

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

Informe final de investigación

**Composición florística, riqueza, diversidad y
carbono secuestrado por diferentes tipos de
sistemas agroforestales en la Provincia de
Tambopata-Madre de Dios.**



Joel Peña Valdeiglesias (Investigador principal)
Nimer Velarde Kateyama (Coinvestigador)
Gerson Sánchez Díaz (Asistente de investigación)

Marzo del 201

Composición florística, riqueza, diversidad y carbono secuestrado por diferentes tipos de sistemas agroforestales en la Provincia de Tambopata-Madre de Dios.

Joel Peña Valdeiglesias (Investigador principal)
Nimer Velarde Kateyama (Coinvestigador)
Gerson Sánchez Díaz (Asistente de investigación)

1. Planteamiento del problema

1.1. Situación Problemática

La Agroforestería es una actividad que se desarrolla hace buen tiempo en la Amazonia sur del Perú (departamento de Madre de Dios) como un modelo alternativo al monocultivo y a la deforestación de los bosques amazónicos que es cada vez más intensa (INPE-PRODES, 2010), la misma que tiene muchos orígenes como la construcción de carreteras, extracción de madera, ganadería y pequeños productores agrarios (Le Tourneau, 2004). Esta actividad agroforestal ha sido promovida por algunas ONGs y algunos proyectos estatales que han obtenido buenos resultados iniciales, pero sin embargo hasta la actualidad poco se conoce de su situación y la diversidad que albergan estos sistemas agroforestales (SAFs) establecidos en la región.

1.2. Formulación del Problema

En la zona de estudio donde los agricultores desarrollan la actividad agroforestal asociando cultivos de cacao (*Theobroma cacao*), copoazu (*Theobroma grandiflorum*), piña (*Ananas comosus*), cítricos, plátano (*Musa paradisiaca*) y otros con especies forestales nativas de la región, existe escasa o nula información sobre la composición florística, y la diversidad de los mismos, así como la cantidad de carbono que están reteniendo estos agroecosistemas, por lo que en presente estudio nos planteamos las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuál es la composición florística de los sistemas agroforestales existentes en la Provincia de Tambopata, Madre de Dios?, ¿Cuál es su riqueza y son sus niveles de diversidad?, ¿Cuál es la cantidad de carbono existente en la biomasa viva de las especies vegetales de estos SAFs? ¿Cuál es la cantidad de carbono existente en el suelo y en la necromasa del mismo?

1.3. Justificación e Importancia

Los árboles de los Sistemas Agroforestales pueden mejorar la productividad del agroecosistema, al influir en las características del suelo, del microclima que es favorable y es fuente de energía y nutrientes para la microfauna (Lavelle et al., 2003; Velásquez, 2004; Huerta y Wal, 2012), de la hidrología y de otros componentes biológicos asociados (Farrell y Altieri, 1999), así mismo; puede reducir el incremento de la fragmentación de los bosques (Ferraz et al., 2005) que está produciendo efectos negativos en la biodiversidad de los ecosistemas (Laurance et al., 2001).

El volumen de las emisiones de CO₂ se ha incrementado 3,5 veces en los últimos 50 años por el uso de combustibles fósiles, la producción de cemento y el cambio de uso del suelo (Alegre y Cassel, 1996; Brown, 1996; IPCC, 2001). Se estima que a mediados del siglo XXI las emisiones de CO₂ alcanzarán 6,2 billones de Mg por año, lo que provocarán incrementos de la temperatura entre 1,5 y 4,5°C (IPCC, 2001). En una proyección desde el año 1995 al 2050, se estimó que la silvicultura y la agroforestería a nivel mundial

pueden capturar 38 billones Mg de C, la cual equivaldría entre 11 y 15% del total de las emisiones fósiles emitidas en el mismo período (Brown, 1996). Los sistemas forestales y agroforestales (SAF) pueden funcionar como sumideros de CO₂ (Winjum et al., 1992; Nair, 1993; Litynski et al., 2006) almacenando en promedio 95Mg C.ha⁻¹ en zonas tropicales (Albrecht y Kandji, 2003). Sin embargo, hay pocos estudios de estimación de C en la Amazonia Sur del Perú que contribuiría a revalorar estos sistemas agroforestales persistentes, ya que los agricultores los han adaptado a las condiciones naturales extremas de la Amazonia Sur del Perú con suelos pobres extremadamente ácidos, y condiciones de sequía e inundación.

1.4. Objetivos de Investigacion

Objetivo general

Determinar la composición florística, riqueza, diversidad y la cantidad de carbono secuestrado por diferentes tipos de sistemas agroforestales en la Provincia de Tambopata-Madre de Dios

Objetivos específicos

- Determinar la composición florística de los sistemas agroforestales en la Provincia de Tambopata-Madre de Dios
- Evaluar la riqueza y la diversidad de especies vegetales de los diferentes tipos de sistemas agroforestales en la Provincia de Tambopata-Madre de Dios
- Cuantificar la cantidad de carbono secuestrado por los diferentes tipos de sistemas agroforestales en la Provincia de Tambopata-Madre de Dios

2. Variables

Variables independientes.- Altura de la planta, Diámetro a la altura del Pecho (DAP), C en el suelo, composición florística, diversidad y riqueza

Variables dependientes.- Biomasa, Carbono capturado, CO₂ equivalente.

3. Marco Teorico

3.1 La Agroforestería.

Segun Farrell y Altieri (1999), esta actividad tiene un esquema (que asocia árboles, cultivos y animales), que contribuye a la sostenibilidad (por la sinergia que hay entre todas las especies del agroecosistema, tratando de imitar lo que ocurre en la naturaleza protegiéndola sin deteriorarla), hecho que contribuye a la maximización de los rendimientos (por los beneficios y las sinergias que se producen entre todos los individuos), y que es adoptada muy fácilmente por los agricultores. El desarrollo de la agroforestería como ciencia debe basarse en cuatro características clave : 1)Competencia entre los árboles y los cultivos para obtener luz, agua y nutrientes para el beneficio de los agricultores, 2)complejidad socioeconómica (caracterización participativa, analítica y multidisciplinaria a diferentes escalas espaciales) y ecológica (diversidad de productos y servicios) es típica de los SAFs , 3) Rentabilidad que se ve mejorada con la domesticación de árboles autóctonos con productos de alto valor, y

4) Sostenibilidad con SAFs potencialmente rentables que permite controlar la erosión, aumentar la biodiversidad, retener carbono (Sanchez 1995).

La agroforestería se considera como un camino ideal para mantener o restaurar la biodiversidad de una forma socioeconómicamente sostenible, considerando que la biodiversidad puede reducir los riesgos, aumentar la productividad y mejorar la eficiencia a través de interacciones beneficiosas de especies (Gómez et al. 2015), y producir más estabilidad y resiliencia al sistema (Nair et al. 2008).

3.2 Composición florística de los SAFs

Las 20 especies más importantes en la agroforestería de los Bora en la Amazonia peruana son las siguientes: *Astrocaryum chambira*, *Musa spp.*, *Manihot esculenta*, *Ananas comosus*, *Bactris gasipaes*, *Erythroxylum coca*, *Zea mays*, *Poraqueiba sericea*, *Euterpe oleracea*, *Pourouma cecropiifolia*, *Saccharum officinarum*, *Pouteria caimito*, *Carludovica palmata*, *Inga spp*, *Dioscorea trifida*, *Crescentia cujete*, *Theobroma bicolor*, *Carica papaya*, *Lonchocarpus spp* y *Oenocarpus spp*. (Cotta 2017).

En los SAFs de la amazonía boliviana (Alto Beni), se encontraron 2135 árboles de 112 especies identificadas pertenecientes a 44 familias botánicas, ubicadas en 128 ha de campos agrícolas, las especies maderables preferidas por los agricultores fueron: *Swietenia macrophylla*, *Amburana cearensis*, *Cedrela odorata*, *Centrolobium ochroxylum*, *Piptadenia sp*, *Aniba sp.*, y *Myroxylon balsamum*. Los árboles medicinales fueron: *Croton draconoides*, *Astronium urundeuva*, *Uncaria tomentosa*, *Cestrum racemosum* y *Salacia impressifolia*, para leña usan: *Inga spp* y *Cassia sp.*, siendo los principales cultivos cacao, cítricos, banano y papaya, en monocultivos y asociados entre sí y con otros árboles maderables y frutales. Utilizan 18 especies para muebles, 57 para construcción, 23 como madera alternativa, 70 como leña, 30 frutales para consumo humano, 4 para consumo de animales domésticos, 49 que son consumidas por animales silvestres, 26 especies medicinales, 17 usadas como sombra, 3 como abono y una como captadora de humedad (Vega y Somarriba 2005).

Gómez et al. (2015) evaluaron la relevancia de la diversidad y la riqueza de especies agroforestales en el desempeño socioeconómico en 38 SAFs agrupado en cuatro sitios en el este de la Amazonia brasileña, donde encontraron 83 especies, que corresponde a 73 géneros y 34 familias. Las 10 especies más abundantes fueron: *Euterpe oleracea*, *Musa spp*, *Theobroma cacao*, *Theobroma grandiflorum*, *Piper nigrum*, *Platonia insignis*, *Artocarpus integrifolia*, *Cecropia sp*, *Syagrus cocoides* y *Mangifera indica*.

3.3 El carbono en sistemas agroforestales

Los árboles en las parcelas de los sistemas agroforestales tienen un papel muy importante en la mitigación de los efectos del cambio climático, teniendo en cuenta que estos tienen una gran capacidad de almacenar biomasa y carbono dentro de estos sistemas. Para la estimación de la biomasa de estos sistemas lo más recomendable es usar ecuaciones alométricas ya que es un método no destructivo que solo usa algunos parámetros tales como el diámetro a la altura del pecho de los árboles (DAP), la altura y la densidad de la madera (Chave et al. 2005, 2014, Zhang et al. 2016).

Para Hunter et al. (2013), los modelos alométricos que solo usan la altura del árbol rinden estimaciones menos sesgadas. Sin embargo, medir la altura con precisión es difícil, especialmente en agroforestería donde la mayoría de los árboles no tienen patrones arquitectónicos precisos. Por otro lado, Kuyah y Rosenstock (2015), encontraron que la inclusión de la altura, la densidad de la madera y área basal en la ecuación de la biomasa cambió las estimaciones de biomasa en menos de 1.3% de la biomasa total, de aquellos obtenidos al usar solo el diámetro, reporte similar a los de Basuki et al. (2009) y Agevi et al. (2016).

Los niveles de carbono en la agricultura y en la agroforestería están relacionadas con la altura del árbol (que incrementa el nivel de biomasa), así mismo estos niveles dependen de su composición tales como la especie, la edad, intensidad de selección y gestión, y condición del sitio (suelo, topografía y lluvia), tipos de uso de la tierra entre otros (Mbow et al. 2014).

Los SAFs pueden almacenar a largo plazo carbono en la biosfera, es el caso de los SAFs agrosilvícolas o agroforestales, mientras que los silvopastoriles basados en rumiantes son probablemente fuente de gases efecto invernadero como el CH₄. En las zonas tropicales, se estima que una hectárea de agrosilvicultura sostenible puede proporcionar bienes y servicios que pueden compensar entre 5 y 20 ha de deforestación, y estos podrían almacenar 12–228 t C ha⁻¹ año⁻¹ (Dixon 1995).

El carbono aéreo almacenado en SAFs de cacao asociado con las especies forestales de guaba (*Inga edulis*), bolaina (*Guazuma crinita*) y capirona (*Calycophyllum spruceanum*) en Huanuco Perú, fue de 65.61 t ha⁻¹, el carbono almacenado en el suelo fue 65.57 t ha⁻¹, y el carbono total almacenado en los SAFs fue de 131.18 t ha⁻¹ en promedio (Pocomucha et al. 2016).

Mutuo et al. (2005) encontraron que los sistemas agroforestales en los trópicos húmedos podían secuestrar hasta 70 t C ha⁻¹ en la vegetación

4. Metodología

4.1 Tipo de estudio

- Según su finalidad la investigación es básica y aplicada
- Según el carácter de medida es cualitativa y cuantitativa
- Según el marco es de campo
- Según la profundidad es explicativa, descriptiva y exploratoria
- Según el alcance temporal es transversal

4.2 Delimitación espacial y temporal

La investigación se realizó en la Provincia de Tambopata del Departamento de Madre de Dios, ubicado en la Amazonia Sur del Perú donde existen dos estaciones bien definidas: la húmeda, que se presenta desde los meses de Noviembre hasta Abril, caracterizada por la presencia de fuertes precipitaciones y altas temperaturas, y la estación seca que se caracteriza por la ausencia de lluvias y temperaturas más bajas, que se presentan desde los meses de Mayo hasta Octubre. El rango de precipitación fluctúa entre 1500 y

2500 mm anuales. Los suelos son aluviales antiguos, generalmente arcillosos rojos con poca fertilidad y pH ácido.

4.3 Población y muestra

La población está conformada por agricultores que practican la agroforestería, cuyas parcelas están ubicadas en la provincia de Tambopata. La muestra considerada para el presente estudio fue 30 agricultores, cuya lista se detalla en la tabla 1

Tabla 1. Parcelas agroforestales evaluadas de la Provincia de Tambopata

Código	Agricultor	Localidad	Código	Agricultor	Localidad
1	Aderly Ccuito Flores	El Progreso	16	Estanislao Curinambe Chávez	San Francisco
2	Agueda Calisaya Cervantes	San Juan	17	Luciano Quispe Chani	Alegría
3	Agustín Maqqe Huamani	San Juan	18	Faustino Urbano Batallanos	Nueva Esperanza
4	Alejandrina Mamani Quispe	Santa Rosa	19	Filimon León Talaverano	Centromin
5	Alfredo Vela Vera	Chorrillos	20	Fredy Curinambe Leiva	San Francisco
6	Andrés Parisaca Huamán	Santa Rosa	21	Gladis Llicahua Pérez	Nueva Arequipa
7	Basilides Mamani Puma	Alegría	22	Gotardo Roque Guerra	Alegría
8	Carlos López López	Planchón	23	Enock Lazo Ramírez	Chorrillos
9	Carmelo Carmen Hanco	Alegría	24	Henry Curinambe Leiva	
10	Charles Tello Papa	Alegría	25	Herbert Lobon Pérez	Bajo Tambopata
11	Cirilo Mendez Villafane	San Juan	26	Hermenegildo Conza Huallpa	Villa Santiago
12	David Huaman Ramos	El Progreso	27	IIAP	Fitzcarrald
13	Donato Huanca Jaqqehua	El Progreso	28	INIA	Fitzcarrald
14	Efrain Pizarro Cordova	Santa Rosa	29	Jhon Ayala Chacón	San Francisco
15	Elias Vela Moreno	Infierno	30	Yoni Curinambe Leiva	San Francisco

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Determinación de la composición florística, riqueza y diversidad

En cada sistema agroforestal se establecieron parcelas de 100m x 5m, adaptando lo propuesto por Arévalo *et al.* (2002), donde se evaluarán todas las especies forestales establecidas y los cultivos de interés económico, las mismas que fueron identificadas a nivel de familias y de especies

La diversidad alfa se determinó en base a la riqueza de especies y abundancia según los índices de Shannon, Simpson, Fisher y Equidad para las especies arbóreas y cultivadas como lo sugieren Berry *et al.* (2002). La diversidad beta se determinó mediante un diagrama de análisis de las similitudes (ANOSIM).

4.4.2 Mediciones del carbono secuestrado

- **Procedimiento para determinar la biomasa vegetal de los árboles.**-La biomasa de los árboles está representada por toda la biomasa del tronco, ramas y hojas

del árbol con diámetros mayores de 2,5 cm. Para estimar el carbono almacenado en la biomasa leñosa se establecieron aleatoriamente 5 parcelas de 4 x 25 m, donde se determinó la altura con eclímetro y se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos árboles de 2,5 a 30,0 cm DAP, utilizando la cinta diamétrica. Cuando se encontró árboles con DAP superiores a 30cm, se estableció una nueva parcela de 5 x 100m, sobrepuesta así:

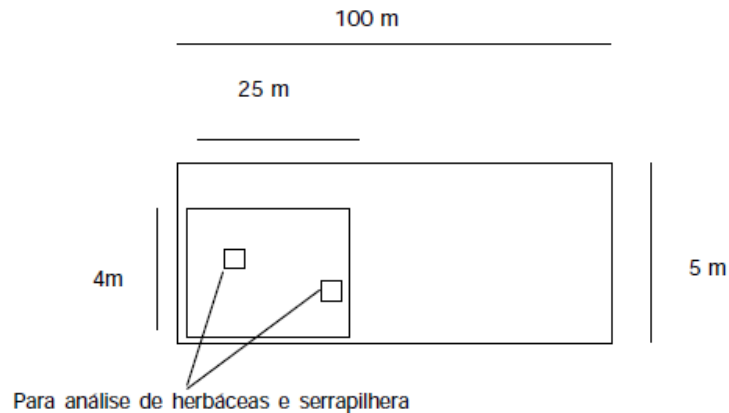


Fig. 2. Diseño de las parcelas para el análisis de los diferentes componentes de la biomasa vegetal. Fuente: tomado de Arévalo *et al.* (2002),

Para los árboles con ramas bifurcadas debajo del DAP (1.30m), la biomasa se estimó después de calcular el diámetro total del árbol, usando la fórmula de la raíz cuadrada de la suma los diámetros de las ramas individuales.

También se calculó la biomasa de los árboles muertos en pie y de los caídos.

- **Procedimiento para determinar la biomasa arbustiva y herbácea.**- La biomasa de arbustos y herbáceas nativas se refiere a las especies que están dentro del sistema agroforestal con menos de 2,5 cm de diámetro. Para estimar la biomasa se identificó dos cuadrantes de 1 x 1 m al azar, se colectó toda la vegetación y luego se obtuvo su peso, posteriormente se llevó una muestra de 300 g para hacerla secar a la estufa.
- **Procedimiento del cálculo de la biomasa y del carbono de los árboles.**- Para estimar la biomasa de los árboles, se utilizó las ecuaciones alométricas del cuadro 1 (que son específicas para un determinado número de especies), para lo cual se requiere datos como la altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) o (D) y el área basal (AB) de las especies

Tabla 1. Ecuaciones alométricas para la determinación de la biomasa de algunas especies en los sistemas agroforestales.

Especie	Ecuacion	R ²	Fuente
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	$Y = 0.072 * D^{2.642}$	0.98	Gorbitz, 2011
<i>Jacaranda copaia</i>	$\ln(Y) = -4.398 + 2.765 * \ln(D)$	0.98	Montero y Montagnini, 2005
<i>Theobroma cacao</i>	$Y = 0.4849 D^{1.42}$	ND	Larrea, 2007
<i>Cedrella odorata</i> <i>Swietenia macrophylla</i>	$Y = 21.30 - 6.95 * D + (0.74D^2)$	ND	Brown e Inverson, 1992
<i>Bertholletia excelsa</i>	$Y = -18.1 + 0.663AB + 0.000384AB^2$	0.99	Schroth et al. 2002
<i>Theobroma grandiflorum</i>	$Y = 4.1194D - 5.7818$	0.92	Brancher, 2010
<i>Inga spp.</i>	$\log_{10} Y = -0.889 + 2.317 (\log_{10} D)$	ND	Segura et al (2006)
Citricos	$Y = 6.64 + 0.279(AB) + 0.000514(AB)^2$	0.94	IPCC, 2001
<i>Bactris gasipaes</i>	$Y = 0,74H^2$	0.95	Szott et al, 1991
<i>Musa sp</i>	$Y = 0.0303D^{2.1345}$	0.99	Hairiah et al., 2001
Palmeras	$Y = 10 + 6.4(H)$	0.96	Frangi and Lugo, 1985
<i>Hevea brasiliensis</i>	$Y = \exp(-4.07305 + 1.63781 \ln(D) + 1.21724 \ln(H))$	0.89	Fernandes et al., 2007
<i>Tectona grandis</i>	$Y = 0.153 * D^{2.382}$	ND	Rügnitz et al., 2009
<i>Coffea arabica</i>	$Y = 0.2811D^{2.0635}$	0.94	Hairiah et al., 2001
<i>Cecropia</i>	$Y = 12.764 + 0.2588 (D)^{2.0515}$	ND	Pearson et al 2005

Y: Biomasa (kg); D: Diametro a la altura del pecho; AB: Area basal; H:Altura total; ln: logaritmo natural

4

En caso de encontrarse especies que no están en el cuadro 1, se utilizó la ecuación alométrica general para especies del Neotropico propuesta por Chave *et al* (2005). Pero lo cual también se requiere el DAP, H y la densidad de las maderas de las especies (ρ), donde Chave *et al* (2006) identificaron la densidad de las maderas de 2456 especies de árboles tropicales para poder efectuar los cálculos respectivos (ver ecuación 1).

$$Ec 1) \quad B = \exp(-2.977 + \ln(\rho * DAP^2 * H))$$

Para el cálculo de la biomasa del sistema radicular de las especies arbóreas y arbustivas (ecuación 2), se utilizó la ecuación planteada por IPCC (2003), Donde previamente se calculó la biomasa arbórea respectiva (B). El stock de carbono en la vegetación se obtuvo multiplicando la biomasa forestal por el factor de 0,45 (Brown, 1997).

$$Ec 2) \quad \exp(-1.0587 + (0.8836 * \ln(B)))$$

- **Cálculo da biomasa arbustiva/herbácea (t/ha).**- Para estimar esta biomasa en t/ha, se extrapolo el valor del peso seco de 1m² a 10000m².

5 Resultados y Discusion

5.1 Composición florística en los sistemas agroforestales

En la zona de estudio se encontró 1887 individuos correspondientes a 48 especies las mismas que pertenecen a 23 familias, las mismas que se presentan en la Tabla 2. Algunas de estas especies son similares a las usadas por los Bora en la Amazonia peruana (Cotta 2017). Así mismo estas especies son similares a las encontradas por Vega y Somarriba (2005) en la Amazonía boliviana (Alto Beni),

Tabla 2. Especies encontradas en los Sistemas Agroforestales

Nombre común	Nombre científico	Familia
Achihua	<i>Jacaranda copaia</i>	Bignoniaceae
Aguaje	<i>Mauritia flexuosa</i>	Arecaceae
Anona	<i>Annona squamosa</i>	Annonaceae
Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	Myrtaceae
Azucarhuayo	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	Fabaceae
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Sterculiaceae
Caimito	<i>Pouteria caimito</i>	Sapotaceae
Camu camu	<i>Myrciaria dubia</i>	Myrtaceae
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae
Capirona	<i>Calicophyllum megistocaulum</i>	Rubiaceae
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>	Oxalidaceae
Castaña	<i>Bertholletia excelsa</i>	Lecythidaceae
Cedro	<i>Cedrella odorata</i>	Meliaceae
Cetico	<i>Cecropia spp</i>	Cecropiaceae
Charichuelo	<i>Garcinia macrophylla</i>	Clusiaceae
Copoazu	<i>Theobroma grandiflorum</i>	Sterculiaceae
Guaba	<i>Inga sp</i>	Fabaceae
Guanábana	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae
Ishpingo	<i>Amburana cearensis</i>	Fabaceae
Leucaena	<i>Leucaena spp</i>	Fabaceae
Limón rugoso	<i>Citrus aurantium</i>	Rutaceae
Limón sutil	<i>Citrus aurantifolia</i>	Rutaceae
Limón Tahití	<i>Citrus latifolia</i>	Rutaceae
Lupuna	<i>Ceiba pentandra</i>	Malvaceae
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Rutaceae
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae
Misa	<i>Eschweilera coriacea</i>	Lecythidaceae
Moena	<i>Endlicheria williamsii</i>	Lauraceae
Moringa	<i>Moringa oleifera</i>	Moringaceae
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae
Pacay	<i>Inga feuillei</i>	Fabaceae
Palta	<i>Persea americana</i>	Lauraceae
Pashaco	<i>Schizolobium amazonicum</i>	Fabaceae
Peine de mono	<i>Apeiba membranacea</i>	Malvaceae
Pijuayo	<i>Bactris gasipaes</i>	Arecaceae
Piña	<i>Ananas comosus</i>	Bromeliaceae

Piñón morado	<i>Jatropha curcas</i>	Euphorbiaceae
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	Musaceae
Sapote	<i>Matisia cordata</i>	Sapotaceae
Shapaja	<i>Attalea phalerata</i>	Arecaceae
Shihuahuaco	<i>Dipteryx micrantha</i>	Fabaceae
Shiringa	<i>Hevea brasiliensis</i>	Euphorbiaceae
Tahuari	<i>Tabebuia serratifolia</i>	Bignoniaceae
Teca	<i>Tectona grandis</i>	Verbenaceae
Tornillo	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Fabaceae
Ubos	<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae
Wasai	<i>Euterpe precatória</i>	Arecaceae

Las familias más representativas son Fabaceae (17%), Rutaceae (11%), Arecaceae (9%), Anacardiaceae (6%). Entre las familias menos representativas se tiene: Myrtaceae, Bromeliaceae, Cecropiaceae, Clusiaceae, Moringaceae, Musaceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Rubiaceae y Verbenaceae, representando cada una de ellas el 2% de la población (Figura 2).

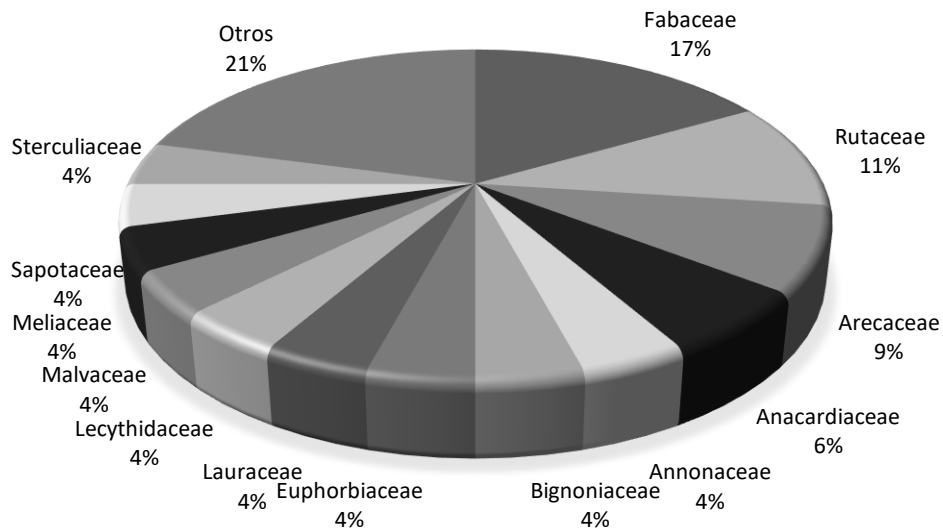


Figura 2. Familias encontradas en los Sistemas Agroforestales

5.2 Riqueza y diversidad de especies vegetales en los sistemas agroforestales

Los índices de diversidad nos muestran (Tabla 3 y Figura3) que existe una alta dominancia de algunas especies en las parcelas de los agricultores 1(dominado por el cultivo de piña y el cético), 2, 4, 6, 12, 14, 24, 29 y 30 (dominados por el cultivo de cacao).

Tabla 3. Índices de Diversidad en las parcelas agroforestales

Agricultor	Nro de especies	Nro de Individuos	Índice de dominancia de Simpson	Índice de equidad de Shannon	Índice de riqueza específica de Margalef
1	3	549	0.83	0.35	0.32
2	2	38	0.52	0.67	0.27
3	11	71	0.18	1.96	2.35
4	4	48	0.63	0.68	0.78
5	12	30	0.16	2.15	3.23
6	3	44	0.67	0.58	0.53
7	8	40	0.28	1.59	1.90
8	8	37	0.24	1.69	1.94
9	5	45	0.49	1.02	1.05
10	7	30	0.33	1.47	1.76
11	6	31	0.45	1.17	1.46
12	4	76	0.67	0.62	0.69
13	3	22	0.57	0.76	0.65
14	3	49	0.72	0.51	0.51
15	5	22	0.32	1.29	1.29
16	7	55	0.73	0.66	1.50
17	3	47	0.35	1.07	0.52
18	6	52	0.63	0.83	1.27
19	9	41	0.24	1.76	2.15
20	5	70	0.72	0.62	0.94
21	11	39	0.37	1.55	2.73
22	12	51	0.19	2.03	2.80
23	5	25	0.24	1.47	1.24
24	5	40	0.69	0.70	1.08
25	14	32	0.12	2.38	3.75
26	4	89	0.43	0.97	0.67
27	5	78	0.44	1.14	0.92
28	5	21	0.28	1.41	1.31
29	7	55	0.73	0.66	1.50
30	12	60	0.62	1.03	2.69

Según la equidad de Shannon, las parcelas 3, 5, 7, 22 y 25 tienen los índices de diversidad mas altos, con 11, 12, 8, 12 y 14 especies respectivamente.

De acuerdo al índice de Margalef, se encontró mayor riqueza específica en las parcelas 3, 5, 21, 22, 25, y 30, donde existe entre 11 y 14 especies de plantas por parcela (Tabla 3 y Figura3).

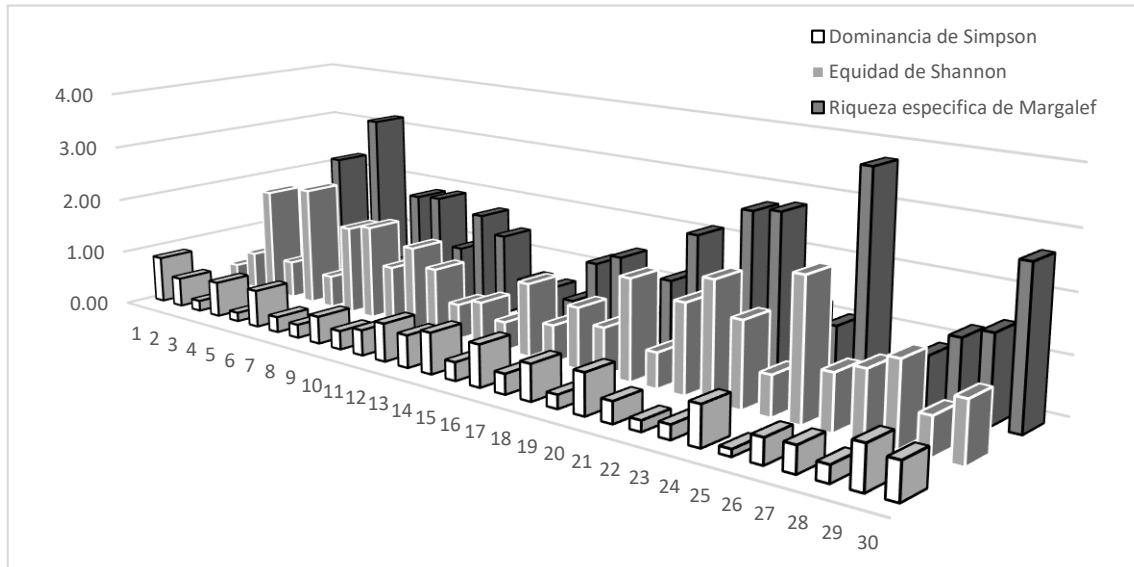


Figura 3. Índices de Diversidad de plantas en los sistemas agroforestales

5.3 Carbono secuestrado en los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales que tienen secuestrado más cantidad de carbono en las especies vegetales son:

- SAF 1 con 142.24 t C ha⁻¹
- SAF 15 con 125.79 t C ha⁻¹
- SAF 23 con 117.29 t C ha⁻¹
- SAF 27 con 84.90 t C ha⁻¹

Los mismos que se caracterizan por que en estos sistemas se incorporaron varias especies forestales que tienen maderas duras (con alta densidad), tales como la castaña, así mismo tienen más de 15 años de establecidos (Figura 4).

Estos valores están dentro de la media estimada por Albrecht y Kandji (2003), quienes indican que el potencial de secuestro de carbono por la vegetación de los SAFs para América del Sur está entre 39-103 t ha⁻¹, y por Brancher (2010) quien reportó entre 30.78-41.61 t ha⁻¹.

Por otro lado los valores promedio hallados son inferiores a los reportados por Bolfe et al. (2009), quienes encontraron un valor promedio de 74.31 t ha⁻¹, a los reportados por Montagnini y Nair (2004) quienes indican que el almacenamiento promedio de carbono en los SAFs para las regiones tropicales es de 50 t ha⁻¹.

En San Martín, Perú, Lapeyre et al. (2004) encontraron que el sistema de café-guaba (4 años) y el sistema de cacao con especies forestales (15 años), presentan valores de 19 t C ha⁻¹ y 47 t C ha⁻¹ respectivamente.

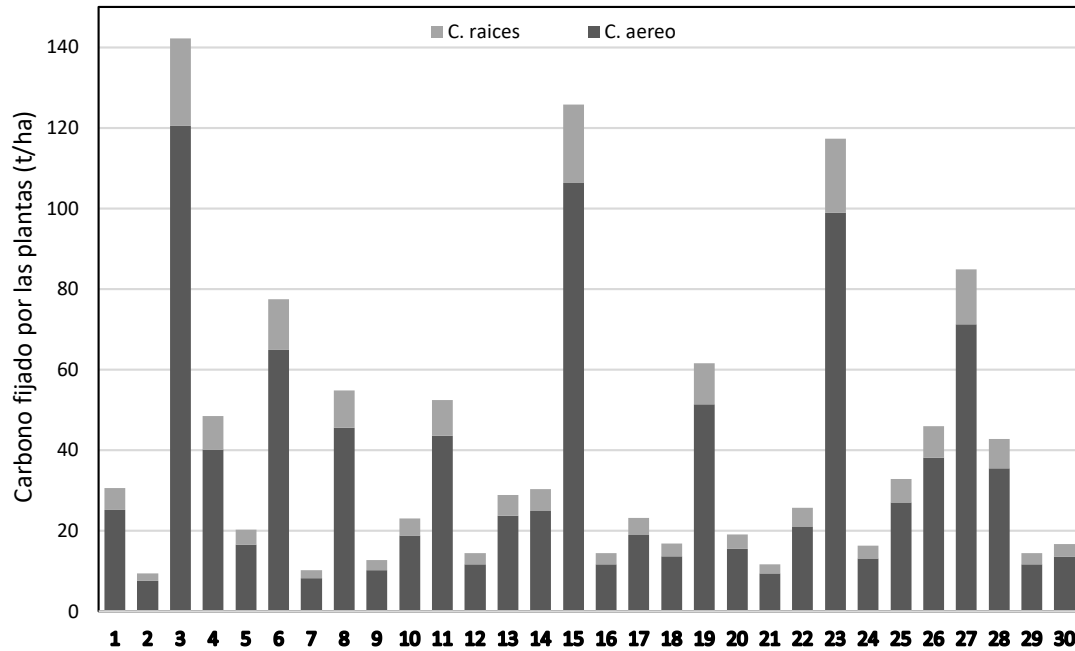


Figura 4. Carbono retenido en las plantas de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales que tienen secuestrado menos cantidad de carbono en las especies vegetales son:

- SAF 2 con 9.41 t C ha^{-1}
- SAF 7 con $10.26 \text{ t C ha}^{-1}$
- SAF 21 con $11.73 \text{ t C ha}^{-1}$
- SAF 29 con $14.53 \text{ t C ha}^{-1}$

Estos sistemas se caracterizan porque están dominados por el cultivo de cacao con sombra de guaba, y tienen menos de 7 años de establecidos.

6 Conclusiones

- En los sistemas agroforestales evaluados se encontró 1887 individuos correspondientes a 48 especies las mismas que pertenecen a 23 familias, siendo las familias más representativas Fabaceae, Rutaceae, Arecaceae, y Anacardiaceae.
- En los sistemas agroforestales 3, 5, 7, 22 y 25 se encontraron los índices de diversidad más altos según Shannon, así mismo se encontró mayor riqueza específica en los sistemas agroforestales 3, 5, 21, 22, 25, y 30 según Margalef.
- Se encontró que las especies vegetales de los sistemas agroforestales pueden retener en promedio hasta $40.85 \text{ t C ha}^{-1}$, siendo la mayor cantidad de carbono retenida $142.24 \text{ t C ha}^{-1}$, y la menor cantidad 9.41 t C ha^{-1} .

7 Referencias bibliograficas

Agevi, H; Tsingalia, M; Wabusya, M; Kigen, C; Kawawa, RC.; Obiet, L. 2016. Diversity And Biomass Variation In Masinde Muliro University Of Science And Technology. 3(3):1-11.

Albrecht, A.; Kandji, S.T. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. New York. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v.99, n.1, p.15-27, 2003.

Alegre, J; Cassel, K. 1996. Dynamics of soil physical properties under alternative systems to slash-and-burn. Agric. Ecosyst. Env. 58: 39-48

Arevalo, L; Alegre, J; Ricse; Callo-Concha, D; Palm, Ch. 2002. Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. IV Congreso Brasileño de Sistemas Agroflorestais. Brasil. Pp 1-8.

Basuki, TM; van Laake, PE; Skidmore, AK; Hussin, YA. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. Forest Ecology and Management 257(8):1684-1694. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.027>.

Berry, P., Guariguata, M. & Kattan, G. (2002). Diversidad y endemismo en los bosques neotropicales de bajura, en *Ecología y conservación de Bosques Neotropicales* (pp. 84-95).

Bolfe, EL; Ferreira, MC; Batistella, M. 2009. Biomassa Epígea e Estoque de Carbono de Agroflorestas em Tomé-Açu , PA (en línea). Rev. Bras. De Agroecologia 4(2):2171-2175. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/108493/1/2698.pdf>.

Brancher, T. (2010). Estoque y ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tomé-Açu. Amazonia Oriental. Belem-Pa. Tesis de maestria en Ciencias Ambientales. Universidad Federal do Para.

Brown, S. 1996. Present and potential roles of forests in the global climate change debate. *Unasylva* 185: 3-10.

Brown, S. Iverson, LR. 1992. Biomass estimates for tropical forests. *World Resource Review* 4(3): 366-383.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J.C., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. & Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87-99.

Chave, J.C., Muller Landau, H.C., Baker, T.R., Easdale, T.A., ter Steege, H., Webb, C.O. 2006 Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species *Ecological Applications*, 16, 2356-2367.

Chave, J; Réjou-Méchain, M; Búrquez, A; Chidumayo, E; Colgan, MS; Delitti, WBC; Duque, A; Eid, T; Fearnside, PM; Goodman, RC; Henry, M; Martínez-Yrizar, A; Mugasha, WA; Muller-Landau, HC; Mencuccini, M; Nelson, BW; Ngomanda, A; Nogueira, EM; Ortiz-Malavassi, E; Péliissier, R; Ploton, P; Ryan, CM; Saldarriaga, JG; Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology* 20(10):3177-3190. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>.

Cotta, JN. 2017. Revisiting Bora fallow agroforestry in the Peruvian Amazon: Enriching ethnobotanical appraisals of non-timber products through household income quantification. *Agroforestry Systems* . DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9892-4>.

Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: sources of sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* . DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00711719>.

Farrell, J; Altieri, M. 1999. Sistemas agroforestales. En: *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable* Altieri, M. (1999). Cap. 12.

Fernandes, TJG, Soares, CPB, Jacovine LAG, Alvarenga AP. 2007. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea* sp., aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. *R Árvore*. 2007;31:657-65

Ferraz, S.F.D., Vettorazzi, C.A., Theobald, D.M., Ballester, M.V.R., 2005. Landscapedynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondonia, Brazil: assessment and future scenarios. *For. Ecol. Manag.* 204, 67–83.

Frangi, J. & Lugo, A. 1985. Ecosystem dynamics of subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs* 55: 352-369.

Gómez, E; Mavisoy, H; Rocha, H; Corrêa, ML; Alves, MF; Rousseau, GX; Gehring, C. 2015. Species richness increases income in agroforestry systems of eastern Amazonia. *Agroforestry Systems* 89(5):901-916. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9823-9>.

Gorbitz, G. 2011. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea en plantaciones de 8 años de *Calycophyllum spruceanum* b. en el Valle del Aguaytía. Tesis de Ingeniería Forestal UNALM.

Hairiah, K; Noordwijk, M. 2001. Methods for sampling carbono stocks above and below ground: ASB LN 4B, in M Van Noordwijk et al (eds). *Towards Integrate batural resource management in forest margins of the humid tropics: Local action and global concerns*. International Centro for Research for Global Change, vol 5,, pp 25-37.

Huerta, E. y Wal, V. 2012. Soil macroinvertebrates abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. *Eur. J. Soil Biol.* 50:68 – 75.

Hunter, MO; Keller, M; Victoria, D; Morton, DC. 2013. Tree height and tropical forest biomass estimation. *Biogeosciences* 10(12):8385-8399. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-10-8385-2013>

INPE-PRODES, 2010. Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. www.obt.inpe.br/prodes

IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* In: Houghton, J. T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Cambridge University Press

Kuyah, S; Rosenstock, TS. 2015. Optimal measurement strategies for aboveground tree biomass in agricultural landscapes (en línea). *Agroforestry Systems* 89(1):125-133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9747-9>.

Lapeyre, T; Alegre, J; Arévalo, L. 2004. DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO DE LA BIOMASA AÉREA, EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA EN SAN MARTÍN, PERU (en línea). *Ecología aplicada* 3:35-44. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v3n1-2/a06v3n1-2.pdf>.

Larrea, G. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* y determinación de la ecuación alométrica para el cacao. Tesis de Ingeniería Ambiental UNALM.

Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H.L., Bruna, E.M., Didham, R.K., Stouffer, P.C., Gascon, C., Bierregaard, R.O., Laurance, S.G., Sampaio, E., 2001. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conserv. Biol.* 16,605–618.

Lavelle, P.; Senapati, B.; y Barros, E. 2003. Soil macrofauna. En: Schroth, G. y Sinclair, F. L. (eds.). *Trees, crops and soil fertility*. CABI Publishing, Wallingford. p. 303 - 324

Le Tourneau, J.-F., 2004. Jusqu'au bout de la forêt? Causes et mécanismes de la déforestation en Amazonie brésilienne, *M@ppemonde* 75.

Litynski, J; Scott, M; McIlvried, S. 2006. An overview of terrestrial sequestration of carbon dioxide: The United States Department of Energy's fossil energy R&D program. *Climatic Change* 74: 81–95.

Montero, M; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para la estimación de biomasa en diez especies nativas en plantaciones en la región Atlántica de Costa Rica. *Recursos*

Naturales y Ambiente. Número 45. Agosto 2005. 2005. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE). 112-119 p.

Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems (en línea). *Agroforestry Systems* 61(1):281. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79>.

Mbow, C; Van Noordwijk, M; Luedeling, E; Neufeldt, H; Minang, PA; Kowero, G. 2014. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.014>.

Mutuo, PK; Cadisch, G; Albrecht, A; Palm, CA; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics (en línea). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71(1):43-54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-004-5285-6>.

Nair, PKR; Gordon, AM; Mosquera, R. 2008. Agroforestry (en línea). s.l., s.e. p. 101-110. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00038-0>.

Nair, PKR. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. 499 pp.
Pearson, T; Walker, S. y Brown, S. 2005. *Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects*. Winrock International

Pocomucha, V; Alegre, J; Abregú, L. 2016. Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco (en línea). *Ecología aplicada* 15. DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.750>.

Rügnitz, M.; Chacón, M.; Porro, R. 2009. *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -- 1. ed. -- Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA)*. 79 p.

Sanchez, PA. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* .DOI:<https://doi.org/10.1007/BF00708912>.

Segura, M., M. Kanninen and D. Suárez. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee plants in agroforestry systems in Matagalpa, Nicaragua. Submitted to *Agroforestry Systems*

Schroth, G., S.A. D'Angelo, W.G. Teixeira, D. Haag and R. Lieberei. 2002. Conversion of secondary forest to agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stock after 7 years. *Forest Ecology and Management* 163: 131-150

Szott, L. T.; Arevalo, L.; Pérez, J. 1991. Allometric relationships in pijuayo. In: Mora, J.; Szott, L; Murillo, M; Patiño, V.M. (eds). *IV Congreso internacional sobre biología, agronomía e industrialización del pijuayo*. Iquitos, Perú. San José, Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. p. 91-115.

Vega, M; Somarriba, E. 2005. Planificación agroforestal de fincas cacaoteras orgánicas del Alto Beni, Bolivia 1. Agroforestería en las Américas .

Velásquez, E. 2004. Bioindicadores de calidad de suelo basado en las poblaciones de macrofauna y su relación con características funcionales del suelo. Ph.D. tesis. Universidad nacional de Colombia sede Palmira. 189 p.

Winjum, JK; Dixon, RK; Schroeder, PE. 1992 Estimating the global carbon forest and agroforestry management practice to sequester carbon. *Water, Air Soil Pollut.* 64: 213-227.

Zhang, C; Peng, DL; Huang, GS; Zeng, WS. 2016. Developing aboveground biomass equations both compatible with tree volume equations and additive systems for single-trees in poplar plantations in Jiangsu Province, China. *Forests* 7(2). DOI: <https://doi.org/10.3390/f7020032>.