



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA

PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE



**CARBONO ACUMULADO EN DOS SISTEMAS
AGROFORESTALES Y EN UN SISTEMA DE BOSQUE DE NIEBLA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**



PRESENTA:

ELIZABETH HERNANDEZ CRUZ

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO

2013

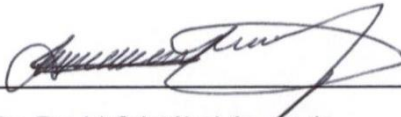


**CARBONO ACUMULADO EN DOS SISTEMAS
AGROFORESTALES Y EN UN SISTEMA DE BOSQUE DE
NIEBLA**

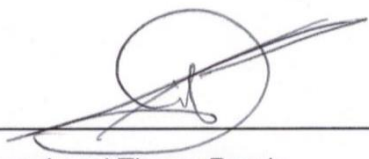
Tesis realizada por **Elizabeth Hernandez Cruz** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

DIRECTOR: _____


Dr. David Cristóbal Acevedo

CODIRECTOR: _____


M.C. Juan Angel Tinoco Rueda

ASESOR: _____


Dra. Rosa María García Núñez

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en mi camino y estar en cada momento de mi vida. A Él que nunca me ha dejado sola, a ti mi gran amor bendito, a ti que das todo a su debido tiempo.

A mi madre Minerva Cruz por su ímpetu en no claudicar en este proyecto, aun en los momentos más difíciles.

A mi Padre Basilio A. Hernandez por ser el apoyo más grande de mi madre, que con el amor que le tiene da frutos la bendición de este tiempo.

A mi esposo Leonel Malpica por ser ese ángel que Dios ha mandado a mi vida.

A Ana Minerva Malpica Hernandez a ti mi preciosa hija que sin duda eres un hermoso regalo que me fue enviado desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo. Por permitirme cursar el posgrado en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Por haberme otorgado la beca para realizar mis estudios de Maestría.

Al Dr. David Cristóbal Acevedo. Por brindarme todo el apoyo, conocimiento, dirección, consejo y paciencia el desarrollo del presente trabajo, además de su gran apoyo moral en todo tiempo, gracias.

Al M.C. Juan Ángel Tinoco Rueda. Mi más sincero agradecimiento por brindarme su apoyo y dirección en el presente trabajo, además de ser un gran ejemplo a seguir.

A la Dra. Rosa María García Núñez. Por su asesoría en el presente trabajo además de ser una amiga y gran mujer ejemplo en mi vida.

A la M.C. Rosa Laura Carrillo García. Por su amistad y colaboración.

Al Laboratorio de Física de Suelos, Nutrición Vegetal y al Laboratorio de Suelos del COLPOS. Gracias por su ayuda en el procesamiento de análisis de muestras y por sus atinadas observaciones.

A la pasante Imelda Hernández Cortes. Por su entrega en la fase de campo para la realización de este trabajo, mis más sincero agradecimiento.

A mis todos mi profesores y compañeros de Maestría en especial a Manuel, Arturo, Silvana, Kellys, Gisela. Jessica, Iván y Fresia.

DATOS BIOGRÁFICOS

ELIZABETH HERNÁNDEZ CRUZ nació en México, D.F en el año de 1982, a los diez años emigro al estado de Veracruz junto con su padres donde concluyó sus estudios de primaria, ingreso a la Escuela Secundaria Técnica Agropecuaria N°61. En el año de 1997 ingresó a la Universidad Autónoma Chapingo, en donde realizó sus estudios de Preparatoria Agrícola y posteriormente la carrera de Ing. en Recursos Naturales Renovables. En el 2006 colaboró en el proyecto “estrategias al cambio climático y adaptación de especies”. Del 2008-2010 trabajó en las oficinas de Metrobús en el área de Adquisiciones. En Enero del 2011, ingresó al programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible para realizar sus estudios de Maestría en la Universidad Autónoma Chapingo.

Carbono acumulado en dos sistemas agroforestales y en un sistema de bosque de niebla
Carbon accumulated in two agroforestry systems and a cloud forest system

Elizabeth Hernández Cruz¹. David Cristóbal Acevedo². J. Ángel Tinoco Rueda.³

RESUMEN

Actualmente existe un cambio climático en nuestro planeta, y uno de los factores son las emisiones de gases de invernadero, que generan un aumento en la temperatura de la Tierra. Una de las opciones para mitigar el aumento de CO₂ en la atmósfera es el secuestro de éste a través de los sumideros naturales de fijación biológica, siendo uno de ellos los sistemas agroforestales. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar el carbono almacenado en el suelo y en los diferentes estratos de la vegetación en los sistemas: policultivo tradicional (SPT), policultivo comercial (SPC), a pleno sol (SPS) y el bosque de niebla (SBN). El estudio se realizó en los terrenos del Centro Regional Universitario Oriente en el Municipio de Huatusco Veracruz. Para cuantificar el carbono acumulado en los sistemas se realizó un inventario de carbono en los diferentes almacenes: a) biomasa viva, b) biomasa muerta, y c) suelo. Los resultados indican que el sistema con mayor contenido de carbono total fue el SBN con 521.53 Mg C ha⁻¹ siguiéndole el SPT con 190.99 Mg C ha⁻¹, posteriormente el SPC con 96.29 Mg C ha⁻¹ y el sistemas con menor bajo contenido de carbono fue el SPS 95.54 Mg C ha⁻¹.

Palabras claves: carbono en biomasa viva, carbono en biomasa muerta, carbono orgánico del suelo.

ABSTRACT

Greenhouse gas emissions is one of the major factors in the current climate change, in which in atmospheric temperature is increasing. One option for mitigating the increase of CO₂ in the atmosphere is sequestration through natural sinks that fix CO₂ biologically. One of these is agroforestry systems. The aim of this study was to quantify the carbon stored in the soil and in the different strata of the vegetation in the following systems: traditional polyculture (SPT), commercial polyculture (SPC) in full sun (SPS) and cloud forest (SBN). The study was conducted at the Eastern Regional University Center in the city of Huatusco, Veracruz. To quantify the carbon stored in the system, an inventory of carbon was taken in different stores: a) living biomass, b) dead biomass, and c) soil. The results indicate that the system with higher total carbon content was the SBN with 521.53 Mg C ha⁻¹ following by SPT with 190.99 Mg C ha⁻¹, SPC with 96.29 Mg C ha⁻¹ and SPS had the lowest carbon content with 95.54 Mg C ha⁻¹.

Key words: carbon in living biomass, b) carbon in dead biomass, carbon organic of the soil

¹Tesista, ²Director de tesis, ³Codirector de tesis

ÍNDICE

Contenido	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
RESUMEN-ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ABREVIATURAS USADAS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1.Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3.HIPÓTESIS.....	3
4.MARCO TEÓRICO.....	4
4.1. Ciclo del carbono	4
4.2. Efecto invernadero y CO ₂	5
4.3. Servicios ambientales y cambio climático	7

vii

4.4. Captura de carbono.....	9
4.5. La Agroforestería y los servicios ambientales.....	11
4.5. Los sistemas de producción de café en Veracruz, México	12
4.5.1 Sistema policultivo tradicional(SPT).....	13
4.5.2 Sistema policultivo comercial (SPC).....	14
4.5.3 Cultivo a pleno sol (SPS)	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1. Descripción del área de estudio.....	15
5.2. Clima	16
5.3. Suelo.....	16
5.4. Descripción de los sistemas	16
5.4.1. Sistema policultivo tradicional (SPT).....	16
5.4.2. Sistema policultivo comercial (SPC)	17
5.4.3. Cultivo a pleno sol (SPS).....	17
5.4.4. Sistema Bosque de niebla o mesófilo de montaña (SBN o SMM)	17
5.5. Muestreo de los almacenes de carbono en la biomasa aérea y biomasa bajo el suelo (raíces).....	18
5.5.1. Selección de parcelas.....	18
5.5.3. Estimación de reservorios de carbono en biomasa viva	20
5.5.4. Medición del estrato arbóreo y arbustivo	21
5.5.5. Medición del estrato herbáceo.....	25

5.6. Carbono en biomasa muerta (biomasa de troncos y hojarasca).....	29
5.6.1 Medición de troncos muertos	30
5.6.2. Hojarasca	30
5.6. Determinación del contenido de carbono orgánico del suelo (COS).....	32
5.6.1. Muestreo de suelo.....	32
5.6.2. Manejo de muestras al laboratorio.....	35
5.6.3. Cálculos para estimar el carbono acumulado.....	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
6.1. Carbono almacenado en biomasa viva y biomasa muerta	37
6.1.1. Carbono almacenado en estrato arbóreo	40
6.1.2. Carbono almacenado en el estrato arbustivo.....	42
6.1.3. Carbono almacenado en el estrato herbáceo	42
6.1.4. Carbono almacenado en raíces	43
6.1.5. Carbono almacenado en árboles muertos	43
6.1.6. Carbono almacenado en hojarasca	44
6.2. Carbono orgánico del Suelo.....	44
6.4 Carbono total.....	47
7. CONCLUSIONES.....	50
8. RECOMENDACIONES.....	51
9. LITERATURA CITADA.....	52
10. ANEXOS	55

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Pág.
Cuadro 1. Modelos alométricos utilizados en la estimación de biomasa arbórea y arbustiva, en sistemas agroforestales de café bajo sombra, sin sombra y bosque de niebla.....	24
Cuadro 2. Contenido promedio de carbono en biomasa viva y muerta.....	38
Cuadro 3. Contenido de carbono orgánico en la biomasa viva y prueba Tukey	39
Cuadro 4. Contenido de carbono orgánico en biomasa muerta y prueba de Tukey.....	40
Cuadro 5. Contenido de carbono orgánico en el suelo en los diferentes sistemas	45
Cuadro 6. Contenido de carbono orgánico en el suelo y prueba de Tukey	47
Cuadro 7. Carbono y porcentaje de cada componente.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido.....	Pág.
Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio.....	15
Figura 2. Localización de los tratamientos SPS, SPT, SPT y SBN, en el Centro Regional Universitario Oriente	19
Figura 3. Esquema de la unidad de muestreo parcela circular de 400 m ² con sus cuatro cuadrantes (I, II, III y IV). a) subparcelas circulares para muestreo de hojarasca y suelo; b) subparcelas de 1m ² para muestreo de hierbas; c) subdivisiones para facilitar las mediciones.....	20
Figura 4. Medición de diámetro de los tallos de los cafetos.....	22
Figura 5. Forma adecuada de medir el DN.....	22
Figura 6. Estimación de biomasa arbórea y arbustiva. a) levantamiento de la unidad de muestreo en determinado sistema b) determinación del árbol focal y toma de diámetro en árboles c) toma de altura de árboles c) toma de altura de arbustos.....	23
Figura 7. Estimación de carbono en el estrato herbáceo por diferencia de pesos. a) Ubicación de subparcela o subunidad de muestreo para estrato herbáceo de 1x1m. b) se registró el peso total fresco de la muestra compuesta y el peso húmedo de la submuestra c) secado d) registro del peso seco.....	27
Figura 8. Determinación de carbono en el estrato herbáceo por el método de combustión seca. a) trituración de muestras. b) secado de minimuestras para que no quede ningún residuo de humedad c) pesaje de muestras en balanza granataria d) depósito de la muestra en el equipo TOC para la combustión seca. e) salida de resultado a la base de datos del equipo. Finalmente se aplicó el valor a la fórmula.....	29
Figura 9. Determinación de carbono en la hojarasca por diferencias de peso y por la combustión seca. a) selección del área de muestreo b) extracción de la hojarasca y registro del peso húmedo c) secado en estufa de aire forzado d)	

pesaje de muestras (aplicación del primer método) e) molido de la muestra f) depósito de la muestra en el equipo TOC para la combustión seca (obtención del dato). Multiplicación por los valores de biomasa obtenidos.....	31
Figura 10. Determinaciones en laboratorio para Dap.....	34
Figura 11. Muestreo por incrementos de profundidad.....	34
Figura 12. Descripción de manejo de suelos en laboratorio. a y b) extracción y almacenamiento de la muestra c) secado de suelo d) molido del suelo e) paso del suelo por malla d) submuestra en el TOC.....	36
Figura 13. Comparación del contenido de carbono con la densidad de árboles entre los diferentes sistemas.....	41
Figura 14. Comparación entre densidad aparente (g/cm^3) y % de materia orgánica.....	46
Figura 15. Carbono orgánico en cada profundidad de los sistemas estudiados.	47
Figura 16. Distribución del contenido de carbono por componente en los sistemas estudiados.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido.....	Pág.
Anexo 1. Lista de materiales e instrumentos a utilizar.....	55
Anexo 2. Formulario para colecta de datos para estrato arbóreo.....	56
Anexo 3. Formulario para colecta de datos para estrato arbustivo incluyendo cafetos.....	57
Anexo 4. Formulario para colecta de datos para árboles muertos en pie o caídos.....	58
Anexo 5. Formulario para colecta de datos para estrato herbáceo.....	59
Anexo 6. Formulario para colecta de datos para hojarasca.....	60
Anexo 7. Formulario para colecta de datos para suelo.....	60
Anexo 8. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema bosque de niebla (SBN).....	54
Anexo 9. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo tradicional (SPT).....	58
Anexo 10. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo comercial (SPC).....	60
Anexo 11. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema pleno sol (SPS).....	62
Anexo 12. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema bosque de niebla (SBN).....	63
Anexo 13. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo tradicional (SPT).....	68

Anexo 14. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo comercial (SPC).....	75
Anexo 15. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo a pleno sol (SPS).....	80
Anexo 16. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema bosque de niebla (SBN).....	91
Anexo 17. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema policultivo tradicional (SPT).....	92
Anexo 18. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema policultivo comercial (SPC).....	93
Anexo 19. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema pleno sol (SPS).....	94
Anexo 20. Biomasa estimada de estrato herbáceo en los diferentes sistemas.	95
Anexo 21 Biomasa estimada de estrato herbáceo en los diferentes sistemas.	96
Anexo 22. Contenido de carbono orgánico en el suelo.....	97

ABREVIATURAS USADAS

CO₂.- Dióxido de carbono
COS.- Carbono orgánico de suelo
CRUO.- Centro Regional Universitario Oriente
DN.- Diámetro Normal
Dap.- Densidad Aparente
GEI.- Gases de invernadero
IPCC.-Intergovernmental Panel on Climate Change
Mg C ha⁻¹.- Megagramos de carbono por hectárea
O₂.-Oxígeno
P1.- Peso 1
P2.- Peso 2
PPB.- Producción primaria bruta
SAF.-Sistemas Agroforestales
SBN.-Sistemas bosque de niebla
SPCMA.-Sistemas policultivo café macadamia- aguacate
SPS.-Sistemas a pleno sol
SPT.- Sistema de policultivo tradicional
TOC.-Total Organic Carbon Analyzer
UM.-Unidad de Muestreo

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un cambio climático global, ocasionado por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera originadas por las actividades antropogénicas. Esta concentración de GEI permite que la energía solar que es reflejada por la superficie terrestre permanezca en mayor medida en la atmósfera, ocasionando un calentamiento a nivel planetario. Una de las opciones para mitigar el cambio climático, es el secuestro de carbono a través de los sumideros naturales de fijación biológica, entre los que se encuentran los sistemas agroforestales (SAF). Para identificar el potencial de secuestro de carbono en los SAF es necesario cuantificar el carbono capturado en diferentes sistemas. Existen diferentes métodos para determinar el contenido de carbono en un agroecosistema, están los directos que son métodos destructivos, y los indirectos que se realizan con el uso de mapas o ecuaciones alométricas, este último es el método que se utilizará para cuantificar el contenido de carbono en la biomasa viva. Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue cuantificar el carbono almacenado en el suelo y en los diferentes estratos de la vegetación en los sistemas agroforestales policultivo tradicional (café con árboles de uso múltiple, “SPT”), policultivo comercial (policultivo café-macadamia-aguacate, “SPC”), a pleno sol (cultivo de café expuesto al sol “SPS”) y el sistema bosque de niebla (“SBN”) o mesófilo de montaña en los terrenos del Centro Regional Universitario Oriente en el Municipio de Huatusco Veracruz.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Cuantificar el carbono almacenado en el suelo y en los diferentes estratos de la vegetación en los sistemas agroforestales, policultivo tradicional (café con árboles de uso múltiple), policultivo comercial (café-macadamia-aguacate), cultivo de café pleno sol y el sistema bosque de niebla en los terrenos del Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) en el municipio de Huatusco, Veracruz.

2.2. Objetivos específicos

1. Determinar qué sistema presenta un mayor almacenamiento en la biomasa viva.
2. Determinar qué sistema presenta un mayor almacenamiento en la biomasa muerta.
3. Determinar qué sistema presenta un mayor almacenamiento en el suelo.

3. HIPÓTESIS

1. No hay efecto de los sistemas sobre el almacenamiento de carbono en la biomasa viva.
2. No hay efecto de los sistemas sobre el almacenamiento de carbono en la biomasa muerta
3. No hay efecto de los sistemas sobre el almacenamiento de carbono en el suelo.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Ciclo del carbono

El carbono es un elemento importante en los seres vivos que habitan el planeta Tierra, ya que las cadenas de átomos de carbono forman el marco de las moléculas de todos los organismos. El carbono es captado en forma de dióxido de carbono (CO_2) por las plantas en el proceso de fotosíntesis; parte del CO_2 es regresado a la atmósfera mediante el proceso de respiración celular autótrofa, así mismo también es liberado por medio de la combustión de material vegetal en incendios naturales o antropogénicos. La otra parte que incorporan las plantas produciendo biomasa, pasa después a los herbívoros, estos a su vez respiran una parte a lo que llamamos respiración heterótrofa y otra la almacenan en sus tejidos. Es importante mencionar que el crecimiento anual de las plantas es la diferencia del carbono fijado y respirado. La producción de los combustibles fósiles como son el carbón, petróleo y gas natural forma parte del ciclo del carbono, los cuales al ser quemados liberan su energía desprendiendo CO_2 a la atmósfera (Audesirk, 1997). El carbono en su unión con el oxígeno, conforman el CO_2 el cual, en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de efecto invernadero. El CO_2 y el vapor de agua en la atmósfera son de suma importancia en el planeta Tierra para regular la temperatura, ya que sin ellos la temperatura sería 33 °C menos que en la actualidad. Aunque en el presente se

está produciendo mayores emisiones de bióxido de carbono lo cual está propiciando que la temperatura este aumentando. Gran parte de la biomasa muerta es incorporada a la materia orgánica en donde el carbono es respirado a diferentes tiempos y otra parte se almacena en el suelo (Jaramillo, 2004). Dentro del ciclo del carbono, parte del CO_2 que se encuentra en la atmósfera se disuelve con el agua de lluvia formando ácido carbónico el cual reacciona con los minerales expuestos sobre la superficie terrestre generando el intemperismo de la roca, los residuos disueltos resultado de este proceso son acarreados a los océanos, en donde se forma el carbonato de calcio que se deposita en los sedimentos marinos. Este carbono tarda menos de 100,000.00 años en regresar a la atmósfera, y cuando regresa lo hace por medio de las emisiones volcánicas e hidrotermales.

Como vemos el ciclo del carbono es importante en los diferentes procesos en las formas de vida de este planeta, sin embargo en los últimos años se ha incrementado el CO_2 en la atmosfera, debido al aumento de la quema de combustibles fósiles por el ser humano, además de la deforestación de la vegetación.

4.2. Efecto invernadero y CO_2

El nombre de efecto invernadero según explica Garduño (2004) proviene de la similitud con las construcciones hechas para cultivar plantas para generar un ambiente más cálido. Estas construcciones tienen techos que permiten la

entrada de la radiación solar y bloquean la radiación que es reflejada por la superficie terrestre. Algunos autores dicen que el nombre efecto invernadero no es el más adecuado, pues un invernadero se calienta más por impedir la convección que por atrapar radiación, y sugieren que se le llame más bien efecto atmósfera. Pero esto es solo un bosquejo para referirse al término efecto invernadero.

El efecto invernadero resulta porque la atmósfera es un filtro radiactivo que deja pasar la energía solar; parte de ella es absorbida por la superficie terrestre, entonces la superficie planetaria se calienta y emite radiación que es detenida por la atmósfera y las nubes. La atmósfera es una mezcla de gases y de aerosoles (partículas sólidas y líquidas) suspendidos en ella; algunos componentes de esta son los responsables del efecto invernadero llamado justamente gases de efecto invernadero (GEI) o termoactivos. El oxígeno (O_2) y el nitrógeno (N_2) son los componentes principales de la atmósfera (99%): el O_2 constituye 21%, y el N_2 , 78%; sin embargo, ellos no son gases efecto invernadero. Si la atmósfera estuviera formada sólo por N_2 y O_2 , sería tan respirable como ahora, pero la temperatura de la Tierra sería de $-8^{\circ}C$, igual que si no hubiera atmósfera (Toharia, 1984 y Voituriez, 1994). Por lo tanto, los gases de efecto invernadero están dentro del 1% restante de la composición atmosférica. En general, están constituidos por tres o más átomos; los que forman moléculas diatómicas (como el O_2 y el N_2) o monoatómicas que son transparentes a la radiación terrestre. Los más importantes son el vapor de

agua (H₂O) y el dióxido de carbono (CO₂); los demás GEI (CH₄, NO_x, CFCs, etc.) se llaman gases traza (GT) por su presencia ínfima en la atmósfera.

El efecto invernadero siempre ha existido; es consecuencia de la composición natural de la atmósfera y por él tenemos en la Tierra una temperatura relativamente alta. Sin embargo, esta situación normal y natural ha sido alterada anormal y artificialmente por el progreso humano de los últimos siglos, debido a que la industrialización ha inyectado a la atmósfera CO₂ y gases trazas. A partir de la Revolución industrial, las culturas modernas han dependido cada más de la energía almacenada de los combustibles fósiles, los cuales al ser quemados en las centrales de energía, fábricas y automóviles, se libera CO₂ a la atmósfera (Audesirk, 1997 y Garduño, 2004), lo cual ha propiciado que el contenido del CO₂ en la atmósfera haya aumentado en un 25%; otra fuente que ha influenciado al incremento del CO₂ es la deforestación de selvas, bosques y otras comunidades vegetales. El carbono almacenado en los árboles de estas masas forestales regresa a la atmósfera después de la tala, ya sea por quema o por descomposición. Según Audesirk (1997) el contenido de CO₂ de la atmósfera se duplicará durante el siglo próximo y posiblemente en los siguientes 50 años.

4.3. Servicios ambientales y cambio climático

Los servicios ambientales son aquellos beneficios que los diferentes ecosistemas y agroecosistema brindan a la sociedad. Uno de los servicios que

ha tomado auge en la actualidad es la captura de carbono. Este es de suma importancia porque se relaciona con los graves problemas ambientales como es el calentamiento global originando desastres ambientales como inundaciones, el deshielo de los polos, entre otros. La captura de carbono es uno de los servicios ambientales que ayuda a mitigar el cambio climático que actualmente se está originando debido al incremento de la demanda de recursos materiales por parte de la población humana, los cuales para ser producidos generan la emisión de dióxido de carbono por la quema de combustibles fósiles; propiciando así un desequilibrio en el ecosistema terrestre (SEMARNAT, 2004).

Los bosques en particular desempeñan un papel preponderante en el ciclo global del carbono al almacenar o capturar grandes cantidades de este gas en su biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo. Sin embargo, la generación constante y masiva de emisiones de CO₂ por el ser humano, que no son absorbidas en su totalidad por los procesos naturales, han provocado una mayor acumulación de este gas en la atmósfera. Aquí es donde la captura de carbono adquiere una importancia crucial: puede contribuir a remediar el calentamiento de la Tierra, porque evita la acumulación de CO₂ en la atmósfera. Lo que no debemos de perder de vista es que su efecto benéfico dependerá del tiempo que el carbono se mantenga almacenado en plantas o productos de madera (Jandl, 2001; SEMARNAT, 2004).

4.4. Captura de carbono

La captura de carbono en un ecosistema natural gira fundamentalmente sobre procesos biológicos y ecológicos de fotosíntesis, respiración y descomposición. La productividad primaria neta de un ecosistema, es el principio de acumulación de biomasa y materia orgánica del suelo. Las plantas adquieren el CO_2 atmosférico por difusión a través de los estomas, el cual reacciona con el complejo enzimático rubisco, formando carbohidratos que son almacenados en los tejidos de la planta. La cantidad de CO_2 que se captura y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis, se conoce como producción primaria bruta (PPB). La mitad de la PPB se incorpora en los tejidos vegetales como incrementos de biomasa en el tallo, ramas, hojas y raíces, la otra mitad regresa a la atmósfera como CO_2 debido a la respiración autótrofa de los tejidos vegetales (Aguirre, 2006). El carbono orgánico del suelo también es transferido vía exudado de raíces, hojarasca, madera y raíces muertas, mediante procesos de descomposición biológica y química por parte de microorganismos; la respiración heterótrofa de estos seres vivos liberan grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera, solo una pequeña proporción de carbono es finalmente almacenada en el suelo (Sandoval *et al.*, 2003). Considerando lo anterior el almacenamiento de carbono en un ecosistemas es la diferencia entre el carbono capturado (en la biomasa viva y materia orgánica del suelo) y el respirado autótrofa y heterotróficamente.

México es el país latinoamericano que va a la vanguardia en la investigación orientada a comprender la dinámica del carbono en los ecosistemas. Se han realizado algunos estudios sobre la captura de carbono ejemplo de ello es la investigación realizada por Segura-Catruista *et al.* (2005), en donde se encontró que las zonas con mayor carbono orgánico en el suelo son Yucatán, Quintana Roo, Querétaro, Chiapas e Hidalgo, con más de 80 Mg C ha⁻¹; mientras que los estados con el menor contenido de carbono orgánico del suelo (COS) son: Baja California Sur, Baja California, Sonora, Coahuila y Tlaxcala con menos de 30 Mg C ha⁻¹. De forma similar, Etchevers *et al.* (2010) estimaron el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) de las aéreas agrícolas de México en donde encontraron que en zonas de los estados de México, Yucatán, Michoacán, Veracruz y Chiapas se registra la mayor cantidad de COS con valores que oscilan entre 300 Mg C ha⁻¹ y 1,466 Mg C ha⁻¹. En esta misma investigación se reporta que los Histosoles son los suelos que registran la mayor cantidad de COS con 763.4 Mg C ha⁻¹.

Ordoñez *et al.* 2008, estimaron el contenido de carbono en la vegetación, hojarasca y el suelo bajo 10 diferentes usos de la tierra y tipos de vegetación en la región Purepecha de Michoacán. Los resultados que obtuvieron mostraron diferencias del contenido de carbono entre los diferentes usos de la tierra y tipos de vegetación. Los matorrales presentaron los menores contenidos de carbono 28.7 Mg C ha⁻¹, posteriormente se encuentran las plantaciones de

árboles y las huertas de aguacate con 50.5 Mg C ha⁻¹ y 53.2 Mg C ha⁻¹ respectivamente, y los restantes tipos de bosque registraron las mayores cantidades de carbono con valores entre 91.5 Mg C ha⁻¹(bosque de pino-encino) hasta 134.5 Mg C ha⁻¹ (bosque de abeto). Desde la década de 1990 se han propuesto y desarrollado diversas estrategias y acciones para disminuir o mitigar el cambio climático, así como para sobrellevarlo o adaptarse a los cambios venideros. Conceptualmente se entiende a la mitigación como “*la intervención antropogénica para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero*” (Torres et al., 2008).

4.5. La Agroforestería y los servicios ambientales

La Agroforestería es un sistema de uso de la tierra que envuelve una integración socio y ecológicamente aceptable de árboles con cultivos agrícolas y/o con una producción animal en forma simultanea o secuencial, de tal manera que se alcance una mayor productividad total, en régimen sostenido, especialmente bajo condiciones de tierras marginales o de bajo nivel de insumo Nair, P.K.R. (1982). Estos sistemas proporcionan servicios ambientales para los seres vivos, entre ellos la captura de agua, captura de carbono, mejora del paisaje, retención de suelo entre otros. Así mismo también contribuyen al mejoramiento de la estabilidad de la cuenca y mantenimiento de su potencial productivo, reduce factores desestabilizadores asociados a la agricultura migratoria, ganadería intensiva, incendios forestales deforestación y cacería indebida, disminuye de la presión sobre recursos en la cuenca al generar

recursos y mejorar las condiciones socio-económicas de la población, también proporcionan un mantenimiento de la calidad de la atmósfera, evitando la alteración de la composición o proporción de sus gases, existe una regulación de vientos locales, lo que ayuda a mantener la estabilidad y dinámica de los ecosistemas. Existe una vital importancia de estos sistemas ya que los árboles capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de la fotosíntesis, respiración y descomposición de la materia orgánica. El saldo es una captura neta positiva cuyo monto depende del manejo de la cobertura vegetal, así como la edad, composición y estructura de la misma. Este servicio ambiental de secuestradores de carbono permite disminuir la concentración de este elemento, por lo que una de las formas de evitar el exceso de carbono atmosférico es proteger los bosques y buscar una disminución de las tasas de deforestación. Por consiguiente, los sistemas agroforestales, por su estructura compleja, pueden desempeñar un importante rol en el ciclo global de carbono mediante su acumulación temporal en la biomasa tanto aérea como radicular (Babbar, (sf)).

4.5. Los sistemas de producción de café en Veracruz, México.

Un sistema de producción o agroecosistema es la diversidad de plantas que se cultivan dentro de una parcela, analizada desde el punto de vista de su distribución en el espacio, en el tiempo y su nivel tecnológico. El sistema agrícola de producción de café se define como “una forma típica de producir

café con rasgos característicos, únicos e inmediatamente reconocibles. Para definirlos se utiliza al tipo y uso de árboles de sombra dentro de cada sistema al cual define por la estructura de la misma (Escamilla, 1994).

El cultivo de café en México tiene alrededor de 60 regiones productoras, con diferencias ambientales, técnicas, económicas, sociales y culturales. Estas regiones se agrupan a su vez en grandes zonas productoras. En la zona centro de Veracruz se encuentran cuatro regiones productoras.

Los sistemas de café encontrados se clasifican en: sistema especializado, sistema policultivo tradicional, sistema policultivo comercial, sistema rusticano y sistema a pleno sol.

En este subcapítulo se explican las características de los sistemas tradicional, comercial y a pleno sol, los cuales se evaluaron en la presente investigación.

4.5.1 Sistema policultivo tradicional(SPT)

Los SPT son aquellos cafetales bajo sombra en cuya composición existe una gran diversidad de especies vegetales, como la vegetación natural (primaria y secundaria) y especies cultivadas (nativas e introducidas). Este sistema de cultivo es el de mayor distribución en las regiones cafetaleras de México, practicado por pequeños productores, y con alta participación indígena. El sistema policultivo tradicional es muy parecido al sistema natural, ambos son plantaciones de café en sistemas agroforestales con sombra altamente

diversificada, similares en su estructura horizontal y vertical (Escamilla *et al.*, 1994 y Beristain, (sf).

4.5.2 Sistema policultivo comercial (SPC)

El sistema de policultivo comercial (SPC) se distingue por la producción de café con especies asociadas que están orientadas a la comercialización, como una estrategia de diversificación productiva. Son plantaciones de café en cuya estructura se reduce la diversidad vegetal a un número de dos a cuatro especies por cafetal, ordenadas espacialmente con el propósito de un aprovechamiento intensivo del espacio para la obtención de varios productos destinados principalmente al mercado.

Las especies que pueden participar en el cultivo de este sistema son las siguientes: aguacate has, guanábana, limón persa, macadamia, naranja valencia, naranja de azúcar, níspero, papaya, plátano dominico, tepejilote, chile, jitomate, frijol, maíz, cedro rojo, chalahuite, cardamomo (Escamilla *et al.*, 1994 y Beristain, (sf).

4.5.3 Cultivo a pleno sol (SPS)

Este sistema se cultiva a sol o cielo abierto, modalidad que se práctica en México. Son cafetales que se cultivan sin sombra. Esta modalidad se implementó en ciertas regiones productoras de café, como son Xicotepec, Puebla, Centro de Veracruz y Soconusco en Chiapas (Escamilla, 2011).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en los sistemas agroforestales: policultivo tradicional (café con árboles de uso múltiple), policultivo comercial (policultivo café-macadamia aguacate,), cultivo a pleno sol (café sin sombra) y en el sistema bosque de niebla o mesófilo de montaña en los terrenos del Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) en el Municipio de Huatusco Veracruz. El CRUO se ubica en los 19° 09' de latitud norte y 96° 57' de longitud oeste (Figura 1), a una altura de 1,344 msnm, se encuentra ubicado en la zona centro del estado de Veracruz. Limita al norte con los municipios de Tlatetela y Sochiapa; al noreste con Comapa; al sureste con Zentla y Tepatlaxco; al sur con Ixhuatlán del Café y Coscomatepec; al oeste con Calcahualco y al noroeste con el estado de Puebla.

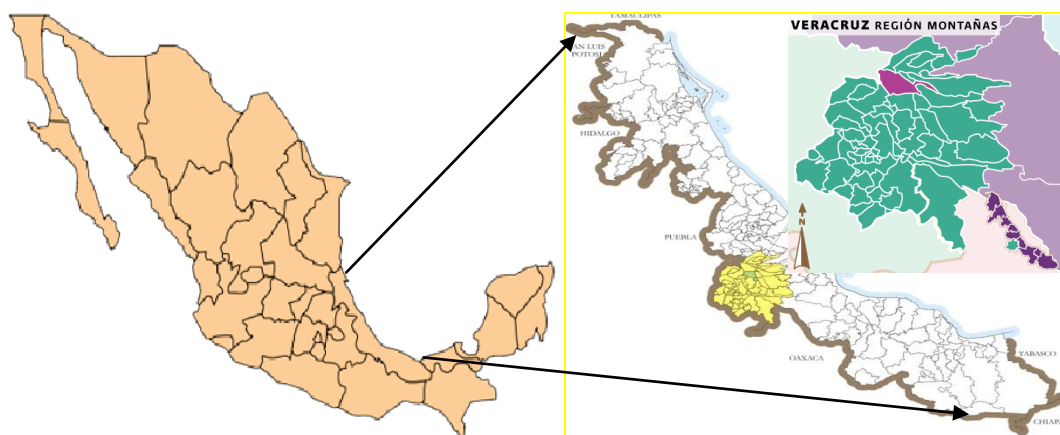


Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio

5.2. Clima

Su clima es cálido-húmedo con una temperatura promedio de 19.1 °C.; su precipitación pluvial media anual es de 1,825.5 milímetros. Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el subtropical perennifolio (Cano *et al.*, 1998).

5.3. Suelo

Su suelo es de tipo cambisol y luvisol el primero se caracteriza por presentar en el subsuelo aspecto de roca y susceptibilidad a la erosión, el segundo presenta acumulación de arcilla en el subsuelo y alta susceptibilidad a la erosión (Cano *et al.*, 1998).

5.4. Descripción de los sistemas

Existen diferentes tipos de sistemas agroforestales, en este trabajo se investigó en sistemas de café bajo sombra, uno con diversas especies forestales, otro con árboles frutales como macadamia y aguacate y uno más sin sombra.

5.4.1. Sistema policultivo tradicional (SPT)

Este sistema es una plantación tradicional de café bajo sombra en cuya composición existe una gran diversidad de árboles nativos o de vegetación natural así como de *Persea schiedeana* (chinene), *Inga* spp. (Inga), y *Grevillea robusta* (grevillea). Los cafetos presentaron un arreglo topológico de 2 x 2 m.

Antes del sistema policultivo tradicional en el lugar de muestreo había un sistema de potrero con pastoreo de ganado bovino (hace 30 años).

5.4.2. Sistema policultivo comercial (SPC)

El sistema de policultivo comercial se distingue por la producción de café con especies asociadas que están orientadas a la comercialización, como una estrategia de diversificación productiva. En este caso el sistema está compuesto por el policultivo de elementos: café, macadamia y aguacate.

5.4.3. Cultivo a pleno sol (SPS)

Este cultivo como bien lo expresa el nombre es el café sin sombra, se busca maximizar la producción de café como monocultivo, es poco común en el país casi representa el 10%.

5.4.4. Sistema Bosque de niebla o mesófilo de montaña (SBN o SMM)

La vegetación dominante en el Centro Regional está representada por bosque mesófilo, sumamente perturbado por la introducción de la ganadería extensiva y el cultivo de café. Esta comunidad vegetal presenta tres estratos; el superior que alcanza los 28 y 30 m de altura, el intermedio ubicado entre los 18 y 20 m y el inferior situado entre 4 y 6 m conformado por una sola especie (Pérez, 2004). Con base al listado florístico elaborado por el autor antes citado en un relicto de vegetación del CRUO, de un poco más de una hectárea, determinan 44 familias, con 4 géneros y 84 especies. Los géneros predominantes encontrados son Liquidambar, Quercus, Meliosoma, Cornus, Ilex y Clethra. El autor añade que la composición florística de los estratos superiores de este bosque tiene

mayor diversidad, en comparación con los típicos bosques de clima templado, pero es menos diversificado que la selva. Su superficie es de 1.1 ha, desde 1980 se ha establecido este pequeño relicto. El lugar ha permanecido sin disturbio por casi trece años como un jardín botánico natural, el cual ha sido utilizado para describir las características de este tipo de vegetación. El área se ubica sobre tres condiciones de microrrelieve: vega de río, ladera y meseta. En 1987 se hizo la descripción de la vegetación del relicto correlacionando aspectos de clima y suelo (Pérez, 2004).

5.5. Muestreo de los almacenes de carbono en la biomasa aérea y biomasa bajo el suelo (raíces).

La biomasa aérea abarca la biomasa viva de árboles, arbustos, hierbas y raíces, para la realización del muestreo e inventario de carbono se realizaron actividades como la selección de parcelas, la medición de alturas, diámetros normales, recolección de hierbas y hojarasca. A continuación se describen las actividades realizadas.

5.5.1. Selección de parcelas

Para el presente proyecto se seleccionaron cuatro sistemas los cuales fueron considerados como tratamientos. Dentro de cada uno de los sistemas seleccionados, se escogieron 3 unidades de muestreo teniéndose tres

repeticiones completamente al azar que abarcaron del 3-4% del total de la superficie de cada sistema, (Figura 2).

Los sistemas agroforestales fueron: policultivo tradicional (SPT), policultivo comercial (SPC), cultivo de café a pleno sol (SPS) y el sistema bosque de niebla o mesófilo de montaña (SBN o SMM). Se realizó un recorrido de campo identificar el área de estudio de cada sistema en donde se recopilaban datos georreferenciales con el uso de un receptor GPS. Aunque Pérez, (2004) menciona que la superficie de los sistemas agroforestales son de 3.5 ha para SPT, 1.4 ha para SPC, 1.5 ha para SPS y 1.1 ha para SBN.

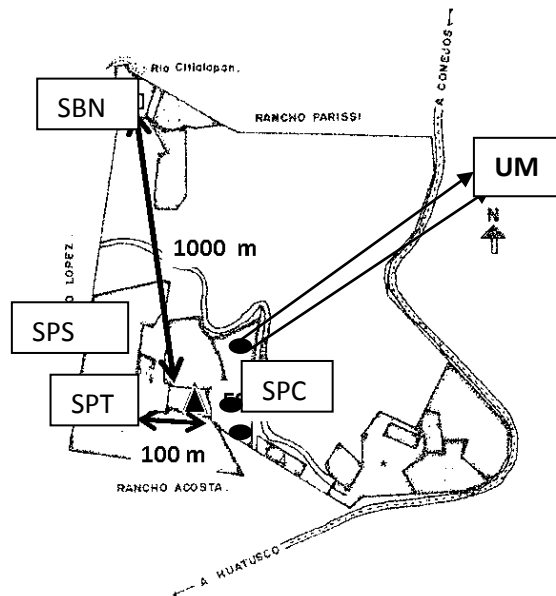


Figura 2. Localización de los tratamientos SPS, SPT, SPT y SBN, en el Centro Regional Universitario Oriente (Fuente: Pérez, 2004).

5.5.2. Tamaño de muestra

El tamaño de las unidades de muestreo fue de 400 m² de forma circular debido a su mayor precisión con un radio de 11.28 m, en donde se aplicaron el muestreo de especies arbóreas, arbustivas, herbáceas y hojarasca. A continuación se ilustra la forma de la unidad de muestreo Figura 3 (Schlegel *et al.*, 2001.; Delgadillo y Quechulpa, 2006.)

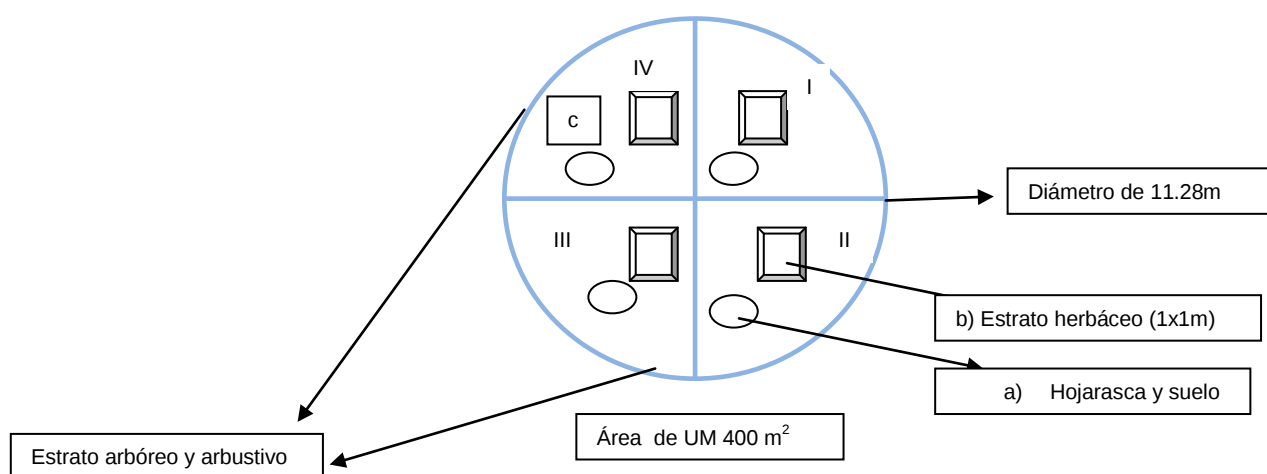


Figura 3. Esquema de la unidad de muestreo parcela circular de 400 m² con sus cuatro cuadrantes (I, II, III y IV). a) subparcelas circulares para muestreo de hojarasca y suelo; b) subparcelas de 1m² para muestreo de hierbas; c) subdivisiones para facilitar las mediciones.

5.5.3. Estimación de reservorios de carbono en biomasa viva

La cuantificación de los reservorios de carbono se realizó mediante el establecimiento de unidades de muestreo circulares (Schlegel *et al.*, 2001.; Delgadillo y Quechulpa, 2006.). En cada unidad de muestreo se estimó la

cantidad de carbono acumulado en los reservorios definidos por el IPCC (2007) biomasa viva (arbórea, arbustiva y herbácea), biomasa muerta (hojarasca y árboles muertos).

5.5.4. Medición del estrato arbóreo y arbustivo

El inventario de arbustos, se inició por el radio norte de la unidad de muestreo y se midieron la totalidad de arbustos de toda la unidad tomando en cuenta la ramificación y el diámetro. (≤ 5 cm de DN). La medición de sólo los árboles de $DN \geq 5$ cm en los cuadrantes I, II, III y IV. Para medir los diámetros se tomó en cuenta los tallos leñosos con un diámetro ≥ 5 cm para el estrato arbóreo y un diámetro ≤ 5 cm para el estrato arbustivo, además se consideró la ramificación para que se determinara si era árbol o arbusto. El diámetro se midió a 1.30 m de altura sobre el suelo, a esta medida se le conoce diámetro normal (DN). Los cafetos se midieron a 15 cm de la distancia del suelo (Figura 4). Para esta medición se utilizó la cinta diamétrica. (Figura 5). Los árboles con DN ubicado en más del 50 % dentro de la unidad de muestreo fueron tomados en cuenta



Figura 4. Medición de diámetro de los tallos de los cafetos. (Fuente: Masuhara, 2012)

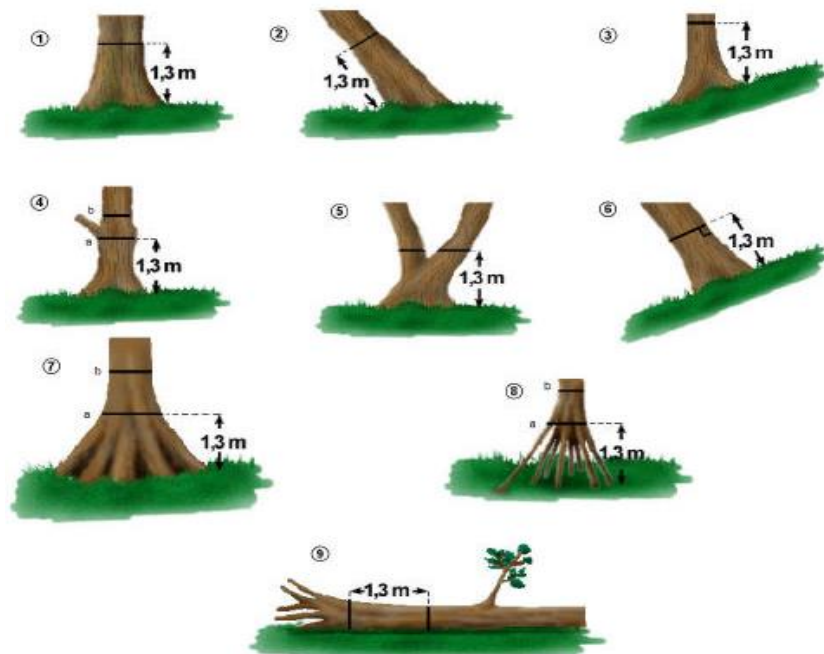


Figura 5. Forma adecuada de medir el DN. (Fuente: Schlegel *et al.*, 2001)

La medición de la altura se realizó con el uso de un clinómetro para los árboles y para los arbustos se hizo el uso de un estadal como se muestra en la Figura 6. (Delgadillo y Quechulpa, 2006).

a)



b)



c)



d)



Figura 6. Estimación de biomasa arbórea y arbustiva. a) levantamiento de la unidad de muestreo en determinado sistema b) determinación del árbol focal y toma de diámetro en árboles c) toma de altura de árboles c) toma de altura de arbustos.

Para determinar el contenido de carbono en la biomasa arbórea de las especies seleccionadas, se realizó una revisión bibliográfica para encontrar ecuaciones alométricas (método indirecto) ya generadas por diferentes autores relacionando atributos dasométricos (altura, diámetro normal) con el contenido de biomasa (materia seca) por individuo. Las ecuaciones alométricas encontradas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Modelos alométricos utilizados en la estimación de biomasa arbórea y arbustiva, en sistemas agroforestales de café bajo sombra, sin sombra y bosque de niebla.

Clasificación en general	Especie	Ecuación alométrica	Autor
	General	$Y = \exp(-2.289 + 2.649 \ln(DN) - 0.021(\ln(DN))^2)$	Brown, 1997
Árboles de sombra agroforestales	General	$\text{Log}_{10}\text{Biomasa} = -0.834 + 2.223 (\log_{10}DN)$	Segura <i>et al.</i> , 2006
Árboles agroforestales de sombra(jinicuil)	<i>Inga ssp.</i>	$\text{Log}_{10}\text{Biomasa} = -0.889 + 2.317 (\log_{10}DN)$	Segura <i>et al.</i> , 2006
Plátano	<i>Musa sp</i>	$Y = 0.0303DN^{2.1345}$	Hairiah <i>et al.</i> , 2001
	<i>Piper sp</i>	$Y = 0.3627 + 0.0322DN^2 \cdot H$	Cairns <i>et al.</i> , 2004
	<i>Liquidambar</i>	$Y = 0.180272 \cdot DN^{2.27177}$	Rodriguez, <i>et al.</i> , 2006
	<i>Coffea sp</i>	$\text{Log}_{10}\text{Biomasa} = -1.113 + 1.578 \cdot \text{Log}_{10}(DN) + 0.581 \cdot \log_{10}(H)$	Segura <i>et al.</i> , 2006

Y= biomasa (kg MS ind⁻¹), DN=diámetro normal en (cm), H=altura (m)

Una vez obtenido el valor de biomasa (calculada por medio de las ecuaciones alométricas), por cada individuo, se realizó una sumatoria del total de individuos por UM y se extrapolo a una hectárea por una regla de tres:

$$YUM = (\sum_{i=1}^n Y)$$

$$Y = YUM * 10000 / 400$$

Donde YUM es igual a biomasa por una determinada unidad de muestreo por sistema (kg Ms 400 m²) y Y es igual a la biomasa por ha⁻¹. Posteriormente este resultado se multiplicó por el factor de 0.5 con base en el supuesto teórico de que el 50 % de la biomasa total de las especies es carbono como lo establece el IPCC (2003). Dividido entre 1000 para obtener el carbono por una determinada unidad de muestreo por sistema (Mg C ha⁻¹).

5.5.5. Medición del estrato herbáceo

Para el muestreo del estrato herbáceo, dentro de la misma UM se levantaron 4 subparcelas o subunidades de 1 m² en los cuadrantes I, II, III y IV. Los puntos de muestreo se eligieron al azar dentro cada cuadrante. En cada muestreo se cortó el material vegetal a ras de suelo (herbáceas) sin considerar raíces, cuidando que el corte fuera a una misma altura en cada una de las subparcelas muestreadas.

Se colectaron las hojas o ramas que quedaron fuera del cuadro si su origen estaba dentro de la parcela de 1 m², por el contrario no se colectó hojas y ramas que “cubran” o pasen por encima de nuestra parcela si su origen está fuera de ella. Posteriormente se reunió el material colectado en las cuatro parcelas de 1 m² para obtener una muestra compuesta, se pesó este material y se registró el dato; mezclándose perfectamente para homogeneizar se tomó una submuestra. A esta submuestra se le determinó el peso (peso húmedo) y se registró el dato. La submuestra fue llevada al laboratorio en bolsas de papel identificadas para su procesamiento, como fue secarlas al ambiente, y posteriormente fueron puestas a 72° C en estufa de aire forzado para su secado. La Figura 7 presenta algunas imágenes de proceso. Posteriormente se aplicó la siguiente fórmula para el cálculo:

$$Y=(Pft)-(Pft \times CH)$$

Donde:

Y= Biomasa en gramos.

Pft= Peso fresco total

CH= Contenido de humedad (diferencias de pesos de las submuestras)

Así mismo también se determinó el contenido de carbono por medio de la combustión seca en un analizador automático de carbono Shimadzu TOC-5050 A (Total Organic Carbon Analyzer).

a.



b.



c.



d.



e.



Figura 7. Estimación de carbono en el estrato herbáceo por diferencia de pesos. a) Ubicación de subparcela o subunidad de muestreo para estrato herbáceo de 1x1m. b) se registró el peso total fresco de la muestra compuesta y el peso húmedo de la submuestra c) secado d) registro del peso seco.

Para lo cual despues del secado fué necesario moler las muestras del estrato herbaceo en molinos para muestra grande y repasar en el de muestras pequeñas, llevando así una pequeña submuestra al labaratorio en donde se realizó la determinación de carbono con el analizador automático (TOC), esto con el objetivo de obtener una mayor certeza en la cantidad de carbono (Figura 8). Los valores obtenidos se multiplicaron por la biomasa y se relizó la conversión a Mg C ha^{-1} .

a



b



c



d



e



Figura 8- Determinación de carbono en el estrato herbáceo por el método de combustión seca. a) trituración de muestras. b) secado de minimuestras para que no quede ningún residuo de humedad c) pesaje de muestras en balanza granataria d) depósito de la muestra en el equipo TOC para la combustión seca. e) salida de resultado a la base de datos del equipo. Finalmente se aplicó el valor a la fórmula.

5.5.6. Carbono en raíces

Este se estimó como un porcentaje de la biomasa arbórea sobre el suelo (biomasa aérea). En este caso al no tener estimaciones de biomasa radicular, se utilizó un porcentaje mínimo de 15 % de biomasa radicular con respecto a la biomasa aérea, que es una estimación conservadora (MacDicken, 1997).

5.6. Carbono en biomasa muerta (biomasa de troncos y hojarasca)

La biomasa muerta está compuesta por troncos muertos en pie o caídos, así como la hojarasca caída de los árboles y arbustos. A continuación se describe el método de medición de estos para la determinación del carbono.

5.6.1 Medición de troncos muertos

Para árboles muertos, se midió el diámetro normal y altura, se aplicaron las fórmulas que se utilizaron para tallos leñosos, pero del resultado obtenido solo se consideró solo un 70 % (el resultado de la ecuación elegida se multiplico por 0.7).

5.6.2. Hojarasca

Dentro de la unidad de muestreo de los 400 m² se realizaron cuatro subsitios de muestreo para hojarasca, tomando como referencia un círculo de área conocida. En cada punto se pesó la cantidad de hojarasca; posteriormente se recolectó en bolsa plásticas la totalidad de los materiales que componen (hojas y ramas con diámetros menores). Posteriormente se mezcló y se determinó el peso fresco total. Finalmente se tomó una submuestra para determinar el contenido de humedad (Delgadillo y Quechulpa, 2006.).

Se utilizó la fórmula siguiente:

$$Y=(Pft)-(Pft \times CH)$$

Donde:

Y= Biomasa en gramos.

Pft= Peso fresco total

CH= Contenido de humedad (diferencias de pesos de las submuestras)

Sin embargo para obtener con mayor certeza la cantidad de carbono almacenado en la hojarasca, se utilizó el valor de concentración de carbono obtenido con el equipo (TOC) y los valores obtenidos se multiplicaron por la biomasa seca de hojarasca y se realizó la conversión a Mg C ha^{-1} . El seguimiento del proceso se muestra en la Figura 9.

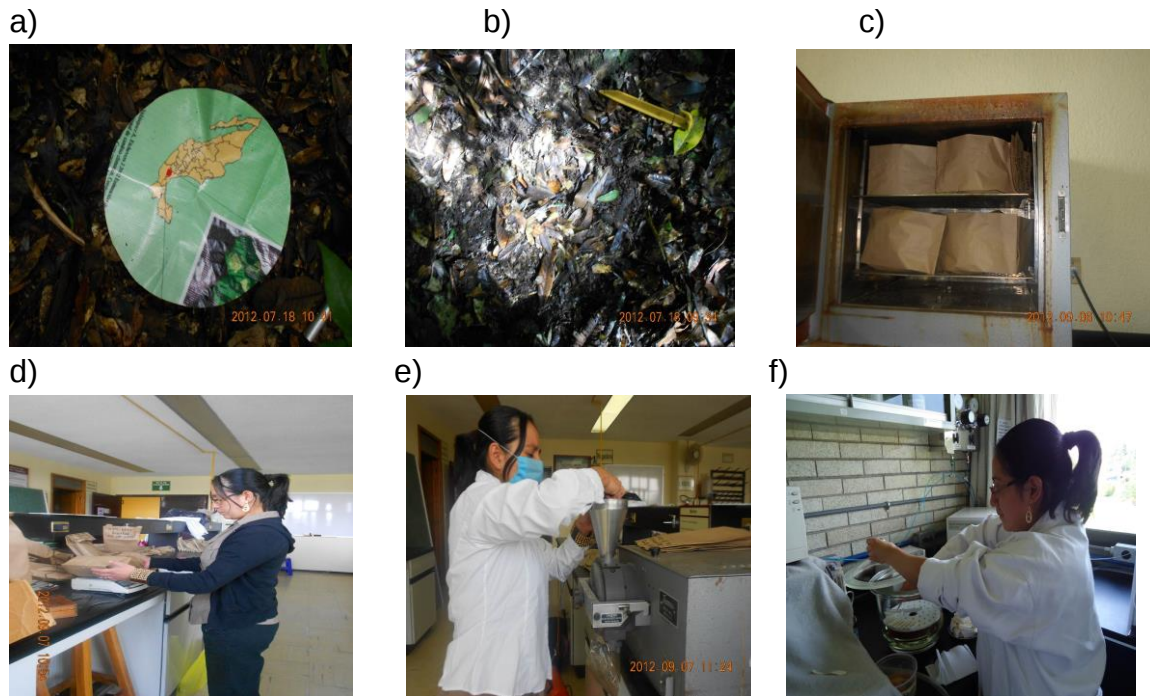


Figura 9. Determinación de carbono en la hojarasca por diferencias de peso y por la combustión seca. a) selección del área de muestreo b) extracción de la hojarasca y registro del peso húmedo c) secado en estufa de aire forzado d) pesaje de muestras (aplicación del primer método) e) molido de la muestra f) depósito de la muestra en el equipo TOC para la combustión seca (obtención del dato). Multiplicación por los valores de biomasa obtenidos

5.6. Determinación del contenido de carbono orgánico del suelo (COS)

Puede considerarse para el inventario de carbono, la cantidad de este elemento contenido en el suelo en sus primeros 30 cm. Tomando en cuenta ésta profundidad podemos centrarnos en determinar en laboratorio la fracción orgánica del carbono. Para cuantificar el carbono en suelo necesitamos determinar en laboratorio su densidad aparente y contenido de carbono.

5.6.1. Muestreo de suelo

Para cuantificar el carbono orgánico del suelo se colectaron 4 submuestras a las profundidades de: 0-10 cm de 10-20 cm y de 20-30 cm realizando una submuestra compuesta por cada profundidad (Figura 11), la cual se mezcló hasta que el color fuera uniforme, se escogió aleatoriamente una submuestra (100 g aproximadamente) y se colocó en una bolsa de papel numerada para su procesamiento en el laboratorio. Para determinar el contenido de carbono por unidad de volumen de suelo, fue necesario conocer la densidad aparente del suelo para lo cual se utilizó una sola muestra por unidad de muestreo (Figura 10). Para esto se utilizó el método del “cilindro de volumen conocido” descrito por MacDicken (1997) que consiste en lo siguiente

- a) Utilizar un cilindro de volumen conocido.
- b) Preparar la superficie del suelo a una profundidad de 30 cm.
- c) Introducir el cilindro en el suelo sin comprimir (utilizar aceite mineral si ocurre adhesión del suelo con el metal).

- d) Colocar la muestra en una bolsa de papel numerada y pesar peso húmedo (P1) para llevar a laboratorio y secar en horno a 105° C hasta peso constante.
- e) Después de secar, pesar nuevamente (P2).
- f) Calcular la densidad aparente (Dap) en g.cm

$$\text{Dap} = \frac{\text{Peso 2} - \text{Peso de la bolsa}}{\text{volumen del cilindro}}$$

a)



b)



c)



d)



e)

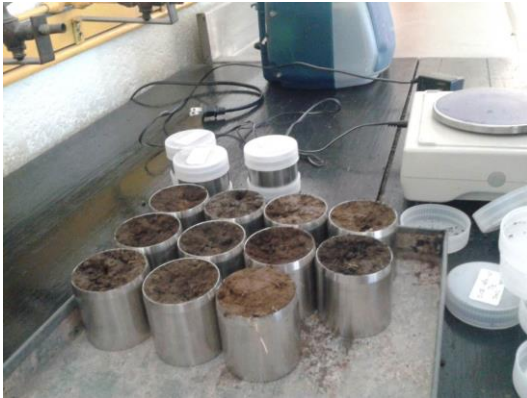


Figura 10. Determinaciones en laboratorio para Dap. Determinación de densidad aparente a) muestreo con el cilindro b) extracción del cilindro c) traslado de muestras d) secado de muestras e) determinación de peso.



Figura 11. Muestreo por incrementos de profundidad

5.6.2. Manejo de muestras al laboratorio

Una vez terminado el proceso de medición se procedió a llevar las muestras rotuladas al laboratorio, donde se analizaron y se realizaron los cálculos de la cantidad de carbono almacenado en el suelo. Se tuvo el cuidado con las muestras contenidas en bolsas de papel. Se procedió a secar las muestras de suelo como se muestra en la Figura 12.

a)



b)



c)



d)



e)

f)



Figura 12. Descripción de manejo de suelos en laboratorio. a y b) extracción y almacenamiento de la muestra c) secado de suelo d) molido del suelo e) paso del suelo por malla d) submuestra en el TOC.

5.6.3. Cálculos para estimar el carbono acumulado

El carbono contenido en el suelo se calculó a partir de los valores de porcentaje de carbono obtenido por medio de la combustión seca en un analizador automático de carbono Shimadzu TOC-5050 A (Total Organic Carbon Analyzer) y la densidad aparente del suelo aplicando la siguiente fórmula:

$$CS = CC * Dap * P$$

Donde:

CS = carbono en suelo (t C/ha) o Mg C ha⁻¹

CC = contenido de C (%)

Dap = densidad aparente (g/cm³)

P = profundidad de muestreo en cm

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se evaluó el sistema bosque de niebla (SBN), dos sistemas agroforestales denominados sistema policultivo tradicional (SPT) que es un cultivo de café bajo sombra de árboles de usos múltiples y un sistema policultivo comercial (SPC) café bajo sombra de árboles frutales principalmente de macadamia y algunos de aguacate; también se incluyó un sistema a pleno sol (SPS).

A continuación se presentan los resultados obtenidos y la evaluación para los componentes biomasa viva (árboles, arbustos, herbáceas y raíces), biomasa muerta (árboles muertos y hojarasca) y el carbono orgánico del suelo.

6.1. Carbono almacenado en biomasa viva y biomasa muerta

En el Cuadro 2 se presenta el contenido de carbono en los diferentes estratos de los sistemas policultivo tradicional (SPT), policultivo comercial (SPC), pleno sol (SPS) y bosque de niebla (SBN). La máxima cantidad de C almacenado en la biomasa aérea se encuentra en el SBN, con una cantidad $421.02 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Este resultado puede adjudicarse a la mayor densidad de árboles y a una mayor diversidad de especies. El de menor cantidad de carbono es el sistema a pleno sol con $9.18 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

Cuadro 2. Contenido promedio de carbono en biomasa viva y muerta

	Sistema bosque niebla	Sistema policultivo tradicional	Sistemas policultivo comercial	Sistema pleno sol
Contenido de carbono almacenado en Mg C ha⁻¹				
Biomasa viva				
Árboles	352.97	41.47	13.73	1.79
Arbustos	3,63	2.22	0.51	4.50
Herbáceas	0.00	0.08	0.13	0.04
Raíz	53.49	6.57	2.16	0.95
Biomasa muerta				
Árboles muertos	5.80	0.70	0.00	0.94
Hojarasca	5.13	2.52	0.57	0.96
Total				
	421.02	53.56	17.1	9.18

Al aplicar la prueba de Tukey de comparación de medias, en biomasa viva se encontró diferencia significativa solo en el sistema bosque de niebla (SBN) y en los otros sistemas no se encontró diferencia significativa como se presenta en el Cuadro 3, esto debido a la alta densidad de árboles que se encontraron en el SBN y aunque también se encontró en los sistemas policultivo tradicional en promedio 2000 cafetos, 1500 en el sistemas policultivo comercial y 3500 en el sistemas pleno sol estos tienen diámetro normales más pequeños que los árboles encontrados en SBN y SPT.

Cuadro 3. Contenido de carbono orgánico en la biomasa viva y prueba Tukey

Tipo de sistemas				
Variable	Sistemas bosque de niebla (SBN)	Sistema de policultivo tradicional(SPT)	Sistema de policultivo comercial (SPC)	Sistema a pleno sol (SPS)
Contenido de carbono en Mg C ha ⁻¹				
Media	356.60a	43.78b*	14.37b*	6.32b*
Valor máximo	384.35	60.96	24.80	9.58
Valor mínimo	303.21	30.81	7.82	2.39
Prueba de tukey de diferencias de medias				

*Medias con la misma letra no son significativas (Alfa 0.05)

En biomasa muerta se encontró con la prueba de Tukey que existe diferencia significativa entre los sistemas bosque de niebla y los demás sistemas Cuadro 4. Mientras que en SPT y SPS no existe diferencia significativa con respecto a SPC si debido a que en los primeros hubo mayor cantidad de hojarasca.

Cuadro 4. Contenido de carbono orgánico en biomasa muerta y prueba de Tukey

Variable	Tipo de sistemas			
	Sistemas bosque de niebla (SBN)	Sistema de policultivo tradicional(SPT)	Sistema de policultivo comercial (SPC)	Sistema pleno sol (SPS)
Contenido de carbono en Mg C ha ⁻¹				
Media	10.93aa	3.22ab*	0.57bb	1.89ab*
Valor máximo	19.45	5.53	0.87	3.83
Valor mínimo	5.95	1.61	0.37	0.30

Prueba tukey de medias

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Alfa 0.05)

6.1.1. Carbono almacenado en estrato arbóreo

En el presente trabajo se encontró que la cantidad de carbono en el estrato arbóreo con mayor cantidad fue en el sistema bosque de niebla de 352.97 Mg C ha⁻¹; siguiéndole el sistema de policultivo tradicional con 41.47 Mg C ha⁻¹, en tercer lugar le sigue el sistema comercial (café-macadamia-aguacate) con 13.73 Mg C ha⁻¹ y el sistema que registró la menor cantidad de carbono fue el sistema a pleno sol con 1.79 Mg C ha⁻¹. La mayor concentración de carbono en el estrato arbóreo fue en el sistema bosque de niebla, debido a la gran cantidad de árboles encontrados. Así mismo se encontró mayor cantidad de árboles en el SBN 1283 y 608 árboles en el SPC lo que demostró que a mayor densidad de árboles mayor cantidad de carbono almacenado Figura 13. Cabe mencionar que los valores de carbono obtenidos por Masuhara (2012) en comparación con los de la presente investigación existe cierta similitud; quien obtuvo en el

sistema bosque de niebla 293.90 Mg C ha⁻¹; existe una superávit debido a la diferencia de árboles medidos ya que en el presente estudio se estimó la cantidad de 1283 árboles por ha mientras que Masahura encontró 1125 árboles por ha. En el SPT esta misma autora encontró que el carbono acumulado en árboles fue de 20.9 Mg C ha⁻¹ la mitad de lo que en el presente proyecto se encontró. Con respecto a lo obtenido en el SPC Espinoza (2009) encontró en otro sistema café+macadamia presento la cantidad de 33.91 Mg C ha⁻¹ lo que se puede contrastar con 13.73 Mg C ha⁻¹ que se encontró en el sistema SPC.

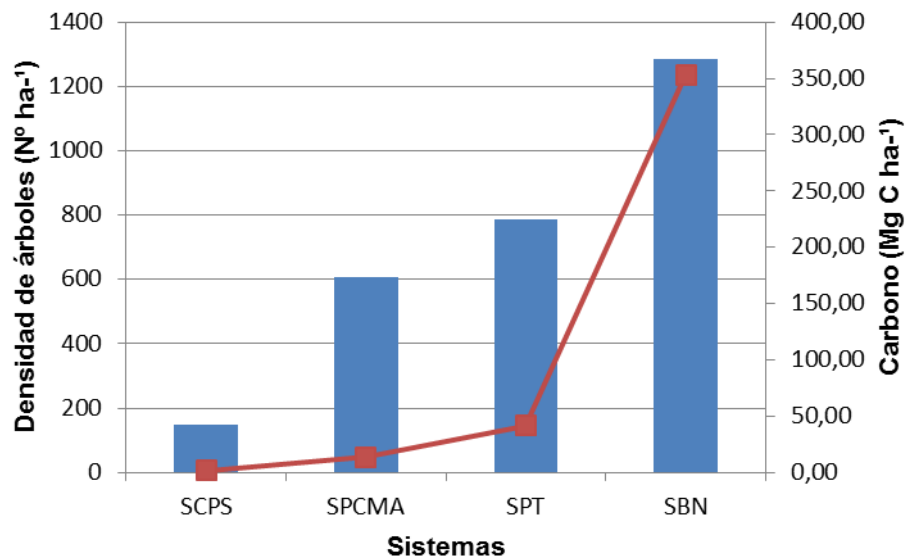


Figura 13. Comparación del contenido de carbono con la densidad de árboles entre los diferentes sistemas.

6.1.2. Carbono almacenado en el estrato arbustivo

En el estrato arbustivo tenemos que el sistema bosque de niebla obtuvo la cantidad de $3.63 \text{ Mg C ha}^{-1}$, mientras que en los sistemas con café se obtuvo $2.22 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en el SPT y $4.50 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en el SPC esta diferencia se puede deber a la densidad de cafetos ya que en el primero se tiene una cantidad de 2,000 cafetos por hectárea, mientras que en el segundo se tienen 3,400 cafetos por hectárea. En el cultivo a pleno sol se obtuvo un total de $0.51 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en este componente. Masuhara encontró que la cantidad de carbono obtenido en el SPT fue de 1.7 Mg C ha^{-1} mientras que en este trabajo se encontró $2.22 \text{ Mg C ha}^{-1}$ este se puede adjudicar a la densidad de cafetos por ha; mientras en el primer estudio se encontraron una densidad de 1406 cafetos comparado con 1967 cafetos en el presente trabajo.

6.1.3. Carbono almacenado en el estrato herbáceo

En el estrato herbáceo se aplicó el 41.93 % de carbono obtenido con el equipo TOC para el SPT, el 41.16% para el SPC y 40.77% esto influyó en el resultado de la cantidad de carbono en los diferentes sistemas. Se encontró que el mayor contenido de carbono fue encontrado en el sistema de policultivo-café-macadamia-aguacate con $0.13 \text{ Mg C ha}^{-1}$ esto debido a que en comparación con los otros sistemas el dosel de los árboles era muy espaciado además de que recientemente se habían podado los cafetos y muchos de ellos fueron sustituidos por nuevos; lo que permitió el crecimiento del estrato herbáceo. En

el SPT se encontró $0.08 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $0.00 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para SBN debido a que el dosel estaba muy cerrado por lo que encontró poco o nulo estrato herbáceo, para el caso del SPS se obtuvo $0.04 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Masuhara encontró $0.76 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para SPT lo que fue superior en $0.68 \text{ Mg C ha}^{-1}$ con respecto al estudio realizado. Por otra lado Espinoza (2009) encontró $0.00 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en un sistema de café-macadamia lo que es similar con $0.04 \text{ Mg C ha}^{-1}$ de esta investigación.

6.1.4. Carbono almacenado en raíces

El mayor contenido de carbono en raíces se dio en el SBN con $53.49 \text{ Mg C ha}^{-1}$, mientras que en los demás sistemas la cantidad de carbono fue de $6.57 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para STP, $2.16 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para SPC y $0.95 \text{ Mg C ha}^{-1}$ para SPS. Estos resultados tienen una correlación con la densidad de árboles, arbustos y herbáceas, ya que a mayor cantidad de estos mayor cantidad de raíces, y por lo tanto mayor cantidad de carbono.

6.1.5. Carbono almacenado en árboles muertos

En los árboles muertos se encontró que el SBN tiene una mayor densidad de árboles muertos que en los otros sistemas alcanzando una cantidad de 5.7 Mg C ha^{-1} , aunque se estima parte del carbono almacenado en este componente se incorporará a la atmósfera de una manera más rápida en comparación con la biomasa viva. En el SPT se obtuvo $0.70 \text{ Mg C ha}^{-1}$, 0.00 en el SPC y $0.94 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en SPS. Masuhara (2012) encontró que en el SBN o bosque mesofilo de montaña, el tamaño de tronco en cuanto a diámetro promedio se registró

aproximadamente más grueso, por lo que obtuvo $3.95 \text{ Mg C ha}^{-1}$ lo que es similar al resultado que se encontró en el presente trabajo; en el SPT encontró $0.20 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

6.1.6. Carbono almacenado en hojarasca

En la hojarasca se pudo encontrar, que el sistema con mayor almacén de carbono fue el bosque de niebla con $5.13 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en hojarasca debido a la gran cantidad de árboles y arbustos que al desprender hojas y ramas son depositados en el piso forestal. También se encontró que en el SPS albergó $0.96 \text{ Mg C ha}^{-1}$ el cual fue mayor que el SPC ($0.57 \text{ Mg C ha}^{-1}$); debido a que la mayoría de los cafetos fueron podados y otros tantos restituidos los cuales eran de pequeño porte, esta situación disminuye la proporción de biomasa así como la de carbono. Por otra parte Espinoza (2009) obtuvo en su investigación $0.85 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en un sistema de café-macadamia lo que es similar al $0.57 \text{ Mg C ha}^{-1}$ del SPC de presente estudio; mientras que Masahura (2012) encontró $5.47 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en Bosque de niebla que es casi igual que los resultados de esta investigación con $5.13 \text{ Mg C ha}^{-1}$

6.2. Carbono orgánico del Suelo

En los resultados del presente trabajo se obtuvo que el SBN registró la mayor cantidad de carbono orgánico en el suelo con $154.20 \text{ Mg C ha}^{-1}$; siguiéndole el sistema de policultivo tradicional con $144.47 \text{ Mg C ha}^{-1}$, en tercer lugar le siguió el sistema policultivo tradicional con $86.37 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y el sistema a pleno sol

con 79.19 Mg C ha⁻¹. La mayor concentración de carbono en el estrato arbóreo fue encontrado en el sistema bosque de niebla, debido a la gran cantidad de árboles encontrados por consiguiente ha habido la mayor concentración de materia orgánica que ha sido depositada en suelo. Se pudo observar la correlación de la Dap con el contenido de materia orgánica, observando una correlación inversamente proporcional, a mayor Dap menor % de M.O (Figura 14).

Cuadro 5. Contenido de carbono orgánico en el suelo en los diferentes sistemas

Sistema	SBN	SPT	SPC	SPS
Carbono en suelo	Mg C ha⁻¹	Mg C ha⁻¹	Mg C ha⁻¹	Mg C ha⁻¹
UM*1	156.60	140.77	68.59	87,5
UM2	139.32	135.57	89.40	96,6
UM3	166.68	157.06	79.57	75,0
Carbono promedio	154.20	144.47	79.19	86.37

UM*= unidad de muestreo

También en el análisis observamos que en la profundidad de 0-10 cm se encuentra la mayor cantidad de COS la cual disminuye conforme se incrementa la profundidad cabe señalar que el estudio solo se realizó hasta la profundidad de 30 cm. La proporción del contenido de C de cada profundidad en los sistemas agroforestales y el SBN fue muy similar en ambos. Se registró una disminución del contenido de C a medida que la profundidad de cada una de las capas aumentaba, esto ocurrió en cada uno de los sistemas (Figura 15). En la

primera capa de suelo (0-10 cm) se registró la mayor concentración de C, de aproximadamente 43% del total en los sistemas. El SBN fue en el que se obtuvo la mayor cantidad de C ($154.20 \text{ Mg C ha}^{-1}$), en el sistema SPC fue donde se encontró la menor cantidad ($79.19 \text{ Mg C ha}^{-1}$).

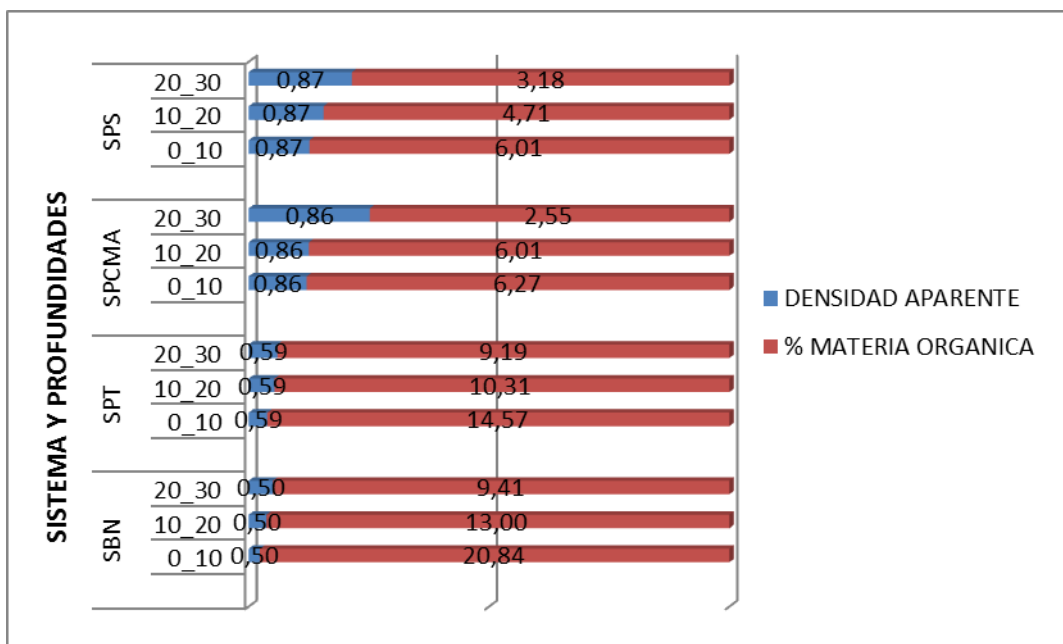


Figura 14. Comparación entre densidad aparente (g/cm^3) y % de materia orgánica.

Con respecto al análisis de Tukey en los resultados se encontró que no existió diferencia significativa en los SBN y SPT; pero estos con respecto a SPC y SPS si existió diferencia significativa Cuadro 6, esto tiene que ver el % de carbono orgánico en el suelo debido a que en los dos primero existe una gran acumulación de materia orgánica derivada de árboles y arbustos, mientras que el SPS y SPC hay poca acumulación de materia orgánica.

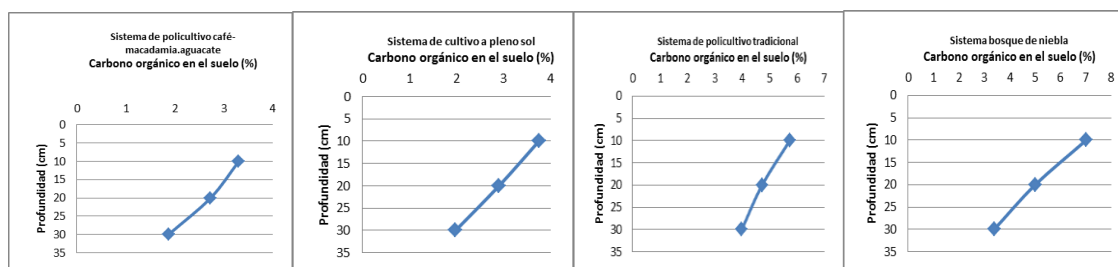


Figura 15. Carbono orgánico en cada profundidad de los sistemas estudiados.

Cuadro 6. Contenido de carbono orgánico en el suelo y prueba de Tukey

Tipo de sistemas				
Variable	Sistemas bosque de niebla (SBN)	Sistema de policultivo tradicional(SPT)	Sistema de policultivo comercial (SPC)	Sistema de cultivo a pleno sol (SPS)
Contenido de carbono en Mg C ha ⁻¹				
Media	154.20a*	144.46a*	79.18b	86.36b
Valor máximo	166.68	157.60	89.40	53.14
Valor mínimo	139.32	135.57	68.59	44.34
Prueba de tukey de medias				

*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Alfa 0.05)

6.4 Carbono total

En los sistemas SPT, SPC y SPS el componente que constituyó la mayor proporción de C almacenado fue el suelo (0-30 cm de profundidad) con un porcentaje de 72.95 % para SPT, 82.94 % para SPC y 90.39 % para SPS. No así para el SBN ya que en este el mayor porcentaje de carbono fue de 61.36 %

correspondiente al estrato arbóreo. La distribución se presenta en la Figura 16 en donde se puede apreciar lo anterior mente descrito.

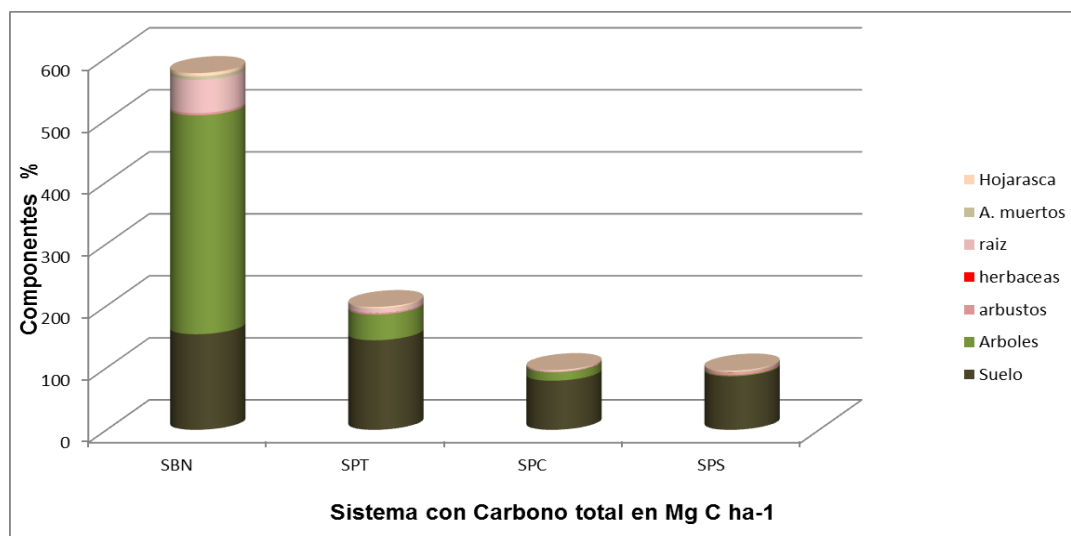


Figura 16. Distribución del contenido de carbono por componente en los sistemas estudiados.

En el SPT el componente que reportó el mayor contenido de C también fue el suelo con el 82% (154.3 Mg ha^{-1}) del total reportado por Masahura (2012) lo cual es similar al resultado del presente trabajo, en esta investigación le siguieron el % de carbono en los árboles 14.26% (41.47 Mg ha^{-1}). El contenido de C asociado a los demás componentes abarca entre 0.00 y 4.00 %.

A diferencia de los otros sistemas, la mayor cantidad del C almacenado en BMM se debió principalmente al componente arbóreo 352.97 con un 61.36% lo cual es similar a 293.9 Mg ha^{-1} y 61% encontrado por Masahura (2012); seguido del componente suelo ($154.20 \text{ Mg ha}^{-1}$, 26.80%). La menor cantidad del C almacenado fue la del componente herbáceo (Figura 16 y Cuadro 7).

Cuadro 7. Carbono y porcentaje de cada componte

	Suelo	Árboles	Arbustos	Herbáceas	Raíz	Árboles	Hojarasca	Total
	Muertos							
SBN								
Carbono (Mg C ha ⁻¹)	154.20	352.97	3.63	0.00	53.49	5.80	5.13	575.22
%	26.80	61.36	0.63	0.00	9.30	1.01	0.89	100
SPT								
Carbono (Mg C ha ⁻¹)	144.47	41.47	2.22	0.08	6.57	0.70	2.52	198.03
%	72.95	20.94	1.12	0.04	3.31	0.35	1.27	100
SPC								
Carbono (Mg C ha ⁻¹)	79.19	13.73	0.51	0.13	2.16	0.00	0.57	96.29
%	82.24	14.25	0.53	0.13	2.24	0.00	0.59	100
SPS								
Carbono (Mg C ha ⁻¹)	86.37	1.79	4.50	0.04	0.95	0.94	0.96	95.55
%	90.39	1.87	4.71	0.04	0.99	0.98	1.00	100

Los porcentajes de C almacenado en el suelo en los sistemas agroforestales fueron de 90.39% y 82.24% de C total en SPS y SPT, respectivamente. Un comportamiento similar se encontró en el trabajo de Masuhara (2012), donde el suelo (0-60 cm) resultó ser la fuente con mayor potencial de C almacenado, que fue aportado en un 88% (por el SPS) y un 82% (por el SPT) al C total.

7. CONCLUSIONES

Los resultados indican que el sistema con mayor contenido de carbono total fue el sistema bosque de niebla (SBN) con $521.53 \text{ Mg C ha}^{-1}$ siguiéndole el sistemas de policultivo tradicional (SPT) ($190.99 \text{ Mg C ha}^{-1}$), posteriormente el sistema policultivo comercial (SPS) ($96.29 \text{ Mg C ha}^{-1}$) y el sistemas con menor bajo contenido de carbono fue el sistemas pleno sol (SPC) $95.55 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Los valores del C en la biomasa aérea (arbóreo, arbustivo, troncos, herbáceo, raíz y hojarasca) fueron $9.18 \text{ Mg C ha}^{-1}$, $17.10 \text{ Mg C ha}^{-1}$, $53.56 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $421.02 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en SPS, SPCMA PTR y SBN, respectivamente. Los contenidos de C orgánico en el suelo (COS) a una profundidad de 0 a 30 cm fueron de $86.37 \text{ Mg C ha}^{-1}$, 79 Mg C ha^{-1} , 144 Mg C ha^{-1} y 154 Mg C ha^{-1} en SPS, SPC, SPT y SBN, respectivamente.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de captura de carbono destructivo, trabajándose poco con las diferentes especies, ya que para algunas no existen ecuaciones generadas, esto para tener una mayor presión de resultados.
- Se recomienda realizar estudios de evaluación financiera para evaluar la rentabilidad considerando los beneficios ambientales.

9. LITERATURA CITADA

- Aguirre D., C.M. 2006. Servicios ambientales: captura de carbono en sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 15.
- Audesirk, T., y G. Audesirk. 1997. Biología. La vida en la tierra. Ramírez, Ma. M., D. Velázquez. 4ª ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Naucalpan de Juárez, Edo. de México. Pp: 901-902
- Babbar A. L. (sf) Pago de servicios ambientales en los sistemas agroforestales, Costa Rica. Universidad de la Paz
- Beristain R. B. ca.1998. Centro regional universitario oriente/centro de investigación y desarrollo de las regiones cafetaleras documento "a" <http://www.crupyuach.org.mx/encuentro/descargar.php?p=aW1nL2JYmxpb3RIY2EvZG9jLw==&f=MTkx>.
- Cano, V, N. y Arcos, H. J.1998 MONOGRAFÍA DE HUATUSCO Graphic's Huatusco, Ver.,
- Delgadillo R., M. y S. Quechulpa M. 2006. Manual de Monitoreo de carbono en Sistemas agroforestales. AMBIO. Pp: 17-18.
- Escamila P. E. 2011. Ponencia. Cultivo de café a pleno sol
- Escamilla P. E., A.L. Lincona V., S. Díaz C., H. V. Santoyo C., R. Sosa., y L. Rodríguez R.1994. Los sistemas de producción de café en el centro de Veracruz, México. Un análisis Tecnológico. Revista de Historia No 30 <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/historia/article/view/3436>
- Espinoza, D. W. 2009. Secuestro de carbono en sistemas agroforestales en la región cafetalera de Chocamán-Totutla-Huatusco, Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. México 64p
- Etchevers, J.D., J.A. Tinoco, J.D. Gómez y A.I. Monterroso. 2010. Estimación del contenido de carbono orgánico en el suelo de las tierras agrícolas

- de México. Memorias del II Simposio Mexicano del Carbono. México. 1 pp.
- Garduño, R. 2004. ¿Qué es el efecto invernadero?. *In*: Cambio climático: una visión desde México. (comps.) Martínez, J., A. Fernández B., y P. Osnaya. México. Instituto Nacional de Ecología. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/rene.html>. Consultado 15 de julio de 2012
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: informe de síntesis. Cambridge University Press. Suiza. 104 pp.
- Jandl, R. 2001. Medición de tendencias en el tiempo del almacenamiento de carbono del suelo. *In*: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Gayoso J. y R. Jandl (comps.). Valdivia, Chile. 18-20 de octubre. Universidad Austral de Chile. p. 12.
- Jaramillo, J.V. 2004. El ciclo global del carbono. *In*: Cambio climático: una visión desde México. (comps.) Martínez, J., A. Fernández B., y P. Osnaya. México. Instituto Nacional de Ecología. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/jaramillo.html> . Consultado 18 de junio del 2012.
- MacDiken, K. 1997. A Guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA, US Winrock International. 87 p.
- Masahura, A. 2012. Evaluación del contenido de carbono en sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. México 146p

- Nair, P.K.R. 1982 Agroforestry defined. En: agroforestry systems in the tropics. Netherlands: Kluwer academy publishers. P 13-14.
- Ordoñez, J.A., B.H. de Jong, F. García, F.L. Avina, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez y O. Masera. 2008. Carbon content vegetation, litter, and soil under 10 different land use and land-cover classes in the central Highlands of Michoacán, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255(2008):2074-2084
- Pérez, J.R. 2004. Colecciones ex situ de la Universidad Autónoma Chapingo en Huatusco, Ver. UACh. México 40-84.
- Sandoval E., M., N. Stolpe L., E. Zagal V., M. Mardones F., y J. Junod M. 2003. El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoría* 12: 67-71. Online. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/299/29901206.pdf>. Consultada el 03 de abril de 2011.
- Segura, M.A., P. Sanchez, C.A. Ortiz y Ma. del C. Gutiérrez. 2005. Carbono orgánico en los suelos de México. *Terra Latinoamericana* 23(1): 21-28
- SEMARNAT, 2004. Introducción a los Servicios Ambientales. Fortson M., J. Servicios Aplicados de Impresión S.A de C.V. México, D.F. pp: 7-22.
- Schlegel B., J. Gayoso y J. Guerra. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. p. 14.
- Toharia, M. 1984. Tiempo y clima. Colección Temas Clave, Madrid: Salvat Editores.
- Torres, J., A. Tenorio y A. Gómez (eds.). 2008. Agroforestería: una estrategia de adaptación al cambio climático. Comisión Europea, Soluciones Prácticas-ITDG. Peru. 125 pp.

Voituriez, B. 1994. La atmósfera y el clima. Barcelona: Colección Conocer la Ciencia. RBA Editores.

10. ANEXOS

Anexo.1. Lista de materiales e instrumentos a utilizar

Materiales

1. Manual de Procedimientos de Inventario de carbono (este manual)
2. Formularios de terreno (Anexo 2)
3. Etiquetas plásticas
4. Spray fosforescente
5. Bolsas de papel para muestras de hierba, hojarasca y suelo
6. Malla rashel
7. Marcadores permanentes
8. Estacas
9. Machete tijeras

Instrumentos

1. Brújula
2. Hipsómetro Digital VERTEX u otro
3. Clinómetro
4. Altimetro
5. Cinta diamétrica para medir DN
6. Forcípula de 50 cm
7. Cuerda plástica de 100 m
8. Corchetera industrial
9. Calculadora 12
10. Metro de distancia de 50 m
11. Marco para muestreo del estrato herbáceo de 1m² y aro hojarasca
12. Tijeras podadoras
13. Cilindros para densidad aparente
14. Serruchos
15. Palas para colecta de muestras de suelo
16. Tamiz para muestras de suelo de 5 mm
17. Hacha
18. Dinamómetros, PESOLA (Juego de 5 pesas: 5 kg, 3 kg, 1 kg y 300 g)
19. Portahojas
20. GPS

Anexo 2. Formulario para colecta de datos para estrato arbóreo.

Sistema: (Identificar qué sistema) _____

Clave de unidad de muestreo: (ejemplo UM1) _____

Nombre de quien levanto: _____ Fecha _____

Diámetros ≥ 5 cm

3. ANTECEDENTES GENERALES

Grado de intervención	Posición topográfica	Pen%	Exp (°)	Altura m.s.n.m	Latitud (S)	Longitud (W)

Núm. de Árbol	DN (cm)	Altura (m)	Especie	Núm. de Árbol	DN (cm)	Altura (m)	Especie
1				17			
2				18			
3				19			
4				20			
5				21			
6				22			
7				23			
8				24			
9				25			
10				26			
11				27			
12				28			
13				29			

14				30			
15				31			
16				40			

Anexo 3. Formulario para colecta de datos para estrato arbustivo incluyendo cafetos.

Sistema: (Identificar qué sistema)_____

Clave de unidad de muestreo: (ejemplo UM1)_____

Nombre de quien levanto:_____ Fecha_____

Diámetros ≤ 5 cm

Núm. de Árbol	DN (cm)	Altura (m)	Especie	Núm. de Árbol	DN (cm)	Altura (m)	Especie
1				17			
2				18			
3				19			
4				20			
5				21			
6				22			
7				23			
8				24			
9				25			
10				26			
11				27			
12				28			

13				29			
14				30			
15				31			
16				40			

Anexo 4. Formulario para colecta de datos para árboles muertos en pie o caídos.

Sistema: (Identificar qué sistema)_____

Clave de unidad de muestreo: (ejemplo UM1)_____

Nombre de quien levanto:_____ Fecha_____

Diámetros ≥ 5 cm

Núm. de Árbol	Condición		Especie	Diámetro (cm)	Longitud (m)	Altura m
	Muerto en pie o tirado					
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

11						
12						
13						
14						
15						

Anexo 5. Formulario para colecta de datos para estrato herbáceo.

Sistema: (Identificar qué sistema)_____

Clave de unidad de muestreo: (ejemplo UM1)_____

Nombre de quien levanto: _____ Fecha_____

3. ANTECEDENTES GENERALES

Grado de intervención	Posición topográfica	Pen%	Exp (°)	Altura m.s.n.m	Latitud (S)	Longitud (W)

Área de subparcela		
Peso fresco 1 (g)		Peso fresco de submuestra homogenizada (g)
Peso fresco 2 (g)		
Peso fresco 3 (g)		
Peso fresco 4 (g)		
Peso fresco total (g)		

Anexo 6. Formulario para colecta de datos para hojarasca.

Sistema: (Identificar qué sistema)_____

Clave de unidad de muestreo: (ejemplo UM1)_____

Nombre de quien levanto: _____ Fecha_____

3. ANTECEDENTES GENERALES

Grado de intervención	Posición topográfica	Pen%	Exp (°)	Altura m.s.n.m	Latitud (S)	Longitud (W)

Área de subparcela		
Peso fresco 1 de hojarasca 1 (g)		Peso fresco de submuestra homogenizada (g)
Peso fresco 2 de hojarasca (g)		
Peso fresco 3 de hojarasca (g)		
Peso fresco 4 de hojarasca (g)		
Peso fresco total de hojarasca (g)		

Anexo 7. Formulario para colecta de datos para suelo.

Sistema: (Identificar qué sistema)_____

Nombre de quien levanto: _____ Fecha_____

3. ANTECEDENTES GENERALES

Grado de intervención	Posición topográfica	Pen%	Exp (°)	Altura m.s.n.m	Latitud (S)	Longitud (W)

Muestra para cálculo de dap de suelo		
Peso húmedo de la muestra de suelo (g)		Observaciones
UM1		
UM2		
UM3		
UM4		

Biomasa contenido de carbono en árboles

Anexo 8. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema bosque de niebla (SBN)

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN*	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio
			Ecuación Y=exp(-2.289+2.649LN(DN)-0.021(LN(DN))2)				Mg C ha ⁻¹
UM1	1	49.00	2,213.57	24,130.05	12,065.03	301.63	352.97
	2	56.90	3,208.05				
	3	13.90	93.45				
	4	6.90	15.63				
	5	5.10	7.18				
	6	18.40	190.13				
	7	12.90	77.31				
	8	8.30	25.10				
	9	8.30	25.10				
	10	7.40	18.71				
	11	5.20	7.55				
	12	13.90	93.45				
	13	47.80	2,081.24				
	14	5.20	7.55				
	15	7.30	18.06				
	16	5.60	9.14				
	17	7.80	21.41				
	18	6.50	13.41				
	19	10.10	41.45				
	20	5.00	6.82				
	21	63.30	4,177.40				
	22	64.60	4,392.90				
	23	5.20	7.55				

	24	21.20	271.83			
	25	11.30	55.19			
	26	5.20	7.55			
	27	49.10	2,224.81			
	28	28.00	547.21			
	29	63.00	4,128.57			
	30	8.80	29.15			
	31	14.50	104.03			
	32	5.70	9.56			
	1	51.57	2,512.86			
	2	20.12	238.17			
	3	7.19	17.40			
	4	13.24	82.62			
	5	40.55	1,382.01			
	6	9.68	37.16			
	7	6.18	11.75			
	8	5.16	7.39			
	9	5.98	10.84			
	10	16.04	134.41			
	11	8.59	27.44			
	12	6.65	14.23			
	13	8.72	28.49			
	14	5.73	9.69			
	15	27.69	532.28			
	16	6.62	14.06			
	17	62.40	4,031.93			
	18	7.89	22.08			
	19	9.10	31.80			
	20	1.70	0.41			
	21	1.60	0.35			
	22	3.90	3.59			
	23	3.40	2.51			
	24	1.70	0.41			
	25	10.00	40.42			
	26	9.70	37.39			
	27	76.10	6,584.65			

UM2	28	21.00	265.41	30,194.09	15,097.04	377.43	
	29	15.00	113.37				
	30	13.70	90.07				
	31	15.10	115.29				
	32	29.00	597.56				
	33	9.50	35.45				
	34	10.20	42.51				
	35	30.60	683.66				
	36	6.00	10.91				
	37	7.00	16.22				
	38	15.80	129.32				
	39	78.00	6,997.60				
	40	13.80	91.75				
	41	20.40	246.70				
	42	11.80	61.63				
	43	5.50	8.72				
	44	42.00	1,508.26				
	45	5.00	6.82				
	46	6.80	15.06				
	47	43.10	1,608.61				
	48	11.10	52.74				
	49	5.90	10.45				
	50	5.00	6.82				
	51	6.80	15.06				
	52	37.10	1,106.82				
	53	27.40	518.26				
	54	5.40	8.32				
	55	5.20	7.55				
	56	5.00	6.82				
	1	55.70	3,042.89				
	2	18.40	190.13				
	3	5.10	7.18				
	4	7.20	17.44				
	5	6.80	15.06				
	6	5.60	9.14				
	7	41.10	1,428.99				
	8	11.50	57.71				

UM3	9	13.50	86.77	30,388.80	15,194.40	379.86	
	10	10.70	48.03				
	11	19.20	211.71				
	12	5.40	8.32				
	13	26.50	476.57				
	14	11.70	60.30				
	15	15.00	113.37				
	16	12.50	71.36				
	17	9.30	33.58				
	18	21.70	288.28				
	19	6.00	10.91				
	20	32.50	794.97				
	21	25.90	449.93				
	22	15.50	123.19				
	23	123.40	2,1592.93				
	24	33.40	851.21				
	25	8.40	25.88				
	26	3.90	3.59				
	27	12.30	68.49				
	28	6.90	15.63				
	29	9.70	37.39				
	30	18.80	200.74				
	31	10.10	41.45				
	32	2.00	0.63				
	33	2.00	0.63				
	34	2.00	0.63				
	35	2.00	0.63				
	36	2.00	0.63				
	37	2.00	0.63				
	38	2.00	0.63				
	39	2.00	0.63				
	40	2.00	0.63				

Anexo 9. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo tradicional (SPT).

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	H	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
				Ecuación Y=0.180272 *DN^2.27177	Ecuación Log10Biomasa = -0.889 + 2.317 (log10DN)	Ecuación Log10Biomasa = -0.834 + 2.223 (log10DN)				
UM1	1	59.32	14.10	1,597.84						
	2	41.70	11.50	644.27						
	3	10.30	6.70			26.15				
	4	12.60	7.56			40.94				
	5	42.10	10.47	597.90						
	6	10.90	4.49			29.66	3,038.62	1,519.31	37.98	
	7	10.60	6.41			27.88				
	8	6.10	8.43			8.16				
	9	12.80	7.57			42.40				
	10	9.80	6.42			23.42				
UM2	1	22.80	11.30			153.00				41.47
	2	34.10	12.30	630.67						
	3	19.80	11.10			111.81				
	4	23.40	8.30			162.09				
	5	30.40	9.70	475.98		475.98				
	6	30.00	9.70			281.61				
	7	41.10	10.30			566.98				
	8	17.80	7.60			101.91				
	9	16.00	7.80		79.61		4,659.96	2,329.98	58.25	
	10	26.50	10.20		213.73					
	11	30.50	8.50			292.15				
	12	20.50	7.80		141.36					
	13	21.50	8.70			134.28				
	14	43.70	10.40		649.82					
	15	16.20	7.95		71.57					
	16	23.50	4.60			163.64				

	17 18	19.70 28.40	8.35 8.20		128.91 300.84					
UM3	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	38.80 11.20 9.20 8.40 11.70 28.20 40.10 44.80 8.80 23.50	11.36 8.3 8.9 8.87 7.22 9.27 15.4 13.32 3.24 8.94			498.85 31.51 20.35 16.62 34.72 245.42 536.77 686.74 163.64	2,254.54	1,127.27	28.18	
					19.92					

Anexo 10. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo comercial (SPC).

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	H	Biomasa	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
				kg ind ⁻¹ Ecuación Log10Biomasa = -0.834 + 2.223 (log10DN)				
UM1	1	34.00	6.50	371.94	597.38	298.69	7.47	13.73
	2	2.40	0.80	1.03				
	3	0.60	0.62	0.05				
	4	13.90	4.80	50.92				
	5	2.00	1.55	0.68				
	6	8.80	4.15	18.43				
	7	12.80	5.20	42.40				
	8	4.20	6.20	3.56				
	9	13.50	5.60	47.72				
	10	11.00	5.18	30.27				
	11	8.50	2.40	17.06				
	12	7.60	4.00	13.31				
UM2	1	14.20	7.80	53.40	285.43	142.71	10.00	
	2	4.40	5.80	3.95				
	3	3.90	3.20	3.02				
	4	5.00	2.68	5.25				
	5	14.20	6.10	53.40				
	6	16.80	7.20	77.60				
	7	11.00	6.23	30.27				
	8	14.80	5.90	58.55				
	1	27.10	6.14	224.64				
	2	33.00	3.95	348.06				
	3	2.00	1.19	0.68				

UM3	4	4.00	2.33	3.19	1.898.04	949.02	23.73	
	5	5.20	12.30	5.72				
	6	10.10	5.50	25.04				
	7	7.30	12.70	12.17				
	8	7.10	4.60	11.44				
	9	20.40	6.40	119.48				
	10	3.00	1.47	1.69				
	11	24.40	4.50	177.90				
	12	50.90	5.60	912.08				
	13	14.50	5.90	55.94				

Anexo 11. Biomasa de árboles estimada por ecuación alométrica en sistema pleno sol (SPS).

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	H	Biomasa	Biomasa	Biomasa	Carbono	Carbono	Contenido de carbono	
				kg ind ⁻¹	kg ind ⁻¹					kg/400m ²
				Ecuación Log10Biomasa = -0.834 + 2.223 (log10DN)	Y=0.0303DN^2.1345				Mg C ha ⁻¹	
UM1	1	49.54	4.55	53.70	124.92	203.12	101.56	2.54	1.79	
	2	13.50	3.80	22.65						
	3	9.30	3.94							
	4	6.92	2.03		1.85					
UM2	1	12.73	3.41		6.91	225.55	112.77	2.82		
	2	65.08	4.7		218.64					
UM3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

Biomasa y contenido de carbono en arbustos

Anexo 12. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema bosque de niebla (SBN).

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	H	Ecuación Log10Biomasa= - 1.113+1.578*Log10(DN)+0.581*log10(H)	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
UM1	1	17.90	11.00	1.47	29.45	126.20	63.10	1.58	3.63
	2	5.10	6.00	0.46	2.86				
	3	13.50	8.00	1.20	15.68				
	4	9.20	9.50	0.98	9.46				
	5	6.70	15.00	0.87	7.48				
	6	12.30	8.70	1.15	14.21				
	7	4.50	5.20	0.33	2.16				
	8	5.20	3.90	0.36	2.29				
	9	11.10	7.60	1.05	11.18				
	10	9.60	6.80	0.92	8.33				
	11	3.00	1.40	-0.28	0.53				
	12	1.60	4.00	-0.44	0.36				
	13	1.90	4.80	-0.28	0.53				
	14	1.90	2.00	-0.50	0.32				
	15	3.00	3.10	-0.07	0.84				
	16	4.90	5.20	0.39	2.47				
	17	4.00	7.10	0.33	2.15				
	18	4.70	6.00	0.40	2.51				
	19	2.70	4.53	-0.05	0.89				
	20	3.90	2.54	0.05	1.13				
	21	2.60	6.13	0.00	1.00				
	22	2.90	5.67	0.05	1.13				
	23	3.70	4.81	0.18	1.51				
	24	4.20	5.17	0.29	1.93				

	25	3.40	5.23	0.14	1.39				
	26	2.80	4.16	-0.05	0.90				
	27	3.70	5.83	0.23	1.69				
	28	2.30	2.63	-0.30	0.50				
	29	3.50	4.42	0.12	1.32				
UM2	1	1.66	2.60	-0.53	0.30				
	2	1.27	4.00	-0.60	0.25				
	3	1.78	3.60	-0.39	0.40				
	4	3.57	3.90	0.10	1.26				
	5	2.80	2.30	-0.20	0.64				
	6	1.27	3.00	-0.67	0.21				
	7	14.26	7.80	1.23	16.85				
	8	12.41	7.40	1.12	13.13				
	9	6.49	5.30	0.59	3.89				
	10	6.88	5.60	0.64	4.40				
	11	12.22	4.90	1.00	10.08				
	12	5.22	2.50	0.25	1.78				
	13	6.05	5.20	0.54	3.44				
	14	9.49	10.00	1.01	10.23				
	15	18.27	10.80	1.48	30.09				
	16	8.02	5.00	0.72	5.25				
	17	4.20	4.80	0.27	1.85				
	18	7.80	5.50	0.72	5.31				
	19	1.50	2.40	-0.61	0.24				
	20	2.30	3.00	-0.26	0.54				
	21	2.10	2.20	-0.41	0.39				
	22	9.50	6.70	0.91	8.12				
	23	4.70	5.60	0.38	2.41				
	24	6.00	4.00	0.46	2.92				
	25	2.80	4.20	-0.05	0.90				
	26	2.80	4.20	-0.05	0.90				
	27	7.50	5.40	0.69	4.94				
	28	3.65	2.80	0.03	1.08				
	29	8.30	6.00	0.79	6.16	385.57	192.79	4.82	
	30	4.70	2.10	0.13	1.36				
	31	2.10	2.60	-0.36	0.43				

	32	9.90	4.00	0.81	6.43				
	33	5.90	5.50	0.53	3.42				
	34	2.80	4.90	-0.01	0.99				
	35	9.60	3.70	0.77	5.85				
	36	1.40	3.40	-0.57	0.27				
	37	4.80	5.93	0.41	2.58				
	38	2.40	4.10	-0.16	0.70				
	39	2.70	4.10	-0.08	0.84				
	40	3.55	4.31	0.12	1.33				
	41	7.80	3.40	0.60	4.01				
	42	12.90	6.00	1.09	12.35				
	43	1.20	2.20	-0.79	0.16				
	44	1.00	2.23	-0.91	0.12				
	45	1.20	2.16	-0.79	0.16				
	46	3.30	5.20	0.12	1.32				
	47	1.20	2.20	-0.79	0.16				
	48	2.10	2.40	-0.38	0.41				
	49	3.90	4.20	0.18	1.52				
	50	1.90	2.60	-0.43	0.37				
	51	9.80	6.30	0.92	8.23				
	52	4.20	2.00	0.05	1.11				
	53	3.20	5.00	0.09	1.23				
	54	2.70	4.10	-0.08	0.84				
	55	3.20	3.95	0.03	1.07				
	56	1.30	2.00	-0.76	0.17				
	57	1.80	3.20	-0.42	0.38				
	58	4.60	1.90	0.09	1.24				
	59	1.50	2.10	-0.65	0.22				
	60	1.50	3.10	-0.55	0.28				
	61	1.50	2.00	-0.66	0.22				
	62	3.10	4.20	0.02	1.06				
	63	5.80	4.05	0.44	2.78				
	64	3.30	5.20	0.12	1.32				
	65	15.10	5.80	1.19	15.52				
	66	4.70	5.80	0.39	2.46				
	67	2.60	3.40	-0.15	0.71				
	68	3.00	4.30	0.01	1.02				

	69	13.00	5.00	1.05	11.24				
	70	15.30	5.50	1.19	15.37				
	71	3.80	4.60	0.19	1.54				
	72	14.10	4.00	1.05	11.23				
	73	2.20	2.54	-0.34	0.46				
	74	3.00	2.10	-0.17	0.67				
	75	2.80	4.13	-0.05	0.89				
	76	1.20	1.80	-0.84	0.14				
	77	12.70	3.30	0.93	8.51				
	78	1.50	3.20	-0.54	0.29				
	79	3.40	5.50	0.16	1.43				
	80	1.00	2.10	-0.93	0.12				
	81	1.90	2.30	-0.46	0.34				
	82	1.60	1.50	-0.69	0.20				
	83	4.00	3.50	0.15	1.42				
	84	42.00	3.60	1.77	59.12				
	85	1.00	2.20	-0.91	0.12				
	86	2.10	2.40	-0.38	0.41				
	87	8.20	6.30	0.79	6.21				
	88	4.20	2.10	0.06	1.14				
	89	2.10	4.45	-0.23	0.59				
	90	6.30	5.20	0.56	3.67				
	91	4.20	5.67	0.31	2.03				
	92	2.60	2.20	-0.26	0.55				
	93	11.10	6.20	1.00	9.93				
	94	3.40	4.10	0.08	1.21				
	95	6.60	5.30	0.60	3.99				
	96	5.20	6.30	0.48	3.03				
	97	3.10	3.47	-0.02	0.95				
	98	2.90	3.60	-0.06	0.87				
	99	4.00	4.21	0.20	1.58				
	100	5.10	4.20	0.37	2.32				
	101	11.90	4.65	0.97	9.38				
	102	4.60	4.20	0.29	1.97				
	1	2.30	3.30	-0.24	0.57				

UM3	2	1.90	1.50	-0.57	0.27	359.57	179.78	4.49	
	3	4.90	1.20	0.02	1.05				
	4	4.50	2.10	0.10	1.27				
	5	4.70	3.30	0.25	1.77				
	6	7.40	4.60	0.64	4.40				
	7	9.80	4.10	0.81	6.41				
	8	7.70	5.50	0.72	5.20				
	9	12.00	3.00	0.87	7.36				
	10	7.20	3.80	0.58	3.77				
	11	16.20	5.90	1.24	17.52				
	12	25.50	8.50	1.65	44.31				
	13	10.30	5.20	0.90	7.97				
	14	13.70	5.40	1.11	12.77				
	15	10.30	5.20	0.90	7.97				
	16	19.70	5.00	1.34	21.67				
	17	6.40	4.30	0.53	3.37				
	18	16.00	4.10	1.14	13.90				
	19	15.90	7.00	1.27	18.78				
	20	19.10	4.50	1.29	19.41				
	21	17.50	4.30	1.22	16.46				
	22	12.90	4.60	1.02	10.58				
	23	33.30	4.60	1.67	47.26				
	24	17.50	4.10	1.20	16.02				
	25	15.60	4.00	1.12	13.17				
	26	4.50	3.90	0.26	1.82				
	27	6.20	2.60	0.38	2.39				
	28	7.00	4.50	0.60	3.98				
	29	14.60	3.30	1.03	10.61				
	30	21.80	5.40	1.42	26.58				
	31	13.50	4.30	1.04	10.93				

Anexo 13. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo tradicional (SPT).

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	H	Ecuación Log10Biomasa= - 1.113+1.578*Log10(DN)+0.581*log10(H)	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
UM1	1	1.30	0.96	-0.94	0.11	116.27	58.14	1.45	2.22
	2	1.50	0.60	-0.96	0.11				
	3	2.30	0.93	-0.56	0.28				
	4	2.00	0.80	-0.69	0.20				
	5	3.50	0.71	-0.34	0.46				
	6	5.00	1.54	0.10	1.26				
	7	1.60	0.65	-0.90	0.13				
	8	2.00	0.69	-0.73	0.19				
	9	1.50	0.75	-0.91	0.12				
	10	1.00	0.90	-1.14	0.07				
	11	2.60	1.02	-0.45	0.35				
	12	8.30	1.55	0.45	2.80				
	13	6.90	2.38	0.43	2.69				
	14	9.30	1.77	0.56	3.63				
	15	9.20	0.98	0.40	2.53				
	16	12.60	2.50	0.85	7.15				
	17	3.20	0.90	-0.34	0.45				
	18	2.90	1.10	-0.36	0.44				
	19	4.30	1.18	-0.07	0.85				
	20	4.40	1.14	-0.06	0.86				
	21	5.20	1.39	0.10	1.26				
	22	2.70	1.15	-0.40	0.40				
	23	3.60	1.17	-0.20	0.64				
	24	3.90	1.37	-0.10	0.79				
	25	8.20	3.27	0.63	4.25				
	26	3.50	1.54	-0.15	0.72				

	27	8.20	3.80	0.67	4.63				
	28	2.50	0.86	-0.52	0.30				
	29	4.60	1.85	0.09	1.22				
	30	12.10	2.76	0.85	7.11				
	31	3.30	1.25	-0.24	0.58				
	32	1.50	1.47	-0.74	0.18				
	33	5.10	1.73	0.14	1.39				
	34	6.90	1.86	0.37	2.33				
	35	8.00	1.94	0.48	3.02				
	36	6.30	2.24	0.35	2.25				
	37	4.50	1.28	-0.02	0.96				
	38	4.50	1.45	0.01	1.03				
	39	5.40	1.69	0.18	1.50				
	40	7.00	2.19	0.42	2.62				
	41	9.20	1.97	0.58	3.79				
	42	10.50	2.50	0.73	5.37				
	43	5.00	2.05	0.17	1.48				
	44	3.00	1.50	-0.26	0.55				
	45	3.20	1.52	-0.21	0.62				
	46	5.10	3.10	0.29	1.95				
	47	4.00	1.59	-0.05	0.90				
	48	5.10	1.88	0.16	1.45				
	49	5.50	1.90	0.22	1.65				
	50	4.40	1.91	0.07	1.16				
	51	5.80	1.73	0.23	1.70				
	52	3.80	1.45	-0.10	0.79				
	53	3.20	1.65	-0.19	0.65				
	54	13.90	2.46	0.92	8.28				
	55	5.20	1.61	0.14	1.37				
	56	7.50	2.40	0.49	3.08				
	57	8.50	3.70	0.68	4.83				
	58	4.40	1.52	0.01	1.02				
	59	9.30	3.14	0.70	5.06				
	60	5.70	1.66	0.21	1.61				
	61	10.20	1.67	0.61	4.05				
	62	6.40	2.76	0.42	2.60				
	63	1.30	1.02	-0.93	0.12				

	64	1.20	1.05	-0.98	0.11				
	65	2.10	1.09	-0.58	0.26				
UM2	1	4.10	2.19	0.05	1.13	212.55	106.28	2.66	
	2	5.20	2.10	0.20	1.60				
	3	19.20	3.39	1.22	16.60				
	4	3.50	2.27	-0.05	0.90				
	5	7.00	3.41	0.53	3.39				
	6	3.00	1.80	-0.21	0.61				
	7	10.10	3.02	0.75	5.63				
	8	7.70	2.26	0.49	3.10				
	9	3.20	1.77	-0.17	0.67				
	10	7.80	2.71	0.55	3.52				
	11	3.80	2.46	0.03	1.07				
	12	2.60	2.05	-0.28	0.53				
	13	5.40	3.12	0.33	2.14				
	14	3.30	2.07	-0.11	0.77				
	15	2.90	1.64	-0.26	0.55				
	16	6.00	3.64	0.44	2.76				
	17	3.10	2.10	-0.15	0.71				
	18	6.50	3.70	0.50	3.16				
	19	3.10	2.28	-0.13	0.74				
	20	5.00	3.14	0.28	1.90				
	21	10.60	3.35	0.81	6.46				
	22	5.40	3.13	0.33	2.14				
	23	4.50	3.38	0.23	1.68				
	24	5.10	4.60	0.39	2.45				
	25	6.20	3.65	0.46	2.91				
	26	4.60	2.10	0.12	1.32				
	27	2.20	1.60	-0.45	0.35				
	28	6.20	3.20	0.43	2.70				
	29	4.30	3.00	0.16	1.46				
	30	5.70	3.55	0.40	2.51				
	31	5.40	3.30	0.34	2.21				
	32	6.80	3.50	0.52	3.29				
	33	6.20	3.49	0.45	2.84				
	34	5.80	3.38	0.40	2.51				
	35	4.70	4.00	0.30	1.98				

36	6.20	3.63	0.46	2.90				
37	5.70	3.58	0.40	2.52				
38	5.00	3.40	0.30	1.99				
39	4.30	2.58	0.13	1.34				
40	2.70	2.04	-0.25	0.56				
41	5.70	3.50	0.40	2.49				
42	6.40	3.24	0.46	2.86				
43	2.80	3.28	-0.11	0.78				
44	5.00	3.27	0.29	1.95				
45	3.10	2.26	-0.13	0.74				
46	4.30	2.40	0.11	1.28				
47	6.80	3.28	0.50	3.17				
48	6.80	3.72	0.53	3.41				
49	5.20	3.27	0.32	2.07				
50	4.10	2.20	0.05	1.13				
51	2.50	1.73	-0.35	0.45				
52	7.50	3.40	0.58	3.77				
53	5.20	3.30	0.32	2.08				
54	6.10	3.20	0.42	2.63				
55	6.20	4.00	0.49	3.07				
56	8.00	3.35	0.62	4.14				
57	6.90	3.50	0.53	3.36				
58	3.40	2.16	-0.08	0.83				
59	5.20	3.10	0.30	2.01				
60	4.80	2.30	0.17	1.49				
61	4.30	2.15	0.08	1.20				
62	10.30	2.96	0.76	5.74				
63	5.30	2.76	0.29	1.93				
64	10.40	3.30	0.79	6.21				
65	4.00	1.75	-0.02	0.95				
66	2.70	1.40	-0.35	0.45				
67	3.70	2.20	-0.02	0.96				
68	3.20	1.72	-0.18	0.66				
69	5.80	2.60	0.33	2.15				
70	3.00	1.78	-0.21	0.61				
71	4.30	2.20	0.09	1.22				
72	6.00	1.70	0.25	1.77				

73	3.00	1.38	-0.28	0.53				
74	2.50	1.15	-0.45	0.35				
75	4.50	2.63	0.16	1.45				
76	2.80	1.37	-0.33	0.47				
77	3.50	1.45	-0.16	0.69				
78	3.00	1.67	-0.23	0.59				
79	2.00	1.11	-0.61	0.24				
80	7.30	2.61	0.49	3.10				
81	4.20	1.45	-0.04	0.92				
82	3.50	1.90	-0.09	0.81				
83	3.50	1.65	-0.13	0.74				
84	4.70	1.91	0.11	1.29				
85	5.20	1.80	0.17	1.46				
86	4.40	1.94	0.07	1.17				
87	4.00	2.40	0.06	1.14				
88	3.80	1.73	-0.06	0.87				
89	7.50	2.96	0.54	3.48				
90	3.30	2.20	-0.10	0.80				
91	3.20	2.15	-0.12	0.75				
92	3.80	2.20	0.00	1.00				
93	3.70	2.23	-0.01	0.97				
94	4.20	2.15	0.06	1.16				
95	3.50	2.32	-0.04	0.91				
96	8.30	2.00	0.51	3.25				
97	5.50	2.54	0.29	1.95				
98	4.30	1.75	0.03	1.07				
99	3.70	1.98	-0.04	0.90				
100	6.60	2.25	0.38	2.43				
101	4.00	2.14	0.03	1.07				
102	3.80	2.20	0.00	1.00				
103	5.20	1.97	0.19	1.54				
104	4.30	1.90	0.05	1.12				
105	3.50	1.84	-0.10	0.79				
106	4.30	2.00	0.06	1.15				
107	4.20	2.19	0.07	1.17				
108	5.40	2.23	0.25	1.76				
109	4.70	2.50	0.18	1.51				

	110	3.60	2.17	-0.04	0.91				
	111	3.40	2.38	-0.06	0.88				
UM3	1	1.00	0.70	-1.20	0.06	203.62	101.81	2.55	
	2	0.60	0.50	-1.64	0.02				
	3	1.50	0.82	-0.89	0.13				
	4	0.70	0.63	-1.47	0.03				
	5	10.50	4.10	0.85	7.15				
	6	8.30	2.10	0.52	3.35				
	7	1.00	0.60	-1.24	0.06				
	8	7.30	2.00	0.42	2.66				
	9	2.60	1.90	-0.30	0.51				
	10	12.40	2.20	0.81	6.48				
	11	9.70	2.83	0.71	5.09				
	12	1.20	0.77	-1.05	0.09				
	13	12.50	3.30	0.92	8.30				
	14	4.10	2.86	0.12	1.32				
	15	11.80	2.94	0.85	7.09				
	16	13.60	2.80	0.94	8.62				
	17	8.50	2.45	0.58	3.80				
	18	1.40	1.79	-0.74	0.18				
	19	7.90	1.73	0.44	2.77				
	20	10.10	1.88	0.63	4.28				
	21	6.30	3.04	0.43	2.68				
	22	9.90	3.78	0.79	6.22				
	23	7.20	2.18	0.44	2.73				
	24	10.40	3.35	0.80	6.27				
	25	9.50	2.84	0.69	4.93				
	26	7.80	3.22	0.59	3.89				
	27	7.20	2.51	0.47	2.97				
	28	5.60	2.13	0.26	1.81				
	29	6.60	2.90	0.45	2.81				
	30	7.20	2.70	0.49	3.09				
	31	4.80	3.10	0.25	1.77				
	32	9.70	3.95	0.79	6.18				
	33	4.70	2.55	0.18	1.53				
	34	11.30	4.20	0.91	8.14				

	35	6.90	2.52	0.44	2.78				
	36	6.40	2.23	0.36	2.30				
	37	5.80	2.76	0.35	2.23				
	38	4.70	2.60	0.19	1.54				
	39	3.10	2.45	-0.11	0.77				
	40	3.40	1.76	-0.13	0.74				
	41	6.20	2.33	0.35	2.24				
	42	3.90	2.50	0.05	1.12				
	43	12.30	2.21	0.81	6.41				
	44	1.20	1.12	-0.96	0.11				
	45	10.70	3.75	0.84	7.00				
	46	9.60	3.47	0.75	5.64				
	47	5.60	4.90	0.47	2.94				
	48	7.00	2.52	0.45	2.84				
	49	15.30	2.46	0.98	9.63				
	50	6.70	3.48	0.51	3.20				
	51	11.30	2.56	0.79	6.11				
	52	6.60	1.70	0.31	2.06				
	53	8.10	3.03	0.60	3.98				
	54	4.50	2.83	0.18	1.51				
	55	3.90	2.07	0.00	1.01				
	56	12.30	3.88	0.95	8.89				
	57	2.80	1.50	-0.31	0.50				
	58	9.70	4.00	0.79	6.22				
	59	7.50	2.50	0.50	3.16				
	60	5.10	2.43	0.23	1.69				

Anexo 14. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo comercial (SPC).

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	H	Ecuación Log10Biomasa= - 1.113+1.578*Log10(DN)+0.581*log10(H)	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
UM1	1	0.50	0.60	-1.72	0.02	6.68	3.34	0.08	0.51
	2	0.60	0.56	-1.61	0.02				
	3	0.50	0.51	-1.76	0.02				
	4	1.00	0.52	-1.28	0.05				
	5	0.60	0.48	-1.65	0.02				
	6	2.50	1.34	-0.41	0.39				
	7	1.20	1.00	-0.99	0.10				
	8	0.40	0.48	-1.93	0.01				
	9	0.40	0.45	-1.94	0.01				
	10	0.80	0.68	-1.36	0.04				
	11	0.40	0.50	-1.92	0.01				
	12	2.00	1.71	-0.50	0.31				
	13	2.70	1.75	-0.29	0.51				
	14	0.30	1.46	-1.84	0.01				
	15	0.50	0.67	-1.69	0.02				
	16	0.60	0.57	-1.60	0.02				
	17	0.50	0.50	-1.76	0.02				
	18	0.70	0.85	-1.40	0.04				
	19	1.20	0.80	-1.04	0.09				
	20	0.80	0.64	-1.38	0.04				
	21	0.50	0.52	-1.75	0.02				
	22	0.90	0.73	-1.26	0.05				
	23	0.30	0.52	-2.10	0.01				
	24	1.20	0.57	-1.13	0.07				
	25	3.60	1.15	-0.20	0.63				
	26	0.50	0.54	-1.74	0.02				

	27	0.70	0.63	-1.47	0.03				
	28	1.70	1.04	-0.74	0.18				
	29	2.00	6.70	-0.16	0.69				
	30	1.80	0.91	-0.73	0.18				
	31	0.40	0.40	-1.97	0.01				
	32	4.30	1.76	0.03	1.07				
	33	1.00	0.78	-1.18	0.07				
	34	1.10	0.89	-1.08	0.08				
	35	1.00	0.74	-1.19	0.06				
	36	0.40	0.50	-1.92	0.01				
	37	1.30	0.70	-1.02	0.09				
	38	0.90	0.71	-1.27	0.05				
	39	0.40	0.48	-1.93	0.01				
	40	1.00	0.53	-1.27	0.05				
	41	0.50	0.55	-1.74	0.02				
	42	1.40	0.94	-0.90	0.13				
	43	6.60	0.64	0.07	1.17				
	44	1.00	0.60	-1.24	0.06				
	45	1.20	0.55	-1.14	0.07				
	46	0.70	0.63	-1.47	0.03				
UM2	1	2.10	0.90	-0.63	0.23	38.98	19.49	0.49	
	2	0.60	0.45	-1.66	0.02				
	3	0.50	0.53	-1.75	0.02				
	4	1.00	0.92	-1.13	0.07				
	5	1.10	0.77	-1.11	0.08				
	6	0.50	0.56	-1.73	0.02				
	7	1.20	0.57	-1.13	0.07				
	8	0.40	0.50	-1.92	0.01				
	9	1.50	1.04	-0.83	0.15				
	10	0.60	0.63	-1.58	0.03				
	11	0.90	0.40	-1.42	0.04				
	12	0.30	0.52	-2.10	0.01				
	13	2.00	1.09	-0.62	0.24				
	14	1.00	0.39	-1.35	0.04				
	15	1.00	0.92	-1.13	0.07				
	16	0.80	0.42	-1.48	0.03				
	17	1.50	0.69	-0.93	0.12				

18	2.00	0.95	-0.65	0.22				
19	0.30	0.58	-2.08	0.01				
20	0.50	0.54	-1.74	0.02				
21	0.80	0.62	-1.39	0.04				
22	2.20	0.83	-0.62	0.24				
23	1.90	0.74	-0.75	0.18				
24	0.40	0.55	-1.89	0.01				
25	0.30	0.50	-2.11	0.01				
26	0.30	0.42	-2.16	0.01				
27	1.50	4.10	-0.48	0.33				
28	9.30	2.82	0.68	4.75				
29	5.50	2.00	0.23	1.70				
30	0.50	0.48	-1.77	0.02				
31	1.10	0.71	-1.13	0.07				
32	0.60	0.42	-1.68	0.02				
33	0.70	0.45	-1.56	0.03				
34	0.30	0.55	-2.09	0.01				
35	4.20	1.39	-0.05	0.90				
36	0.40	0.49	-1.92	0.01				
37	9.50	2.20	0.63	4.25				
38	6.20	1.99	0.31	2.05				
39	0.50	0.60	-1.72	0.02				
40	0.50	0.97	-1.60	0.03				
41	1.60	0.66	-0.90	0.13				
42	2.30	1.20	-0.50	0.32				
43	0.40	0.48	-1.93	0.01				
44	5.50	1.32	0.13	1.33				
45	1.10	1.88	-0.89	0.13				
46	1.50	1.76	-0.69	0.20				
47	1.00	1.98	-0.94	0.11				
48	0.40	1.63	-1.62	0.02				
49	3.00	3.45	-0.05	0.90				
50	0.40	0.51	-1.91	0.01				
51	0.30	0.52	-2.10	0.01				
52	11.20	3.20	0.84	6.86				
53	0.50	0.58	-1.73	0.02				
54	7.30	2.15	0.44	2.77				

	55	4.00	0.60	-0.29	0.51				
	56	3.00	1.65	-0.23	0.58				
	57	1.00	1.10	-1.09	0.08				
	58	2.00	1.30	-0.57	0.27				
	59	8.00	2.19	0.51	3.23				
	60	1.00	0.75	-1.19	0.07				
	61	0.40	0.52	-1.91	0.01				
	62	5.70	2.00	0.25	1.80				
	63	0.30	0.40	-2.17	0.01				
	64	4.50	1.88	0.08	1.19				
	65	1.70	1.86	-0.59	0.26				
	66	2.70	1.05	-0.42	0.38				
	67	0.40	0.60	-1.87	0.01				
	68	1.30	0.62	-1.05	0.09				
	69	5.30	1.61	0.15	1.41				
	70	1.00	0.72	-1.20	0.06				
UM3	1	2.20	1.18	-0.53	0.29	77.11	38.55	0.96	
	2	1.50	0.89	-0.86	0.14				
	3	2.00	1.00	-0.64	0.23				
	4	8.40	2.22	0.55	3.52				
	5	9.40	1.74	0.56	3.65				
	6	1.00	0.93	-1.13	0.07				
	7	0.70	0.52	-1.52	0.03				
	8	10.70	2.63	0.76	5.69				
	9	7.30	2.75	0.50	3.20				
	10	5.30	1.94	0.20	1.57				
	11	0.90	0.73	-1.26	0.05				
	12	8.20	1.90	0.49	3.10				
	13	7.10	3.50	0.55	3.52				
	14	2.90	2.90	-0.11	0.77				
	15	5.50	2.30	0.27	1.84				
	16	1.10	0.90	-1.07	0.08				
	17	5.60	3.00	0.34	2.21				
	18	8.20	3.70	0.66	4.56				
	19	3.00	1.78	-0.21	0.61				
	20	11.40	2.80	0.81	6.53				
	21	3.30	1.37	-0.22	0.61				

22	1.20	0.95	-1.00	0.10				
23	1.70	0.98	-0.75	0.18				
24	2.00	1.18	-0.60	0.25				
25	1.50	1.00	-0.84	0.15				
26	1.90	1.05	-0.66	0.22				
27	1.00	0.70	-1.20	0.06				
28	1.80	0.75	-0.78	0.16				
29	2.00	1.06	-0.62	0.24				
30	7.30	3.30	0.55	3.55				
31	2.00	1.10	-0.61	0.24				
32	3.00	1.20	-0.31	0.49				
33	11.00	2.80	0.79	6.17				
34	1.50	1.12	-0.81	0.16				
35	1.00	0.67	-1.21	0.06				
36	12.30	2.44	0.83	6.79				
37	2.00	1.25	-0.58	0.26				
38	1.20	0.95	-1.00	0.10				
39	1.00	1.10	-1.09	0.08				
40	0.90	0.55	-1.34	0.05				
41	1.10	0.87	-1.08	0.08				
42	5.00	2.41	0.21	1.63				
43	6.40	3.15	0.45	2.81				
44	1.20	0.90	-1.01	0.10				
45	1.50	1.07	-0.82	0.15				
46	1.40	1.19	-0.84	0.15				
47	4.00	2.31	0.05	1.12				
48	2.00	1.30	-0.57	0.27				
49	0.60	1.11	-1.44	0.04				
50	1.20	0.85	-1.03	0.09				
51	1.00	0.92	-1.13	0.07				
52	1.50	0.90	-0.86	0.14				
53	7.00	2.83	0.48	3.04				
54	7.50	2.30	0.48	3.01				
55	2.20	0.90	-0.60	0.25				
56	2.25	0.77	-0.62	0.24				
57	1.00	0.92	-1.13	0.07				
58	5.50	3.10	0.34	2.19				

	59	1.00	0.94	-1.13	0.07				
--	----	------	------	-------	------	--	--	--	--

Anexo 15. Biomasa de arbustos estimada por ecuación alométrica en sistema policultivo a pleno sol (SPS).

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	H	Ecuación Log10Biomasa= - 1.113+1.578*Log10(DN)+0.581*log10(H)	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
UM1	1	9.00	3.25	0.69	4.90	555.74	277.87	6.95	4.50
	2	7.50	2.00	0.44	2.77				
	3	8.80	2.80	0.64	4.34				
	4	7.70	2.70	0.54	3.44				
	5	9.20	2.95	0.68	4.80				
	6	10.10	2.75	0.73	5.33				
	7	10.30	3.18	0.78	5.99				
	8	9.00	2.90	0.66	4.59				
	9	9.80	3.00	0.73	5.35				
	10	10.40	2.73	0.75	5.56				
	11	10.40	3.15	0.78	6.05				
	12	11.50	3.00	0.84	6.89				
	13	5.20	1.41	0.10	1.27				
	14	10.00	2.64	0.71	5.13				
	15	7.30	1.60	0.37	2.33				
	16	6.90	1.82	0.36	2.30				
	17	8.40	1.91	0.51	3.23				
	18	3.20	2.50	-0.08	0.82				
	19	8.00	2.70	0.56	3.65				
	20	11.50	2.85	0.83	6.68				
	21	7.60	3.10	0.56	3.65				
	22	9.30	2.67	0.66	4.60				
	23	8.20	1.48	0.43	2.68				

	24	7.80	2.40	0.52	3.28				
	25	11.70	2.90	0.84	6.94				
	26	7.20	2.83	0.50	3.18				
	27	13.20	2.93	0.93	8.44				
	28	4.20	2.30	0.08	1.20				
	29	6.10	1.99	0.30	1.99				
	30	6.30	2.90	0.42	2.61				
	31	7.00	2.65	0.47	2.93				
	32	5.20	1.61	0.14	1.37				
	33	7.70	1.84	0.44	2.75				
	34	8.10	2.62	0.56	3.66				
	35	7.20	2.20	0.44	2.75				
	36	6.80	2.37	0.42	2.62				
	37	3.30	1.11	-0.27	0.54				
	38	8.20	3.00	0.61	4.04				
	39	6.20	1.90	0.30	1.99				
	40	8.40	2.78	0.60	4.01				
	41	3.20	2.50	-0.08	0.82				
	42	11.30	2.00	0.72	5.29				
	43	7.20	2.83	0.50	3.18				
	44	6.20	1.82	0.29	1.94				
	45	10.60	2.40	0.73	5.32				
	46	8.10	2.28	0.53	3.38				
	47	10.30	1.87	0.64	4.40				
	48	12.20	1.90	0.76	5.80				
	49	9.40	2.32	0.63	4.31				
	50	10.70	1.83	0.66	4.61				
	51	4.00	1.72	-0.03	0.94				
	52	11.20	2.30	0.75	5.66				
	53	4.30	1.21	-0.07	0.86				
	54	5.60	1.50	0.17	1.48				
	55	4.30	2.00	0.06	1.15				
	56	13.20	3.10	0.94	8.72				
	57	9.90	1.90	0.62	4.17				
	58	4.10	1.45	-0.05	0.89				
	59	6.80	2.25	0.41	2.54				
	60	7.80	1.99	0.47	2.94				

61	4.50	1.30	-0.02	0.96				
62	10.30	1.77	0.63	4.26				
63	8.30	2.74	0.59	3.91				
64	6.50	2.27	0.38	2.38				
65	6.50	2.00	0.34	2.21				
66	5.70	1.75	0.22	1.66				
67	13.70	2.50	0.91	8.16				
68	12.20	2.20	0.80	6.31				
69	4.40	2.25	0.11	1.28				
70	13.70	1.90	0.84	6.96				
71	8.60	1.86	0.52	3.30				
72	10.30	2.74	0.74	5.49				
73	12.60	2.56	0.86	7.25				
74	7.70	2.20	0.48	3.05				
75	3.00	1.35	-0.28	0.52				
76	6.90	2.28	0.42	2.62				
77	10.40	1.56	0.60	4.02				
78	5.30	1.20	0.08	1.19				
79	6.60	1.70	0.31	2.06				
80	5.50	1.60	0.17	1.49				
81	5.80	1.69	0.22	1.68				
82	6.30	1.64	0.27	1.88				
83	4.80	1.80	0.11	1.29				
84	5.60	2.00	0.24	1.75				
85	9.20	3.00	0.69	4.84				
86	6.40	1.90	0.32	2.09				
87	5.20	2.80	0.28	1.89				
88	9.80	1.94	0.62	4.15				
89	4.30	2.50	0.12	1.31				
90	12.30	2.48	0.84	6.86				
91	14.80	2.25	0.94	8.68				
92	6.20	1.71	0.27	1.87				
93	4.30	2.75	0.14	1.39				
94	3.50	1.25	-0.20	0.63				
95	7.30	3.18	0.54	3.48				
96	3.50	1.38	-0.17	0.67				
97	7.80	1.80	0.44	2.77				

98	11.20	1.79	0.69	4.89				
99	4.60	1.00	-0.07	0.86				
100	6.30	1.58	0.26	1.84				
101	7.20	2.05	0.42	2.64				
102	6.40	2.22	0.36	2.29				
103	4.80	1.50	0.06	1.16				
104	7.30	1.30	0.32	2.07				
105	6.60	2.25	0.38	2.43				
106	7.10	2.39	0.45	2.82				
107	6.80	2.57	0.44	2.75				
108	7.70	2.62	0.53	3.38				
109	6.30	1.61	0.27	1.86				
110	9.30	2.25	0.62	4.17				
111	9.60	1.90	0.60	3.97				
112	8.40	2.45	0.57	3.73				
113	8.00	2.63	0.56	3.60				
114	6.80	3.43	0.51	3.25				
115	8.80	3.35	0.68	4.81				
116	10.30	3.20	0.78	6.01				
117	3.80	1.70	-0.06	0.86				
118	7.10	2.16	0.42	2.66				
119	4.60	2.95	0.21	1.61				
120	9.10	3.00	0.68	4.76				
121	8.10	3.53	0.64	4.35				
122	5.20	3.24	0.31	2.06				
123	7.20	2.97	0.51	3.27				
124	5.30	2.80	0.29	1.95				
125	8.10	3.15	0.61	4.07				
126	7.60	2.79	0.54	3.43				
127	4.90	2.64	0.22	1.66				
128	8.20	3.00	0.61	4.04				
129	10.30	2.85	0.75	5.62				
130	8.30	2.49	0.57	3.69				
131	9.80	1.50	0.55	3.58				
132	9.20	3.19	0.70	5.02				
133	5.20	3.30	0.32	2.08				
134	3.60	1.65	-0.11	0.78				

135	7.70	3.34	0.59	3.89				
136	2.90	1.47	-0.29	0.52				
137	6.70	3.20	0.48	3.05				
138	9.80	1.30	0.52	3.29				
139	4.80	3.29	0.26	1.83				
140	3.40	1.38	-0.19	0.64				
141	3.50	1.50	-0.15	0.70				
142	4.80	1.57	0.08	1.19				
143	5.50	3.00	0.33	2.15				
144	6.30	2.95	0.42	2.64				
145	13.80	3.60	1.01	10.21				
146	7.40	1.90	0.42	2.63				
147	6.00	1.48	0.21	1.64				
148	7.90	2.73	0.56	3.60				
149	7.10	2.72	0.48	3.04				
150	3.30	1.40	-0.21	0.62				
151	6.50	2.57	0.41	2.56				
152	6.40	3.17	0.45	2.82				
153	10.20	1.91	0.64	4.38				
154	6.20	2.28	0.35	2.21				
155	2.00	1.00	-0.64	0.23				
156	3.90	1.75	-0.04	0.91				
157	7.00	2.51	0.45	2.84				
158	7.50	2.43	0.49	3.10				
159	3.20	1.93	-0.15	0.71				
160	6.80	2.43	0.42	2.66				
161	3.60	2.10	-0.05	0.90				
162	6.10	2.70	0.38	2.38				
163	5.80	2.98	0.37	2.33				
164	10.00	2.77	0.72	5.27				
165	5.00	2.14	0.18	1.52				
166	1.80	0.78	-0.77	0.17				
167	4.30	2.89	0.15	1.43				
168	3.90	3.27	0.12	1.31				
169	1.80	2.29	-0.50	0.32				
170	4.40	2.60	0.14	1.39				
171	12.50	2.67	0.87	7.34				

	172	5.50	3.10	0.34	2.19				
	173	9.30	2.65	0.66	4.58				
	174	4.20	3.00	0.15	1.41				
	175	1.00	0.67	-1.21	0.06				
	176	6.60	2.39	0.40	2.51				
	177	9.00	2.30	0.60	4.01				
	178	7.00	3.00	0.50	3.15				
UM2	1	6.80	1.62	0.32	2.10	333.91	166.95	4.17	
	2	8.70	1.76	0.51	3.25				
	3	3.90	1.53	-0.07	0.85				
	4	2.50	0.90	-0.51	0.31				
	5	4.60	1.79	0.08	1.20				
	6	6.20	3.15	0.43	2.67				
	7	9.20	2.57	0.65	4.43				
	8	3.30	1.32	-0.22	0.60				
	9	8.20	2.44	0.55	3.58				
	10	10.60	2.60	0.75	5.57				
	11	7.30	2.22	0.45	2.82				
	12	4.90	2.43	0.20	1.59				
	13	10.80	2.65	0.76	5.80				
	14	8.30	2.50	0.57	3.70				
	15	3.80	2.70	0.05	1.13				
	16	7.70	1.93	0.45	2.83				
	17	5.30	2.13	0.22	1.66				
	18	8.10	3.10	0.61	4.04				
	19	10.50	2.64	0.74	5.54				
	20	6.90	1.73	0.35	2.23				
	21	18.30	2.67	1.13	13.40				
	22	15.10	2.20	0.95	8.84				
	23	8.40	2.68	0.59	3.93				
	24	5.70	1.93	0.25	1.76				
	25	6.50	1.60	0.29	1.94				
	26	7.40	1.90	0.42	2.63				
	27	6.40	2.23	0.36	2.30				
	28	5.80	1.77	0.24	1.72				
	29	3.90	2.45	0.05	1.11				

	30	5.70	1.91	0.24	1.75				
	31	11.50	3.40	0.87	7.41				
	32	7.10	3.00	0.51	3.22				
	33	7.30	2.80	0.51	3.23				
	34	5.40	1.30	0.11	1.29				
	35	6.30	1.87	0.31	2.02				
	36	6.60	2.35	0.40	2.49				
	37	5.30	2.30	0.24	1.74				
	38	5.70	3.17	0.37	2.35				
	39	7.10	2.46	0.46	2.87				
	40	4.00	2.60	0.08	1.20				
	41	9.60	2.58	0.68	4.74				
	42	4.70	3.00	0.22	1.68				
	43	10.60	3.58	0.83	6.71				
	44	11.70	3.45	0.89	7.67				
	45	3.60	2.54	0.00	1.00				
	46	4.40	2.05	0.08	1.21				
	47	12.60	3.00	0.90	7.95				
	48	3.00	1.70	-0.23	0.59				
	49	6.20	2.87	0.40	2.53				
	50	3.00	2.73	-0.11	0.78				
	51	9.90	3.70	0.79	6.14				
	52	9.10	3.18	0.69	4.92				
	53	7.60	1.95	0.45	2.79				
	54	9.80	3.13	0.74	5.48				
	55	2.00	1.62	-0.52	0.30				
	56	3.70	2.30	-0.01	0.99				
	57	8.00	2.80	0.57	3.73				
	58	16.60	3.19	1.11	12.74				
	59	2.20	2.11	-0.38	0.41				
	60	15.60	2.65	1.02	10.37				
	61	4.60	2.17	0.13	1.34				
	62	2.90	2.29	-0.17	0.67				
	63	5.00	2.40	0.21	1.63				
	64	8.30	3.00	0.61	4.12				
	65	5.90	1.60	0.22	1.67				
	66	5.00	2.30	0.20	1.59				

67	8.20	2.75	0.58	3.84				
68	6.40	2.63	0.40	2.53				
69	4.00	1.53	-0.06	0.88				
70	8.80	3.00	0.65	4.51				
71	2.80	1.38	-0.33	0.47				
72	1.90	1.27	-0.61	0.24				
73	3.10	1.66	-0.21	0.62				
74	4.20	2.50	0.10	1.26				
75	1.50	1.44	-0.74	0.18				
76	1.10	0.90	-1.07	0.08				
77	6.80	2.49	0.43	2.70				
78	1.50	1.22	-0.78	0.16				
79	3.70	2.30	-0.01	0.99				
80	5.60	2.48	0.30	1.98				
81	2.80	1.87	-0.25	0.56				
82	10.30	2.17	0.68	4.79				
83	7.90	3.00	0.58	3.81				
84	5.30	1.95	0.20	1.58				
85	6.20	2.16	0.33	2.15				
86	8.30	2.61	0.58	3.80				
87	2.80	2.30	-0.20	0.64				
88	4.20	2.15	0.06	1.16				
89	8.10	2.54	0.56	3.60				
90	5.00	2.33	0.20	1.60				
91	6.60	2.53	0.41	2.60				
92	6.30	2.33	0.36	2.30				
93	4.30	2.14	0.08	1.20				
94	8.50	2.53	0.59	3.87				
95	5.30	1.56	0.14	1.39				
96	7.00	2.65	0.47	2.93				
97	6.30	2.42	0.37	2.35				
98	3.90	2.12	0.01	1.02				
99	2.90	2.09	-0.20	0.63				
100	2.90	2.65	-0.14	0.73				
101	9.20	2.58	0.65	4.44				
102	2.00	1.61	-0.52	0.30				
103	5.50	2.32	0.27	1.85				

	104	5.20	2.56	0.25	1.79				
	105	4.80	2.38	0.18	1.52				
	106	3.10	2.47	-0.11	0.78				
	107	6.00	2.22	0.32	2.07				
	108	10.60	2.80	0.76	5.82				
	109	6.80	2.76	0.46	2.86				
	110	3.50	1.31	-0.19	0.65				
	111	6.00	2.60	0.36	2.27				
	112	4.60	2.21	0.13	1.36				
	113	9.40	2.90	0.69	4.91				
	114	1.50	1.57	-0.72	0.19				
	115	4.90	2.72	0.23	1.69				
	116	3.00	2.77	-0.10	0.79				
	117	0.50	2.80	-1.33	0.05				
	118	4.40	2.78	0.16	1.45				
	119	8.60	2.83	0.62	4.21				
	120	6.20	2.51	0.37	2.34				
	121	5.90	2.63	0.35	2.23				
	122	7.20	2.31	0.45	2.83				
	123	6.80	2.67	0.45	2.81				
	124	4.70	1.88	0.11	1.28				
	125	5.70	1.55	0.19	1.55				
	126	2.30	1.15	-0.51	0.31				
UM3	1	8.20	1.95	0.50	3.14	189.57	94.79	2.37	
	2	2.00	0.80	-0.69	0.20				
	3	2.80	1.36	-0.33	0.47				
	4	6.60	1.75	0.32	2.10				
	5	3.70	1.90	-0.05	0.88				
	6	1.00	1.32	-1.04	0.09				
	7	8.30	1.97	0.51	3.22				
	8	5.10	2.40	0.22	1.68				
	9	5.80	2.90	0.36	2.29				
	10	8.40	2.83	0.61	4.06				
	11	9.20	2.73	0.66	4.58				
	12	7.30	2.70	0.50	3.16				
	13	3.90	1.88	-0.02	0.95				
	14	3.40	1.34	-0.20	0.63				

15	3.30	2.05	-0.11	0.77				
16	4.60	1.42	0.02	1.05				
17	6.50	2.47	0.40	2.50				
18	10.40	2.91	0.76	5.77				
19	1.80	1.32	-0.64	0.23				
20	0.50	0.79	-1.65	0.02				
21	1.00	0.74	-1.19	0.06				
22	7.40	2.66	0.51	3.20				
23	2.20	2.25	-0.37	0.43				
24	3.70	1.48	-0.12	0.76				
25	10.50	3.05	0.78	6.02				
26	3.80	2.17	0.00	0.99				
27	5.20	2.20	0.22	1.64				
28	4.30	1.33	-0.04	0.91				
29	6.20	2.24	0.34	2.19				
30	4.40	2.33	0.12	1.31				
31	6.00	1.51	0.22	1.66				
32	5.60	2.28	0.28	1.89				
33	3.00	1.40	-0.28	0.53				
34	5.10	2.46	0.23	1.70				
35	4.90	2.11	0.16	1.46				
36	7.60	2.42	0.50	3.16				
37	1.50	1.36	-0.76	0.17				
38	1.30	1.01	-0.93	0.12				
39	5.30	2.05	0.21	1.63				
40	1.00	0.78	-1.18	0.07				
41	9.80	3.19	0.74	5.54				
42	3.20	1.98	-0.14	0.72				
43	7.50	1.75	0.41	2.56				
44	10.80	1.95	0.69	4.86				
45	1.70	1.22	-0.70	0.20				
46	10.10	2.40	0.69	4.93				
47	2.90	1.72	-0.25	0.57				
48	9.80	1.53	0.56	3.62				
49	3.10	2.44	-0.11	0.77				
50	3.00	2.20	-0.16	0.69				
51	8.90	2.10	0.57	3.74				

52	2.50	2.14	-0.29	0.51				
53	2.60	1.72	-0.32	0.48				
54	4.40	1.48	0.00	1.00				
55	4.30	2.18	0.08	1.21				
56	5.20	2.27	0.22	1.67				
57	4.60	2.00	0.11	1.28				
58	7.30	2.98	0.52	3.35				
59	1.00	1.34	-1.04	0.09				
60	3.80	1.64	-0.07	0.84				
61	8.60	2.70	0.61	4.10				
62	2.50	1.27	-0.42	0.38				
63	3.20	1.40	-0.23	0.59				
64	8.20	3.00	0.61	4.04				
65	1.80	1.14	-0.68	0.21				
66	3.20	2.15	-0.12	0.75				
67	4.10	1.68	-0.02	0.97				
68	5.00	2.00	0.16	1.46				
69	9.30	2.10	0.60	4.00				
70	4.40	2.80	0.16	1.45				
71	4.70	3.10	0.23	1.71				
72	5.70	2.93	0.35	2.24				
73	4.60	2.23	0.14	1.37				
74	11.60	3.00	0.84	6.98				
75	6.50	2.87	0.44	2.73				
76	1.00	1.52	-1.01	0.10				
77	2.60	1.81	-0.31	0.49				
78	4.20	2.65	0.12	1.31				
79	1.60	1.18	-0.75	0.18				
80	6.00	2.90	0.38	2.42				
81	8.50	2.62	0.60	3.95				
82	3.60	2.10	-0.05	0.90				
83	11.40	2.56	0.79	6.19				
84	5.00	3.00	0.27	1.85				
85	4.20	2.60	0.11	1.29				
86	9.30	1.92	0.58	3.80				
87	1.00	1.00	-1.11	0.08				
88	6.80	2.30	0.41	2.58				

89	0.70	0.95	-1.37	0.04				
90	2.00	1.76	-0.50	0.32				
91	5.60	2.55	0.30	2.01				
92	2.80	2.76	-0.15	0.71				
93	6.50	2.70	0.42	2.63				
94	3.20	2.42	-0.09	0.81				
95	5.40	3.00	0.32	2.09				
96	1.50	1.30	-0.77	0.17				
97	5.80	2.63	0.34	2.17				
98	2.80	1.20	-0.36	0.44				
99	6.80	2.63	0.44	2.78				
100	3.00	1.50	-0.26	0.55				
101	6.90	1.81	0.36	2.29				
102	7.20	2.56	0.48	3.00				
103	4.00	1.62	-0.04	0.91				
104	1.80	1.45	-0.62	0.24				
105	2.30	1.80	-0.39	0.40				
106	4.20	1.77	0.01	1.03				
107	6.80	2.22	0.40	2.52				

Biomasa y contenido promedio de carbono en troncos caídos.

Anexo 16. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema bosque de niebla (SBN)

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
			Ecuación $Y = \exp(-2.289 + 2.649 \ln(DN) - 0.021(\ln(DN))^2)$				
	1	12.6	50.97	1.121.51	560.75	14.02	5.80
	2	33.5	600.32				

UM1	3 4 5	25.6 15.6 14.8	305.87 87.65 76.70			
UM2	1	12.9	54.11	54.11	27.06	0.68
UM3	1 2 3 4 5	12.40 13.20 7.00 2.40 16.30	48.94 57.37 11.35 0.71 97.96	216.33	108.16	2.70

Anexo 17. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema policultivo tradicional (SPT)

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
			Ecuación $Y = \exp(-2.289 + 2.649 \ln(DN) - 0.021(\ln(DN))^2)$				
UM1	1	12.9	30.20	30.20	15.10	0.38	00.70
UM2	1 2	13.00 22.8	30.72 107.10	137.82	68.91	1.72	

UM3	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
-----	---	------	------	------	------	------	--

Anexo 18. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema policultivo comercial (SPC)

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
			Ecuación $Y = \exp(-2.289 + 2.649 \ln(DN) - 0.021(\ln(DN))^2)$				
UM1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
UM2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
UM3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Anexo 19. Biomasa estimada de troncos caídos por ecuación alométrica en sistema pleno sol (SPS)

Unidad de Muestreo	Orden de árbol	DN	Biomasa kg ind ⁻¹	Biomasa kg/400m ²	Carbono kg/ 400m ²	Carbono Mg C ha ⁻¹	Contenido de carbono promedio Mg C ha ⁻¹
			Ecuación Y=exp(-2.289+2.649LN(DN)-0.021(LN(DN))2)				
UM1		47	676.63	676.63	338.31	2.82	0.94
UM2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
UM3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Biomasa y contenido promedio de carbono en estratos herbáceos.

Anexo 20. Biomasa estimada de estrato herbáceo en los diferentes sistemas.

Sistema - Unidad de muestreo	Peso fresco total gramos	Peso fresco submuestra gramos	Peso seco Submuestra gramos	Contenido de humedad	Biomasa en gramos	Carbono obtenido por el TOC %	Carbono en Mg C ha ⁻¹	Carbono promedio en Mg C ha ⁻¹
SPT								
UM1	886.00	149.00	18.53	0.88	110.19	41.12	0.11	0.08
UM2	356.00	154.00	20.34	0.87	47.02	42.62	0.05	
UM3	440.00	151.00	24.59	0.84	71.65	42.05	0.08	
SPS								
UM1	151.00	151.00	14.24	0.91	14.24	40.35	0.01	0.04
UM2	137.00	137.00	14.76	0.89	16.27	41.90	0.02	
UM3	1,046.00	162.00	14.87	0.91	96.01	40.05	0.10	
SPC								
UM1	1,686.00	162.00	25.17	0.84	261.95	41.19	0.27	0.13
UM2	1,727.00	160.00	18.21	0.89	18.44	41.10	0.02	
UM3	807.00	156.00	21.27	0.86	110.03	41.20	0.11	

Biomasa y contenido promedio de carbono en estratos hojarasca.

Anexo 21 Biomasa estimada de estrato herbáceo en los diferentes sistemas.

Sistema - Unidad de muestreo	Peso fresco total gramos	Peso fresco submuestra gramos	Peso seco Submuestra gramos	Contenido de humedad	Biomasa en gramos	Carbono obtenido por el TOC %	Carbono en Mg C ha ⁻¹	Carbono promedio en Mg C ha ⁻¹
SBN								
UM1	1,045.00	114.00	39.49	0.65	361.99	46.49	5.43	5.13
UM2	1,071.00	113.00	38.97	0.66	369.35	44.28	5.28	
UM3	837.00	114.00	45.14	0.60	331.42	43.84	4.69	
SPT								
UM1	276.00	112.00	60.47	0.46	149.02	44.77	2.15	2.52
UM2	217.00	104.00	52.28	0.50	109.08	45.75	1.61	
UM3	598.00	109.00	49.40	0.55	271.02	43.60	3.81	
SPS								
UM1	211.00	108.00	43.70	0.60	85.38	36.68	1.01	0.96
UM2	241.00	103.00	61.86	0.40	144.74	33.40	1.56	
UM3	75.00	75.00	25.54	0.66	25.54	36.50	0.30	
SPC								
UM1	52.00	52.00	25.63	0.51	25.63	45.26	0.37	0.57
UM2	68.00	68.00	32.01	0.53	32.01	45.66	0.47	
UM3	146.00	101.00	43.82	0.57	63.34	42.60	0.87	

Anexo 22. Contenido de carbono orgánico en el suelo

Sistema-Unidad de muestreo	Profundidad (cm)	Densidad Aparente (Dap) g/cm ³	Carbono obtenido por el TOC %	Carbono en el suelo Mg C ha ⁻¹
SBN				
UM1	0-10	0.47	14.27	66.89
UM1	0-10	0.48	13.66	65.69
UM1	0-10	0.56	13.90	78.06
UM2	10-20	0.47	12.23	57.33
UM2	10-20	0.48	9.04	43.48
UM2	10-20	0.56	8.81	49.49
UM3	20-30	0.47	6.91	32.38
UM3	20-20	0.48	6.27	30.14
UM3	20-30	0.56	6.97	39.13
SPT				
UM1	0-10	0.76	7.59	58.06
UM1	0-10	0.52	10.36	53.80
UM1	0-10	0.50	12.10	60.21
UM2	10-20	0.76	5.89	45.02
UM2	10-20	0.52	8.54	44.37
UM2	10-20	0.50	10.53	52.40
UM3	20-30	0.76	4.93	37.69
UM3	20-20	0.52	7.20	37.40
UM3	20-30	0.50	8.93	44.44

SPS				
UM1	0-10	0.93	4.15	38.52
UM1	0-10	0.84	5.14	43.44
UM1	0-10	0.85	3.61	30.65
UM2	10-20	0.93	3.02	28.04
UM2	10-20	0.84	3.68	31.06
UM2	10-20	0.85	3.31	28.09
UM3	20-30	0.93	2.26	20.99
UM3	20-20	0.84	2.61	22.08
UM3	20-30	0.85	1.91	16.25
SPC				
UM1	0-10	0.85	3.10	26.21
UM1	0-10	0.85	4.53	38.53
UM1	0-10	0.87	3.96	34.56
UM2	10-20	0.85	3.09	26.16
UM2	10-20	0.85	3.50	29.81
UM2	10-20	0.87	2.99	26.07
UM3	20-30	0.85	1.92	16.22
UM3	20-20	0.85	2.48	21.06
UM3	20-30	0.87	2.17	18.94