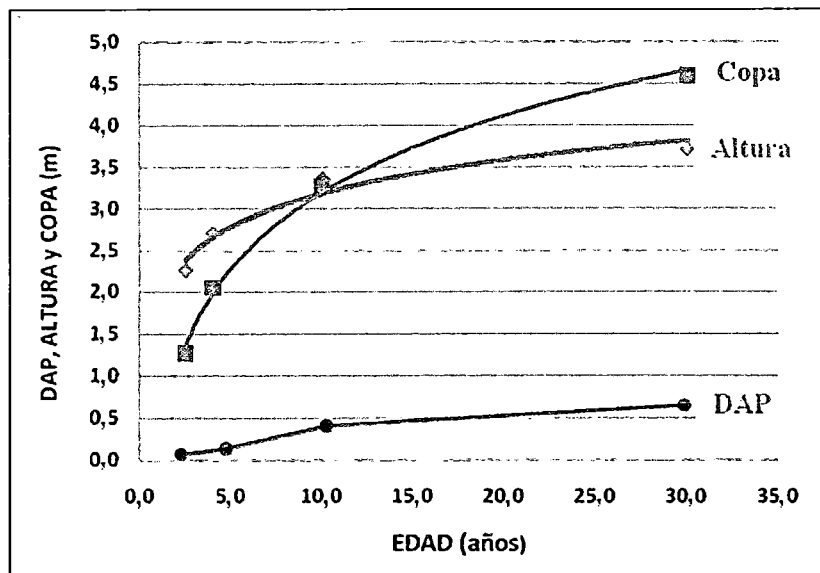


Figura 9: Variación del crecimiento de copa, altura y DAP con respecto a la edad del árbol.

Fuente: Elaboración propia

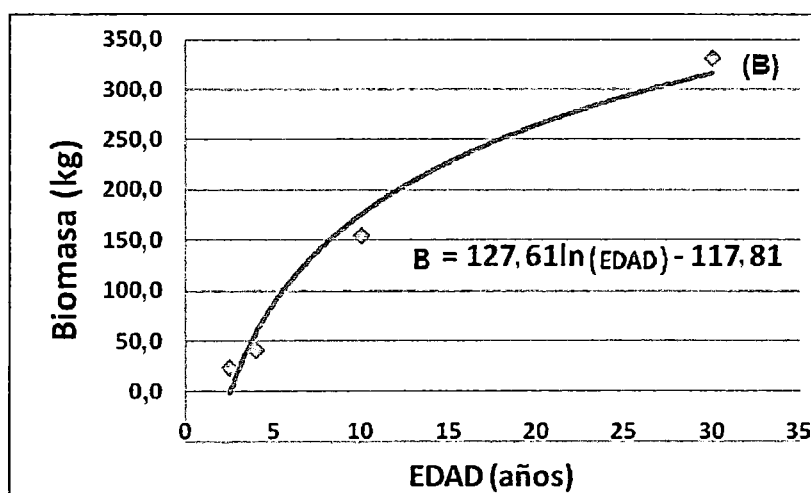


Figura 10: Relación del incremento de la biomasa de un árbol de olivo con el incremento en edad del árbol.

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Relación de crecimiento a través de ecuaciones alométricas

a) Ecuación alométrica de biomasa (Rügnitz y col., 2009)

La ecuación alométrica (EA) de biomasa seca, se obtuvo de los datos del Cuadro 4 y de las Figuras 9 y 10:

$$\text{Biomasa (kg)} = 127,61 \ln (\text{Edad}) - 117,81 \quad (\text{Ec. 9})$$

Estima la cantidad de biomasa de olivo a través de su edad.

b) Ecuaciones alométricas de altura

La EA se obtuvo de los resultados del Cuadro 4 y de las Figuras 9 y 10:

$$\text{Altura} = 0,4328 \ln (\text{DAP}) + 1,6746 \quad (\text{Ec. 10})$$

Esta ecuación estima la altura del olivo a través de su DAP.

4.2.3 Biomasa seca en estratos de árboles de olivo

Por el proceso destructivo se obtienen los valores de biomasa seca los cuales se aprecian en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Biomasa seca en diferentes estratos de árbol de olivo

Componente	P. húmedo (g)	P. Seco (g)	P. muestra (g)	Biomasa seca (kg)	Porcentaje (%)
Hojas	0,00392	0,00229	13,50	7,89	11,8
Ramas	5,90	3,54	29,5	17,70	26,5
Tronco	6,45	3,05	58,78	27,80	41,6
Raíces				13,42	20,1
BIOMASA TOTAL				66,80	100

Fuente: Elaboración propia; P: peso

4.3 Carbono total almacenado en plantaciones de olivos

La cantidad de biomasa seca obtenida se relacionó con la fracción de carbono (tC/tms), el valor estándar del IPCC para fracción de C es 0,5 los que se multiplican, y los resultados se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Carbono total almacenado en las plantaciones de olivo en el distrito de Tacna.

Edad (años)	(%)	Cultivos (ha)	Árboles (unidad)	Biomasa (kgms/árbol)	Biomasa (t)	Carbono (t)
5	3	242,0	66 539,6	87,6	5826,9	2913,4
10	8	645,2	177 438,8	176,0	31 233,3	15 616,6
15	49	3 952,0	1 086 812,7	227,8	247 537,1	123 768,6
25	20	1613,1	443 597,0	293,0	129 952,1	64 976,0
30	15	1209,8	332 697,8	316,2	105 204,6	52 602,3
50	5	403,3	110 899,3	381,4	42 297,3	21 148,7
Total	100	8 065,4	4 032 700,0	1 481,9	562 051,3	281 025,7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 7: Biomasa, carbono y CO₂ equivalente (e) en 10 000 m² o (ha).

Olivos (unidad)	Área (ha)	Biomasa (t)	Carbono (t)	CO₂ (t)
275	1	69,7	34,8	127,7

Fuente: Elaboración propia

La biomasa de árboles de olivos en el distrito de Tacna es de 562 051,3 t, que corresponde a 281 025,7 tC almacenado en sus tejidos. Por lo tanto por convención (1 t C = 3,67 t CO₂ equivalente), en razón de los pesos moleculares (44 g/mol CO₂)/(12 g/mol C). Se

determinó que las plantaciones de olivos en el distrito de Tacna es 1 031 364,319 tCO₂e.

4.4 Contratación de hipótesis

El contenido de carbono almacenado o capturado en los árboles de *Olea europea* se logró estimar tanto por el método destructivo y por EA. Encontrándose una cantidad de captura de 1 031 364, 319 tCO₂ atmosférico, que se almacena en los tejidos como carbono, en las plantaciones de olivo del distrito de Tacna. La estimación se pudo generalizar a través de las EA, los cuales se comprobaron por el coeficiente de variación y análisis de varianza.

4.5 Análisis estadístico

4.5.1 Coeficiente de Variación

La comprobación estadística se llevó a cabo a través del coeficiente variación que, estuvo en un rango de 6% a 14%, y cuyos datos con las que se trabajaron están en Anexos (cuadros del 19 al 22) y los resultados están en el Cuadro 7.

Cuadro N° 8: Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)

Edad	2,5 años	4 años	10 años	30 años
Parámetros estadísticos	Biomasa	Biomasa	Biomasa	Biomasa
Promedio	2,26 kg	2,71 kg	2,63 kg	3,71 kg
Varianza	0,02	0,06	0,14	0,26
Desv. Estándar	0,14	0,25	0,37	0,51
Coef. Variación ^(*) (%)	6	9	14	14

Fuente: Elaboración propia

^(*) Calidad estadística. Hasta 7%, precisa; 8 a 14% precisión aceptable; 15 a 20% precisión regular; Mayor del 20% poco precisa. **Fuente:** Censos y Demografía, 2008.

4.5.2 Análisis de varianza

Para determinar este análisis se hace uso del programa Excel 2003 utilizando los datos de mediciones presentados en los anexos, específicamente en los Cuadros 24 al 27.

Cuadro 9: Análisis de varianza de la altura de los árboles de olivo, con un nivel de confianza del 95%.

Origen de var.	SC	GL	Prom. de C	F	F tab.
Entre grupos	14,44	2	7,22	46,99	2,40
Dentro de grupos	8,76	57	0,15		
Total	23,20	59			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10: Análisis de varianza del diámetro de copa de los árboles de olivo, con un nivel de confianza del 95%.

Origen de var.	SC	GL	Prom. de C	F	F tab.
Entre grupos	81,33	2	40,66	156,80	2,40
Dentro de grupos	14,78	57	0,26		
Total	96,11	59			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Análisis de varianza del (DAP) de los árboles de olivo, con un nivel de confianza del 95%.

Origen de var.	SC	GL	Prom. de C	F	F tab.
Entre grupos	25 164,4	2	12 582,19	119,00	2,40
Dentro de grupos	6 025,7	57	105,71		
Total	31 190,1	59			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12: Análisis de varianza de la biomasa de los árboles de olivo, con un nivel de confianza del 95%.

Origen de var.	SC	GL	Prom. de C	F exp	F tab.
Entre grupos	928 005,7	2	464 002,86	119,02	2,40
Dentro de grupos	222 213,2	57	3 898,48		
Total	1 150 218,9	59			

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Las áreas de estudio con mayor cantidad de plantaciones de olivo en el distrito de Tacna se localizan en la zona suroeste, siendo La Yarada con mayor área cultivada con 44 196 000 m² (4 419,6 ha), seguido de Los Palos con 23 646 000 m² (2 364,6 ha) y Magollo con 12 812 000 m² (1 281,2 ha) según (INEI, 2010), Observándose en la figura 6. La elevada producción de olivos en esta localidad (como se observan en el cuadro 3 y la figura 8) se debe en gran medida a las condiciones climáticas óptimas para este vegetal, y por la ampliación de los cultivos en este sector, que va de acuerdo con el trabajo de Casilla, 2004. En general, en las tres localidades que se cultiva los olivos, están en su segunda fase de desarrollo, que es aproximadamente a los 35 años, con lo que podemos afirmar que se encuentran en el inicio de su periodo más productivo, pudiéndose extender éste hasta los 150 años, como se presentan en el cuadro 2 y la figura 7, que indican que este cultivo en expansión, con lo que se afirma que estas localidades están en plena fase de acumulación o captura de carbono provenientes de CO₂ atmosférico. Otra característica importante de la expansión de los olivos, es la presencia de un sistema radicular extenso que en terrenos muy arenosos puede

alcanzar más de 100 m de profundidad y un desarrollo horizontal de 2 a 3 veces el radio de la copa tal como lo menciona INFOAGRO, 2009.

El desarrollo de los árboles de olivos presenta un crecimiento en forma logarítmica, los cuales se presentan en el cuadro 4 y se aprecian en la figuras 9 y 10. El incremento de los parámetros de diámetro del tallo a la altura del pecho, la altura y el diámetro de copa son ascendentes, sin embargo cuando se relacionan los incrementos en cuanto a altura y diámetro de copa, estos se invierten en la fase de madurez, es decir que en un inicio ambos tienen crecimiento ascendente, pero luego la altura permanece constante y el diámetro de copa empieza a aumentar en volumen. Esta variación se debe al manejo de los cultivos por parte de los agricultores, es decir que cuando los olivos tienen una altura adecuada, se les somete a una poda de crecimiento y a una poda de mantenimiento, para fines de buen crecimiento y una adecuada cosecha.

El crecimiento de *Olea europea*, a través de los años, permite el incremento en DAP, en altura y en diámetro de copa como se ve en el cuadro 4, se relacionó el DAP con los demás parámetros usando ecuaciones alométricas permitiendo una precisión satisfactoria. En el

trabajo de investigación se generaron dos ecuaciones como son: **$Biomasa (kg) = 127,61 \ln (Edad) - 117,81$** ; esta ecuación estima la biomasa de un árbol con solo tener edad del árbol de olivo, así también se presenta la ecuación. **$Altura = 0,4328 \ln (DAP) + 1,6746$** ; esta obtiene la altura de un árbol a través de su DAP. Los cuales son corroborados en los trabajos de Montero y Montagnini, 2005. Otros autores como Giraldo y col., 2008, determinaron EA para *Acacia decurrens* (**$\ln (Bt) = -1,5136 + 2,2416 \ln (D)$**); obtiene la biomasa (Bt) en kg con el diámetro (D) del tallo en cm de cada árbol. Según Diaz y col, 2007 generó una ecuación para *Pinus patula*: **$B = 0,0357 * (DN)^2,6916$** . Según Pacheco y col., 2007, obtienen biomasa a través del diámetro y altura para *Pinus greggii* a través: (**$Y = 291,42 X^2 + 6426,6 X$**) donde Y es la biomasa y X es D²h. otros investigadores como Fonseca y col., 2009, determinaron EA, obteniendo la biomasa y su diámetro de tallo: **$\log Bt = -1,80246 + 2,28927 * \ln(d)$** . para *Vochysia guatemalensis*.

En el cuadro 5 se obtuvo la biomasa total en promedio de un árbol de *Olea europea*, que fue de 66,80 kg, haciendo una comparación con el trabajo de Diaz y col, 2007 sobre biomasa de *Pinus patula* siendo de 52,27 kg y en el trabajo de Castellanos, 1993, determinó una biomasa de 73,95 kg. De lo obtenido podemos indicar que los olivos presentan

un peso seco intermedio. Esto podría deberse a los rangos medidos de los diámetros del tallo a la altura del pecho (DAP) que Díaz y col., utilizó DAP desde 6,7 hasta 64,1 cm y mientras que Castellanos utilizó rangos de DAP desde 5 hasta 45 cm, a diferencia que en este trabajo los rangos fueron desde 3 hasta 82 cm de DAP. Sin embargo esta variación no es significativa porque los valores son semejantes a pesar de ser especies diferentes.

La biomasa total de los árboles de *O. europea* en el distrito de Tacna es de 562 051,3 t de biomasa que por convención según corresponde a 281 025,7 tC almacenado en sus tejidos. La obtención de biomasa seca de los árboles, realizado a través de un método destructivo, presentándose la mayor cantidad de biomasa de *O. europea*, fueron en troncos con un 41,5%; en ramas 25,5%, en raíces 20,1% y en hojas con un 11,8 %, observando que los troncos presentan valores elevados, por la consistencia su tejido leñoso. A diferencia del trabajo de Díaz y col., quienes presentan al follaje con valores elevados en *Pinus patula*. Nuevamente en este caso la diferencia en ambos trabajos se deben a los trabajos de poda de mantenimiento en *O. europea*, que se realizan para evitar “espesamiento” del follaje, y que además dan una maduración

diferente, como es la coloración heterogénea de los frutos, según Casilla 2004.

La cantidad de carbono en los árboles de *O. europea* en las plantaciones del distrito de Tacna, fue de 34,8 tC/10 000 m² o (34,8 tC/ha), que está por encima de 14,88 tC/ha obtenidos por CIEMA, 2007, en Extremadura. Entendiéndose esto a que la diferencia de toma de los DAP en Extremadura se trabajaron con diámetros de 10 a 20 cm. En este trabajo, en Tacna, fue de 3 a 82 cm de DAP. En el trabajo de Ávila y col, 2001, se encontraron valores de captura de carbono desde 6,60 hasta 8,90 tC/ha en especies de *Coffea arabica*; *Eucaliptus deglupta*; *Brachiaria brizantha*; *Accacia magnium* y *Ischaemun indicumfé*, las diferencias con los valores encontrados en *O. europea* se deben a la edad de crecimiento, los que tuvieron de 3 a 10 años más que a su densidad de siembra que fueron de 156 a 370 árboles/ha, porque en *O. europea* fue de 264 árboles/ha.

Por contrastación de hipótesis, podemos indicar que por convención una tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), los cuales se obtuvieron en razón de los pesos moleculares (44 g/molCO₂/12 g/molC). Por lo tanto como en

esta investigación se logró determinar la cantidad de carbono almacenado, con un valor de 281 025,7 tC, que al multiplicar por 3,67 tCO₂e/tC con lo cual se obtiene 1 031 364,319 toneladas de CO₂ e.

La comprobación estadística a través del coeficiente de variación, para este estudio se plasma en el cuadro 8, estuvo en un rango de 6% a 14% indicando que está acorde a este tipo de investigación, cuya interpretación de los resultados indican que están entre buenas y aceptables, es decir, las mediciones son homogéneas y aceptables. Por otro lado el análisis de varianza permitió establecer si existen diferencias entre los grupos de los árboles de olivo, al comparar más de dos medias. También permitió analizar la información sobre variabilidad de las unidades de muestreo que está contenida en las mediciones de las observaciones en las plantaciones de olivos en el distrito de Tacna. Para ello se utilizó el programa Microsoft Office Excel versión 2007, para análisis de varianza monofactorial, con nivel de confianza del 95%; cuyos resultados en los cuadros 9, 10, 11 y 12 indican que las $F_{calculadas}$ son mayores a las $F_{tabular}$. Indicando que si existe diferencia significativa entre los grupos de mediciones de crecimiento (de la altura, el diámetro de copa, el DAP y la biomasa) que se debe a la edad.

CONCLUSIONES

1. La captura de dióxido de carbono (CO_2) por parte de *Olea europea* fue de 1 031 364,319 toneladas de CO_2 atmosférico que luego se almacenó como carbono en sus tejidos en las localidades del distrito de Tacna.
2. Las áreas de estudio en el presente trabajo de investigación, que representaron localidades con mayor cantidad de plantaciones de olivos fueron La Yarada con 44 196 000 m^2 o (4 419,6 ha), seguido por Los Palos con 23 646 000 m^2 o (2 364,6 ha) y Magollo con 12 812 000 m^2 o (1 281,2 ha).
3. La cantidad de biomasa seca en los diferentes estratos de los árboles de olivos, presentaron valores en promedio de 27,80 kg (41,6%) en los troncos; 17,70 kg (26,5%) en las ramas; 13,42 kg (20,1%) en las raíces y 7,89 kg (11,8%) en las hojas.

4. La biomasa total acumulado en los tejidos (troncos, ramas raíces y hojas) de los árboles de olea europea en el distrito de Tacna fue de 562 051,3 toneladas de biomasa seca.

5. El carbono total almacenado o acumulado en los tejidos de los árboles de Olea europea, fue de 281 025,7 toneladas de carbono. distribuidos como biomasa seca, en los estratos de troncos, ramas, raíces y hojas, en el distrito de Tacna

6. Se determinó ecuaciones alométricas para la relación de biomasa y edad de los árboles de olivos: **$Biomasa (kg) = 127,61ln (Edad) - 117,81$** ; así como también para la relación de altura y DAP de los árboles de olivo: **$Altura = 0,4328ln (DAP) + 1,6746$** .

7. La relación de crecimiento entre diámetro de copa y la altura de los árboles de *Olea europea* a la edad de 10 años hacia adelante se invierte, siendo el diámetro de copa más amplio que su altura.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que las ecuaciones alométricas obtenidos en este trabajo de investigación se usen solo son para las localidades de La Yarada, los Palos y Magollo, porque son específicas para cada área, por las características propias de desarrollo en estas localidades.
2. Se recomienda al Gobierno Regional de Tacna a través de sus áreas correspondientes: primero reconocer a los agricultores de olivos por su contribución en la reducción del CO₂ atmosférico “como bonos de carbono” ante las entidades internacionales y segundo realizar estudios de contrastación con vistas satelitales a través de los perfiles de diámetro de copa, para determinar los parámetros altura, DAP, Copa de árbol y biomasa, de los árboles. Abarcándose grandes extensiones a menor costo.
3. Se recomienda realizar trabajos de investigación de árboles no cultivables como el (*Geoffroea decorticans*), que crece en la región de Tacna, con el propósito de incrementar los estudios de captura del CO₂ ambiental y para otros tipos de vegetación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, S. 2009. Optimización de la planificación forestal considerando la captura de carbono en bosque de pino-encino de la sierra Juárez, Oaxaca (México). UPM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, España.

ALVES, D. S; SOARES, J. V.; AMARAL, S.; MELLO, E. M. K.; ALMEIDA, S. A, S.; SILVA, O.F.; SILVEIRA, A. M. 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change*. v.3.: 451-461.

ARAUJO T. M, N HIGUCHI, J.A. DE CARVALHO. 1999. Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Par. Brazil. *Forest Ecology and Management* 117: 43-52.

ÁVILA, G.; JIMENEZ, F.; BEER, J.; GÓMEZ, M. Y IBRAHIM, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de

servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforestería en las Américas. Vol. 8 N° 30; 2001.

BASTÍAS, E., ESCOBAR, H., CARRASCO, L., FIGUEROA, L. Y TAPIA, L. 2002. Caracterización de las relaciones hídricas y respuestas fisiológicas en plantas de olivo (*Olea europaea L.*) cultivadas en condiciones de salinidad. Proyecto UTA. Facultad de Agronomía. Vol. 20 N° 2. Arica, Chile.

BERNER, R. 1994. Geocarb II: A revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic. Journal of Science 294. Pp.56-91. USA.

BRAIER G. Y COL. 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional Complementario Argentina.

BROWN S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO. 55 p. (Informe Montes N°134). Roma, Italia.

BURSTEIN J., CHAPELA, M., AGUILAR J., Y DE LEÓN E. 2002.

Informe sobre la propuesta del pago por servicios ambientales en las Américas. Rosa H. y Kandel S. Coordinadores. Fundaciones FORD y PRISMA. Argentina.

CASILLA, E. 2004. Cultivo del olivo en el Perú. FAAG, UNJBG –

Tacna. Pag. 205. Tacna – Perú.

CASTRO, I.; CASADO, M.A.; RAMIREZ-SANZ, L.; DE MIGUE. J.M.;

COSTA. M. Y F.DIAZ PINEDA. 1996. Funciones de estimación de la biomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. Orsis 11, 107-116. España.

CENSOS Y DEMOGRAFÍA. 2008. Estimación e interpretación del

coeficiente de variación de la encuesta. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Colombia

CONSEJERÍA DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

(CIEMA). 2007. Inventario de sumideros de carbono de Extremadura. Editorial INDUGRAFIC. España.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, A.; CHAMBERS, Q.; EAMUS D.; FO" LSTER H.; FROMARD, F. ; HIGUCHI N.; KIRA, T.; LESCURE, P.; NELSON, B. W.; OGAWA H.; PUIG H.; RIE´ RA, B.; YAMAKURA T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*. No. 145: 87–99. USA.

COI, CONSEJO OLEÍCOLA INTERNACIONAL. 2007. Técnicas de producción en olivicultura. Edit. Artegraf, Madrid, España.

CURTIS, JT; MCINTOSH, RP. 1950. The integration of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* 31: 434-455. USA.

DÍAZ, R.; ACOSTA, M.; CARRILLO, F.; BUENDÍA, E.; FLORES, E. Y D. ETCHEVERS, J. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1), 2007:25-34. México.

EGGELSTON, S; BUENDIA, L; MIWA, K; NGARA, T; TANABE, K.

2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Costa Rica.

FONSECA, W., ALICE F. Y REY, J. 2009. Modelos para estimar la

biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona caribe de Costa Rica. Universidad Autónoma de Costa Rica. *Bosque* 30(1): 36-47, 2009.

FRANCIS J. K. 2000. Estimating biomass and carbon content of

saplings in Puerto Rican secondary forests. *Caribbean Journal of Science* 36(3-4): 346-350. Puerto Rico.

GARCÍA E. (2002): "Comercialización y venta de créditos de carbono",

presentación en el Taller "Proyectos de Mitigación del Cambio Climático y el Mercado Emergente de Carbono", 16 Julio 2002, organizado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y con apoyo financiero del Gobierno de Canadá (Proyecto CACBI). Canada.

GAYOSO J. & SCHLEGEL B. (2001): "Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono: medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial", UCh, Proyecto FONDEF. Chile.

GIRALDO, A.; ZAPATA, M. Y MONTOYA, E. 2008. Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. UNC. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Vol. 16, Núm. 4: 215-220. Colombia.

GODOY M. (2002): "Especies Forestales Alternativas", *Patagonia Forestal*, Año 8 N°2 CIEFAP. Argentina.

GRIGAL D., OHMANN L. F. (1992): "Carbon storage in upland forests of the Lake States", *SoilScience Society of America Journal* 56, 935–943. USA.

HALSNAES K. & MARKANDYA A. (2002): *Climate Change & Sustainable Development: Prospects for Developing Countries*, editado por A. Markandya & K. Halsnaes, Earthscan, London. Inglaterra.

HAMBURG S. (2000). "Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 5: 25-37, 2000.

HAASE, R. Y P. HAASE. 1995. Above ground biomass estimates for invasive trees and shrubs in the Pantanal of mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management*.

HEATHA L., BIRDSEYB R.A. & WILLIAMS D.W. (2002). "Methodology for estimating soil carbon for the forest carbon budget model of the United States, 2001", *Environmental Pollution* 116 (2002) 373–380. USA.

HIERRO, J.L.; BRANCH, L.C.; VILLARREAL, D. Y K.L. CLARK. 2000. Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. *J. Range Manage.* 53:617–621. Argentina.

HIRATSUKA, M.; TOMA, T.; MINDAWATI, N.; HERIANSYAH, I. Y Y.MORIKAWA. 2005. Biomass of a man made forest of

timber tree species in the humid tropics of West Java, Indonesia. *J For Res*, 10:487–491. Indonesia.

HOEPKE E. (2002): "La Silvicultura en la Patagonia Andina: ¿con o Contra la Naturaleza?", *Patagonia Forestal*, Año 8 N°1 CIEFAP. Argentina.

HOUGHTON, JT; MEIRA FILHO, LG; LIM, B; TREANTON, K; MAMATY, I; BONDUKI, Y; GRIGGS, DJ; CALLENDER, BA. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC/OECD/IEA. UK Meteorological Office, Bracknell. Costa Rica.

ICF (1999): "Methods for Estimating Carbon Dioxide Emissions and Sinks from Forest Management and Land-use Change". USA.

IPCC (2000): "Land Use, Land-use Change, and Forestry: Special Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press. Costa Rica.

IPCC (1998): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, Meteorological Office, Bracknell, United Kingdom. Costa Rica.

IPCC/OECD/IEA. (1997) (Intergovernmental Panel on Climate Change, Organisation for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories, UK Metereological Office, Bracknell.

JANDL R. (2001): "Medición de tendencias en el tiempo de almacenamiento de carbono en el suelo", Simposio internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de Octubre. Valdivia, Chile.

JORDAN CF, C UHL. 1978. Biomasa of a "tierra firme" forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum* 13(4): 387-400. Brasil.

KLINGE H, R HERRERA. 1983. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in Southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetatio* 53: 65-64. Venezuela.

LUFABA, A.; DIEDHIU, I.; SAMBA, S.A.N.; SENE, M.; KHOUMA, M.; KIZITO, F., DICK, R.P.; DOSSA, E. Y J.S. NOLLER. 2008. Carbon stocks and patterns in native shrub communities of senegals peanut basin. *Geoderma* 146, 75282. Senegal.

MANRIQUE S., FRANCO J., NÚÑEZ V., Y SEGHEZZO L. 2009. Estimación de densidad de biomasa aérea en ecosistemas naturales de la provincia de salta. Instituto de Investigación en energías no convencionales (INENCO); Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Vol. 13, 2009. Argentina.

MONTERO, M. M.; MONTAGNINI, F. 2005. Modelos alométricos para a estimação de biomassa de diez espécies nativas em plantaciones em a região Atlântica de Costa Rica. *Recursos Naturales e Ambiente* N°45: Comunicação Téc. Pp. 118-125.

MORA, E., RAMIREZ, A. Y TORRES, A. 2009. Análisis de las tasas de crecimiento diametral por grupos funcionales de especies arbóreas de un bosque tropical semidecídulo de Venezuela. Revista Forestal Venezolana v.53 N° 1 Mérida. Venezuela.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M; WALKER, B. N.; IMBROZIO, R. B.; HERMANUS E. W. K. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. Forest Ecology and Management. Vol 256, Issue 1:1853-1867. Brasil.

NONOMURA, A. 2000. Procedimientos y composiciones que estimulan la fijación del carbono en las plantas. Oficina Española de patentes y marcas. Madrid, España.

PEICHL, M. Y ARAIN M. 2006. Above and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age sequence of temperate pine plantation forests. Agricultural and Forest Meteorology 140, 51–63.

PENMAN, J; GYTARSKY, M; HIRAISHI, T; KRUG, T; KRUGER, D; PIPATTI, R; BUENDIA, L; MIWA, K; NGARA, T; TANABE, K; WAGNER, F. 2003. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.

PÉREZ D, M KANNINEN. 2003. Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 15(1): 199-213: 1-9.

RIVERA, C.M. Y J.J.N. CHAIDEZ. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2), 292-43.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -1. ed. Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 2009. 79 p.

RUGNITZ., M. T. 2009. Determinación del stock de carbono en pequeñas propiedades rurales. Rio Branco, Brasil. World Agroforestry Centre, y la Iniciativa Amazónica.

ROSA H., KANDEL S. Y DIMAS L. 2004. Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales. Lecciones de la Américas y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias. INESEMARNAT. PRISMA. CCMSS. México.

SALDARRIAGA J., WEST D., THARP M. y UHL C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Río Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76: 938-958.

SEGURA M, y M KANNINEN. 2002. Inventario para estimar carbono en ecosistemas forestales. *In* Orozco L, C Brumer eds. Inv forestales para bosques latifoliados en Centroamérica. Turrialba, Costa Rica. p. 173-212. (Manual Técnico N° 50).

SILVA, J. N. M.; LOPES, J DO C. A. 1984. Inventário florestal continuo em florestas tropicais: a metodologia utilizada pela Amazonía brasileira. Belém, EMBRAPA. Doc., 33. 36p.

SMITH, T.; CRAMER., W.; DIXON, R.; LEEMAN, R.; NEILSON, R. AND SOLOMON, A. 1993. The Global Terrestrial Carbon Cycle. Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and sources of CO₂. Netherlands. Pp. 19-37.

TATTINI, M., MARZI, L., TAFANI, R. and TRAVERSI, M. L. 1999. A review on salinity - induced changes in leaf gas exchange parameters of olive plants. Acta Hort. 474: 415 - 418.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. 2006. Updated UNFCCC reporting guidelines on annual inventories following incorporation of the provisions of decision 14/CP.11.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

LAMO J. 2005. Energía y medio ambiente: nuevos objetivos de la agricultura. Universidad Politécnica de Madrid. España. Consultado: 03/10/2011.

http://www.abc.es/COM_ABC/servicios/imprimir/printPage_opi.asp

MACHADO L. 2007. El olivar y el calentamiento global. Andalucía-España. Consultado: 21/09/2010.<http://olivares.mundo foro.com/image-vp4061.html>; <http://olivares.mundoforo .com/ver-siguiente-tema-vt523.html?view=next>

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change. Consultado 25/02/2008. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/.

INFOAGRO. 2009. Riego en olivos. Consultado el 18/11/2009.
<http://www.olivoscorande.pe/Productos/page/2/index.html>

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; JARDIM, F. C. S. 1982. Tamanho de Parcela Amostral para Inventários Florestais. Acta Amazónica, Manaus, v. 12, n. 1, p. 93-103, Consultado en 03/03/2009. <http://acta.inpa.gov.br/redirect.php?volume=12&edicao=1&arquivo=v12n1a13.pdf&pasta=PDF&loc=sum>

HAIRIAH, K.; SITOMPUL, SM, VAN NOORDWIJK M.; PALM C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ICRAF Southeast Asia. 32 pg. Consultado:

03/10/2010. <http://www.worldagroforestry.org/sea/apps/publications/searchpub.asp?publishid=1003>

FONSECA, W., ALICE, F. Y REY, J. 2011. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Universidad de Alcalá de Henares, España. Consultado: 15/06/2011.

http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002009000100006&script=sci_arttext

HEMEROGRÁFICAS

HUANUCO, J. 2001. Caracterización morfológica de las variedades del olivo en los departamentos de Moquegua y Tacna. Tesis FAAG N° 157.

CASTELLANOS B., J. F. 1993. Producción de biomasa y eficiencia de crecimiento en rodales de *Pinus patula*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México.

**SAMPSON R., APPS M., BROWN S., COLE C., DOWNING J.,
HEATH L., OJIMA O., SMITH T., SOLOMON A., AND
WISNIEWSKI J. 1993.** Workshop summary statement:
Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes-quantification of Sinks
and Sources on CO₂. Water, air and soil pollution, 70, pp.

SEGURA M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Escuela de Ciencias Ambientales. 126 p. anexos. Costa Rica.

ANEXOS

ANEXO 1

Zona de muestreo y crecimiento de olivos (Fuente: elabor. propia)

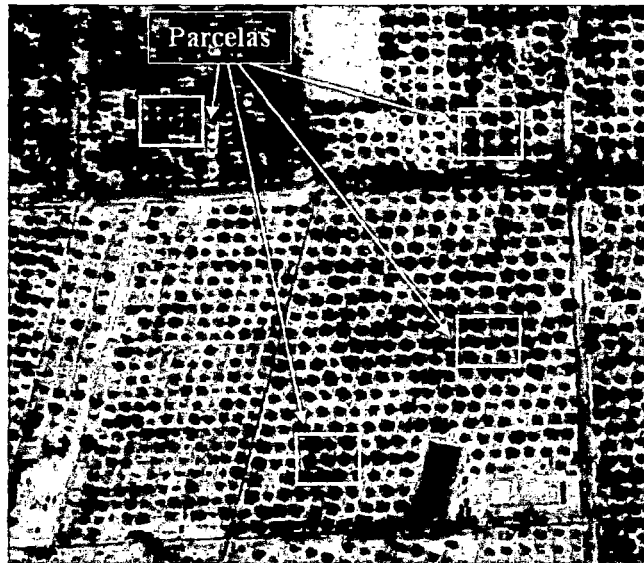


Figura 11: Determinación de parcelas



Figura 12: Zona de muestreo en el Centro de Formación Agrícola

Los Palos – CFAT, Tacna.



Figura 13: altura, diámetro de copa y DAP de los árboles de olivo en el distrito de Tacna.



Figura 14: Medición del DAP de tallos en árboles de olivos.

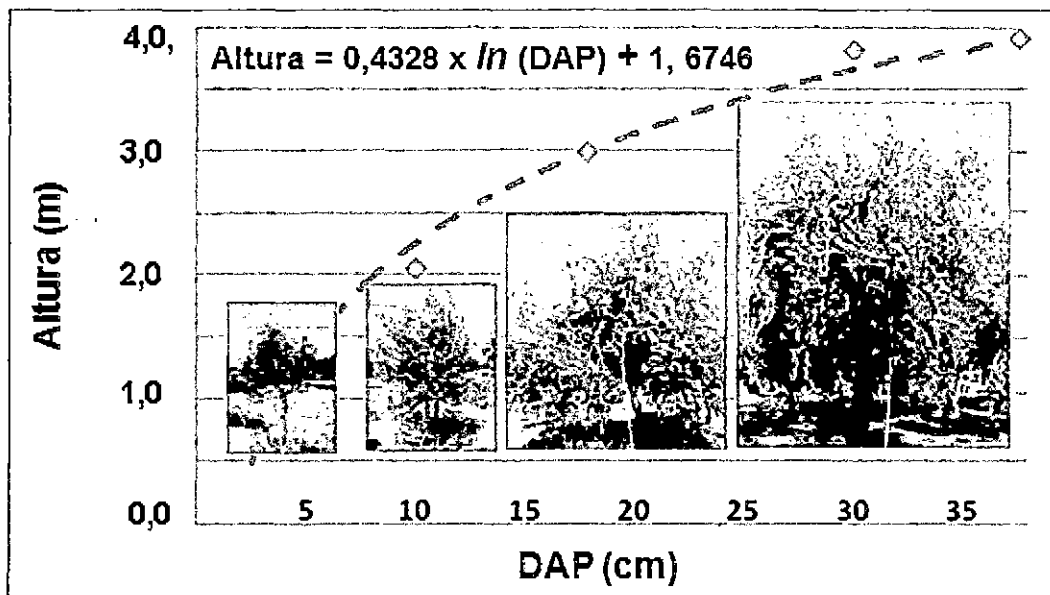


Figura 15: Ecuación alométrica que determina la altura de los árboles de olivos a través del DAP en olivos.

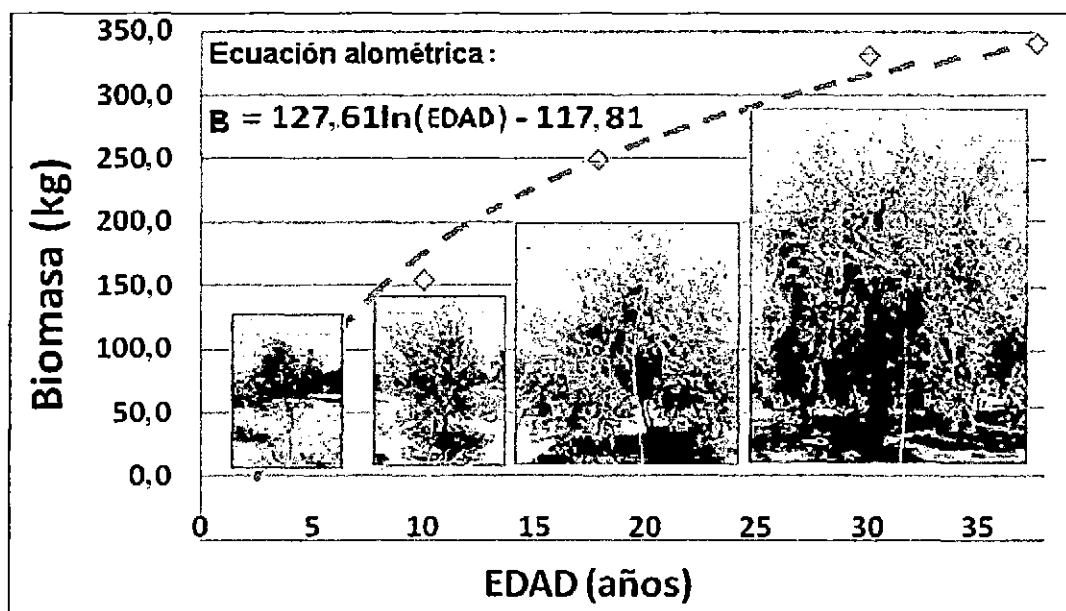


Figura 16: Ecuación alométrica que determina la biomasa a través de la edad de los árboles de olivos.



Figura 17: Proceso de cortado y troceado de olivos para determinar biomasa.



Figura 18: Proceso de separación de hojas de las ramas de olivo para su pesado y secado.

ANEXO 2

Datos recolectados del Distrito de Tacna (Fuente: elab. propia)

Cuadro 13: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en La Yarada.

Árbol (Nº)	DAP (cm)	h (cm)	Copa (cm)	Biomasa
1	33,40	352,00	320,00	202,82
2	29,70	380,95	304,76	180,36
3	44,90	335,48	395,70	272,66
4	15,20	215,38	202,20	92,30
5	43,00	373,33	444,44	261,12
6	39,50	377,53	539,33	239,87
7	40,90	400,00	489,80	248,37
8	25,60	294,88	211,57	155,46
9	19,70	238,81	232,84	119,63
10	27,80	360,36	331,53	168,82
11	20,30	275,00	300,00	123,27
12	39,40	144,00	211,64	239,26
13	11,10	218,67	224,00	67,41
14	32,20	390,91	436,36	195,54
15	36,10	488,31	509,09	219,22
16	34,30	430,77	441,03	208,29
17	23,00	395,51	386,52	139,67
18	25,50	375,51	359,18	154,85
19	38,40	447,06	423,53	233,19
20	26,40	256,25	337,50	160,32
promedio	30,32	337,54	355,05	184,12
Varianza	90,10	7845,62	11024,36	3322,71
desviación estándar	9,49	88,58	105,00	57,64
coeficiente variación	0,31	0,26	0,30	0,31

Cuadro 14: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en La Yarada

Árbol (Nº)	DAP (cm)	h(cm)	Copa (cm)	Biomasa
1	17,5	196,61	352,54	106,27
2	14,3	266,67	243,48	86,84
3	28,3	311,87	298,31	171,85
4	21,0	307,15	257,14	127,52
5	28,9	385,89	395,29	175,50
6	31,0	480,00	580,00	188,25
7	33,2	354,64	494,84	201,61
8	20,3	250,434	333,91	123,27
9	40,0	284,75	332,20	242,90
10	31,1	252,995	287,18	188,86
11	25,5	408,89	400,00	154,85
12	21,7	322,94	308,26	131,78
13	23,8	370,374	185,19	144,53
14	27,5	290,91	119,01	167,00
15	22,7	458,54	331,71	137,85
16	27,9	300,00	314,29	169,43
17	38,2	342,86	424,49	231,97
18	17,5	252,31	258,46	106,27
19	21,8	282,83	371,72	132,38
20	30,2	400,00	525,71	183,39
promedio	26,12	326,03	340,69	158,62
Varianza	46,08	5424,13	12263,99	1699,41
desviación estándar	6,789	73,65	110,74	41,22387
coeficiente variación	0,26	0,23	0,33	0,26

Cuadro 15: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en La Yarada

Árbol (Nº)	DAP (cm)	h(cm)	Copa (cm)	Biomasa
1	51,8	420,5	410,3	314,56
2	33,2	379,5	369,2	201,61
3	43,3	394,9	425,3	262,94
4	16,2	314,0	276,6	98,380
5	34,6	315,4	315,4	210,11
6	22,0	359,2	293,9	133,60
7	33,2	413,5	413,5	201,61
8	45,5	371,7	371,7	276,30
9	42,2	340,7	355,6	256,26
10	26,6	296,6	359,6	161,53
11	26,7	355,6	355,6	162,14
12	26,9	355,6	275,6	163,35
13	43,7	404,7	348,2	265,37
14	21,5	344,2	288,4	130,56
15	28,6	358,1	236,2	173,68
16	32,9	409,3	381,4	199,79
17	38,8	350,6	350,6	235,62
18	19,2	351,0	285,7	116,59
19	36,1	371,7	323,2	219,22
20	0,0	0,0	0,0	0,00
promedio	32,8	363,5	338,7	199,12
Varianza	95,7	1 197,0	2 765,3	3 530,1
desviación estándar	9,8	34,6	52,6	59,4
coeficiente variación	0,30	0,10	0,20	0,30

Cuadro 16: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en La Yarada

Árbol (Nº)	DAP (cm)	h(cm)	Copa (cm)	Biomasa
1	20,0	414,12	376,47	121,45
2	39,2	423,53	423,53	238,05
3	25,0	386,21	349,43	151,82
6	34,3	387,37	378,95	208,29
7	8,4	206,80	185,03	51,01
8	30,9	361,29	361,29	187,64
9	36,8	357,28	388,35	223,47
10	40,9	400,00	431,37	248,37
11	17,5	163,40	115,74	106,27
12	15,8	336,45	276,64	95,95
13	31,0	337,78	355,56	188,25
14	38,4	528,81	650,85	233,19
15	60,1	404,49	539,33	364,96
16	54,5	424,69	533,33	330,96
4	1,1	144,72	40,20	6,68
5	0,5	170,67	35,56	3,04
17	0,0	0,0	0,0	0,00
18	0,0	0,0	0,0	0,00
promedio	32,34	366,59	383,28	196,41
Varianza	209,19	8 248,66	19 010,03	7 714,03
desviación estándar	14,46	90,82	137,88	87,83
coeficiente variación	0,45	0,25	0,36	0,45

Cuadro 17: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en Los Palos (A)

Árbol (Nº)	DAP (cm)	h(cm)	Copa (cm)	Biomasa
1	51,8	403,51	421,05	314,56
2	83,5	409,68	516,13	507,06
3	47,4	445,24	528,57	287,84
4	86,6	420,00	445,45	525,89
5	60,6	439,62	500,00	368,00
6	61,0	414,90	429,79	370,43
7	83,6	483,33	666,67	507,67
8	73,2	429,27	553,66	444,51
9	88,7	313,04	386,96	538,64
10	27,2	253,73	373,13	165,17
11	71,9	565,22	700,00	436,62
12	79,7	468,29	621,95	483,99
13	60,5	391,67	486,67	367,39
14	82,7	393,48	576,09	502,20
15	8,9	205,88	241,18	54,05
16	38,5	496,55	551,72	233,80
17	77,6	411,76	607,84	471,23
18	0,0	0,0	0,0	0,00
19	0,0	0,0	0,0	0,00
promedio	63,73	408,54	506,29	387,00
Varianza	519,37	7 442,28	13 512,97	19 152,5
desviación estándar	22,79	86,27	116,25	138,39
coeficiente variación	0,04	0,01	0,01	0,01

Cuadro 18: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en Los Palos (B)

Árbol (N°)	DAP (cm)	h(cm)	Copa (cm)	Biomasa
1	33,2	326,92	298,08	201,61
2	40,4	346,81	404,26	245,33
3	47,4	351,06	404,26	287,84
4	62,9	358,49	452,83	381,97
5	23,8	269,84	341,27	144,53
6	32,1	350,79	380,95	194,93
7	36,6	469,70	363,64	222,26
8	24,8	320,75	330,19	150,60
9	43,6	345,59	375,00	264,77
10	28,6	239,58	333,33	173,68
11	39,7	388,89	430,56	241,08
12	19,3	228,26	304,35	117,20
13	50,2	311,11	411,11	304,84
14	54,5	327,59	413,79	330,96
15	51,0	318,18	310,61	309,70
16	44,3	342,11	447,37	269,02
17	35,0	319,67	311,48	212,54
18	58,0	338,24	389,76	352,21
19	37,5	352,94	378,44	227,72
20	28,4	316,39	288,53	172,46
promedio	39,57	331,15	368,49	240,26
Varianza	142,33	2 576,1	2 626,13	5 248,74
desviación estándar	11,93	50,75	51,24578	72,45
coeficiente variación	0,30	0,15	0,14	0,30

Cuadro 19: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos en Los Palos (C)

Árbol (Nº)	DAP (cm)	h(cm)	Copa (cm)	Biomasa
1	32,6	244,19	244,19	197,97
2	32,3	242,19	270,31	196,14
3	41,7	261,36	302,27	253,23
4	42,9	279,22	318,18	260,51
5	54,5	245,90	319,67	330,96
6	48,4	336,21	332,76	293,91
7	71,4	278,69	344,26	433,58
8	54,0	313,21	358,49	327,92
9	49,0	309,86	309,86	297,56
10	45,1	223,68	294,74	273,87
11	63,2	328,57	321,43	383,79
12	62,8	275,00	375,00	381,36
13	60,0	298,70	376,62	364,36
14	48,1	268,29	335,37	292,09
15	57,0	285,71	407,14	346,14
16	39,9	280,82	315,07	242,30
17	50,8	345,45	454,55	308,49
18	26,1	285,71	257,14	158,49
19	60,9	253,42	356,16	369,82
20	46,2	279,41	389,71	280,55
promedio	49,35	281,78	334,15	299,65
Varianza	134,02	1 074,4	2 621,79	4 942,13
desviación estándar	11,58	32,78	51,20	70,30
coeficiente variación	0,23	0,12	0,15	0,23

Cuadro 20: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos de 30 años en Magollo.

Árbol (Nº)	altura	copa	DAP	Biomasa
1	3,34	4,29	54	327,93
2	3,87	4,59	44	267,2
3	4,34	4,2	56	340,07
4	4,48	4,03	61	370,44
5	3,48	4,93	48	291,49
6	3,88	5,39	82	497,96
7	4,23	4,92	56	340,07
8	4,04	4,57	82	497,96
9	3,22	3,99	36	218,62
10	4,53	5,58	62	376,51
11	3,73	5,29	76	461,53
12	3,88	4,49	65	394,73
13	3,07	4,14	53	321,85
14	3,33	4,65	44	267,2
15	3,47	3,79	40	242,91
16	4,21	6,27	85	516,18
17	3,89	5,02	45	273,27
18	2,85	3,67	55	334
19	3,5	4,17	62,5	379,55
20	2,85	4,02	29	176,11
promedio	3,71	4,60	56,78	344,78
Varianza	0,26	0,45	244,07	9 000,55
desviación estándar	0,51	0,67	15,62	94,87
coeficiente variación	0,14	0,15	0,28	0,28

Cuadro 21: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos de 10 años en Magollo.

Árbol (Nº)	altura	copa	DAP	Biomasa
1	3,75	4,32	22	133,6
2	2,98	3,41	22	133,6
3	3,34	4,43	30,5	185,22
4	2,32	3,58	22,5	136,64
5	2,43	3,61	38,5	233,8
6	2,86	3,11	26,5	160,93
7	2,77	2,76	18,5	112,35
8	2,57	2,75	14	85,02
9	2,2	3,53	32	194,33
10	2,41	2,94	32	194,33
11	2,56	3,31	27	163,96
12	2,28	3,17	31,5	191,29
13	2,4	3,4	17	103,24
14	2,66	3,49	29	176,11
15	2,45	3,1	31	188,25
16	2,61	3,54	42,5	258,09
17	2,61	2,92	21	127,53
18	2,48	2,72	37,6	228,33
19	2,56	2,46	16	97,16
20	2,44	2,93	18	109,31
promedio	2,63	3,27	26,46	160,65
Varianza	0,14	0,25	64,80	2 389,54
desviación estándar	0,37	0,50	8,05	48,88
coeficiente variación	0,14	0,15	0,30	0,30

Cuadro 22: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos de 4 años en Magollo.

Árbol (Nº)	altura	copa	DAP	Biomasa
1	2,70	1,65	4,5	27,33
2	2,67	1,70	8,5	51,62
3	2,99	2,47	6,0	36,44
4	2,86	2,10	11,1	67,41
5	3,24	1,88	6,0	36,44
6	2,48	1,65	7,0	42,51
7	2,73	1,87	6,0	36,44
8	2,08	1,33	9,0	54,65
9	2,50	1,64	3,0	18,22
10	2,61	1,38	6,0	36,44
11	2,64	1,88	5,0	30,36
12	2,61	1,33	11,5	69,84
13	2,83	1,44	4,0	24,29
14	2,81	1,65	4,5	27,33
15	2,83	1,99	4,0	24,29
16	2,48	1,48	7,5	45,55
17	2,42	1,9	5,0	30,36
18	2,83	1,94	8,5	51,62
19	2,92	1,87	9,0	54,65
20	2,92	1,86	14,0	85,02
promedio	2,71	1,75	7,01	42,54
Varianza	0,06	0,08	8,28	305,34
desviación estándar	0,25	0,28	2,88	17,47
coeficiente variación	0,09	0,16	0,41	0,41

Cuadro 23: Datos de las mediciones de DAP, altura, diámetro de copa y biomasa de olivos de 2,5 años en Magollo.

Árbol (Nº)	altura	copa	DAP	Biomasa
1	2,33	1,42	3,00	18,22
2	2,10	0,94	4,00	24,29
3	2,34	1,45	5,00	30,36
promedio	2,26	1,27	4,00	24,29
Varianza	0,02	0,08	1,00	36,84
desviación estándar	0,14	0,29	1,00	6,07
coeficiente variación	0,06	0,23	0,25	0,25

Cuadro 24: Relación de la edad de los olivos con los diferentes parámetros de crecimiento y biomasa de olivos en Magollo.

Edad (años)	DAP (cm)	Altura (m)	Copa (m)	Biomasa (kg)
2,5	4,0	2,26	1,27	24,3
4	7,0	2,71	2,05	42,5
10	26,5	3,36	3,27	160,7
30	56,8	3,71	4,60	344,8

Cuadro 25: Relación de la altura de los olivos según la edad, en las plantaciones de olivos en Magollo.

Árbol (Nº)	Altura (m)		
	4 años	10 años	30 años
1	2,70	3,75	3,34
2	2,67	2,98	3,87
3	2,99	3,34	4,34
4	2,86	2,32	4,48
5	3,24	2,43	3,48
6	2,48	2,86	3,88
7	2,73	2,77	4,23
8	2,08	2,57	4,04
9	2,50	2,20	3,22
10	2,61	2,41	4,53
11	2,64	2,56	3,73
12	2,61	2,28	3,88
13	2,83	2,40	3,07
14	2,81	2,66	3,33
15	2,83	2,45	3,47
16	2,48	2,61	4,21
17	2,42	2,61	3,89
18	2,83	2,48	2,85
19	2,92	2,56	3,50
20	2,92	2,44	2,85

Cuadro 26: Relación del diámetro de copa de los olivos según la edad, en las plantaciones de olivos en Magollo.

Árbol (Nº)	Copa (m)		
	4 años	10 años	30 años
1	1,65	4,32	4,29
2	1,70	3,41	4,59
3	2,47	4,43	4,20
4	2,10	3,58	4,03
5	1,88	3,61	4,93
6	1,65	3,11	5,39
7	1,87	2,76	4,92
8	1,33	2,75	4,57
9	1,64	3,53	3,99
10	1,38	2,94	5,58
11	1,88	3,31	5,29
12	1,33	3,17	4,49
13	1,44	3,40	4,14
14	1,65	3,49	4,65
15	1,99	3,10	3,79
16	1,48	3,54	6,27
17	1,90	2,92	5,02
18	1,94	2,72	3,67
19	1,87	2,46	4,17
20	1,86	2,93	4,02

Cuadro 27: Relación de la medición diámetro a la altura del pecho (DAP) del tallo según la edad, en plantaciones de olivos en Magollo.

Árbol (Nº)	DAP (cm)		
	4 años	10 años	30 años
1	4,5	22,0	54
2	8,5	22,0	44
3	6,0	30,5	56
4	11,1	22,5	61
5	6,0	38,5	48
6	7,0	26,5	82
7	6,0	18,5	56
8	9,0	14,0	82
9	3,0	32,0	36
10	6,0	32,0	62
11	5,0	27,0	76
12	11,5	31,5	65
13	4,0	17,0	53
14	4,5	29,0	44
15	4,0	31,0	40
16	7,5	42,5	85
17	5,0	21,0	45
18	8,5	37,6	55
19	9,0	16,0	62,5
20	14,0	18,0	29

Cuadro 28: Relación de la Biomasa de los árboles de olivos según la edad, en las plantaciones de olivos en Magollo.

Árbol (Nº)	Biomasa (kg)		
	4 años	10 años	30 años
1	27,33	133,60	327,93
2	51,62	133,60	267,20
3	36,44	185,22	340,07
4	67,41	136,64	370,44
5	36,44	233,80	291,49
6	42,51	160,93	497,96
7	36,44	112,35	340,07
8	54,65	85,02	497,96
9	18,22	194,33	218,62
10	36,44	194,33	376,51
11	30,36	163,96	461,53
12	69,84	191,29	394,73
13	24,29	103,24	321,85
14	27,33	176,11	267,20
15	24,29	188,25	242,91
16	45,55	258,09	516,18
17	30,36	127,53	273,27
18	51,62	228,33	334,00
19	54,65	97,16	379,55
20	85,02	109,31	176,11

ANEXO 3:

Determinación del tamaño de muestra (n) y número de árboles

La población estuvo compuesta por la suma total de cada una de las parcelas (20 m x 20 m= 400 m²) en las que se divide el área cultivada (8 599 0000 m²) o (8 599 ha) de plantaciones de olivos en el distrito de Tacna, y comprende 214 975 parcelas, por lo tanto el número de muestras a tomar en cuenta esta dado por la ecuación:

$$n = \frac{N.Z^2.p.q}{(N-1).E^2 + Z^2.p.q} \quad (\text{Ec. 11})$$

Fuente: Rüginitz y col., 2009

Donde:

N = 201 635 parcelas

E = Error 20%.

Z = 1,96 para un nivel de confianza de 95%

p= 0,5; **q** = 0,5

n = número de parcelas = **24 parcelas**

Área de estudio: 80 654 000 m²; Tamaño de parcela: 400 m²

El número de árboles (24 parcelas) x (11 árboles/1 parcela) = 264

árboles de olivos.

(Fuente: elaboración propia)