

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
ESCUELA DE POSGRADO

**Influencia del uso de la tierra con cultivos de cacao, chakras y bosque  
primario, sobre la diversidad, almacenamiento de carbono y  
productividad en la Reserva de la Biosfera Sumaco, Ecuador**

por

ÁNGEL OSWALDO JADÁN MAZA

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

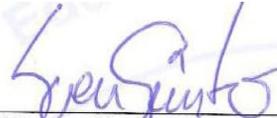
*Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de  
Bosques Tropicales y Biodiversidad

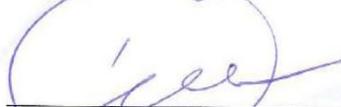
Turrialba, Costa Rica, 2012

Esta tesis ha sido aceptada (o) en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de

***Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de  
Bosques Naturales y Biodiversidad**

**FIRMANTES:**

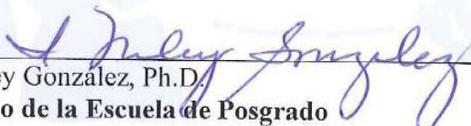
  
Sven-Günter, Ph.D.  
**Consejero Principal**

  
Diego Delgado, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

Miguel Cifuentes, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

  
Fernando Casanoves, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

Bolier Torres, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
I. Miley González, Ph.D.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**

Ángel Oswaldo Jadán Maza  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

*A DIOS por darme la vida y salud. A la VIRGENCITA DEL CISNE quien nunca me ha fallado para día a día cumplir las metas que me he planteado. En la tierra a mi hija EMILIA quien es mi fuente de inspiración que me impulsa a seguir adelante. A mis padres SERGIO OSWALDO y JULIA AMADA por su formación ejemplar enmarcando valores de humildad, honradez, confianza y de quienes siempre he tenido su apoyo incondicional. A mis hermanos que siempre me ayudan en las circunstancias cuando los más los necesito. A todos mis familiares en especial a mis abuelitas DORALIZA y JULIA que siempre me motivaron a cumplir con esta meta*

*Con cariño y respeto*

## AGRADECIMIENTOS

A Senescyt y a todos los miembros del comité técnico evaluador por confiar en mí al concederme la beca para realizar mis estudios de postgrado.

A la Universidad Nacional de Loja a nombre del señor Rector Dr. Gustavo Villacis por haberme auspiciado institucionalmente ante la Senescyt. A la Licenciada Teresita Ordoñez y Dr. Noé Bravo de Cooperación Internacional de la UNL por la motivación y el apoyo incondicional, brindado en la fase de selección para becarios.

En CATIE a todo el personal administrativo quien me brindo su amistad y confianza. A todos los profesores por sus valiosas e incomparables enseñanzas en especial al comité consejero por su valiosa colaboración en el desarrollo de la tesis. Al Profesor Sven Gunter por su paciencia y valiosos comentarios como asesor principal de la investigación. A los Profesores Fernando Casanoves, Miguel Cifuentes y Diego Delgado por sus comentarios y sugerencias en el asesoramiento y revisión del documento.

A GIZ del Napo y Kallari en especial a Bolier Torres y Carlos Poso. A los técnicos de la GIZ, en especial a Jaime Shiguango y Heike Quast por su gran ayuda en la fase de campo en el desarrollo de la investigación. A los técnicos de Kallari, Ruth Cayapa, Lizandro Pizango, Lucho Pobeda. Amigos del alma sin su desinteresada y sincera colaboración nunca hubiese podido realizar esto. Gracias de verdad. A Willan Pobeda y Angel Alvarado por su colaboración en la parte botánica. A la Fundación Jatun Sacha y Dr. David Neill por permitirme ingresar a sus parcelas para evaluar el carbono almacenado en los bosques primarios.

A todos mis hermanos. A Sergio por haberme ayudado en la parte de laboratorio controlando y registrando el secado de muestras. A mi tío Manuel Romero por apoyo desinteresado dando su garantía ante la Senescyt para poder acceder a la parte económica de la beca. Gracias de verdad tío.

A mi amiga y compañera Daniela Selesi, a su esposo por la amistad y colaboración brindada en la fase de campo.

A mis suegros Sr. Jose Mora y Sra Odila Román, a Lucia Mora y a Glenda por cuidar de mi hija en todo este tiempo de ausencia, de corazón muchas gracias.

A todos mis familiares y amigos en Loja, España y en el Tena por todo el apoyo moral y anímico que me dieron desde que empecé a estudiar el postgrado.

A mis compañeros de maestría con quienes pude compartir alegrías, penas, a veces desilusiones en estos dos largos pero lindos años de mi vida. Gracias por su compañía.

**Mil gracias a todos.**

## **BIOGRAFÍA**

El autor nació en la ciudad de Loja-Ecuador el año 1978. Se graduó en la Universidad Nacional de Loja en el 2005 en la Carrera de Ingeniera Forestal. Trabajo como asistente de Cátedra en la Carrera de Ingeniería Forestal 2004-2005 y técnico investigador en el Herbario Reinaldo Espinosa de la Universidad Nacional de Loja en el periodo comprendido entre los años 2004-2009. Ingreso en el 2010 al Centro Agronómico Tropical (CATIE) a cursar la Maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, graduándose satisfactoriamente en diciembre del 2011.

# CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	X
SUMMARY.....	XII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIV
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XVIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio.....	3
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.2 Hipótesis del estudio.....	4
1.3 Preguntas de investigación.....	4
2 MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1 Diversidad florística.....	6
2.1.1 <i>Bosques tropicales naturales</i> .....	6
2.1.2 <i>Sistemas agroforestales</i> .....	7
2.2 Causas socio-económicas de la deforestación.....	7
2.3 Almacenamiento de carbono.....	9
2.3.1 <i>Almacenamiento de carbono en los bosques naturales</i> .....	9
2.3.2 <i>Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales</i> .....	10
2.3.3 <i>Almacenamiento de carbono en el suelo</i> .....	12
2.3.4 <i>Métodos de estimación del carbono en la biomasa aérea</i> .....	12
2.3.5 <i>Métodos de estimación del carbono en los suelos</i> .....	13
2.4 Efecto de la sombra en la diversidad arbórea, almacenamiento de carbono y productividad en los SAFs.....	14
2.5 Productividad de cacao, plátano y yuca en los sistemas de usos de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	15
2.6 REDD+ como mecanismo para evitar la deforestación.....	16
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Ubicación del área de estudio.....	17
3.2 Descripción biofísica del área de estudio.....	19

3.3	Determinación y selección de los sitios de estudio .....	20
3.3.1	<i>Pre-estratificación</i> .....	20
3.3.2	<i>Selección de sitios</i> .....	21
3.3.3	<i>Descripción de los sistemas agrícolas seleccionados</i> .....	23
	3.3.3.1 Chakra con y sin sombra .....	23
	3.3.3.2 Cacao semilla con y sin sombra .....	24
	3.3.3.3 Cacao injertado con y sin sombra.....	25
3.3.4	<i>Determinación de la cobertura arbórea</i> .....	25
3.4	Unidad de muestreo – Parcela temporal de muestreo (Ptm) .....	25
3.5	Métodos de muestreo .....	27
3.5.1	<i>Diversidad florística</i> .....	27
3.5.2	<i>Muestreo de biomasa y necromasa</i> .....	27
	3.5.2.1 Vegetación herbácea, brinzales, latizales bajos y plantas de cacao ...	27
	3.5.2.2 Fustales, latizales altos y musáceas (dap $\geq$ 5 cm) .....	28
	3.5.2.3 Hojarasca y madera muerta .....	28
3.5.3	<i>Muestreo y determinación del contenido de carbono orgánico en el suelo y densidad aparente en el suelo</i> .....	29
	3.5.3.1 Contenido de carbono orgánico en el suelo.....	29
	3.5.3.2 Densidad aparente del suelo (DA).....	29
3.6	Métodos de estimación.....	30
3.6.1	<i>Estimación de diversidad florística</i> .....	30
3.6.2	<i>Estimación de biomasa y carbono</i> .....	30
3.7	Tasa de acumulación de carbono en los diferentes sistemas de producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	33
3.8	Estimación de la productividad, costos e ingresos en los diferentes sistemas de producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	34
3.8.1	<i>Producción de cacao en los seis sistemas de uso agrícolas</i> .....	34
3.8.2	<i>Producción de plátano en los sistemas de uso agrícola</i> .....	35
3.8.3	<i>Producción de yuca en los sistemas de uso agrícola</i> .....	36
3.8.4	<i>Costos de producción</i> .....	36
3.8.5	<i>Ingresos totales y netos para cada cultivo evaluado en los sistemas de uso de la tierra</i> .....	37
3.9	Análisis estadístico .....	37
3.10	Ingresos potenciales basados en el precio del carbono en el mercado internacional y por producción agrícola .....	38

3.10.1	<i>Determinación e ingresos potenciales por la venta carbono.....</i>	39
3.10.2	<i>Ingresos potenciales totales por la venta de carbono y productos agrícolas en el 2011 .....</i>	39
3.10.3	<i>Posibles efectos de diversificación sobre la riqueza de especies, carbono e ingresos potenciales (variación de los stocks de C y producción) entre los sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....</i>	39
4	<b>RESULTADOS .....</b>	41
4.1	Caracterización florística entre los sistemas de uso agrícolas y bosque primario de la Reserva de Biosfera Sumaco.....	41
4.2	Estructura de la vegetación arbustiva y arbórea de los sistemas de uso de la tierra estudiados	41
4.2.1	<i>Estructura en los latizales altos .....</i>	41
4.2.2	<i>Estructura en fustales.....</i>	43
4.3	Riqueza y diversidad en los sistemas de uso de la tierra.....	45
4.3.1	<i>Taxonomía y riqueza en los latizales .....</i>	45
4.3.2	<i>Taxonomía, riqueza y diversidad en fustales .....</i>	46
4.3.3	<i>Análisis de correlación entre variables de abundancia, dominancia con riqueza y diversidad en los diferentes sistemas de uso considerando fustales y latizales.....</i>	50
4.4	Carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra estudiados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	51
4.4.1	<i>Carbono almacenado en la biomasa.....</i>	51
4.4.2	<i>Carbono almacenado en la necromasa.....</i>	52
4.4.3	<i>Carbono orgánico en suelo .....</i>	52
4.4.4	<i>Carbono total .....</i>	52
4.4.5	<i>Tasas de incremento anual de carbono.....</i>	55
4.5	Productividad en los sistemas de uso agrícola en la Reserva de la Biosfera Sumaco	57
4.5.1	<i>Producción anual por sistema de uso de la tierra .....</i>	57
4.5.2	<i>Ingresos totales por producción anual en cada sistema de uso agrícola .....</i>	58
4.5.3	<i>Costos de producción por hectárea en cada sistema de uso.....</i>	59
4.5.4	<i>Ingresos netos en los sistemas de uso de la tierra .....</i>	60
4.6	Ingresos potenciales por la venta de carbono y productividad.....	62
4.6.1	<i>Ingresos por la venta de carbono.....</i>	62
4.6.2	<i>Ingresos por venta de carbono y productividad.....</i>	63
4.7	Relación entre las variables de riqueza, carbono y productividad a través de los ingresos generados .....	64

4.7.1	<i>Posibles efectos de diversificación de sistemas de uso: riqueza, carbono e ingresos potenciales (variación de los stocks de CO<sub>2e</sub> y producción)</i> .....	66
5	DISCUSIÓN .....	70
5.1	¿Existen influencias entre el componente arbóreo hacia la diversidad-riqueza, almacenamiento de carbono y producción-ingresos? .....	70
5.2	¿Existe relación entre las chakras y cultivos de cacao sobre la diversidad, carbono y productividad e ingresos? .....	74
5.3	¿En los sistemas de cultivo de cacao se justifica la incorporación de injertos masivamente a las nuevas plantaciones? .....	75
5.4	¿El carbono es una solución para la conservación y desarrollo económico de los productores en la Reserva de la Biosfera Sumaco? .....	76
5.5	¿Qué implica la diversificación de los sistemas de producción frente a la riqueza, almacenamiento de carbono y la producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco? .....	78
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80
6.1	¿Existen influencias entre el componente arbóreo hacia la diversidad-riqueza, almacenamiento de carbono y producción-ingresos? .....	80
6.2	¿Existe relación entre las chakras y cultivos de cacao sobre la diversidad, carbono y productividad e ingresos? .....	80
6.3	¿En los sistemas de cultivo de cacao se justifica la incorporación de injertos masivamente a las nuevas plantaciones? .....	81
6.4	¿El carbono es una solución para la conservación y desarrollo económico de los productores en la Reserva de la Biosfera Sumaco? .....	81
6.5	¿Qué implica la diversificación de los sistemas de producción frente a la riqueza, almacenamiento de carbono y la producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco? .....	82
6.6	Recomendaciones .....	82
7	BIBLIOGRAFÍA .....	84
	ANEXOS .....	96

Jadán, A. 2012. Influencia del uso de la tierra con cultivos de cacao, chakras y bosque primario, sobre la diversidad, almacenamiento de carbono y productividad en la Reserva de la Biosfera Sumaco, Ecuador. Tesis Mag Sc. Turrialba CR. CATIE. 109 p.

Palabras clave: sistemas de uso de la tierra, carbono, diversidad, riqueza, productividad.

## RESUMEN

La investigación se realizó en la Reserva de la Biosfera Sumaco, en la provincia del Napo, Republica del Ecuador. Se estudiaron siete sistemas de uso de la tierra: Chakras con y sin sombra, cultivos de cacao propagados por semilla con y sin sombra, cacao injertado con y sin sombra y bosque primario. Se evaluaron tres variables de respuesta: diversidad arbórea y arbustiva, almacenamiento-acumulación de carbono (C) y productividad, en los diferentes sistemas de usos de la tierra.

La riqueza de especies se la evaluó para latizales y fustales. Los latizales registraron un promedio de 27 especies en el bosque primario. En los sistemas agrícolas, el cacao semilla e injertado con sombra registraron los mayores promedios, con 3.4 y 3.1 especies respectivamente. Los fustales registraron 53 especies en el bosque primario y el cacao semilla con sombra 9.3 especies, superando a todos los sistemas agrícolas.

Según los índices de Shannon, Simpson y  $\alpha$  Fisher, el bosque primario es el más diverso con respecto a los sistemas agrícolas con sombra. De acuerdo con el índice de equitatividad todos los sistemas agrícolas son iguales. Los sistemas de uso agrícola no presentan diferencias significativas  $\alpha=0.05$  considerando todos los índices evaluados.

El bosque primario presentó las mayores cantidades de C total almacenado (334 Mg C ha<sup>-1</sup>) y el cacao semilla con sombra (141.4 Mg C ha<sup>-1</sup>) en los sistemas agrícolas. El componente con mayor aporte al almacenamiento de carbono en el bosque es la biomasa con el 79.1% y el suelo con rangos de 48.9 a 90.2% en los sistemas agrícolas. En todos los sistemas el C que está bajo del suelo (62.4%) es aproximadamente el doble del que esta sobre el suelo (37.6%). En los sistemas de uso agrícola el que posee mayor tasa de acumulación es el cacao semilla con sombra con 4.9 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

La productividad registró ser superior en los sistemas sin sombra con 3 916 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respecto a los con sombra que registran 2 190 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los sistemas sin sombra registran ingresos netos de 2 081 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> superiores a los sistemas con sombra que registran 1 383 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, marcando una diferencia de 698 USD para el año 2011.

Los ingresos potenciales por la venta de C, según las tasas de acumulación y un precio referencial en el mercado voluntario internacional de C de cinco USD Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, resultó ser inferior para el bosque primario el que registró 8.3 USD Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En los sistemas agrícolas el cacao semilla con sombra tiene el mayor valor con 89 USD Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a diferencia de la chakra sin sombra que registró 26.6 USD Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

En la diversificación de paisajes en los sistemas de uso agrícolas, la combinación entre los sistemas cacao semilla e injerto con sombra resultó ser la que mayor cantidad de especies conserva con 23.6 especies ha<sup>-1</sup>. También son los sistemas que mayor cantidad de C almacena con 153.4 Mg C ha<sup>-1</sup>. Referente a las tasas de acumulación de stocks de C en unidades de CO<sub>2e</sub>, los sistemas mencionados poseen los máximos valores con 20.2 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que significa monetariamente ingresos potenciales de 101.2 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los sistemas cacao semilla sin sombra y cacao semilla con sombra son los que presentan mayores ingresos potenciales por la venta de C y también por productividad con 2 370.5 USD ha<sup>-1</sup> año

Jadan, A. 2012. Influence of land use with cocoa crops, chakras and primary forest on diversity, carbon storage and productivity in Sumaco Biosphere Reserve, Ecuador. Turrialba CR Mag Sc Thesis. CATIE. 109 p.

Keywords: systems of land use, carbon, diversity, richness, productivity.

## SUMMARY

The research was conducted in Sumaco Biosphere Reserve in the province of Napo, Republic of Ecuador. We studied seven systems of land use: Chakras with and without shade, cocoa crops propagated by seed with and without shade, cacao grafted with and without shade and primary forest. We evaluated three response variables: tree and shrub diversity, storage-accumulation of carbon (C) and productivity in the different systems of land use.

Species richness was evaluated for the saplings and upper-stem. The saplings showed an average of 27 species in primary forest. In agricultural systems, cocoa seed and grafted shaded recorded the highest averages with 3.4 and 3.1 species, respectively. The upper-stem recorded 53 species in primary forest and cocoa seed shaded 9.3 species, surpassing all agricultural systems.

According to Shannon, Simpson, and  $\alpha$  Fisher indexes, the primary forest is the most diverse with respect to agricultural systems with shade. According to the Equitability index all systems are equal. Agricultural systems are not significantly different  $\alpha = 0.05$  considering all indexes evaluated.

Primary forest had the highest amount of total C stored ( $334 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) and cocoa seed shaded ( $141.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) in agricultural systems. The component with largest contribution to carbon storage in forest is biomass with 79.1% and in agricultural systems is the soil with ranges of 48.9 to 90.2%. In all systems, C which is under the floor (62.4%) is approximately twice that on the floor (37.6%). In agricultural systems, cacao seed shaded has a higher rate of C accumulation with  $4.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ .

Productivity reported to be higher in unshaded systems with  $3\ 916 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  with respect to shaded systems, which recorded  $2\ 190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . Unshaded systems reported net

income of US\$ 2 081 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> than shaded systems that record US\$ 1 383 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, making a difference of 698 US\$ for the year 2011.

Potential income from C sale according to the rates of accumulation and a reference price in the international voluntary carbon market of US\$ five Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, was lower for the primary forest which registered US\$ 8.3 Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. In agricultural systems cocoa seed shaded has the highest value with US\$ 89 Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, in contrast to US\$ 26.6 Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> recorded in unshaded chakra.

In the diversification of landscapes in agricultural use systems, the combination between cacao seed and grafting shaded systems proved to be the most number of species preserved with 23.6 species ha<sup>-1</sup>. Systems are also greater quantity of carbon stored with 153.4 Mg ha<sup>-1</sup>. Regarding the rates of C stock accumulation in units of CO<sub>2e</sub>, the above systems have the highest CO<sub>2</sub> values with 20.2 Mg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, which means monetarily potential income of US\$ 101.2 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. Cocoa seed shaded and cocoa seed unshaded systems are those with the highest potential income from C sale and also productivity with US\$ 2 370.5 ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Almacenamiento de C ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ) en bosques naturales de Centroamérica .....	9
Cuadro 2. Categorías de cobertura vegetal existente en el 2008 de la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	19
Cuadro 3. Variables evaluadas en los diferentes usos de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	22
Cuadro 4. Sistemas de uso de la tierra evaluados y número de parcelas instaladas en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	23
Cuadro 5. Ecuaciones alométricas utilizadas en la estimación de biomasa aérea en los árboles de sombra y plantas de cacao en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	31
Cuadro 6. Ecuaciones matemáticas aplicadas para los cálculos de la biomasa debajo del suelo en los diferentes componentes evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco	32
Cuadro 7. Valores del Índice de Valor de Importancia (IVI) considerando árboles con un $\text{dap} \geq 10$ cm de las 5 especies más importantes, existentes en los 7 sistemas de uso de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	42
Cuadro 8. Promedios $\pm$ error estándar del $\text{N ha}^{-1}$ considerando latizales entre 5-9.9 cm de $\text{dap}$ , para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco..	43
Cuadro 9. Promedios $\pm$ error estándar del área basal ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) considerando latizales altos entre 5-9.9 cm de $\text{dap}$ , para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	43
Cuadro 10. Promedios $\pm$ error estándar del ( $\text{N ha}^{-1}$ ), considerando árboles con un $\text{dap} \geq 10$ cm, para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco. ....	44
Cuadro 11. Promedios $\pm$ error estándar del área basal ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) considerando árboles con un $\text{dap} \geq 10$ cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	45
Cuadro 12. Promedios $\pm$ error estándar, para la taxonomía en número de familias, géneros y especies, considerando latizales entre 5-9.9 cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	46

Cuadro 13. Promedios $\pm$ error estándar, para la taxonomía en número de familias, géneros y especies considerando árboles con un dap $\geq$ 10 cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	46
Cuadro 14. Promedios $\pm$ error estándar, para los índices de diversidad, equitatividad y número de especies, considerando árboles con un dap $\geq$ 10 cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	48
Cuadro 15. Análisis de correlación entre las variables de abundancia-dominancia con riqueza y diversidad de especies en los sistemas estudiados .....	51
Cuadro 16. Promedio $\pm$ error estándar para el C almacenado en los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	53
Cuadro 17. Valores relativos de los diferentes componentes de almacenamiento de C en los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	54
Cuadro 18. Promedio $\pm$ error estándar para las tasas de acumulación de los stocks de C en los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	56
Cuadro 19. Promedios $\pm$ errores estándar de la producción bruta de los tres productos evaluados para los seis sistemas de uso agrícola evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	58
Cuadro 20. Promedio $\pm$ error estándar de los ingresos totales para los seis sistemas de uso agrícola evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	59
Cuadro 21. Promedio $\pm$ error estándar de los costos de producción para los seis sistemas de uso agrícola, evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	60
Cuadro 22. Promedio $\pm$ error estándar de los ingresos netos para los seis sistemas de uso agrícola, evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	61
Cuadro 23. Promedio $\pm$ error estándar de los ingresos potenciales por el incremento de los stocks de C en los sistemas agrícolas estudiados en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	63
Cuadro 24. Promedio $\pm$ error estándar de los valores estimados para la cuantificación monetaria de un posible ingreso potencial por acumulación de C y producción en los sistemas de producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	64
Cuadro 25. Regresiones lineales entre las variables de riqueza, carbono e ingresos en los seis sistemas agrícolas estudiados .....	65

Cuadro 26. Correlaciones entre las variables de riqueza, carbono e ingresos, en los sistemas agrícolas .....	65
Cuadro 27. Promedios $\pm$ desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra en relación a la riqueza de especies en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	66
Cuadro 28. Promedios $\pm$ desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra en relación al C total almacenado en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	67
Cuadro 29. Incremento promedio anual de los stocks de C (CO <sub>2e</sub> ) $\pm$ desvíos estándar, de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra respecto en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	67
Cuadro 30. Promedios de los valores monetarios estimados por incrementos anuales de los stocks de C (CO <sub>2e</sub> ) $\pm$ desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco .....	68
Cuadro 31. Promedio de los valores monetarios totales por incrementos anuales de los stocks de C (CO <sub>2e</sub> ) y por producción $\pm$ desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra, en la Reserva de la Biosfera Sumaco.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Almacenamiento de C en los diferentes componentes en la amazonia peruana. ....	11
Figura 2. Mapa de ubicación del área de investigación en la Reserva de la Biosfera Sumaco, cantones Archidona y Tena, provincia de Napo, Ecuador. ....	18
Figura 3. Ejemplo de parcela temporal de muestreo instalada en los diferentes sistemas de uso de la tierra para la determinación de la diversidad florística, estimación de biomasa y C orgánico en el suelo, en la Reserva de la Biosfera Sumaco, provincia del Napo, Ecuador. ....	26
Figura 4. Familias, géneros y especies presentes en los sistemas de uso agrícola evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco, considerando árboles con un dap $\geq$ 10 cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco. ....	47
Figura 5. Curvas de rarefacción de especies considerando árboles con un dap $\geq$ 10 cm para los siete tipos de uso según el número de parcelas muestreadas (0.16 ha), en la Reserva de la Biosfera Sumaco. ....	48
Figura 6. Curvas de rarefacción de especies considerando árboles con un dap $\geq$ 10 cm, para los siete tipos de uso según el número de individuos con 35 muestras aleatorizadas, en los siete sistemas de uso de la tierra estudiados, en la Reserva de la Biosfera Sumaco. ....	50
Figura 7. Distribución del almacenamiento del carbono, en la biomasa total, necromasa y suelo en los siete sistemas de uso de la tierra estudiados, en la Reserva de la Biosfera Sumaco. ....	55
Figura 8. Distribución de los ingresos netos (IN) en los diferentes sistemas de uso de la tierra evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco. ....	62

## LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

ANACAFE: Asociación Nacional del Café en Guatemala.

ANECACAO: Asociación Nacional de Exportadores de Cacao.

C: Carbono

CO<sub>2</sub>: Dioxido de carbono

CLIRSEN: Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos.

INIAP: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

IPCC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.

GEI: Gases de efecto invernadero

GIZ: Cooperación Alemana para el desarrollo.

KALLARI: El Comienzo (*Kichwa*). Acróstico de la Asociación de productores de Café, Cacao y Artesanías del Napo.

MAE: Ministerio del Ambiente del Ecuador.

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

Mg C ha<sup>-1</sup>: Megagramos de carbono por hectárea.

Mg C ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>: Megagramos de carbono por hectárea al año.

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

REDD+: Reducción de emisiones por degradación y deforestación.

SAFs: Sistemas Agroforestales.

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

USAID-RED: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional- Programa de Diversificación Económica, Honduras.

# 1 INTRODUCCIÓN

La deforestación dirigida para la implementación de sistemas convencionales de producción agrícola ha sido una causa determinante de la constante pérdida de los ecosistemas tropicales naturales (Geist y Lambin 2002). La problemática es evidente especialmente en zonas húmedas, con regímenes altos de precipitación y topografía irregular en sitios con pendientes pronunciadas (Francisco-Nicolás *et al.* 2006). Frecuentemente, bajo estas características fisiográficas y climáticas se da una temprana degradación de los suelos. La baja fertilidad resulta en una baja productividad, lo que a su vez provoca la secuencia habitual de abandono temprano de tierras y la conversión de áreas de bosque en búsqueda de nuevas áreas de cultivo (Steimbregger *et al.* 2003).

Estos procesos, sumados a otros factores de índole socioeconómico, han marcado la destrucción de muchas áreas de bosques naturales en la región tropical. Este proceso ha producido una drástica reducción o pérdida de la rica diversidad de especies vegetales y animales (Guevera *et al.* 2004, Arroyo *et al.* 2007). Así mismo, es una de las principales causas que han provocado la emisión de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, influenciando directamente el calentamiento global (Ávila *et al.* 2001). Se estima que las emisiones procedentes de cambios de uso de las tierras tropicales alcanzan 1.6 Pg C año<sup>-1</sup>, frente a una absorción de 1.1 Pg C año<sup>-1</sup>; un desequilibrio negativo de 0.5 Pg C año<sup>-1</sup> (Brown 1997).

Los sistemas agroforestales (SAFs), a través de la optimización de actividades productivas, constituyen una estrategia viable para detener el avance de la frontera agrícola (Torres 2005). Prestan servicios ecosistémicos dirigidos hacia la conservación de la biodiversidad, con el aumento de especies tanto animales como vegetales comparando sistemas tradicionales de producción de cultivos (Huang *et al.* 2002). También permiten mejorar la conectividad y el movimiento de especies en paisajes fragmentados o deforestados (Bhagwat *et al.* 2008, Beer 2003). Económicamente, permiten dar un valor agregado a la tierra por la presencia de especies maderables, lo que beneficia directamente a los productores mejorando la rentabilidad del sistema (Rice y Greenberg 2000). En la actualidad los SFAs, constituyen estrategias de mitigación al cambio climático y al mismo tiempo mantienen la productividad y eficiencia económica de los cultivos (PNUD *et al.* 2009). Debido a esto, la implementación y el buen manejo de los SAFs con cacao en muchos países tropicales se

justificaría y encajaría dentro de un sistema de incentivos por pago de servicios ambientales ya que las cantidades de carbono almacenadas en todos los componentes pueden alcanzar valores considerables como el reportado por Somarriba *et al.* (2011) para Centroamérica con promedios de 117 Mg C ha<sup>-1</sup>.

Este producto ha sido cultivado milenariamente por más de 3000 años. El cacao es una arbórea, nativa de la cuenca del Amazonas en América del Sur, fue domesticada por etnias mayas de América Central (Somarriba *et al.* 2010). En la actualidad diversos grupos sociales de Panamá, Costa Rica, Guatemala, Belice y Honduras lo producen y comercializan masivamente (CATIE 2006). La producción actual de cacao de América Central representa menos del 0.1% de la producción mundial, beneficiando económicamente a más de 15000 familias que viven en zonas remotas y de difícil acceso en esta región (CATIE y PCC 2008).

El Ecuador es uno de los países con la mayor tasa de deforestación en América latina con 1.3% (MAE 2009). Los sectores agrícola y forestal son los principales causantes de este proceso, con agricultores y ganaderos en busca de nuevas áreas para sus actividades productivas y la tala ilegal eliminando los bosques sin cumplir las normas de manejo forestal sustentable vigentes en el país. También los proyectos mineros y petroleros participan masivamente en este proceso (Ramos *et al.* 2010). En muchas regiones del país se observa un gradiente de deforestación, que empieza con la tala de los bosques naturales con el objetivo de implementar diferentes sistemas productivos como cultivos de café, cacao, maíz, chacras amazónicas y pastizales.

En el país el cultivo de cacao es uno de los productos agrícolas más importantes debido a que existe una gran demanda del producto a nivel internacional. Más del 70% de la producción mundial de cacao fino de aroma procede de tierras ecuatorianas. Esto ha generado una fama importante y favorable para el comercio de este producto y la economía agrícola del país (ANECACAO 2011).

En la Región del Sumaco la actividad cacaotera es llevada por indígenas y en menor cantidad por colonos. Las plantaciones de cacao están combinadas con árboles frutales, maderables y musáceas dispuestos aleatoriamente, dando origen a sistemas agroforestales rústicos o policultivos tradicionales (Rice y Greenberg 2000). También se la realiza en sistemas si sombra, evidenciándose las ventajas y desventajas en cada sistema.

Las chakras amazónicas presentes en el Sumaco son sistemas de producción de diversos cultivos con sombra y sin sombra con el mayor objetivo de contribuir a la subsistencia de los indígenas. Sobresalen especies de plantas maderables, frutales, medicinales y de consumo alimenticio para las comunidades kiwchuas, tales yuca, plátano, cacao, café y maíz (MAE y GESOREN-GTZ 2008).

El presente estudio forma parte de la misión que persigue la GIZ en la Reserva de La Biosfera Sumaco, Ecuador y que consiste en “Conservar la biodiversidad integralmente”. Se espera que los resultados sirvan como herramienta de gestión local dirigida a generar beneficios sociales y ambientales entre los que se encuentra la conservación de la biodiversidad.

En esta investigación se cuantificó y comparó la diversidad florística, el carbono almacenado y la productividad en diferentes usos de la tierra incluyendo el bosque primario. Este es el primer estudio donde se evalúa el almacenamiento de carbono en las chakras de la región del Sumaco, mediante lo cual se conoció el potencial de provisión de servicios ambientales de estos sistemas. También se realizó una posible combinación de las variables evaluadas como estrategia de diversificación de paisaje como una herramienta de planificación con fines de conservación y productividad.

Bajo una validación de los SAFs como ecosistemas de mitigación al cambio climático, se pretende contribuir en un futuro a los objetivos de la estrategia mundial de Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación REDD+. Esta estrategia se basa en principios que tienen por reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero también generar beneficios adicionales paralelos a este, como la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### ***1.1.1 Objetivo general***

Contribuir al conocimiento sobre el estado de los bosques naturales, cultivos de cacao y chakras de la Reserva de la Biosfera Sumaco, con respecto a los valores de conservación de la biodiversidad, almacenamiento de carbono y productividad.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- Cuantificar la diversidad florística arbórea y arbustiva, en los siguientes sistemas de usos de la tierra de la reserva de la Biosfera Sumaco, Ecuador: (chakra con y sin sombra, sistemas de cultivo de cacao propagados por semilla con y sin sombra, cacao injertado con y sin sombra y bosque primario).
- Estimar el carbono almacenado en los componentes del ecosistema (biomasa aérea, subterránea, necromasa y suelos) en los siete sistemas de uso de la tierra.
- Estimar la productividad agrícola en los siete sistemas de uso del suelo en relación a tres productos: cacao, plátano y yuca.
- Estimar los ingresos económicos potenciales de los diferentes sistemas de uso del suelo en relación a un precio en el mercado de carbono y por productividad.

### **1.2 Hipótesis del estudio**

- Los sistemas de uso del suelo no influyen en la diversidad florística existente.
- Los diferentes tipos de uso del suelo no influyen en la cantidad de carbono almacenado a nivel de ecosistema.
- Los diferentes tipos de uso del suelo no influyen sobre la productividad en cada sistema evaluado.
- Los sistemas de uso no influyen en los ingresos potenciales en cada sistema evaluado.

### **1.3 Preguntas de investigación**

- ¿Existe relación entre el componente arbóreo con la diversidad-riqueza, almacenamiento de carbono y producción-ingresos en los sistemas productivos?
- ¿Existen influencias entre los cultivos de cacao y las chakras, sobre la diversidad, carbono y productividad?
- ¿En los sistemas de cultivo de cacao se justifica la incorporación de injertos masivamente a las nuevas plantaciones?
- ¿Existen sinergias entre los sistemas agroforestales, la conservación y conectividad?
- ¿El carbono es una solución para la conservación y desarrollo económico de los productores en la Reserva de la Biosfera Sumaco?

- ¿Qué implica la diversificación de los sistemas de producción frente a la riqueza, almacenamiento de carbono y la producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco?

## 2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Diversidad florística

#### 2.1.1 *Bosques tropicales naturales*

Los bosques tropicales poseen una alta diversidad de especies vegetales. Del total mundial de plantas vasculares, alrededor de dos tercios (170 000 especies) se encuentran en las regiones tropicales. De estas, 85 000 están distribuidas en centro y sur América, 35 000 en África tropical (8 500 en Madagascar) y 40 000 en Asia (25 000 en Malasia) (Whitmore 1990).

La diversidad de especies en los bosques tropicales es un indicador de factores ecológicos, ambientales y la forma de intervención antrópica ejercida a través del tiempo. La diversidad florística puede medirse de dos formas: el número de especies presentes en la comunidad (riqueza) y la abundancia relativa de las especies (Moreno 2001, Melo y Vargas 2003).

En los estudios típicos para medir la diversidad vegetal se delimita una parcela o unidad de muestreo. Luego se procede a registrar todos los individuos según un diámetro mínimo y su hábito de crecimiento. Los individuos vegetales que se priorizan son los árboles con individuos mayores a 10 cm de diámetro a la altura del pecho (dap) ya que, generalmente, estos determinan la estructura, dinámica y funcionamiento de los bosques (Berry 2003).

Los bosques neotropicales son los más diversos del mundo (Gentry 1988a, Valencia *et al.* 1994). Esta característica fue atribuida en principio a los ubicados al sur este asiático (Berry 2003) pero otros estudios han demostrado que actualmente los bosques más ricos de mundo se encuentran en Yanamomo, Perú, y Cuyabeno, Ecuador. En el primer sitio, Gentry (1988b) registró 283 especies arbóreas mientras que Valencia *et al.* (1994, citado por Berry 2003) registraron 307 especies de árboles con diámetro  $\geq 10$  cm dap en una parcela de 1 ha. Ambos sitios son pertenecientes a la cuenca de río Amazonas.

### **2.1.2 Sistemas agroforestales**

La diversidad florística arbórea en los sistemas agroforestales (SAFs) de cacao, está determinada por el tipo de sombra, arreglo o manejo que poseen. En Centroamérica existen cultivos de cacao bajo gradientes de tipos de sombra. Los más comunes son los de cacao rústico, donde se cultivan las plantas de cacao bajo la sombra de bosque primario o secundario; sombra plantada, que va desde los policultivos tradicionales hasta sombra comercial monoespecífica especializada para cultivo de cacao y cultivo tecnificado, sin ningún tipo de sombra (Rice y Greenberg 2000).

En un estudio realizado en Chiapas México, el inventario de especies arbóreas en una área de muestreo de 7.2 ha registró 790 árboles que representaron 23 familias botánicas, 38 géneros y 47 especies (Salgado Mora *et al.* 2007). Matey *et al.* (2010) en su estudio realizado en sistemas agroforestales y fragmentos boscosos en Nicaragua, registraron 348 árboles por hectárea pertenecientes a 56 familias botánicas, 110 géneros y 130 especies.

La diversidad de árboles y cultivos protegidos o cultivados dentro de SAFs proveen una diversa gama de nichos y hábitats ecológicos para animales y plantas (diversidad asociada). Aves, murciélagos, mamíferos silvestres entre otros, anidan o toman como refugio a los árboles. También se alimentan de frutas, forraje, polen, algunas especies de fauna silvestre (Jiménez *et al.* 2001).

Además de proveer hábitats y alimentos, la diversidad arbórea en los SAFs ayuda a la conservación de la biodiversidad creando condiciones de microclima y suelo más favorables para el desarrollo de otras especies vegetales que en sistemas agrícolas monoespecíficos. Los árboles también actúan como núcleos para la deposición de semillas y regeneración natural dentro de los SAFs, policultivos tradicionales o rústicos (Jiménez *et al.* 2001).

## **2.2 Causas socio-económicas de la deforestación**

La ausencia de políticas públicas idóneas para un contexto donde el fomento a la colonización, el sistema de otorgamiento de tierras baldías y el desarrollo agropecuario han conducido en muchos países tropicales a una substancial y continua reducción de los recursos forestales (Ocampo y Eclac 1999). En América Latina y el Caribe, la pobreza es una causa

importante del deterioro ambiental mostrado especialmente en las comunidades rurales (Purnamasari 2010). Estas adoptan formas de apropiación del patrimonio natural que alivian transitoriamente sus necesidades y provocan, a corto y mediano plazo, pérdidas permanentes de dicho capital.

Además, la colonización, que está impulsada en varios contextos por condiciones de pobreza, lleva a los pobladores rurales a ocupar zonas boscosas de alto valor ecológico pero que carecen muchas veces de capacidad para sostener actividades agrícolas rentables (Pearce 1990). Por otro lado, prácticas que producen degradación de los recursos, como la extracción de leña para combustible y la depredación de fauna silvestre para la alimentación o el comercio, son actividades adicionales en las que participan algunas comunidades pobres para garantizar su subsistencia (Pearce 1990).

A través de análisis empíricos en el trópico se ha llegado a detectar que las actividades agrícolas en áreas rurales están fuertemente relacionadas con los procesos de deforestación y degradación de los bosques. Esto se debe a la ausencia de activos no ambientales de los pobladores pobres, como el desarrollo en los capitales humanos a través de la concientización y educación ambiental (Loening y Markussen 2003).

El Ecuador, considerado uno de los 17 países megadiversos en el mundo (Estrella 2005), también es uno de los países con la tasa de deforestación más alta (1.7%) en América Latina (MAE 2009) debido a la falta de un manejo adecuado y consciente de los recursos naturales. Este fenómeno se ha producido de manera sistemática, impulsado desde el mismo estado cuando se aplicó la ley de reforma agraria y colonización en la década de los 70. Ésta estipulaba que para los colonos puedan obtener su título de propiedad sobre tierras baldías debían talar por lo menos el 50% de bosque en sus respectivos lotes (Conforme *et al.* 2001).

Algunas regiones de importancia biológica para la conservación se encuentran acosadas por problemas de deforestación y fragmentación del paisaje como consecuencia de las actividades antrópicas. Estos fenómenos son responsables de cambios en la estructura, función e integridad de los ecosistemas (Bennet 2004), además del agotamiento de bienes y servicios ambientales, incide notable y negativamente sobre el futuro socioeconómico de sus habitantes (Morales y Parada 2005).

## 2.3 Almacenamiento de carbono

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el GEI que más contribuye al calentamiento global. Una forma de mitigar sus efectos es almacenarlo en dos componentes principales de los ecosistemas terrestres: en la biomasa a través de la fotosíntesis y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica (Ávila *et al.* 2001).

### 2.3.1 Almacenamiento de carbono en los bosques naturales

Los bosques contribuyen potencialmente al cambio climático global debido a su rol en el ciclo del carbono. Estos ecosistemas almacenan grandes cantidades de carbono (C) en la vegetación y el suelo (Cuadro 1), intercambian carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, y son fuentes de carbono atmosférico cuando sufren perturbaciones por causas humanas y naturales. Además, se convierten en sumideros o reservas de C atmosférico a través de procesos sucesionales (Brown 1997).

Cuadro 1. Almacenamiento de C (Mg C ha<sup>-1</sup>) en bosques naturales de Centroamérica

Ecosistema	Biomasa (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Suelos (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Total (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Localidad	Referencia
Bosques húmedo	-	-	214	Guatemala	Arreaga (2002)
Bosques húmedo	-	-	227-290	Nicaragua	Lagos y Venegas (2003)
Bosque primario	60-230	-	55 -208		Brown <i>et al.</i> (1997)
Bosque secundario (22 años)	134.5	113.1	247.6	Cartago Costa Rica	Mena (2008).
Bosque secundario	23-172	-	23-172		Brown <i>et al.</i> (1997)
Bosques secundarios (15-25)	144	126	269	Nicaragua y Costa Rica	Ibrahim <i>et al.</i> (2007)
Bosque primario	215	125	368.8	Costa Rica	Cifuentes (2008)

Cerca de un 14% de las emisiones de CO<sub>2</sub> resultan de la deforestación y degradación de los ecosistemas forestales. Estas emisiones podrían ser revertidas a través de la reforestación, la promoción de la regeneración natural o el manejo y aprovechamiento sustentable. Esto implica recapturar el CO<sub>2</sub>, disminuir la concentración de GEI en la atmósfera y aportar a la reducción del calentamiento global (Schlegel 2001). Este fenómeno ha

impulsado a firmar acuerdos internacionales donde cada estado se compromete internacionalmente a la reducción de GEI (Russo 2009).

Según Silver *et al.* (2000) el potencial de fijación de C en los bosques secundarios de 0 a 20 años de edad varía de 2 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a 3.5 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Segura *et al.* (2000) en bosques naturales de Centro América registró una tasa de fijación de 0.9 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en bosques maduros. Se confirma que los bosques naturales o maduros son buenos depósitos de C pero los bosques secundarios tiene mayores tasas de fijación (Chacón *et al.* 2006)

En estudios realizados en América Central acerca de almacenamiento de C en bosques húmedos de Nicaragua, se registró entre la biomasa y el suelo rangos entre 227 y 290 Mg C ha<sup>-1</sup> (Lagos y Vanegas 2003). En bosques húmedos de Guatemala se registraron 214 Mg C ha<sup>-1</sup> de C total (Arreaga 2002). En otro estudio realizado en bosques secundarios en Costa Rica y Nicaragua y los bosques riparios en Colombia, se obtuvieron valores promedio de 269 Mg C ha<sup>-1</sup>, mucho mayores comparados con otros tipo de uso del suelo como pasturas (mejoradas con o sin árboles) y bancos forrajeros (Ibrahim *et al.* 2007). En un estudio realizado por Cifuentes (2008), en bosques húmedos secundarios de Costa Rica se registraron valores de 206.8, 128, 312 y 272.4 Mg C ha<sup>-1</sup> en bosques secundarios de 0.7, 1, 29 y 18 años, respectivamente.

### ***2.3.2 Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales***

El valor de los sistemas agroforestales es reconocido cada vez más en todo el mundo por el servicio de la captura de C. Con un adecuado manejo tienen el potencial para recuperar, en parte, la pérdida de C emitida a la atmosfera por la tala de los bosques naturales (Montagnini y Nair 2004). Watson *et al.* (2000) estima que el área mundial actual bajo SAFs es de 400 millones de hectáreas. Con una ganancia de secuestro de C estimada en 0.72 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> se tendría un potencial para secuestro de 26 Tg C año<sup>-1</sup> en 2010, 45 Tg C año<sup>-1</sup> para el 2040 se obtendrá un total de 10<sup>12</sup> Tg ó 1 millón de toneladas. Según Albrecht y Kandji (2003), a nivel mundial, grandes cantidades de C (1.1 a 2.2 Pg) podrían ser retiradas de la atmosfera en los 50 años próximos si los SAFs se implementaran a escala global.

En SAFs pequeños, con una tasa de secuestro de 1.5 a 3.5 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para un periodo de 20 años se triplicarían los *stocks* de C actuales, llegando a 70 Mg C ha<sup>-1</sup> (Watson *et*

al. 2000). En estudios realizados en Costa Rica, se ha demostrado que la cantidad de C almacenado en la biomasa de los árboles de SAFs por lo general oscila de 3 a 23 Mg C ha<sup>-1</sup> y en algunos casos llega a 55 Mg C ha<sup>-1</sup> (Kürsten y Burschel 1993). Esta variación se debe a las características biofísicas de los sitios y sobre todo a la diversidad de los sistemas, relacionando su manejo y diversidad de sombra (Polzot 2004).

Los SAFs tienen una gran importancia como estrategia en el secuestro de C debido al potencial de almacenamiento en los diferentes componentes (árboles, cultivos, hojarasca, suelos, etc.) del ecosistema (Montagnini y Nair 2004; Suárez 2002). Concha *et al.* (2007), en un estudio realizado en la amazonia peruana en SAFs de cacao ubicados en altitudes con rangos de 250 a 450 m.snm encontró diferencias en el almacenamiento de C según la edad del sistema (Figura 1). No se registran datos hasta la actualidad sobre el almacenamiento de C en el sistema productivo denominado chakra.

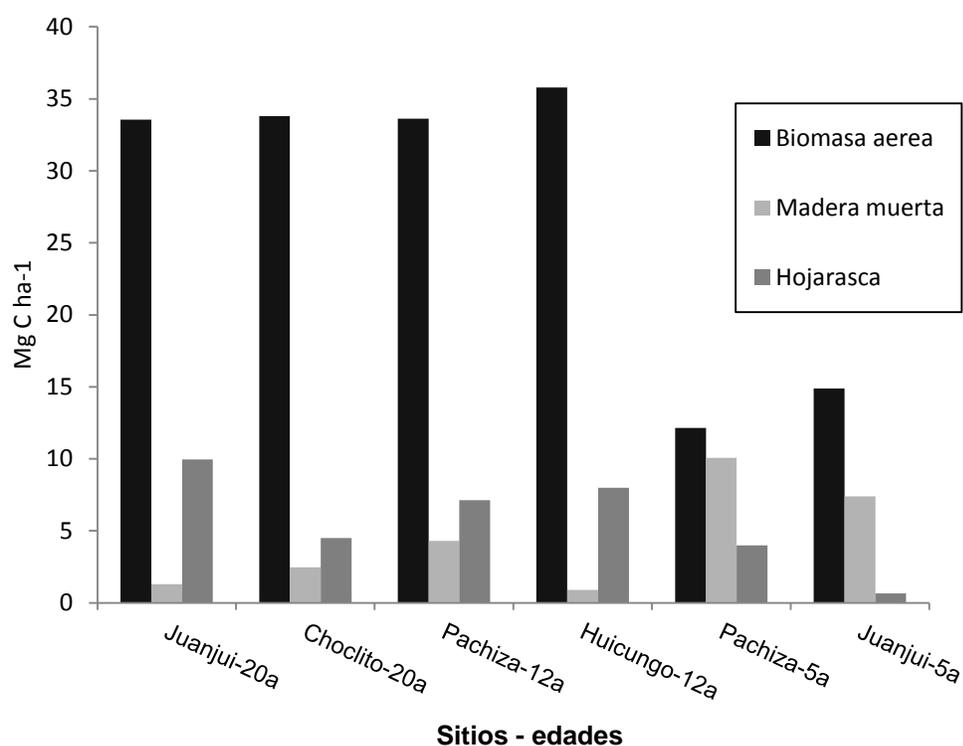


Figura 1. Almacenamiento de C en los diferentes componentes en la amazonia peruana. Fuente: Concha *et al.* (2007).

### **2.3.3 Almacenamiento de carbono en el suelo**

Los suelos son el mayor reservorio de carbono del planeta. Su contenido de carbono orgánico es hasta tres veces más que en las plantas (Oades 1988), dos veces a la cantidad presente en la atmósfera y un tercio del C en los combustibles fósiles en reserva (Gavenda 2000). En sitios de sucesión secundaria, el C del suelo se acumula más rápido en sitios donde la cobertura forestal fue eliminada, pero no se desarrollaron actividades agrícolas y en los sitios de pastoreo o potreros, dependiendo de la intensidad y duración del uso previo (Silver *et al.* 2000).

Gonzales *et al.* (2009), en sistemas agroforestales de cacao y bosques secundarios de 9,10 y 11 años, encontró *stocks* de C en el suelo de 58.2 a 62 Mg C ha<sup>-1</sup>. El suelo fue uno de los componentes principales del sistema representando entre 50,2 y 59,3% del C total de los sistemas respectivamente. El que contiene mayor C almacenado fue el sistema cacao con laurel de 11 años de edad y el menor, cacao con laurel de 9 años de edad. No se registran datos hasta la actualidad sobre el almacenamiento de C en suelos de las chakras en el Sumaco.

### **2.3.4 Métodos de estimación del carbono en la biomasa aérea**

La biomasa sobre el suelo en los componentes vegetales, tanto arbóreos como arbustivos, se calcula mediante el uso de métodos directos destructivos o indirectos no destructivos (Salas y Infante 2006). Los métodos directos son de alto costo y demorados pero son de fundamental importancia para calibrar ecuaciones alométricas utilizadas por los métodos indirectos (Watzlawick 2001). El método directo consiste en medir variables básicas de un árbol: el diámetro a la altura del pecho (dap), altura total, diámetro de copa y longitud de copa. Posteriormente se tala el árbol y se calcula la biomasa, pesando cada uno de sus componentes: fuste, ramas, hojas y raíces (González 2008).

El método indirecto se utiliza cuando se tienen datos dasométricos como el (dap), la altura total y la densidad (o la gravedad específica) de la madera. Esto permite calcular el carbono almacenado en la biomasa total de cada árbol, basado en ecuaciones alométricas previamente derivadas. Existen ecuaciones alométricas generales a nivel de biomas tropicales, así como ecuaciones más específicas por grupo ecológico e inclusive para especies particulares (Navár 2009, Chave *et al.* 2005, Brown *et al.* 1997). El método indirecto es

aplicado cuando la disponibilidad de recursos y tiempo es limitada, cuando existen árboles de muy amplias dimensiones y en casos que no se requiere o no existe la posibilidad de cortar o talar árboles (áreas protegidas) (González 2008).

### ***2.3.5 Métodos de estimación del carbono en los suelos***

Existen muchos métodos para determinar el contenido de C en los suelos, entre los que se destacan: el método basado en la diferencia del C total y el inorgánico, el que determina el C orgánico removiendo el C inorgánico; los métodos de oxidación húmeda (Walkley y Black 1938) y sin calor externo (MacDicken 1997). El método de Walkley y Black es ampliamente aceptado por ser un procedimiento rápido para la determinación de C orgánico (Ulmera *et al.* 1992).

Otro método semi-cuantitativo en la determinación de la materia orgánica es por la pérdida u extracción indiscriminada de la materia orgánica, seguido de la pérdida del peso de la muestra. La extracción de la materia orgánica en el suelo o sedimentos, se da por ignición o calefacción. Un peso conocido de la muestra se lo coloca en un recipiente de cerámica que se calienta entre 440 y 3500 °C durante 12 horas. Luego la muestra se enfría y se pesa. El contenido de materia orgánica se calcula como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra dividido por el peso de la muestra inicial por el 100% (Nelson y Sommers 1996). Este método ha sido automatizado para su aplicación en analizadores cuantitativos CNS, los que proveen resultados rápidos y confiables.

La cuantificación del almacenamiento de C orgánico en los suelos, se basa en tres variables importantes: la concentración de C orgánico en suelo, la densidad aparente y la profundidad de muestreo (Narváez y Gonzalez 2009, Andrade e Ibrahim 2003, Suarez 2002). La primera variable (concentración de C orgánico en los suelos) se determina empleando el método de oxidación de Walkley y Black (1938), el que es muy utilizado cuando no se requiere conocer el contenido total de carbono (Ulmera *et al.* 1992). Otros métodos estiman el C directamente, como los analizadores automáticos de C y nitrógeno total (LECO) mediante el método de Kjeldahl (Bremmer 1996, citado por Galantini *et al.* 2002).

La segunda variable (densidad aparente), una propiedad física de los suelos, se refiere a la masa de suelo por unidad de volumen. Se utiliza para estimar el C orgánico por unidad de

área (Andrade e Ibrahim 2003, Suarez 2002). Se la determina a través del método del cilindro de volumen conocido (Suarez 2002, Coile 1936). Estas dos variables más la de profundidad de sirven para calcular a través de una ecuación matemática el contenido de C almacenado en cada profundidad. El C almacenado total en el suelo es calculado mediante la sumatoria del C almacenado en las diferentes profundidades de muestreo en un estudio (Rügnitz *et al.*2009).

## **2.4 Efecto de la sombra en la diversidad arbórea, almacenamiento de carbono y productividad en los SAFs**

La diversidad arbórea depende directamente del tipo de sistema ((Rice y Greenberg 2000). La sombra en los SAFs tiene muchos beneficios. Primeramente la biomasa aérea, captura y almacena C. Además, la caída de sus hojas alimenta la hojarasca, lo que se traduce en aumento de la materia orgánica del suelo, beneficiando directamente a la fertilidad del suelo (Muschler 1999). También existen aspectos negativos ocasionados por los árboles: puede darse competencia radicular por nutrientes, la sombra excesiva puede reducir la productividad de las especies creciendo en estratos más bajos y las ramas al caer sobre los cultivos pueden causar daños mecánicos (Muschler 1999).

Según Polzot (2004), el sistema que almacena más C es el de sombra diversificada, superando en un 200% al de sombra unificada. Ante esto, este autor recomienda el aumento en número y diversidad de árboles en los SAFs como estrategia de sostenibilidad del sistema a través un ingreso adicional que puede provenir de un pago por servicios ambientales.

También el tipo de especies arbóreas y su combinación influyen en la cantidad y calidad de la biomasa que regresa al suelo al formar parte de la materia orgánica que aportará a la fertilidad del suelo y al C almacenado (Albrecht y Kandji 2003). En sistemas con especies eco-fisiológicamente diferentes (perennifolias y caducifolias), la materia orgánica y funciones en el suelo difieren también. En el caso de la materia orgánica, ésta varía en función de la intensidad de podas, la cantidad y calidad de hojarasca y la distribución radicular. La funciones también son diferentes relacionado directamente con la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la disponibilidad de estos para los cultivos (Villegas 2008).

Martínez y Enríquez (1981) encontraron que los cultivos bajo una sombra intensa tienen menores rendimientos y la adición de fertilizantes no da respuestas positivas. Sin embargo la sombra protege a los cultivos contra la radiación directa, la que ejerce una acción restrictiva sobre su crecimiento. Los árboles de sombra en los SAFs disminuyen los costos de producción al proporcionar ingresos adicionales que provienen de los subproductos como leña, aceites, madera, fibras etc.

En el estudio de Phillips-Mora (1993) se documentó el rendimiento más alto en cacao sin sombra bajo un tratamiento de fertilización. Sin embargo, estos tratamientos mostraban mayor variabilidad en los rendimientos y los más altos no podían ser mantenidos por más de diez años, razón por que en este estudio se recomendó mantener árboles de sombra en las plantaciones. En los SAFs, se debe realizar un manejo adecuado de los niveles de sombra, para que exista un equilibrio entre sombra, sanidad y producción (Somarriba *et al.* 2011).

## **2.5 Productividad de cacao, plátano y yuca en los sistemas de usos de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco**

El área de cultivo donde se siembra el cacao puede aprovecharse al máximo diversificando la producción mediante otros cultivos y árboles. Esto permite mejorar la nutrición del suelo y la economía de los productores especialmente antes que el cacao empiece a producir. El establecimiento de cultivos temporales y anuales como plátano, yuca y banano, dentro de áreas de cacao permitirá reducir costos de establecimiento, manejo y mantenimiento en los primeros años. Estos productos se pueden comercializar para suplir otras demandas que requiere el cultivo de cacao (Navarro y Mendoza 2006).

En los territorios indígenas Bribri y Cabecár, bajo un sistema de cultivo de cacao orgánico con sombra típico de la zona de Talamanca, Costa Rica, Otárola (2005) registró promedios de rendimientos en cacao húmedo de  $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  desde los tres años de edad. Por otra parte, en cultivos de cacao convencional en tres departamentos de Guatemala se registró un promedio de producción de  $2453 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Ministerio de Agricultura de Guatemala 2007).

En Honduras, bajo SAFs en un cultivo de plátano con densidades de 2000 plantas ha<sup>-1</sup>, se obtuvo una productividad de 17690 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Este ensayo estuvo basado en buenas practica agrícolas promovidas por USAID (2007), las que se enmarcan en la prueba de suelos, diseño adecuado de plantaciones, variedades adecuadas, preparación de semillas, control de malezas, programas de fertilización y manejo integrado de plagas. Estos datos demuestran cómo el manejo mejorado influye significativamente en la producción de cultivos en SAFs.

Las zonas de vida bosque húmedo tropical y bosque seco tropical, bajo temperaturas entre 26 y 28 °C, con suelos bien drenados, profundos con niveles de acides entre 5.5 y 7.5, se caracterizan por ser escenarios propicios para el cultivo de yuca (Zotyen 2002). En el Ecuador bajo estas condiciones ambientales y con densidades de siembra entre 8 500 a 10 000 plantas ha<sup>-1</sup> se registro una producción promedio de 30 TM ha<sup>-1</sup>, equivalentes a 20 000 kg ha<sup>-1</sup> (Zotyen 2002).

## **2.6 REDD+ como mecanismo para evitar la deforestación**

Con el objetivo principal de mitigar efectos sobre el cambio climático y paralelamente conservar la biodiversidad a través de los bosques en un futuro muy próximo, en la actualidad se está desarrollando el mecanismo REDD+. Este mecanismo incluye elementos que figuran en el Plan de acción de Bali, encaminados a la reducción de emisiones por la deforestación y la degradación forestal, sumado el papel de la conservación, el manejo sostenible y el aumento de las reservas forestales de C en los países en vías de desarrollo (UICN 2009a). Esta estrategia puede ser una fuente potencial muy significativa de beneficios económicos financieros para los países con áreas de bosque. Los pagos consistirían en la compensación de los costos de oportunidad de los cambios del uso del suelo más la llamada renta REDD+, cuya distribución en la actualidad es un dilema no resuelto entre las diferentes partes interesadas (UICN 2009b). Con REDD+ se pueden lograr beneficios adicionales que van de lo local a lo global, incluyendo servicios ecosistémicos, particularmente aquellos asociados a la conservación de agua, belleza escénica, conservación de la biodiversidad, y reciclaje de nutrientes. Además se puede lograr también la provisión de bienes como leña y beneficios sociales que surgen del propio proceso, como la creación de capacidades y mejoramiento de la gobernanza local (Milesy 2010).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se evaluaron variables asociadas a la diversidad vegetal, el almacenamiento de C y la productividad agrícola en siete sistemas de uso de la tierra. Estos incluyeron SAFs y también sistemas sin sombra. Se realizó un análisis de regresión lineal y de correlación para conocer la relación entre las variables evaluadas. Además, se valoraron los beneficios financieros de los sistemas de uso, con datos específicos del 2011, tomando en cuenta los ingresos netos por producción y también por un ingreso potencial por acumulación de C.

#### 3.1 Ubicación del área de estudio

La Reserva de la Biosfera Gran Sumaco (RBS) se encuentra ubicada entre las siguientes coordenadas UTM WGS 84 (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

**Norte a sur:** 234580-9991356 Zona 18 norte a 169117-9867488 Zona 18 sur

**Este a oeste:** 279155-9960865 Zona 18 norte a 166331-9871619 Zona 18 sur

En total tiene una superficie de 968 707 ha, que representa el 8% de la Región Amazónica ecuatoriana. Dentro del ámbito político-administrativo, se ubica en tres provincias: Napo, Orellana y Sucumbíos. La zona de intervención donde se encuentran los sistemas de uso de la tierra de nuestro interés y los sitios de investigación, tiene una superficie aproximada de 88 000 hectáreas dentro de los cantones Archidona y Tena, provincia del Napo (Figura 2).

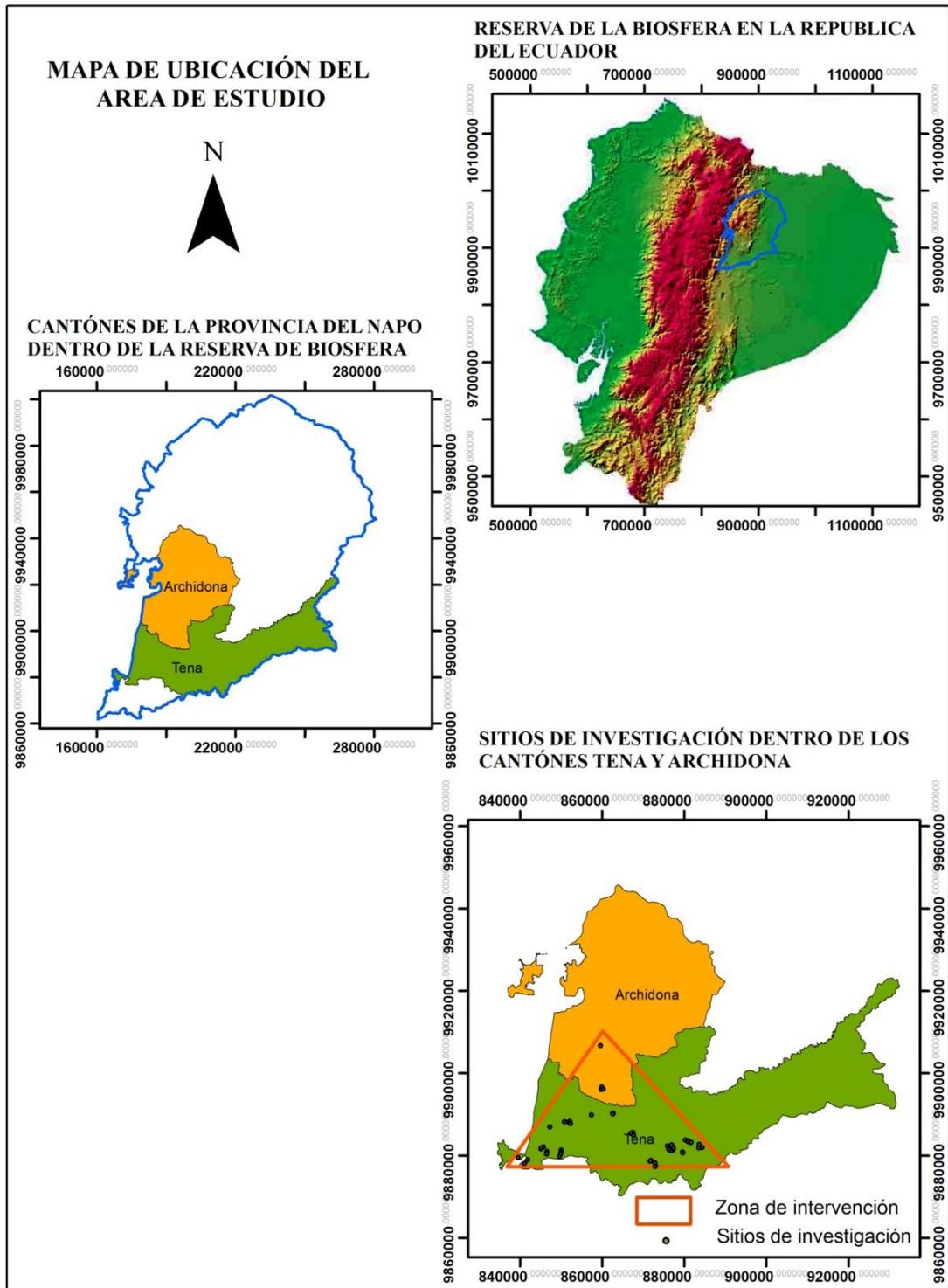


Figura 2. Mapa de ubicación del área de investigación en la Reserva de la Biosfera Sumaco, cantones Archidona y Tena, provincia de Napo, Ecuador. Fuente: CLIRSEN (1999).

### 3.2 Descripción biofísica del área de estudio

La Reserva de la Biosfera Sumaco está conformada por dos zonas. La **zona núcleo** (Parque Nacional Sumaco – Napo Galeras), con 205 249 ha que comprende dos bloques separados: uno en el sector de Sumaco y el otro en la Cordillera de Galeras. La **zona de apoyo** (726 681 ha) incluye las sub-zonas de amortiguamiento y de transición. Estas contienen una gran superficie sin protección oficial (Bio-Parques 2001). La totalidad de las parcelas o unidades de muestreo, a excepción de una están dentro de la zona núcleo de la reserva (CLIRSEN 1999).

Según la clasificación de Holdridge, posee seis zonas de vida: Bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo montano bajo, bosque muy húmedo premontano, bosque muy húmedo tropical, bosque pluvial montano, bosque pluvial premontano (CLIRSEN 1999). El uso y cobertura vegetal presente hasta el 2008 consta de siete categorías (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2008) distribuidas en estas seis zonas de vida. El bosque natural es el uso predominante con el 64.5%, seguido de los bosques secundarios que poseen el 19.5% de la superficie total (Cuadro 2).

La región es muy importante para la conservación de la biodiversidad debido a la gran superficie de bosque natural existente y también al área de cultivos que se manejan en SAFs y en cultivos sin sombra. Estas condiciones propician un escenario potencial para incursionar en un sistema de pago por servicios ambientales lo que ayudaría a garantizar la conservación de la gran diversidad existente.

*Cuadro 2. Categorías de cobertura vegetal existente en el 2008 de la Reserva de la Biosfera Sumaco.*

<b>Categoría</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>(%)</b>
Bosque natural	620844	64.1
Bosque secundario	188619	19.5
Pastizales	77077	8.0
Cultivos	34463	3.6
Suelos sin cobertura vegetal	17201	1.8
Cuerpos de agua	16280	1.7
Palma africana	14222	1.5
<b>TOTAL</b>	<b>968707</b>	<b>100</b>

Las áreas donde se encuentran los sitios de investigación y unidades de muestreo están inmersas en la zona de vida bosque muy húmedo tropical (CLIRSEN 1999). Son lugares que no superan los 700 msnm de altitud, de clima cálido con temperaturas promedio de 28 °C. Los suelos en la mayoría de la Reserva pertenecen al orden de los entisoles e inceptisoles (Bio-Parques 2001). La fisiografía es moderada, con suelos aluviales y coluviales generalmente de textura franco arenosos. También existe una abundante y extensa red hídrica que son afluentes directos del Río Napo (Bio-Parques 2001).

### **3.3 Determinación y selección de los sitios de estudio**

Se revisó toda la información pertinente y actualizada de estudios ecológicos agroecológicos, en formato análogo o digital, que nos permitieron conocer variables de tipos de suelos, productividad, diversidad y almacenamiento de carbono en áreas similares. La GIZ y Kallari fueron las instituciones que facilitaron la información pertinente, relacionada especialmente a las organizaciones o grupos de productores cacaoteros existentes en la zona de estudio en los cantones Archidona y Tena.

#### **3.3.1 Pre-estratificación**

Con ayuda de técnicos de la GIZ y Kallari, se visitó y determinó el número de productores en las chakras y de cacao. Mediante recorridos y entrevistas personales, se registraron y verificaron variables de tipificación que permitieron conocer el contexto biofísico de los sistemas. Las variables evaluadas fueron:

- Tipo de uso o sistema productivo
- Historia de la parcela (cambio de uso)
- Tipo y porcentaje de cobertura arbórea
- Tipo de manejo (convencional u orgánico)
- Edad del cultivo
- Superficie del área neta de cultivo

### 3.3.2 Selección de sitios

Posterior a la fase de pre-estratificación, bajo la realidad del contexto biofísico del área de estudio, la investigación priorizó a trabajar en los dos sistemas de producción agrícola más importantes de la zona: chakras y cultivos de cacao. Posteriormente se aplicó una fase de sub-estratificación a través de la cobertura arbórea o sombra. Los sistemas determinados finalmente fueron:

- Chakra con sombra
- Chakra sin sombra
- Cacao de semilla con sombra
- Cacao de semilla sin sombra
- Cacao injertado con sombra
- Cacao injertado sin sombra
- Bosque primario

Los seis sistemas agrícolas son escenarios antrópicos, resultado del cambio de uso del suelo de bosque o vegetación natural a cultivos. Estos sistemas cumplieron los siguientes criterios de selección:

- Que las chakras con sombra tengan una cobertura de dosel  $\geq 10\%$ .
- Que las chakras sin sombra tengan una cobertura de dosel  $< 10\%$ .
- Que el área neta de las chakras sea  $\geq 0.5$  ha.
- Que los cultivos de cacao sean manejados orgánicamente y de la variedad Cacao Nacional, fino de aroma.
- Que los cultivos de cacao con sombra (SAFs) tengan una cobertura de dosel  $\geq 10\%$ .
- Que los cultivos de cacao sin sombra tengan una cobertura de dosel  $< 10\%$
- Que los sistemas de cacao (con o sin sombra) posean un área de  $\geq 1$  ha.
- Que la edad de los cultivos de cacao sea  $< 15$  años.
- Voluntad de apoyar al proyecto por parte de los productores.

El área de las chakras es pequeña porque las fincas son muy parcializadas y fragmentadas, donde existen cultivos con superficies que van desde los 1000 m<sup>2</sup> hasta de 1 ha. Se definió la superficie de 0.5 ha como mínima y representativa para este estudio.

Para los cultivos de cacao, existen áreas que van desde 2000 m<sup>2</sup>, hasta 5 ha. Se definió 1 ha como superficie mínima y representativa para variables como la cobertura arbórea y densidades de siembra  $\geq 400$  individuos por hectárea (N ha<sup>-1</sup>). La edad del cacao refleja la intención y prioridad de los actores locales (propietarios y técnicos), de evaluar plantaciones jóvenes, promisorias para el futuro. Las plantaciones superiores a los 15 años ya tienen corta vigencia y algunas ya han sido remplazadas.

Bajo estos criterios de selección se registraron aproximadamente 400 productores en total. De acuerdo a los recursos económicos y logísticos, sumado al tiempo asignado para la investigación, se instalaron 59 parcelas temporales de muestreo lo que significó una intensidad aproximada de muestreo del 15%. Estos sitios fueron priorizados según la representatividad para evaluar las variables a estudiar y también la voluntad por parte de sus propietarios de apoyar al proyecto de investigación. Una vez definidos los sistemas o tratamientos se registró la edad de los cultivos, la que controla los tratamientos en la variable de producción (Cuadro 3).

*Cuadro 3. Variables evaluadas en los diferentes usos de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Variables evaluadas	Sistemas de uso de la tierra (SU)	
	Agrícola	Bosque
Diversidad florística (fustales, latizales altos)	X	X
Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea (fustales, latizales altos, bajos, brinzales y herbáceas)	X	X
Almacenamiento de carbono en las raíces (latizales, fustales y brinzales)	X	X
Carbono almacenado en la hojarasca	X	X
Carbono orgánico en el suelo a dos profundidades (0-10 y 10-30 cm)	X	X
Carbono almacenado en las plantas de cacao, musáceas y yuca	X	
Productividad agrícola de tres productos: cacao, plátano y yuca	X	

SU: Sistema de uso

Las 59 unidades de muestreo están distribuidas en los diferentes sistemas de uso SU (Cuadro 4). Las parcelas con el nombre de su propietario, ubicación política - geográfica,

altitud se muestran en el Anexo 1. El número desbalanceado de parcelas de debe a la importancia y la mayor o menor presencia de los diferentes sistemas de uso de la tierra en el paisaje.

*Cuadro 4. Sistemas de uso de la tierra evaluados y número de parcelas instaladas en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

<b>Cobertura arbórea</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>Muestra (n parcelas)</b>	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Con sombra</b>	<b>Bosque primario</b>	5	0.8
	<b>Cacao semilla</b>	15	2.4
	<b>Cacao injertado</b>	11	1.8
<b>Sin sombra</b>	<b>Chakra</b>	6	0.9
	<b>Cacao semilla</b>	7	1.1
	<b>Cacao injertado</b>	8	1.3
	<b>Chakra</b>	7	1.1

### **3.3.3 Descripción de los sistemas agrícolas seleccionados**

#### **3.3.3.1 Chakra con y sin sombra**

Es un sistema de producción agrícola diversificada donde se asocia variedades de yuca y plátano en mayor cantidad con otras especies de cultivos de ciclo corto y perenne. La chacra por lo general comprende una extensión de terreno no superior a una hectárea, se ubica cerca de la vivienda, aunque en algunos sitios donde no se dispone de suficiente terreno están instaladas a una distancia considerable, dentro de las fincas indígenas.

Las especies herbáceas y arbustivas comestibles que se cultivan con mayor frecuencia en la chakra son: maní, jengibre, papa china, zanahoria amarilla, papa bejuca, papa aérea, maíz, ají, piña, caña de azúcar, achoccha, achiote, café, diferentes variedades de frijoles, paja toquilla, badea, y papaya. También existen plantas alucinógenas y medicinales como: amiruca, ayaguasca, dunduma, floripondio, guayusa y jengibre.

La descripción con sombra se debe a la presencia del componente arbóreo que supera el 10% de la cobertura o área de las copas en relación a la superficie de la unidad de muestreo. Sobresalen árboles frutales como: dos variedades de guabas, chonta, aguacate, porotón, huanchaso, uvilla, paso, avio, cacao, cacao blanco, pitón, chirimoya, naranja, unguragua, morete, guayusa, guabilla, pitajaya, limón – mandarina, lima, y caimito, entre las más importantes. También existen especies maderables como laurel y cedro.

En la chakra sin sombra existen las mismas especies herbáceas y arbustivas que en los sistemas con sombra pero sobresale desde un 50%, hasta un 100% (monocultivo) el cultivo de yuca con diferentes variedades. En este contexto el cultivo de yuca sirve para la alimentación local, preparación de la chicha y también para la comercialización (monocultivo) en los mercados locales y nacionales. Sus áreas de cultivo llegan hasta dos hectáreas de terreno. En este sistema no existe el componente arbóreo, o la cobertura de copas no supera el 10% en relación a la superficie del área de muestreo.

### **3.3.3.2 Cacao semilla con y sin sombra**

Es un sistema de producción de cacao propagado por reproducción sexual o semilla. La edad promedio de las plantaciones es de 7 años. Sus áreas netas de cultivo van desde 0.5 hasta 3 ha (en pocas fincas). La mayoría de productores combina la producción de cacao con el cultivo de musáceas especialmente de plátano. La descripción con sombra se debe a la presencia de componente arbóreo con el  $\geq 10\%$  del área de las copas en relación a la superficie de la unidad de muestreo. Se desatacan árboles maderables como: laurel, cedro, ahuanco, chucho, moral fino, sangre, yumbingue y bálsamo, entre las más importantes. También están asociados frutales nativos como: avio, caimito, cacao blanco chirimoya, chonta, guabas guayusa, morete, paso, porotón y uvilla e introducidos como aguacate, lima, limón-mandarina y naranja.

En el sistema sin sombra, las áreas netas de cultivo van desde 0.5 hasta 2 ha. La edad promedio es de 5 años. Pocos productores combinan este producto con el cultivo de musáceas. La descripción sin sombra se debe a la no presencia de componente arbóreo o a que el área de las copas no supera el 10% en relación a la superficie de la parcela o unidad de muestreo.

### **3.3.3.3 Cacao injertado con y sin sombra**

Es un sistema de producción de cacao a través de injertos. Sus áreas netas de cultivo van desde 0.5 hasta 1 ha de cultivo neto en la región. La edad promedio de las plantaciones es de 4 años. Pocos productores combinan la producción de cacao con el cultivo de musáceas especialmente de plátano. La descripción con sombra se debe a la presencia de componente arbóreo  $\geq 10\%$  del área de las copas en relación a la superficie de la unidad de muestreo. Se desatacan árboles maderables con menor riqueza de especies y menor abundancia que el sistema semilla con sombra, como: cedro, laurel, pigue, tamburo, yuyun, entre las más importantes. También están asociados frutales nativos como: avio, caimito, cacao blanco chirimoya, chonta, guabas, guayusa, morete, paso, porotón y uvilla e introducidos como aguacate y cítricos.

En el sistema sin sombra, las áreas netas de cultivo van desde 0.5 hasta 1 ha. Las plantaciones son jóvenes con un promedio de 3.6 años. Pocos productores combinan este producto con el cultivo de musáceas. La descripción sin sombra se debe a la no presencia de componente arbóreo o a que el área de las copas no supera el 10% en relación a la superficie de la parcela o unidad de muestreo.

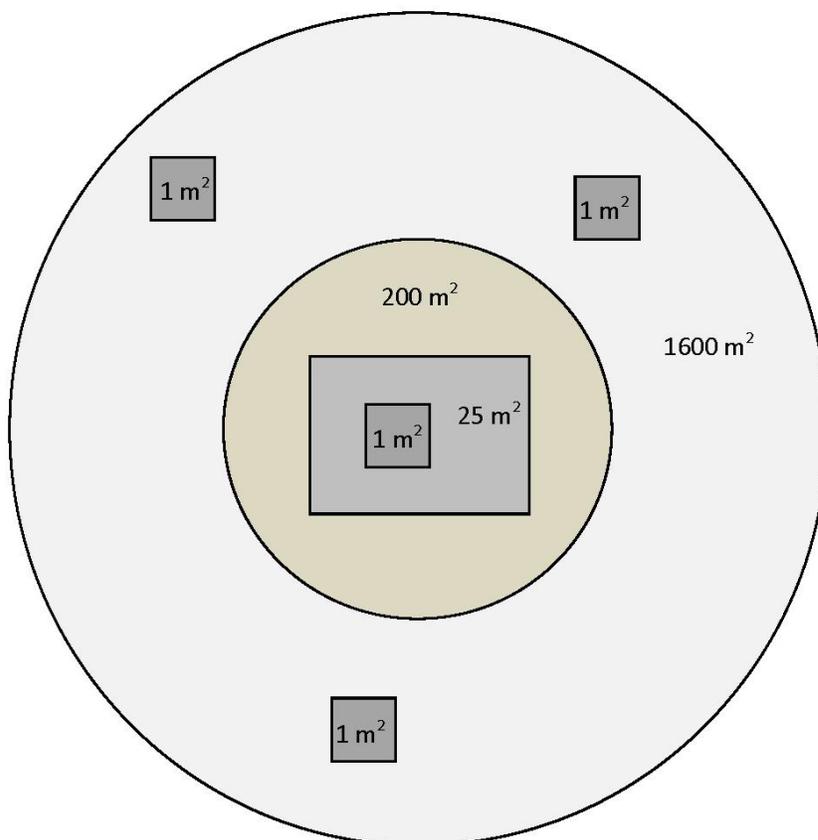
### **3.3.4 Determinación de la cobertura arbórea**

Para la determinación de cobertura arbórea en los SU, se utilizó el densiómetro esférico modelo Arlington VA, de forma cóncava (Guilherme 2000). El valor estimado de la cobertura fue el promedio de lecturas en cuatro puntos dentro de la parcela. En cada punto se tomó y promedió 4 lecturas tomadas a una altura de 1.3 m y cuatro a intervalos de  $90^\circ$  en dirección de los puntos cardinales (Valdez-Lezalde *et al.* 2006). Esta variable sirvió para determinar si las parcelas son sistemas con o sin sombra donde incide la cobertura o áreas de la copa. El límite inferior para definir la presencia de cobertura del 10% (presencia de área de copas) (Somarriba 2009).

## **3.4 Unidad de muestreo – Parcela temporal de muestreo (Ptm)**

En cada sistema agrícola y bosque primario, se establecieron entre 5 a 15 parcelas temporales circulares de muestreo (Ptm) de  $1600 \text{ m}^2$  (23 m de radio). Dentro de esta se

establecieron, de forma anidada (Figura 3), una sub-parcela circular concéntrica de 200 m<sup>2</sup> (8 m de radio), una cuadrada de 25 m<sup>2</sup> (5 m × 5 m) y cuatro de 1 m<sup>2</sup> (1 m × 1 m) (Figura 3).



- **Parcela 1600 m<sup>2</sup>** Diversidad y almacenamiento de carbono de fustales => 10 cm y latizales altos entre 5 - 10 cm de dap. Almacenamiento de carbono en las Musaceas.
- **Parcela 200 m<sup>2</sup>** Almacenamiento de carbono en latizales bajos entre 1 - 5 cm de dap, de las plantas de cacao y madera muerta.
- **Parcela de 25 m<sup>2</sup>** Almacenamiento de carbono en las plantas de yuca.
- **Parcelas de 1 m<sup>2</sup>** Almacenamiento de carbono en brinzales < 1 cm dap y herbáceas, hojarasca y carbono orgánico en el suelo.

*Figura 3. Ejemplo de parcela temporal de muestreo instalada en los diferentes sistemas de uso de la tierra para la determinación de la diversidad florística, estimación de biomasa y C orgánico en el suelo, en la Reserva de la Biosfera Sumaco, provincia del Napo, Ecuador.*

Estas parcelas fueron ubicadas aleatoriamente dentro de los sistemas productivos y bosque primario en lugares representativos de los sistemas a evaluar (Salgado-Mora *et al.* 2007). Se escogió aleatoriamente el punto central de las parcelas circulares. Este punto fue marcado con cinta plástica de color amarillo y se geo-referenció. Las parcelas cuadradas fueron ubicadas al azar dentro de la parcela circular de mayor diámetro.

### **3.5 Métodos de muestreo**

#### **3.5.1 Diversidad florística**

La diversidad florística de fustales y latizales altos se evaluó en las parcelas de 1600 m<sup>2</sup>. Se identificaron *in situ* vernáculamente y taxonómicamente, a nivel de familia, género y especie todos los individuos registrados en el área de muestreo. Las especies que no fueron reconocidas *in situ* fueron colectadas y llevadas al Herbario LOJA para su respectiva identificación. La identificación *ex situ* se la realizó con la ayuda de los botánicos reconocidos, Ángel Alvarado y Willan Pobeda, conocedores de la flora de la región del Sumaco.

#### **3.5.2 Muestreo de biomasa y necromasa**

El muestreo se realizó en todas las Ptm siguiendo los siguientes pasos: Primeramente, se instalaron las Ptm en los sitios seleccionados. Seguidamente, se tomaron datos a través de mediciones de la variables dasométricas (dap, altura). También se consultaron las densidades de las maderas de las especies encontradas en el inventario florístico a través de la base de datos Global Wood Density. Por último, se tomaron muestras de hojarasca, suelos, material de herbáceas, brinzales y plantas de yuca, para ser analizados en el laboratorio. Estos datos nos sirvieron para realizar los cálculos matemáticos y análisis estadísticos de los diferentes componentes de almacenamiento, en los sistemas de uso de la tierra evaluados. A continuación se detallan los procedimientos de medición para cada componente:

##### **3.5.2.1 Vegetación herbácea, brinzales, latizales bajos y plantas de cacao**

En las cuatro sub-parcelas de 1 m<sup>2</sup> se cortó, recolectó y pesó (en fresco) el total de brinzales y hierbas con diámetros en la base (db) < 1cm. Del total de la muestra se tomó una

sub-muestra de 250 gr, la que fue secada a 65 °C por 72 horas para determinar su masa seca (IPCC 2003).

En la parcela de 200 m<sup>2</sup> se midió el diámetro a la altura del pecho (dap) de los latizales bajos entre 1 y ≤ 5 cm. En esta misma unidad de muestreo se midió el diámetro a 30 centímetros del suelo (d30 cm) (Ordoñez 2010) a todas las plantas de cacao.

En las chakras dominadas por el cultivo de yuca, se midió el diámetro a 30 cm de todos los ejes en cada planta, presentes en la parcela de 25 m<sup>2</sup>. Se cosecharon 12 plantas y se separaron en sus diferentes componentes (raíz, tallo, ramas y hojas). Con esta información se construyó una ecuación alométrica específica para la yuca de estos sistemas.

### **3.5.2.2 Fustales, latizales altos y musáceas (dap ≥ 5 cm)**

En la parcela de 1600 m<sup>2</sup>, se midió el dap (tomado a 1.30 m de altura) a todos los árboles (fustales) y palmas con dap ≥ 10 cm, a las que también se les midió la altura total. En la misma unidad de muestreo se midió el dap a todos los latizales altos (entre 5 y 10 cm). También en esta parcela se midió la altura de todas las Musáceas.

### **3.5.2.3 Hojarasca y madera muerta**

En la parcela de 1600 m<sup>2</sup> se recolectaron cuatro muestras de hojarasca en un marco de 50 cm × 50 cm (0.25 m<sup>2</sup>). Se recolectó toda la hojarasca dentro del marco. Se incluyó toda la biomasa de hojas, ramas y ramillas de hasta un diámetro menor a 2.5 cm. Estas muestras fueron mezcladas y pesadas para determinar el peso húmedo total. Se tomó una sub-muestra de 250 g y se secó por 72 h a 65 °C, para posteriormente obtener la masa seca total de la hojarasca (IPCC 2003).

La madera muerta se midió bajo la metodología propuesta por Harmon *et al.* (1996) citado por Husch *et al.* (2003), en la sub-parcela circular de 200 m<sup>2</sup>. Para troncos caídos y tocones se midieron sus diámetros (mínimo y máximo) y su longitud para calcular su volumen a través de la fórmula de Smalian.

La madera caída se clasificó en categorías de densidad de acuerdo a su estado de descomposición (solida, intermedia y podrida). Las categorías de densidad se determinaron en

el campo a través de la prueba del machete (IPCC 2003), que consiste en golpear con un machete la madera caída. Si la hoja rebota, la madera es sólida; si penetra ligeramente es mediana o intermedia y si desintegra, está podrida. Los valores se asignaron a las diferentes densidades de la madera según su estado de descomposición (IPCC 2003). Estos valores son: para madera sólida ( $0.6 \text{ g cm}^{-3}$ ), intermedia ( $0.42 \text{ g cm}^{-3}$ ) y podrida ( $0.23 \text{ g cm}^{-3}$ ).

### ***3.5.3 Muestreo y determinación del contenido de carbono orgánico en el suelo y densidad aparente en el suelo***

#### **3.5.3.1 Contenido de carbono orgánico en el suelo**

Las muestras de suelo se tomaron de 0-10 cm y 10-30 cm de profundidad. Estas fueron extraídas de tres sub-parcelas ubicadas en la Ptm. Las tres sub-muestras se mezclaron y homogenizaron antes de tomar una sub-muestra de aproximadamente 250 g para análisis posteriores en el laboratorio (adaptado de Suarez 2002). El C orgánico se determinó en laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, utilizando el método de combustión húmeda Walkley Black (Narváez y González 2009, Suarez 2002).

#### **3.5.3.2 Densidad aparente del suelo (DA)**

Se utilizó el método del cilindro (Suárez 2002, Coile 1936) para determinar la densidad aparente del suelo. Se realizó una mini calicata de  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$  en una de las sub-parcelas de  $1 \text{ m}^2$  para extraer una muestra (con dos repeticiones) en cada profundidad (0-10 y 10-30 cm). Las muestras fueron tomadas con un cilindro de  $100 \text{ cm}^3$  y secadas en el horno a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ , hasta obtener un peso constante. Se calculó la DA mediante la siguiente ecuación:

$$\text{DA} = \text{Ps} / \text{Vol. Cilindro}$$

donde:

DA: densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Ps: peso seco del suelo (g)

Vol. Cilindro = Volumen del cilindro ( $100 \text{ cm}^3$ )

## **3.6 Métodos de estimación**

### ***3.6.1 Estimación de diversidad florística***

Los datos de diversidad florística fueron procesados mediante hojas electrónicas y el programa EstimateS v 5.0.1 (Colwell 2007), para calcular abundancia, dominancia, número de especies, índice de valor importancia (IVI) y los índices de diversidad de Shannon, Simpson, Fisher y de Equidad. Se evaluó la diversidad para dos categorías de tamaño: fustales > a 10 cm de dap y latizales bajos entre 5 y 10 cm de dap. Se construyeron curvas de rarefacción para determinar la acumulación de riqueza de especies por intensidad o esfuerzo de muestreo basado en el área o superficie muestreada y también por el número de individuos.

### ***3.6.2 Estimación de biomasa y carbono***

Se estimó la biomasa arriba del suelo utilizando ecuaciones alométricas construidas para especies de bosques tropicales primarios y especies individuales, cuando éstas estuvieron disponibles. También se utilizaron ecuaciones para calcular la biomasa de latizales bajos y brinzales (Cuadro 5). Se evaluó individualmente a cada individuo presente en la unidad de muestreo, para luego mediante la sumatoria, determinar la biomasa aérea total por parcelas y luego por sistema de uso (SU).

La biomasa abajo del suelo se refiere a la biomasa de las raíces de árboles y arbustos  $\geq$  5 cm dap, calculada utilizando la ecuación propuesta por el IPCC (2003). Ésta ecuación permite determinar la biomasa abajo del suelo en función de la biomasa aérea (Cuadro 6).

En el cálculo de la necromasa se incluyó la hojarasca y la madera muerta. La biomasa de la hojarasca se estimó aplicando la misma ecuación aplicada para herbáceas y brinzales (Cuadro 6).

La biomasa de la madera muerta se calculó con base en los volúmenes obtenidos mediante la fórmula de Smalian con los diámetros y longitudes de las trozas, tomados en las diferentes categorías de descomposición (Cuadro 6). Con los datos obtenidos de volumen y densidad básica de cada categoría de descomposición, se calculó la biomasa (Cuadro 6).

Cuadro 5. Ecuaciones alométricas utilizadas en la estimación de biomasa aérea en los árboles de sombra y plantas de cacao en la Reserva de la Biosfera Sumaco.

Ecosistema o especies	Ecuación	Rango (dap, edad)	R <sup>2</sup>	Autor
Bosques tropicales	$\text{Ln}(\text{Bt}) = -1.864 + 2.608 \times \text{Ln}(\text{dap}) \times \text{Ln}(d)$	5-150	0.99	Chave <i>et al.</i> (2005)
<i>Bactris gasipaes</i>	$\text{Bt} = 0,74 \times \text{ht}^2$		0,95	Szott <i>et al.</i> (1993)
Brinzales y herbáceas	$\text{Bt} = \frac{\text{Pss}}{\text{Phs}} \times \text{PVtotal}$			Schlegel <i>et al.</i> 2001
Cacao	$\text{Bt} = 1.0408 \exp^{0.0736} \times (d_{30})$		0.97	Ordoñez <i>et al.</i> (2010)
Latizales bajos (1-5 cm dap)	$\text{Bt} = 10^{(-1.5 + 1.06 \times \text{Ln}(\text{dap}))}$	0.3 - 9.3	0,88	Andrade <i>et al.</i> En preparación
Musáceas	$\text{Bt} = (185.1209 + 881.9471 \times (\text{Log}(h)/h^2))/1000$			ANACAFE (2006)
Palmas	$\text{Bt} = 7.7 \times \text{ht} + 4.5 \times 10^{-3}$		0.90	Frangi y Lugo (1985) citado por Watson <i>et al.</i> 2006
Raíces	$\text{Br} = \exp(-1.0587 + 0.8836 \times \text{Ln}(\text{Bt}))$		0.84	IPCC (2003)
Yuca	$\text{Bt} = -0.67 + 0.44(d_{30})$	8-10 meses	0.82	Este estudio
Yuca raíces	$\text{Br} = 0.94 + 0.92(\text{Bt})$	8-10 meses	0.63	Este estudio

Notas: R<sup>2</sup> ajustado; Bt: biomasa aérea total (kg arbol<sup>-1</sup>); Br: Biomasa debajo del suelo; dap: diámetro a la altura de pecho (cm); d: densidad básica de la madera; d<sub>15</sub>: diámetro tomado desde la base a 15 cm; ht: altura total (m); exp: potencia de base e; Log<sub>10</sub>: logaritmo base 10; Ln: logaritmo natural (base e); Pss: peso seco de la submuestra; Phs: peso húmedo de la submuestra; PV total: peso del volumen total.

La biomasa estimada arriba, abajo del suelo y en la necromasa, se convirtió en unidades de C multiplicando por el factor de conversión de 0.5 indicado por el IPCC (2003). Los valores obtenidos son expresados en Mg C ha<sup>-1</sup> (Mega gramos de C por hectárea).

El carbono orgánico del suelo se estimó a partir de del porcentaje de C orgánico y la densidad aparente, determinados por el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, y la profundidad de muestreo (Cuadro 6). El C total almacenado se calculó sumando el C en cada uno de los componentes del ecosistema (biomasa, necromasa y suelos) en cada uno de los sistemas evaluados (Cuadro 6).

*Cuadro 6. Ecuaciones matemáticas aplicadas para los cálculos de la biomasa debajo del suelo en los diferentes componentes evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

<b>Componente</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Significado de variables</b>	<b>Autor</b>
<b>Necromasa</b>			
Volumen de madera muerta	$V = (S1 + S2)/2 *L$	S1= sección inicial S2= sección final L = Longitud de la troza	
Biomasa madera muerta	$B = V \times Db$	B=Biomasa (Mg) V=Volumen (m <sup>3</sup> ) Db = Densidad básica de la madera (Mg m <sup>-3</sup> ) de las diferentes categorías de descomposición propuesta por el IPCC (2003).	Schlegel (2001), Suarez (2002)
<b>Carbono orgánico en el suelo</b>			
	$CS = CC \times DA \times P$	CS = carbono en suelo (Mg C ha <sup>-1</sup> ) CC = contenido del porcentaje de carbono. DA = densidad aparente (Mg cm <sup>-3</sup> ). P = grosor de la capa de suelo muestreada (cm)	Schlegel (2001), Suarez (2002)
<b>Carbono total almacenado</b>			
	$CAT = CBT + CN + COS$	CAT: carbono almacenado total (Mg C ha <sup>-1</sup> ) CBT: carbono almacenado en la biomasa (arriba y abajo del suelo) CN: carbono almacenado en la necromasa COS: carbono orgánico del suelo	

### 3.7 Tasa de acumulación de carbono en los diferentes sistemas de producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco

Para el bosque primario se tomó el valor de  $0.45 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , obtenido a través del monitoreo a largo plazo en parcelas permanentes en la amazonia (Lewis *et al.* 2009). Por la complejidad y variabilidad en ciertos parámetros como la edad y la diversidad de especies (leñosas, palmas, musáceas), se estimó la edad individualmente para cada tipo de planta. Para el caso de las leñosas agrupadas en fustales, latizales altos-bajos y palmas, se utilizó el dap como insumo para construir un estimador para la edad asumiendo un crecimiento de  $1 \text{ cm año}^{-1}$ . Esta estimación se basa en valores de crecimiento altos ( $2 \text{ cm}$  aproximadamente) reportados por (Calero 2008, Mantilla 2007 y Guevara 1998) y valores de crecimiento bajos de  $0.6$  reportados por Korning y Baslev (1994).

Para el caso de las musáceas se estimó la edad utilizando la altura de cada una de estas mediante un rango el que se detalla a continuación.

<b>Rango altura (m)</b>	<b>Edad</b>
0.5-1.9	0.7 años
2-4	1 año
> 4	1.5 años

Una vez determinada la edad de cada planta, se obtuvo el promedio de edad por cada parcela para cada tipo de plantas. Con el C almacenado en la biomasa total (aérea y raíces) de cada tipo de planta en cada parcela, se calculó el incremento o acumulación anual aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{IAt} = \text{CBT}/\text{E}$$

donde:

IAt = incremento anual de cada tipo de planta ( $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )

CBTt = carbono almacenado en la biomasa total, de cada tipo de planta ( $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )

E = edad (años)

Para obtener el incremento total por parcela se sumaron los incrementos de cada tipo de planta existentes en las diferentes parcelas evaluadas, lo que permitió obtener los promedios de cada sistema y realizar las comparaciones estadísticas.

### **3.8 Estimación de la productividad, costos e ingresos en los diferentes sistemas de producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco**

Se determinó la productividad de los diferentes sistemas identificados en la zona de estudio, enfocando y priorizando a tres cultivos de mayor importancia e interés económico: cacao, yuca y plátano. También se cuantificaron los costos operativos de producción, ingresos totales e ingresos de cada uno de estos productos en los diferentes sistemas de uso del suelo.

En el caso del cacao, se evaluó sólo su producción húmeda, ya que es así como los productores lo comercializan y reciben los ingresos tangibles en todos los sistemas agrícolas evaluados. Los valores estimados de productividad agrícola e ingresos se relacionaron con las variables de diversidad y carbono a través de correlaciones utilizando el método de Pearson.

#### ***3.8.1 Producción de cacao en los seis sistemas de uso agrícolas***

Durante las cosechas, desde que se inició la fase de campo de la investigación, se procedió a cuantificar periódicamente la producción en los lotes o parcelas de cacao, plátano y yuca. En el caso del cacao se contabilizó el número de frutos (mazorcas) por planta. Basados en datos de conversión (número de frutos-peso) en cacao húmedo y seco proporcionados por técnicos del INIAP y Kallari, se estimó que aproximadamente por cada 10 mazorcas de cacao se obtienen 3 libras de cacao húmedo y 1 libra de cacao seco.

Con la información del número de frutos por planta, de plantas por unidad de muestreo (parcela de 200 m<sup>2</sup>) y el peso húmedo de las semillas colectadas en 10 frutos, se calculó la productividad promedio del cacao húmedo por hectárea. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$P = Nfl \times \frac{Ph}{Nf} \times \frac{10000}{Sm}$$

donde:

P = Producción en kilogramos por hectárea

Ph = Peso húmedo obtenido de los frutos cosechados (1.361 kg)

Nfl = Número de frutos promedio por lote

Nf = Número de frutos cosechados (10 mazorcas)

Sm = Superficie de muestreo

### ***3.8.2 Producción de plátano en los sistemas de uso agrícola***

Para evaluar la productividad de los cultivos de plátano se recopiló información *in situ* por parte de los productores, determinando específicamente los siguientes parámetros: número de plantas por unidad de muestreo (inventario), número de frutos por planta al año (productores). Posteriormente se evaluó en el mercado local el número de frutos por planta en una muestra de 20 plantas y el peso promedio de los frutos en una muestra de 40 dedos. Con estos valores se calculó el peso de cada racimo de plátano aplicando la siguiente ecuación:

$$Pr = Ppd \times ndr$$

donde:

Pr = Peso de racimo (kg)

Ppd = Peso promedio de un dedo

ndr = número de dedos por planta

Con los valores de peso en kg de cada racimo (muestra de 20 racimos), se determinó un peso promedio de un racimo. Este valor fue empleado para el cálculo de la producción en las parcelas evaluadas.

### ***3.8.3 Producción de yuca en los sistemas de uso agrícola***

Para evaluar y estimar la producción en el cultivo de yuca se cosecharon 12 plantas maduras de 8-10 meses de edad que se encontraban dentro de las unidades de muestreo. Se pesaron las raíces comestibles para obtener el promedio de producción por planta. Este valor fue utilizado para calcular la producción en las parcelas donde se encontró este cultivo.

### ***3.8.4 Costos de producción***

Los costos de producción para cada cultivo se calcularon tomando en cuenta los costos que se generan únicamente por el desarrollo de la actividad productiva en el año cuando se evaluó la productividad. No se contemplaron rubros de establecimiento de la plantación, preparación de terreno (a excepción de la yuca), ni el valor de la tierra, pues los cultivos de cacao y plátano ya estaban establecidos en el momento de la evaluación. Estos rubros serán tomados en cuenta posteriormente para realizar una evaluación financiera para conocer la rentabilidad de los sistemas en un periodo de tiempo determinado.

Para el cultivo de cacao, se tomaron en cuenta rubros como fertilización/abonos orgánicos, control de malezas (deshierbe manual), control fitosanitario, regulación de sombra, podas, costos por cosecha y post-cosecha (Anexo 2). Estos costos son tomados en cuenta para plantaciones con densidad de siembra de 625 plantas ha<sup>-1</sup>. Para el cultivo de yuca se tomaron como referencia los costos emitidos por el INIAP en plantaciones con densidad de siembra de 10 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

El cultivo de plátano comparte algunos rubros con el cultivo de cacao y yuca ya que están asociados en los sistemas de uso. Adicionalmente se agregan rubros como siembra y costo y plántulas (plátano), control de malezas, control de plagas y costos por cosecha y post-cosecha. Estos valores son generados para un cultivo con una densidad de siembra de 204 plantas ha<sup>-1</sup> (Anexo 2).

### ***3.8.5 Ingresos totales y netos para cada cultivo evaluado en los sistemas de uso de la tierra***

Los ingresos para el cacao se dan por la venta del cacao húmedo y seco, priorizando al primero ya que los ingresos generados son los que perciben tangiblemente los productores de la región. El cacao se comercializa a \$55 y \$150 el quintal de cacao húmedo y seco, respectivamente. Ingreso para la yuca es de \$0.70 kg<sup>-1</sup> y para el plátano de \$0.40·kg<sup>-1</sup> (Kallari *com pers.*). Los ingresos netos se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$IN = ITp - Cp$$

donde:

IN = Ingresos netos (USd ha<sup>-1</sup> año)

ITp = Ingresos totales de cada producto (USd ha<sup>-1</sup> año)

Cp = Costos de producción (USd ha<sup>-1</sup> año)

La sumatoria de todos los productos generó el ingreso neto total de cada sistema de uso agrícola.

## **3.9 Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó con la aplicación del software InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2009). Para evaluar las tres variables de respuesta: carbono, diversidad y productividad (ingresos), se utilizó un diseño completamente aleatorio (DCA) desbalanceado, con siete tratamientos (sistemas de uso) y un número de repeticiones (unidades de muestreo - Ptm) que van desde 5 para el bosque primario, hasta 15 en los sistemas de cacao semilla con sombra. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + \epsilon_{ij}$$

donde:

$Y_{ijk}$  = observaciones de los índices de diversidad, riqueza, almacenamiento de C, productividad, e ingresos potenciales por Ptm

$\mu$  = promedio general de los índices de diversidad, riqueza, almacenamiento de C, productividad e ingresos potenciales Ptm

$S_i$  = efecto del i-ésimo sistema de uso

$\epsilon_{ij}$  = Término de error aleatorio supuestamente distribuido Normal con media cero y varianza constante.

Las comparaciones entre los sistemas de uso, en las tres variables de respuesta, se realizaron mediante el análisis de varianza univariado (ANDEVA), empleando como réplicas las parcelas muestreadas en cada sistema. Se probaron supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad para cada una de las variables. Se obtuvieron los mejores modelos de varianza, mediante la comparación y ajustes de heteroscedasticidad utilizando la extensión de modelos mixtos en InfoStat. Para determinar relaciones y coeficientes de correlación entre las variables evaluadas, se realizaron regresiones lineales simples.

Los análisis de composición florística y estructura horizontal se realizaron para el total de las especies y número de individuos por hectárea, tanto en latizales altos como fustales. Al no cumplirse en ciertas variables los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad de datos, se empleó la prueba de análisis no paramétrica de Kruskal-Wallis, para comparar los promedios entre los tratamientos.

### **3.10 Ingresos potenciales basados en el precio del carbono en el mercado internacional y por producción agrícola**

Se determinaron los ingresos potenciales de los sistemas productivos a partir del ingreso estimado por la venta en créditos de C en el mercado voluntario internacional y por la producción agrícola.

### ***3.10.1 Determinación e ingresos potenciales por la venta carbono***

Una vez determinados los incrementos anuales de los *stocks* se convirtieron a unidades de CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2e</sub>), la cuál es la unidad de los créditos de carbono comercializados internacionalmente. Para la conversión de CO<sub>2</sub> a CO<sub>2e</sub> se multiplicó por un factor de 3.67. A este resultado se lo multiplicó por un precio referencial de 5 dólares por cada Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> que se obtendría eventualmente por el pago en el mercado voluntario de C por las tasas de acumulación o incremento anual del C en cultivos perennes (World Bank 2011).

### ***3.10.2 Ingresos potenciales totales por la venta de carbono y productos agrícolas en el 2011***

Para estimar los ingresos potenciales, se sumaron los ingresos netos por producción agrícola en los diferentes sistemas, con los posibles ingresos estimados por un pago de C, basado por la acumulación anual de sus *stocks*. En las chakras con y sin sombra, se consideraron únicamente los ingresos netos generados por producción.

### ***3.10.3 Posibles efectos de diversificación sobre la riqueza de especies, carbono e ingresos potenciales (variación de los stocks de C y producción) entre los sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco***

Se adaptó la metodología propuesta por Knoke *et al.* (2009) en la planificación a nivel de portafolio. Esta metodología combina los resultados de las variables de respuesta obtenidos en dos o más escenarios o ecosistemas con el fin de tener pautas para emprender una planificación o diversificación a nivel de paisaje.

Para comparar la riqueza de especies exclusivas entre los sistemas de uso, se escogieron 5 parcelas al azar en cada sistema de uso, para realizar una combinación balanceada. Se combinaron todas las parcelas entre sí mediante la aplicación del programa EstimateS v 5.0.1 (Colwell 2007), aplicando la extensión de cálculo para índices Beta. Con la salida del programa, se modificó y diseño una base de datos. En esta se aplicó para las columnas de especies presentes en las diferentes parcelas y también las especies compartidas entre parcelas la siguiente ecuación:

$$Nts = (Nsp1 + Nsp2) - Nsc$$

donde:

Nts = Número total de especies exclusivas entre parcelas de cada sistema de uso

Nsp1 = Número de especies de la parcela 1

Nsp2 = Número de especies de la parcela 2

Nsc = Número de especies compartidas

Posteriormente, empleando una hoja electrónica con la base de datos previamente diseñada, utilizando la herramienta de tablas dinámica se calculó el número de especies exclusivas entre las combinaciones de los diferentes sistemas de uso. Con esto se determinó que combinación es la que mayor número de especies exclusivas posee y conserva. Se comparó las combinaciones con el bosque primario frente a las posibles con los sistemas de uso agrícolas y también entre los sistemas de uso agrícola.

La comparación del C almacenado, valores totales obtenidos por ingresos agrícolas, ingreso potencial por acumulación de C y ingreso potencial por acumulación de carbono y productividad entre los sistemas estudiados se realizó en las cinco parcelas escogidas al azar anteriormente para cada sistema de uso. Se combinó y se obtuvo el promedio de las variables mencionadas entre cada parcela. Luego se calculó el promedio de cada combinación entre todos los sistemas, para determinar que combinación entre los diferentes usos de la tierra, es la que mayor C almacena y mayores ingresos generan en el año de evaluación.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterización florística entre los sistemas de uso agrícolas y bosque primario de la Reserva de Biosfera Sumaco

Las especies más importantes, con mayor valor ecológico, por parcela y por tipo de uso fueron determinadas con base en el Índice de Valor de Importancia IVI (Melo y Vargas 2001). El valor de todas las especies se presenta en el Anexo 3. A continuación se presentan las 5 especies más importantes de cada sistema o uso de la tierra (mayores valores relativos de individuos y dominancia por hectárea) (Cuadro 7).

### 4.2 Estructura de la vegetación arbustiva y arbórea de los sistemas de uso de la tierra estudiados

#### 4.2.1 Estructura en los latizales altos

Se encontraron diferencias significativas ( $p=0.0001$ ) para la densidad o número de individuos por hectárea ( $N\ ha^{-1}$ ), en los latizales altos, encontrados en los sistema analizados. El bosque primario presenta los mayores valores ( $276.3\ N\ ha^{-1}$ ) y la chakra sin sombra el menor ( $0.9\ N\ ha^{-1}$ ) (Cuadro 8). En los sistemas agrícolas el promedio de  $N\ ha^{-1}$  en los SAFs ( $63.1 \pm 15.4\ N\ ha^{-1}$ ) es superior ( $p= 0.0001$ ) los sin sombra ( $7.4 \pm 4.1\ N\ ha^{-1}$ ).

El área basal ( $m^2\ ha^{-1}$ ), resulto ser estadísticamente diferente en los sistemas evaluados ( $p=0.0001$ ). El bosque primario presentó los mayores valores ( $1.09\ m^2\ ha^{-1}$ ) frente al cacao injertado sin sombra quien tiene los menores ( $0.01\ m^2\ ha^{-1}$ ) (Cuadro 9). El promedio entre los sistemas con sombra ( $0.23 \pm 0.06\ m^2\ ha^{-1}$ ) es superior ( $p=0.0001$ ) a los sistemas sin sombra ( $0.03 \pm 0.02\ m^2\ ha^{-1}$ ). Internamente en los sistemas con y sin sombra no existen diferencias significativas (Cuadro 9).

Cuadro 7. Valores del Índice de Valor de Importancia (IVI) considerando árboles con un dap  $\geq 10$  cm de las 5 especies más importantes, existentes en los 7 sistemas de uso de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco

Sistemas de uso	Familia	Especie	Ar	Dr	% IVI
<b>Bosque natural primario</b>	MYRISTICACEAE	<i>Otoba glycyarpa</i>	8.1	17.6	8.6
	ARECACEAE	<i>Iriartea deltoidea</i>	10.7	4.6	5.1
	RUBIACEAE	<i>Chimarrhis glabriflora</i>	1.2	5.8	2.3
	MYRISTICACEAE	<i>Otoba parvifolia</i>	2.8	4.2	2.3
	MELIACEAE	<i>Guarea carinata</i>	1.0	3.7	1.6
<b>Cacao semilla con sombra</b>	BORAGINACEAE	<i>Cordia alliodora</i>	22.6	22.3	15.0
	MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	10.8	9.3	6.7
	ARECACEAE	<i>Bactris gasipaes</i>	10.8	4.4	5.1
	FABACEAE/MIM.	<i>Inga edulis</i>	7.4	5.4	4.3
	RUTACEAE	<i>Citrus aurantium</i>	6.4	3.5	3.3
<b>Cacao injertado con sombra</b>	MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	11.2	27.6	12.9
	BORAGINACEAE	<i>Cordia alliodora</i>	19.1	14.9	11.3
	FABACEAE/MIM.	<i>Vochysia bracediniae</i>	11.2	8.9	6.7
	VOCHYSIACEAE	<i>Inga edulis</i>	9.9	7.2	5.7
	ARECACEAE	<i>Bactris gasipaes</i>	8.6	4.0	4.2
<b>Chakra con sombra</b>	BORAGINACEAE	<i>Cordia alliodora</i>	27.9	18.5	15.5
	MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	13.1	28.1	13.7
	MELIACEAE	<i>Ruagea glabra</i>	9.8	12.1	7.3
	ARECACEAE	<i>Bactris gasipaes</i>	9.8	7.8	5.9
	SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>	4.9	7.6	4.2
<b>Cacao semilla sin sombra</b>	BORAGINACEAE	<i>Bactris gasipaes</i>	31.3	11.7	14.3
	MELASTOMATACEAE	<i>Miconia paleacea</i>	15.6	26.8	14.2
	ARECACEAE	<i>Cordia alliodora</i>	21.9	17.5	13.1
	MELIACEAE	<i>Vitex pseudolea</i>	3.1	14.3	5.8
	FABACEAE/MIM.	<i>Inga ilta</i>	6.3	9.7	5.3
<b>Cacao injertado sin sombra</b>	MELIACEAE	<i>Cedrela odorata</i>	42.9	35.7	26.2
	CLUSIACEAE	<i>Vismia cavanillesiana</i>	14.3	38.5	17.6
	BIGNONIACEAE	<i>Nectandra sp.</i>	14.3	21.1	11.8
	LAURACEAE	<i>Crescentia cujete</i>	28.6	4.7	11.1
<b>Chakra sin sombra</b>	BORAGINACEAE	<i>Cordia alliodora</i>	75.0	87.8	54.3
	FABACEAE/PAP.	<i>Erythrina amazonica</i>	25.0	12.2	12.4

Ar: valores relativos de número de individuos por hectárea; Dr: valores relativos de dominancia; IVI: porcentaje del índice de valor de importancia.

*Cuadro 8. Promedios  $\pm$  error estándar del N ha<sup>-1</sup> considerando latizales entre 5-9.9 cm de dap, para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Clase	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra			P
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
Latizal	276.3 $\pm$ 95.6 d	86.3 $\pm$ 27.5 cd	54.6 $\pm$ 22.5 bc	20.9 $\pm$ 9.1 abc	17.2 $\pm$ 10.8 ab	0.9 $\pm$ 0.9 a	2.7 $\pm$ 1.9 a	0.0001

Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

*Cuadro 9. Promedios  $\pm$  error estándar del área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) considerando latizales altos entre 5-9.9 cm de dap, para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Clase	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra			P
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
Latizal	1.09 $\pm$ 0.4 d	0.34 $\pm$ 0.12 cd	0.16 $\pm$ 0.06 bc	0.08 $\pm$ 0.04 bc	0.07 $\pm$ 0.04 ab	0.01 $\pm$ 0.01 a	0.02 $\pm$ 0.01 a	0.0001

Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

#### **4.2.2 Estructura en fustales**

La densidad (N ha<sup>-1</sup>) resultó ser significativamente diferente ( $p=0.0001$ ) en los sistemas estudiados, registrándose rangos de 3.6 a 633.8 N ha<sup>-1</sup> (Cuadro 10). El sistema que presenta mayores promedios de N ha<sup>-1</sup> es el bosque primario. En este ecosistema se registraron 633.8 N ha<sup>-1</sup>. El promedio en los sistemas con sombra (121.1  $\pm$  14.3 N ha<sup>-1</sup>) es superior ( $p=0.0001$ ) a los sin sombra (12.2  $\pm$  3.9 N ha<sup>-1</sup>). En los sistemas con sombra el cacao con semilla tiene el máximo valor (169.6 N ha<sup>-1</sup>) y la chakra el menor (63.6 N ha<sup>-1</sup>). En los sistemas sin sombra el cacao semilla posee el máximo valor (25 N ha<sup>-1</sup>) y la chakra el menor (3.6 N ha<sup>-1</sup>).

En la clase diamétrica inferior (10-19.9 cm), existen diferencias significativas comparando los sistemas con sombra y los sin sombra. En las clases superiores no existen diferencias significativas entre los sistemas con sombra (Cuadro 10).

Cuadro 10. Promedios  $\pm$  error estándar del ( $N\ ha^{-1}$ ), considerando árboles con un  $dap \geq 10$  cm, para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.

Clases	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra			P
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
10-19.9	356.3 $\pm 34.6\ d$	79.2 $\pm 17.9\ c$	36.4 $\pm 9.5\ bc$	30.2 $\pm 10.6\ bc$	13.3 $\pm 6.8\ ab$	2.7 $\pm 1.9\ a$	SR	0.0001
20-29.9	157.5 $\pm 16.2\ e$	50 $\pm 6.8\ a$	27.3 $\pm 7.8\ cd$	21.9 $\pm 8\ bcd$	8.6 $\pm 5.3\ abc$	0.9 $\pm 0.9\ cd$	2.7 $\pm 2.7\ ab$	0.0001
30-39.9	63.8 $\pm 6.7\ c$	22.5 $\pm 5.1\ b$	11.4 $\pm 3.7\ ab$	10.4 $\pm 4.8\ ab$	2.35 $\pm 1.7\ a$	1.8 $\pm 1.79\ a$	SR	0.0001
40-49.9	18.8 $\pm 4.8\ c$	10.4 $\pm 2.3\ bc$	3.4 $\pm 2\ ab$	SR	0.8 $\pm 0.79\ a$	0.9 $\pm 0.9\ a$	0.9 $\pm 0.9\ a$	0.0013
50-59.9	13.8 $\pm 3.1\ b$	2.9 $\pm 1.4\ a$	4.6 $\pm 1.5\ a$	SR	SR	SR	SR	0.0092
60+	23.8 $\pm 9.4\ b$	4.6 $\pm 1.6\ a$	3.4 $\pm 1.8\ a$	1.1 $\pm 1.1\ a$	SR	SR	SR	0.0113
Total *	633.8	169.6	86.4	63.6	25	6.3	3.6	
$N\ ha^{-1}$	$\pm 38.9\ a$	$\pm 22.6\ b$	$\pm 13.4\ c$	$\pm 16.5\ c$	$\pm 17\ d$	$\pm 1.9\ e$	$\pm 2.7\ e$	0.0001

Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

\*ANDEVA  $Pr > Fisher\ \alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. SR: sin registro.

Se encontraron diferencias significativas ( $p=0.0001$ ) en el área basal por hectárea ( $m^2\ ha^{-1}$ ) total, entre todos los sistemas analizados. El bosque primario presenta los mayores valores ( $38.8\ m^2\ ha^{-1}$ ) y la chakra sin sombra los menores ( $0.3\ m^2\ ha^{-1}$ ) (Cuadro 11). En los sistemas agrícolas sobresalen notablemente los SAFs ( $p=0.0001$ ) con los valores más altos ( $7.3 \pm 0.8\ m^2\ ha^{-1}$ ) que los sistemas sin sombra ( $0.6 \pm 0.2\ m^2\ ha^{-1}$ ).

En los sistemas de uso agrícolas, en las clases diamétricas inferiores (10-19 cm) existen diferencias significativas entre el cacao semilla con sombra y los sistemas sin sombra. En la clase (50-59 cm) no existen diferencias entre los sistemas con sombra. En la clase  $> 60$  cm existen diferencias entre el cacao semilla con sombra con el cacao injertado y la chakra con sombra (Cuadro 11).

Cuadro 11. Promedios  $\pm$  error estándar del área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ) considerando árboles con un  $dap \geq 10$  cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco

Clase	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra			P
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
10-19.9	6.14 $\pm 0.51$ d	1.37 $\pm 0.31$ c	0.6 $\pm 0.17$ bc	0.57 $\pm 0.2$ bc	0.18 $\pm 0.09$ ab	0.03 $\pm 0.02$ a	SR	0.0001
20-29.9	7.19 $\pm 0.74$ d	2.21 $\pm 0.27$ cd	1.29 $\pm 0.37$ bc	1.01 $\pm 0.37$ abc	0.47 $\pm 0.3$ ab	0.04 $\pm 0.04$ a	0.09 $\pm 0.27$ a	0.0001
30-39.9	6 $\pm 0.8$ c	2.07 $\pm 0.46$ bc	1.02 $\pm 0.33$ ab	0.93 $\pm 0.43$ ab	0.21 $\pm 0.16$ a	0.18 $\pm 0.18$ a	SR	0.0001
40-49.9	2.94 $\pm 0.75$ c	1.57 $\pm 0.37$ bc	0.49 $\pm 0.28$ ab	SR	0.14 $\pm 0.14$ a	0.16 $\pm 0.16$ a	0.14 $\pm 0.14$ a	0.0014
50-59.9	3.28 $\pm 0.71$ b	0.67 $\pm 0.31$ a	1.05 $\pm 0.33$ a	SR	SR	SR	SR	0.0061
60+	12.18 $\pm 4.26$ a	2.17 $\pm 0.82$ b	1.46 $\pm 0.67$ a	0.49 $\pm 0.49$ a	SR	SR	SR	0.0174
<b>Total *</b> <b><math>m^2 ha^{-1}</math></b>	<b>37.7</b> $\pm 3.5$ a	<b>10.1</b> $\pm 1.3$ b	<b>5.9</b> $\pm 1$ c	<b>3</b> $\pm 0.5$ d	<b>1</b> $\pm 0.5$ e	<b>0.4</b> $\pm 0.2$ e	<b>0.2</b> $\pm 0.2$ e	<b>0.0001</b>

Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

\*ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. SR: sin registro.

### 4.3 Riqueza y diversidad en los sistemas de uso de la tierra

#### 4.3.1 Taxonomía y riqueza en los latizales

En el bosque natural en un área, de 0.1 ha se registraron en total 96 especies en los latizales altos. La riqueza taxonómica respecto al número de familias, géneros y especies es significativamente diferente ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados. El bosque natural tiene la mayor cantidad de familias, géneros y especies frente a los sistemas de uso agrícolas (Cuadro 12). Dentro de los SAFs, en todas jerarquías taxonómicas evaluadas, la chakra con sombra no muestra diferencias significativas con respectó al cacao semilla sin sombra.

*Cuadro 12. Promedios  $\pm$  error estándar, para la taxonomía en número de familias, géneros y especies, considerando latizales entre 5-9.9 cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Familias*	16.8 $\pm$ 3.1 a	2.5 $\pm$ 0.6 b	2.3 $\pm$ 0.8 bc	1 $\pm$ 0.4 cd	0.6 $\pm$ 0.3 cde	0.1 $\pm$ 0.3 e	0.3 $\pm$ 0.2 de
Géneros	26 $\pm$ 6.3 a	3.2 $\pm$ 0.6 b	3.1 $\pm$ 0.9 bc	1.7 $\pm$ 0.5 cd	0.6 $\pm$ 0.3 de	0.14 $\pm$ 0.1 e	0.3 $\pm$ 0.2 e
Especies (riqueza)	27 $\pm$ 6.6 a	3.4 $\pm$ 0.6 b	3.1 $\pm$ 0.9 bc	1.7 $\pm$ 0.5 cd	0.6 $\pm$ 0.3 de	0.14 $\pm$ 0.1 e	0.3 $\pm$ 0.2 e

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

#### **4.3.2 Taxonomía, riqueza y diversidad en fustales**

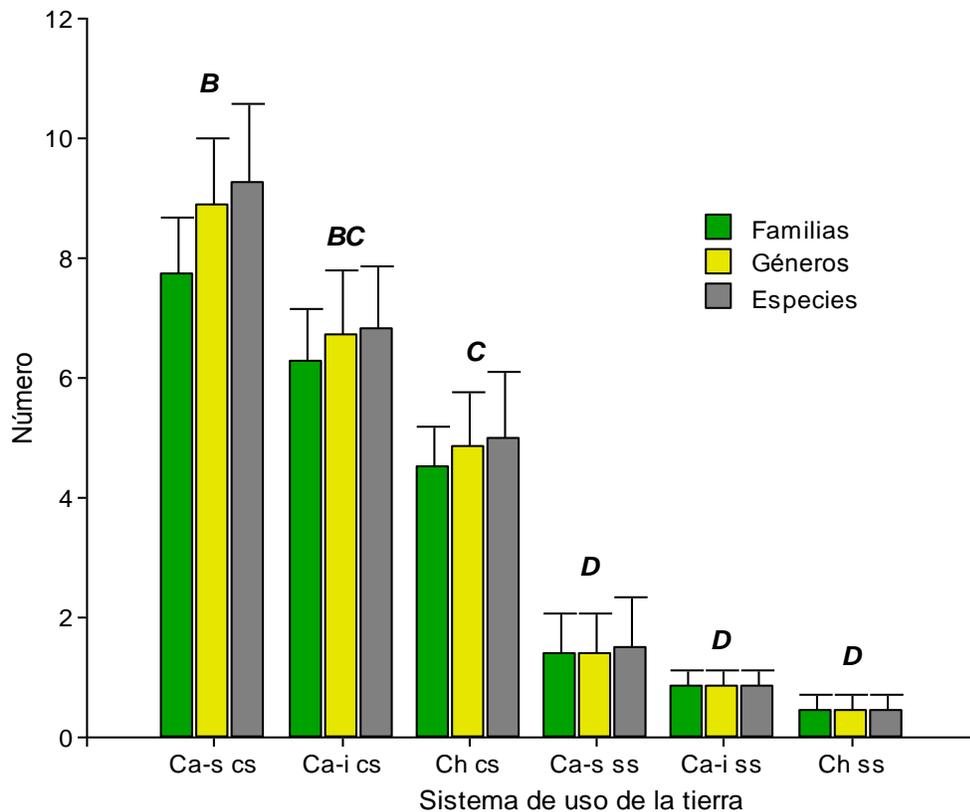
En el bosque natural en una área de 0.8 ha, se registraron un total de 186 especies en individuos  $\geq 10$  cm de dap. La riqueza taxonómica respecto al número de familias, géneros y especies es significativamente diferente ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados. El bosque natural tiene la mayor cantidad de familias, géneros y especies frente a los sistemas de uso agrícolas (Cuadro 13).

*Cuadro 13. Promedios  $\pm$  error estándar, para la taxonomía en número de familias, géneros y especies considerando árboles con un dap  $\geq 10$  cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Familias	29.8 $\pm$ 1.2 a	7.7 $\pm$ 0.9 b	6.3 $\pm$ 0.9 bc	4.5 $\pm$ 0.7 c	1.4 $\pm$ 0.7 d	0.9 $\pm$ 0.3 d	0.4 $\pm$ 0.3 d
Géneros	45.8 $\pm$ 2.7 a	8.9 $\pm$ 1.2 b	6.7 $\pm$ 1.1 bc	4.8 $\pm$ 0.9 c	1.4 $\pm$ 0.9 d	0.9 $\pm$ 0.3 d	0.4 $\pm$ 0.3 d
Especies (riqueza)	53 $\pm$ 4.3 a	9.3 $\pm$ 1.4 b	6.8 $\pm$ 1.5 bc	5 $\pm$ 1.1 c	1.5 $\pm$ 0.8 d	0.9 $\pm$ 0.3 d	0.4 $\pm$ 0.3 d

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

Los sistemas de uso agrícola con sombra SAFs se diferencian taxonómicamente de los sin sombra. El número promedio de familias, géneros y especies en los sistemas con sombra fue significativamente mayor que en los sin sombra (Figura 4).



Ca-s cs: cacao semilla con sombra; Ca-i cs cacao injertado con sombra; Ch cs: chakra con sombra; Ca-s ss: cacao semilla sin sombra; Ca-i ss: cacao injertado sin sombra; Ch ss: chakra sin sombra

*Figura 4. Familias, géneros y especies presentes en los sistemas de uso agrícola evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco, considerando árboles con un dap  $\geq 10$  cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.*

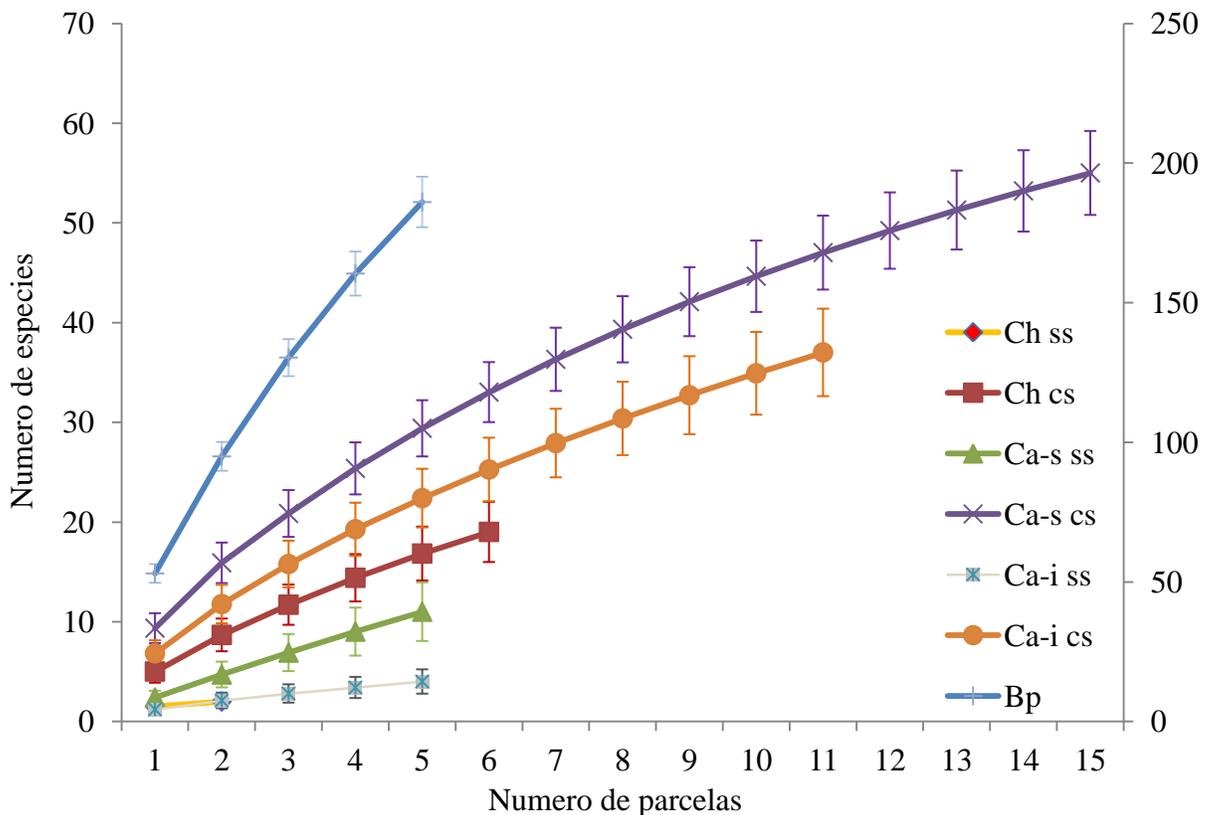
Según el índice de Shannon, Simpson y Fisher, se registraron diferencias significativas ( $p=0.0001$ ,  $p=0.0034$  y  $p=0.0025$ ) entre todos los sistemas evaluados. El bosque primario, resultó ser el más diverso. Comparando únicamente los tres sistemas agrícolas con sombra, no existen diferencias significativas. Según el índice de equidad no existe diferencias ( $p=0.2952$ ) entre todos los sistemas estudiados deduciendo que son similares florísticamente en cuanto a la distribución de la abundancia por especie (Cuadro 14).

La curva de rarefacción considerando individuos con  $dap \geq 10$  cm del bosque primario, muestra significancias (intervalo de confianza con  $\alpha = 0.05$ ) superiores frente a los sistemas de uso agrícola. En el área de comparación de bosque primario (0.8 ha), el sistema agrícola cacao semilla con sombra alcanza 28 especies, a diferencia del bosque que muestra un número estimado de 190 especies. En número de especies en el bosque primario tiene tendencia a incrementarse según se aumente la intensidad o esfuerzo de muestreo.

Cuadro 14. Promedios  $\pm$  error estándar, para los índices de diversidad, equitatividad y número de especies, considerando árboles con un dap  $\geq$  10 cm para los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco

Índices	Bosque primario	Con sombra			p
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
Shannon H *	3.5 $\pm$ 0.1 a	1.76 $\pm$ 0.14 b	1.61 $\pm$ 0.19 b	1.32 $\pm$ 0.21 b	0.0001
Simpson 1-D	0.94 $\pm$ 0.001 a	0.75 $\pm$ 0.03 b	0.73 $\pm$ 0.05 b	0.67 $\pm$ 0.06 b	0.0034
Fisher_alpha	47.41 $\pm$ 7.5 a	6.1 $\pm$ 1.15 b	10.3 $\pm$ 3.5 b	4.3 $\pm$ 1.6 b	0.0025
Equitability_J	0.89 $\pm$ 0.02 a	0.83 $\pm$ 0.04 a	0.87 $\pm$ 0.04 a	0.87 $\pm$ 0.06 a	0.2952

Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes entre los sistemas de uso. \* ANDEVA  $Pr > Fisher \alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes



Bp: Bosque primario; Ca-s cs: cacao semilla con sombra; Ca-i cs cacao injertado con sombra; Ch cs: chakra con sombra; Ca-s ss: cacao semilla sin sombra; Ca-i ss: cacao injertado sin sombra; Ch ss: chakra sin sombra.

Figura 5. Curvas de rarefacción de especies considerando árboles con un dap  $\geq$  10 cm para los siete tipos de uso según el número de parcelas muestreadas (0.16 ha), en la Reserva de la Biosfera Sumaco. Las barras verticales representan el error estándar. Eje secundario (derecha) para valores del bosque primario.

Mediante la curvas de rarefacción para los sistemas agrícolas se observó que el cacao-semilla sin sombra posee el mayor número de especies por esfuerzo de muestreo. En el área

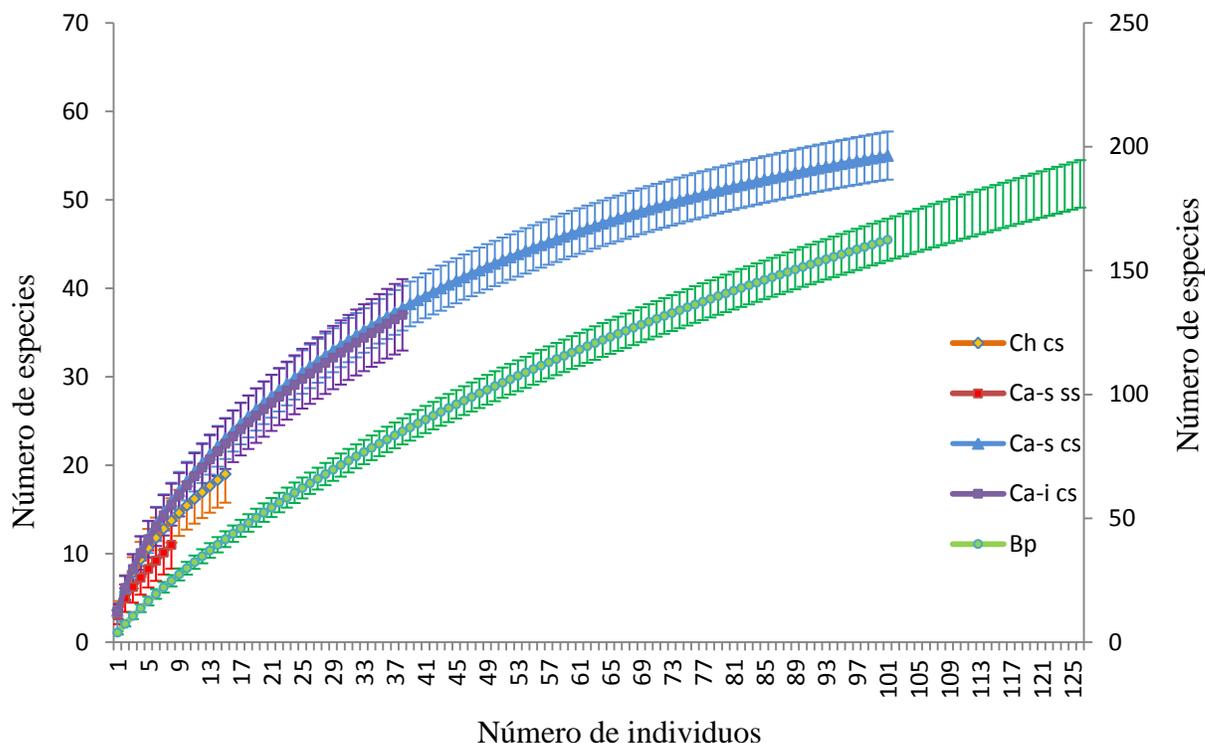
comparable entre los sistemas con sombra, igual al área del sistema con menor número de parcelas muestreadas (chakra con sombra 0.96 ha), el cacao-semilla presentó un total de 28 especies, ubicándose por encima de cacao-injertado en el que se contabilizaron 21 especies. Entre cacao-injertado y cacao-semilla con sombra, no se muestran diferencias significativas respecto a la acumulación de especies, basadas en el traslape de los intervalos de confianza

En los sistemas sin sombra el número de especies es muy bajo, estimándose un valor tres veces menor que en el área comparable de los sistemas con sombra. Esta área es de 0.32 ha y corresponde a la Chakra sin sombra, donde el cacao-semilla muestra 5 especies estimadas, superando al cacao injertado.

En la curva de rarefacción basada en número de individuos, se observa un patrón similar, donde el bosque primario tiene el mayor número de especies. En los sistemas agrícolas el cacao semilla con sombra está ligeramente por encima del cacao injertado con sombra sin que las diferencias sean significativas (intervalo de confianza con  $\alpha = 0.05$ ). El sistema chakra con sombra, está por encima de cacao semilla sin sombra, sin mostrar diferencias significativas. En este tipo de acumulación no aparecen la chakra ni el cacao injertado sin sombra, debido al bajo número de individuos y especies que poseen.

Los sistemas agrícolas que presentan mayor riqueza de especies (acumuladas) son el cacao semilla y cacao injertado con sombra por ser SAFs. Internamente presentan una gran cantidad de individuos y especies arbóreas. Además, son los de mayor importancia y presencia en la zona (mayor área de muestreo).

Los sistemas sin sombra especialmente en el cultivo de cacao tienen una presencia mediana en la zona (respecto a los otros sistemas) y además contienen una mínima cantidad de especies. De acuerdo a su cobertura arbórea no superan el 10%, por lo que no pueden ser clasificados como SAFs.



Bp: Bosque primario; Ca-s cs: cacao semilla con sombra; Ca-i cs cacao injertado con sombra; Ch cs: chakra con sombra; Ca-s ss: cacao semilla sin sombra; Ca-i ss: cacao injertado sin sombra; Ch ss: chakra sin sombra.

*Figura 6. Curvas de rarefacción de especies considerando árboles con un  $dap \geq 10$  cm, para los siete tipos de uso según el número de individuos con 35 muestras aleatorizadas, en los siete sistemas de uso de la tierra estudiados, en la Reserva de la Biosfera Sumaco. Las barras verticales representan el error estándar. Eje secundario (derecha) para valores del bosque primario.*

#### ***4.3.3 Análisis de correlación entre variables de abundancia, dominancia con riqueza y diversidad en los diferentes sistemas de uso considerando fustales y latizales***

El análisis de correlación de Pearson entre las variables densidad y área basal no mostró correlaciones bajo un nivel de significancia  $\alpha=0.05$  en ninguno de los sistemas estudiados. Los sistemas bosque primario, cacao injertado con sombra, cacao semilla y chakra sin sombra con un nivel de significancia tienen correlación positiva respecto a la variable densidad y riqueza (Cuadro 15). Según la relación densidad-diversidad (Fisher), existe correlación positiva con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$  en todos los sistemas sin sombra (Cuadro 15). La relación área basal con riqueza, en los sistemas cacao semilla e injertado con sombra y sin sombra tienen una correlación positiva con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ . En

la relación área basal y diversidad (Fisher) los sistemas cacao semilla con y sin sombra tiene una correlación positiva con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$  (Cuadro 15).

*Cuadro 15. Análisis de correlación entre las variables de abundancia-dominancia con riqueza y diversidad de especies en los sistemas estudiados*

Relación entre variables	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Densidad-área basal	$p=0.5200$ $r=-0.39$	$p=0.1400$ $r=0.40$	$p=0.0600$ $r=0.58$	$p=0.3000$ $r=0.51$	$p=0.0600$ $r=0.69$	$p=0.4400$ $r=0.35$	$p=0.2600$ $r=0.50$
Densidad-riqueza	$p=0.0022$ $r=0.99$	$p=0.0900$ $r=0.45$	$p=0.0002$ $r=0.89$	$p=0.4300$ $r=0.40$	$p=0.0100$ $r=0.86$	$p=0.0700$ $r=0.71$	$p=0.0008$ $r=0.96$
Densidad-Fisher	$p=0.4000$ $r=0.49$	$p=0.5600$ $r=0.1700$	$p=0.6600$ $r=0.15$	$p=0.7500$ $r=0.17$	$p=0.0200$ $r=0.78$	$p=0.0400$ $r=0.77$	$p=0.0100$ $r=0.88$
Área basal-Riqueza	$p=0.3500$ $r=-0.54$	$p=0.0100$ $r=0.65$	$p=0.0200$ $r=0.69$	$p=0.1900$ $r=0.62$	$p=0.0300$ $r=0.75$	$p=0.0500$ $r=0.71$	$p=0.1300$ $r=0.63$
Área basal-Fisher	$p=0.7600$ $r=0.19$	$p=0.0400$ $r=0.53$	$p=0.1300$ $r=0.15$	$p=0.400$ $r=0.43$	$p=0.0500$ $r=0.70$	$p=0.6800$ $r=-0.19$	$p=0.4000$ $r=0.38$

#### 4.4 Carbono almacenado en los diferentes sistemas de uso de la tierra estudiados en la Reserva de la Biosfera Sumaco

##### 4.4.1 Carbono almacenado en la biomasa

Se encontraron diferencias significativas en los *stocks* de C en la biomasa aérea y biomasa total ( $p=0.0001$ ). El C almacenado en la biomasa aérea en el bosque primario es mayor que en los sistemas agrícolas ( $p=0.0001$ ). El promedio en el bosque es de  $206.2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . El promedio del C almacenado en los sistemas agrícolas es de  $24.5 \pm 3.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . El cacao injertado sin sombra tiene los menores valores ( $3.5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) y el cacao semilla con sombra el mayor ( $52.8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) entre los sistemas agrícolas. Existe una diferencia de  $181.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$  entre el sistema natural y los sistemas agrícolas. Entre los sistemas agrícolas el promedio para los sistemas con sombra ( $38.3 \pm 3.9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) es superior ( $p=0.0001$ ) a los sin sombra ( $4.5 \pm 4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), con una diferencia de  $33.8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

En la biomasa total, el bosque primario registra un promedio de 264.2 Mg C ha<sup>-1</sup> y los sistemas agrícolas (33.2 ± 5.4 Mg C ha<sup>-1</sup>). La diferencia entre el bosque primario y los sistemas agrícolas es de 231 Mg C ha<sup>-1</sup>. El cacao injertado sin sombra tiene los menores valores (4.9 Mg C ha<sup>-1</sup>) y el cacao semilla con sombra los mayores (68 Mg C ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 16). El promedio en los sistemas con sombra (50.5 ± 6.3 Mg C ha<sup>-1</sup>) es superior ( $p=0.0001$ ) al de los sin sombra (8.1 ± 1.4 Mg C ha<sup>-1</sup>) con una diferencia de 42.4 Mg C ha<sup>-1</sup>. Los SAFs de cacao tienen el mayor promedio

#### ***4.4.2 Carbono almacenado en la necromasa***

El C almacenado en la necromasa es significativamente diferente ( $p=0.0139$ ) entre todos los sistemas de uso evaluados. El promedio en el bosque primario fue de 4 ± 0.9 Mg C ha<sup>-1</sup>, mientras que en los sistemas agrícolas es de 3 ± 0.3 Mg C ha<sup>-1</sup> sin marcar diferencias significativas ( $p=0.2540$ ). En los sistemas de uso agrícolas, los mayores valores los tiene el cacao semilla con sombra (4.1 Mg C ha<sup>-1</sup>) siendo iguales estadísticamente a los datos del bosque primario (Cuadro 16). Los menores valores son para la chakra sin sombra (1.1 Mg C ha<sup>-1</sup>). El promedio de C en los sistemas agrícolas con sombra (3.4 ± 0.3 Mg C ha<sup>-1</sup>) es superior a los sin sombra (2.3 ± 0.3 Mg C ha<sup>-1</sup>) con una diferencia de 1.1 Mg C ha<sup>-1</sup>.

#### ***4.4.3 Carbono orgánico en suelo***

En este componente de almacenamiento no se presentaron diferencias significativas ( $p=0.1596$ ) entre los sistemas evaluados. El promedio del bosque primario (65.9 ± 2.9 Mg C ha<sup>-1</sup>) no presenta diferencias significativas ( $p=0.9739$ ) con el promedio de los sistemas agrícolas (66.3 ± 9.7 Mg C ha<sup>-1</sup>). Los mayores valores son para el cacao semilla sin sombra (74.9 Mg C ha<sup>-1</sup>) y los menores para la chakra sin sombra (45.8 Mg C ha<sup>-1</sup>); estos valores son notables pero no significantes estadísticamente. El promedio para los sistemas con sombra (66.9 ± 3.7 Mg C ha<sup>-1</sup>) es similar a los sin sombra (65.2 ± 5 Mg C ha<sup>-1</sup>) sin presentar diferencias significativas ( $p=0.7805$ ).

#### ***4.4.4 Carbono total***

El C total almacenado es significativamente diferente ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados; el bosque natural presenta las mayores cantidades. En los sistemas agrícolas el

promedio de almacenamiento total es de  $102.5 \pm 6 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , con variaciones entre sus promedios de  $58.9$  y  $141.4 \text{ Mg C ha}^{-1}$  para la chakra sin sombra y cacao semilla con sombra, respectivamente (Cuadro 16). Los sistemas con sombra tienen promedio ( $120.9 \pm 8.11 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) superior ( $p=0.0001$ ) a los sin sombra ( $75.7 \pm 4.9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), con una diferencia de  $74 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

*Cuadro 16. Promedio  $\pm$  error estándar para el C almacenado en los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Componentes de Almacenamiento (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Carbono biomasa aérea	206.2 $\pm 29$ a	52.8 $\pm 8.1$ b	31.6 $\pm 6.1$ c	14.3 $\pm 2.5$ d	5.7 $\pm 2.5$ e	3.5 $\pm 1.1$ e	4.3 $\pm 0.9$ e
Carbono biomasa raíces	58 $\pm 7$ a	15.3 $\pm 2$ b	11.1 $\pm 2.4$ bc	6.7 $\pm 0.9$ c	1.8 $\pm 0.8$ d	1.4 $\pm 0.8$ d	7.7 $\pm 0.8$ c
Carbono biomasa total	264.2 $\pm 36$ a	68 $\pm 10.3$ b	42.7 $\pm 7.4$ b	20.9 $\pm 3.4$ c	7.6 $\pm 3.2$ de	4.9 $\pm 1.6$ e	12 $\pm 1.5$ d
Carbono necromasa	4 $\pm 0.8$ ab	4.1 $\pm 0.4$ a	3.1 $\pm 0.5$ ab	2.2 $\pm 0.7$ bc	2.8 $\pm 0.6$ abc	3.1 $\pm 0.6$ ab	1.1 $\pm$ 0.6 c
Carbono orgánico suelo	65.9 $\pm 9.2$ ab	69.2 $\pm 4.9$ a	65.1 $\pm 7.1$ ab	64.7 $\pm 9.2$ ab	74.9 $\pm 6.8$ a	73.6 $\pm 8.9$ a	45.8 $\pm 6.4$ b
<b>Carbono Total</b>	<b>334.2</b> $\pm 41.7$ a	<b>141.4</b> $\pm 11.9$ b	<b>110.9</b> $\pm 13$ bc	<b>87.8</b> $\pm 9.7$ b	<b>85.2</b> $\pm 7.9$ c	<b>81.6</b> $\pm 9.1$ c	<b>58.9</b> $\pm 5.5$ d

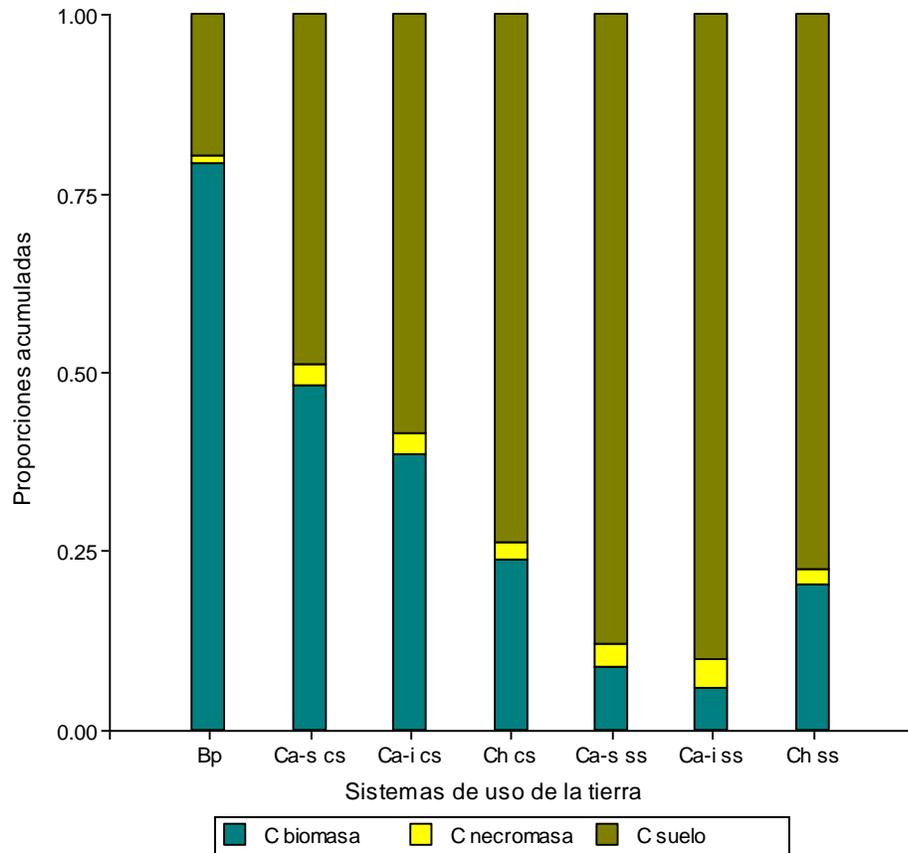
ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

En el bosque primario la mayor proporción (79.1%) de C almacenado está en la biomasa. En los sistemas agrícolas con sombra, la mayor cantidad de C almacenado esta en el suelo con rangos porcentuales de 48.9 a 90.2% y biomasa con rangos de 6 a 48.1%, siendo muy baja la proporción para la necromasa. En los sistemas sin sombra la mayor cantidad de C está en el suelo mostrando diferencias muy amplias con los otros componentes (Cuadro 17).

*Cuadro 17. Valores relativos de los diferentes componentes de almacenamiento de C en los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Componentes de almacenamiento (% Mg C ha <sup>-1</sup> )	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Carbono biomasa total	79.1	48.1	38.5	23.8	8.9	6	20.4
Carbono necromasa	1.2	2.9	2.8	2.5	3.3	3.8	1.9
Carbono orgánico suelo	19.7	48.9	58.7	73.7	87.9	90.2	77.8

El porcentaje del C almacenado bajo el suelo (62.4%) es el doble al que está sobre el suelo (37.6%). La mayor cantidad de C almacenado sobre el suelo, está en los sistemas de bosque primario y cacao-semilla con sombra. En los restantes sistemas de uso agrícola la mayor cantidad de C se encuentra debajo del suelo. En todos los sistemas agrícolas con y sin sombra, el componente que aporta la mayor cantidad al C total es el suelo, con un aporte porcentual promedio del 65%, seguido de la biomasa con 32.1% y finalmente la necromasa con el 2.6%, que resultó ser un valor relativamente bajo.



Bp: Bosque primario; Ca-s cs: cacao semilla con sombra; Ca-i cs cacao injertado con sombra; Ch cs: chakra con sombra; Ca-s ss: cacao semilla sin sombra; Ca-i ss: cacao injertado sin sombra; Ch ss: chakra sin sombra.

*Figura 7. Distribución del almacenamiento del carbono, en la biomasa total, necromasa y suelo en los siete sistemas de uso de la tierra estudiados, en la Reserva de la Biosfera Sumaco.*

#### **4.4.5 Tasas de incremento anual de carbono**

Para el bosque natural se asumió un valor de  $0.45 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . La tasa de acumulación en el C total es significativamente diferente entre los sistemas de uso agrícola ( $p=0.0001$ ). El promedio en los sistemas con sombra ( $4.1 \pm 0.33 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) es superior ( $p=0.0001$ ) a los sistemas sin sombra ( $1.8 \pm 0.1 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). El sistema con mayor tasa de acumulación es el cacao semilla con sombra ( $4.9 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) a diferencia de la chakra sin sombra ( $1.4 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), el que posee el menor valor. En los SAF de cacao no existen diferencias significativas entre los de semilla con los injertos (Cuadro 18).

Cuadro 18. Promedio  $\pm$  error estándar para las tasas de acumulación de los stocks de C en los siete sistemas de uso evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco

Sistemas	Con sombra			Sin sombra		
	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
C biomasa Fustales	64.4 $\pm$ 10.2 a	37.2 $\pm$ 7.7 b	15.9 $\pm$ 3.5 c	5.5 $\pm$ 3.3 d	2.5 $\pm$ 1.3 d	1.3 $\pm$ 0.9 d
Edad fustales	20.7 $\pm$ 1.6 a	21.4 $\pm$ 2.7 a	20.6 $\pm$ 2.5 a	9.5 $\pm$ 3.8 b	18.8 $\pm$ 6.9 ab	11.9 $\pm$ 6.2 ab
<b>Tasa acumulación en fustales y latizales altos</b>	<b>3.2</b> $\pm$ 0.5 a	<b>1.9</b> $\pm$ 0.5 a	<b>0.8</b> $\pm$ 0.2 b	<b>0.3</b> $\pm$ 0.2 c	<b>0.07</b> $\pm$ 0.03 c	<b>0.04</b> $\pm$ 0.02 c
C biomasa cacao	1.4 $\pm$ 1.2 b	2.2 $\pm$ 0.2 a	0.4 $\pm$ 0.2 c	1.4 $\pm$ 0.2 b	1.9 $\pm$ 0.2 a	0.3 $\pm$ 0.3 c
Edad cacao	7.1 $\pm$ 0.9 a	4.1 $\pm$ 0.6 b	1.7 $\pm$ 0.5 cd	4.9 $\pm$ 0.5 b	3.6 $\pm$ 0.8 bc	1.3 $\pm$ 0.3 d
<b>Tasa acumulación en Cacao</b>	<b>0.2</b> $\pm$ 0.03 b	<b>0.6</b> $\pm$ 0.09 a	<b>0.3</b> $\pm$ 0.2 ab	<b>0.3</b> $\pm$ 0.03 ab	<b>0.6</b> $\pm$ 0.1 a	<b>0.10</b> $\pm$ 0.1 b
C biomasa palmas	2 $\pm$ 0.5 a	1.2 $\pm$ 0.5 a	0.7 $\pm$ 0.4 a	0.7 $\pm$ 0.7 a	SR	SR
Edad palmas	17.3 $\pm$ 3.5 a	11.9 $\pm$ 2.9 a	12.1 $\pm$ 3.9 a	1.7 $\pm$ 1.7 b	SR	SR
<b>Tasa acumulación en palmas</b>	<b>0.10</b> $\pm$ 0.03 a	<b>0.06</b> $\pm$ 0.02 a	<b>0.04</b> $\pm$ 0.02 a	<b>0.05</b> $\pm$ 0.05 a	SR	SR
C biomasa musaceas	0.06 $\pm$ 0.003 a	0.04 $\pm$ 0.01 a	0.02 $\pm$ 0.01 a	0.01 $\pm$ 0.004 a	0.01 $\pm$ 0.004 a	0.004 $\pm$ 0.003 a
Edad musaceas	0.6 $\pm$ 0.1 ab	0.9 $\pm$ 0.2 a	0.7 $\pm$ 0.2 ab	0.5 $\pm$ 0.2 ab	0.7 $\pm$ 0.2 ab	0.3 $\pm$ 0.2 b
<b>Tasa acumulación en musaceas</b>	<b>0.05</b> $\pm$ 0.03 a	<b>0.04</b> $\pm$ 0.01 a	<b>0.02</b> $\pm$ 0.01a	<b>0.01</b> $\pm$ 0.004 a	<b>0.01</b> $\pm$ 0.004 a	<b>0.004</b> $\pm$ 0.003 a
C biomasa latizales bajos	0.05 $\pm$ 0.02 a	0.01 $\pm$ 0.01 a	SR	0.03 $\pm$ 0.01 a	0.01 $\pm$ 0.01 a	SR
Edad latizales bajos	2.9 $\pm$ 0.81 a	1.9 $\pm$ 1.3 a	SR	3.3 $\pm$ 1.6 a	1.5 $\pm$ 0.8 a	SR
<b>Tasa acumulación en latizales bajos</b>	<b>0.01</b> $\pm$ 0.004 a	<b>0.002</b> $\pm$ 0.001 b	SR	<b>0.01</b> $\pm$ 0.003 ab	<b>0.0014</b> $\pm$ 0.001 b	SR
<b>Tasa acumulación en el suelo</b>	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
<b>Tasa acumulación del carbono total</b>	4.9 $\pm$ 0.5 a	4 $\pm$ 0.5 a	2.4 $\pm$ 0.2 b	1.9 $\pm$ 0.1 b	2 $\pm$ 0.1 b	1.4 $\pm$ 0.1 c

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. Tasa de acumulación para bosque primario se asume el valor de 0.45.Mg C ha<sup>-1</sup> año (Lewis *et al.* 2009)

Los cultivos de yuca no fueron incluidos para cuantificar el incremento anual, ya que se considera que la acumulación neta anual es cero. Tampoco se tomó en cuenta la necromasa

(hojarasca - madera muerta) y brinzales ni herbáceas debido a que son eliminados mediante el manejo de los sistemas agrícolas (con las limpias y rozas) por lo que no se constituyen en componentes de acumulación continua de los sistemas evaluados.

## **4.5 Productividad en los sistemas de uso agrícola en la Reserva de la Biosfera Sumaco**

### ***4.5.1 Producción anual por sistema de uso de la tierra***

La producción anual total correspondiente al cultivo de cacao (peso húmedo) y yuca, es significativamente diferente ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas agrícolas evaluados. Con el cacao (peso húmedo) el sistema cacao semilla sin sombra presentó la mayor producción ( $2\ 515\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) y la chakra sin sombra la menor ( $165\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) (Cuadro 19). En los sistemas de cacao, tomando como covariable a la edad de las plantaciones se encontró diferencias significativas ( $p=0.0454$ ) entre los sistemas sin sombra, cuyo promedio es superior ( $2\ 136 \pm 221.3\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) a los sistemas con sombra ( $1\ 591 \pm 144\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ).

La producción de yuca tiene el mayor valor en la chakra sin sombra ( $22\ 828\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) y el cacao injertado sin sombra la menor ( $537\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) (Cuadro 19). La producción anual total del cultivo de plátano no presentó diferencias significativas ( $p=0.3164$ ) entre los sistemas evaluados (Cuadro 19). Los promedios para los sistemas con sombra son superiores ( $925 \pm 331\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) a los sin sombra ( $151 \pm 46.3\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ), mostrando diferencias significativas ( $p=0.0250$ ).

La producción anual total de los tres productos evaluados, son significativamente diferentes ( $p=0.0014$ ) entre todos los sistemas. Las chakras sin y con sombra son las que registran mayor cantidad producción con promedios de  $23\ 102$  y  $9\ 621\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ , respectivamente (Cuadro 19). El promedio registrado para los sistemas sin sombra ( $9\ 095 \pm 2\ 190\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) es superior significativamente ( $p=0.0336$ ), a los sistemas con sombra ( $3\ 916 \pm 911\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ).

*Cuadro 19. Promedios  $\pm$  erros estándar de la producción bruta de los tres productos evaluados para los seis sistemas de uso agrícola evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Productividad (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Con sombra			Sin sombra			P
	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
Cacao húmedo	1719.5 $\pm$ 227.3 b	1415.4 $\pm$ 141.6 b	284.54 $\pm$ 115.3 c	2515.07 $\pm$ 317.9 a	1704.4 $\pm$ 227.3 b	164.9 $\pm$ 164.9 c	0.0001
Plátano*	1125.2 $\pm$ 654.4 a	849.9 $\pm$ 419.3 a	564 $\pm$ 419.3 a	169.2 $\pm$ 98.9 a	175.2 $\pm$ 66.2 a	108.8 $\pm$ 75.5 a	0.1945
Yuca*	SR	SR	8773.3 $\pm$ 4166.3 b	SR	537.14 $\pm$ 4166.3 b	22828.57 $\pm$ 2168.1 a	0.0001
Total	2844.6 $\pm$ 722.4 a	2265.2 $\pm$ 303 a	9621.9 $\pm$ 3925 a	2684.28 $\pm$ 309.5 a	2416.7 $\pm$ 652 a	23102.2 $\pm$ 2068.4 b	0.0014

Pr > Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. \*ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. SR: Sin registro.

#### **4.5.2 Ingresos totales por producción anual en cada sistema de uso agrícola**

En los ingresos anuales correspondientes al cultivo de cacao (peso húmedo) y yuca son significativamente diferentes ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados. El cultivo de cacao húmedo en el sistema cacao semilla sin sombra registró la mayor cantidad de ingresos económicos (3 324 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) a diferencia de la chakra sin sombra, la que muestra los valores más bajos (217 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) (Cuadro 20). Los promedios de ingresos en los sistemas con sombra (1 778  $\pm$  197 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) no presentaron diferencias significativas ( $p=0.5825$ ) con los sin sombra (1 994  $\pm$  336 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>). En los sistemas de cacao, se encontró diferencias significativas ( $p=0.0454$ ) en los ingresos generados entre los sistemas sin sombra, cuyo promedio es superior (2 823  $\pm$  292 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) a los sistemas con sombra (2 102  $\pm$  190.5 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>).

El cultivo de yuca en la chakra sin sombra presentó el mayor ingreso (1 492 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y el cacao injertado sin sombra el menor (35 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>). Los promedios en los sistemas sin sombra (485  $\pm$  156.4 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) son superiores ( $p=0.0124$ ) a los con sombra (107  $\pm$  62 USD ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>). Los ingresos anuales correspondientes al cultivo de plátano, no presentaron diferencias significativas ( $p=0.3164$ ) entre los sistemas evaluados (Cuadro 20).

Los ingresos anuales brutos totales de los tres productos, son significativamente diferentes ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados. El cacao semilla sin sombra es el que genera los mayores ingresos ( $3\,392\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) y la chakra con sombra los menores ( $1\,176\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) (Cuadro 20). El promedio de ingresos totales en los sistemas con sombra ( $2\,258 \pm 231\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) no es estadísticamente diferente ( $p=0.3904$ ) a los sistemas sin sombra ( $2\,501 \pm 232\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ).

*Cuadro 20. Promedio  $\pm$  error estándar de los ingresos totales para los seis sistemas de uso agrícola evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Ingresos brutos (USd ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Con sombra			Sin sombra			P
	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
Cacao húmedo	2272.4 $\pm 298\text{ b}$	1870.5 $\pm 187\text{ b}$	376.05 $\pm 152\text{ c}$	3323.9 $\pm 420\text{ a}$	2252.4 $\pm 300\text{ b}$	217.9 $\pm 217\text{ c}$	0.0001
Plátano*	452.3 $\pm 263\text{ a}$	341.6 $\pm 136\text{ a}$	226.7 $\pm 168\text{ a}$	68 $\pm 39\text{ a}$	70.4 $\pm 26.6\text{ a}$	43.7 $\pm 30.3\text{ a}$	0.3164
Yuca	SR	SR	573.4 $\pm 272.3\text{ b}$	SR	35.1 $\pm 35\text{ b}$	1492.1 $\pm 141.7\text{ a}$	0.0001
Total	2724.6 $\pm 425.3\text{ ab}$	2212.1 $\pm 175.9\text{ bc}$	1176.2 $\pm 203\text{ d}$	3391.9 $\pm 412\text{ a}$	2358 $\pm 301\text{ bc}$	1753.7 $\pm 166\text{ c}$	0.0001

\*Pr > Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. SR: sin registro.

### 4.5.3 Costos de producción por hectárea en cada sistema de uso

Los costos anuales de producción correspondientes al cacao húmedo y yuca presentaron diferencias significativas ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados. En el cultivo de cacao, el sistema cacao injertado con sombra presenta los mayores costos ( $700\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ), a diferencia de la chakra sin sombra que posee los costos más bajos ( $79\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) (Cuadro 21).

En el cultivo de yuca, el sistema que requiere de mayores costos en la producción es la chakra sin sombra ( $437\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) a diferencia del cacao injertado sin sombra que demanda menores costos ( $10\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ). Los costos en el cultivo de plátano no presentan diferencias significativas entre los sistemas evaluados ( $p=0.3487$ ).

Los costos anuales totales respecto a los tres productos evaluados, son significativamente diferentes ( $p=0.0101$ ) en los sistemas evaluados. El cacao injertado con sombra es el que presentó los mayores costos (878 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y la chakra con sombra registra los menores (Cuadro 21).

*Cuadro 21. Promedio  $\pm$  error estándar de los costos de producción para los seis sistemas de uso agrícola, evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.*

Costos de producción (USd ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Con sombra			Sin sombra			P
	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
Cacao húmedo*	585.3 $\pm 38.7$ b	700 $\pm 32.8$ a	167.4 $\pm 79$ c	637.05 $\pm 45.3$ ab	558 $\pm 50$ b	79.7 $\pm 79$ c	0.0001
Platano *	236.3 $\pm 137.4$ a	178.5 $\pm 71.1$ a	118.5 $\pm 88.1$ a	35.5 $\pm 20.8$ a	36.81 $\pm 13.9$ a	22.84 $\pm 15.8$ a	0.3487
Yuca	SR	SR	168 $\pm 79$ b	SR	10.3 $\pm 10$ b	437.1 $\pm 41$ a	0.0001
<b>Costos totales *</b>	<b>821.6</b> $\pm 155.4$ a	<b>878.5</b> $\pm 76$ b	<b>453.87</b> $\pm 111.2$ a	<b>672.59</b> $\pm 46.5$ ab	<b>605.1</b> $\pm 46.3$ a	<b>539.7</b> $\pm 60.6$ a	<b>0.0101</b>

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. \*Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. SR: sin registro.

#### **4.5.4 Ingresos netos en los sistemas de uso de la tierra**

Los ingresos anuales netos, correspondientes al cultivo de cacao y yuca presentan diferencias significativas ( $p=0.0001$ ) en los sistemas evaluados. En cacao el sistema que presentó mayor ingreso es el cacao semilla sin sombra (2 686 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y la chakra sin sombra el de menor (138 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Cuadro 22). En los sistemas de cacao, tomando como covariable la edad de las plantaciones, se encontró diferencias significativas ( $p=0.0378$ ) entre los sistemas sin sombra, cuyo promedio es superior ( $2\ 363 \pm 286$  USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) a los sistemas con sombra ( $1\ 607 \pm 194$  USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

En el cultivo de yuca, el sistema que genera mayores ingresos es la chakra sin sombra (1 054 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) en comparación de cacao injertado sin sombra que genera menores ingresos (24.9 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Cuadro 22). Los ingresos correspondientes al cultivo de plátano no son significativamente diferentes entre los sistemas evaluados.

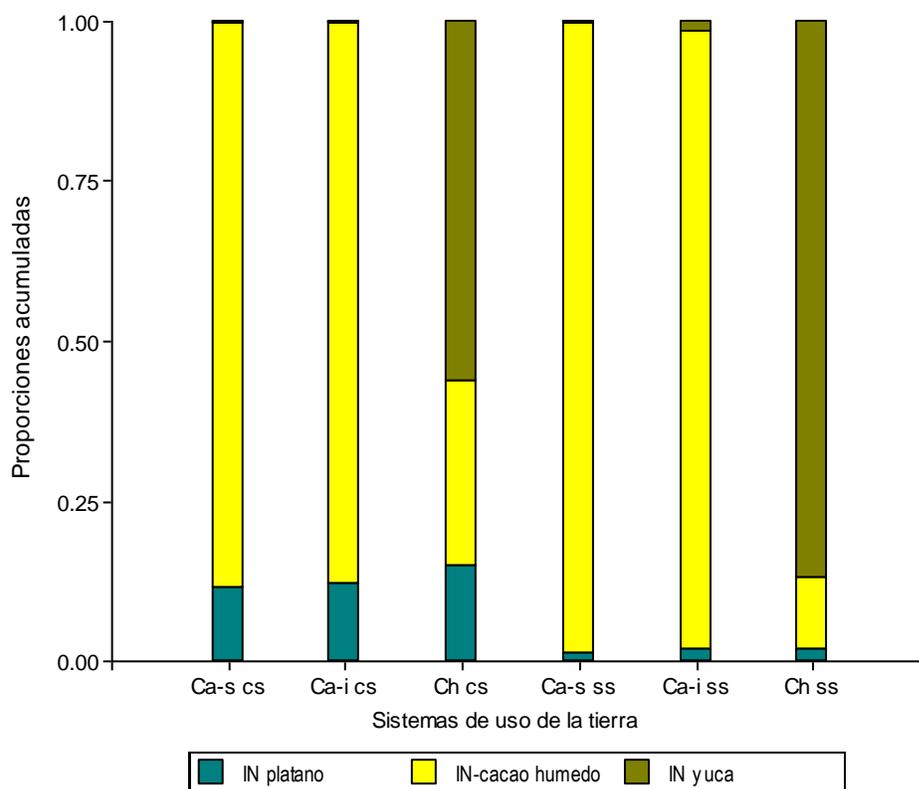
Los ingresos netos anuales totales de los tres productos evaluados, mostraron diferencias significativas ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados. El cacao semilla sin sombra es el que genera los mayores ingresos ( $2\,719\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) en comparación con la chakra sin sombra que obtuvo los menores valores ( $722\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) (Cuadro 22). Considerando la edad de los cultivos como covariable, el ingreso neto promedio en los sistemas con sombra ( $1\,383 \pm 161\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ) es inferior ( $p=0.0001$ ) a los sin sombra ( $2\,081 \pm 208\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ ), marcando una diferencia de  $698\text{ USd ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ . Con estos resultados se deduce una mayor rentabilidad económica para los sistemas sin sombra, para el año 2011.

*Cuadro 22. Promedio  $\pm$  error estándar de los ingresos netos para los seis sistemas de uso agrícola, evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Ingresos netos (USd ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Con sombra			Sin sombra			P
	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	
Cacao húmedo	1687.1 $\pm 274.8\text{ b}$	1170.5 $\pm 189.1\text{ b}$	208.7 $\pm 84.3\text{ c}$	2686.8 $\pm 417.7\text{ a}$	1694.4 $\pm 268.7\text{ ab}$	138.2 $\pm 138.2\text{ c}$	0.0001
Platano *	215.9 $\pm 125.6\text{ a}$	163.1 $\pm 64.9\text{ a}$	108.2 $\pm 80.5\text{ a}$	32.4 $\pm 18.9\text{ a}$	33.6 $\pm 12.7\text{ a}$	20.8 $\pm 14.5\text{ a}$	0.3187
Yuca	SR	SR	405.4 $\pm 192\text{ b}$	SR	24.8 $\pm 24\text{ b}$	1054.9 $\pm 100\text{ a}$	0.0001
<b>Ingreso neto total con cacao húmedo</b>	<b>1903</b> $\pm 314\text{ ab}$	<b>1333.5</b> $\pm 171.8\text{ bc}$	<b>722.3</b> $\pm 121.3\text{ d}$	<b>2719.3</b> $\pm 413.9\text{ a}$	<b>1752.9</b> $\pm 272.2\text{ abc}$	<b>1214.</b> $\pm 107\text{ c}$	<b>0.0001</b>

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. \*Kruskal Wallis  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. SR: sin registro

En todos los sistemas de uso agrícolas, el cacao húmedo reporta el mayor porcentaje con el 75.1% del total de ingresos netos, seguido de la yuca con el 15.4% y por último el plátano con el 6% (Figura 8).



Ca-s cs: cacao semilla con sombra; Ca-i cs cacao injertado con sombra; Ch cs: chakra con sombra; Ca-s ss: cacao semilla sin sombra; Ca-i ss: cacao injertado sin sombra; Ch ss: chakra sin sombra.

Figura 8. Distribución de los ingresos netos (IN) en los diferentes sistemas de uso de la tierra evaluados en la Reserva de la Biosfera Sumaco.

## 4.6 Ingresos potenciales por la venta de carbono y productividad

### 4.6.1 Ingresos por la venta de carbono

Los ingresos potenciales por el aumento de los *stocks* de C total, son significativamente diferentes ( $p=0.0001$ ) entre los sistemas evaluados. El bosque primario registra los valores más bajos entre todos los sistemas estudiados. El promedio de los sistemas con sombra ( $75 \pm 6$  USd Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) es superior ( $p=0.0001$ ) a los sin sombra ( $33 \pm 1$  USd Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). El sistema que tiene mayores ingresos es el cacao semilla con sombra ( $89.7$  USd Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y la chakra sin sombra el menor ( $26.6$  USd Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Respecto a los sistemas de cacao con sombra no existen diferencias significativas (Cuadro 23).

Cuadro 23. Promedio  $\pm$  error estándar de los ingresos potenciales por el incremento de los stocks de C en los sistemas agrícolas estudiados en la Reserva de la Biosfera Sumaco

Componentes	Bp	Con sombra			Sin sombra		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Incremento anual de C total (Mg C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0.45 $\pm 0.01$ d	4.9 $\pm 0.5$ a	4 $\pm 0.5$ a	2.4 $\pm 0.2$ b	1.9 $\pm 0.1$ b	2 $\pm 0.1$ b	1.4 $\pm 0.1$ c
Acumulación de C (Mg CO <sub>2e</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	1.7 $\pm 0.02$ d	17.9 $\pm 1.8$ a	14.5 $\pm 1.9$ a	8.7 $\pm 0.9$ b	7.4 $\pm 0.4$ b	7.1 $\pm 0.5$ b	5.3 $\pm 0.4$ c
<b>Ingreso por el incremento anual de las equivalencias de stocks de C</b> (USd Mg CO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	<b>8.3</b> $\pm 0.12$ d	89.7 $\pm 9$ a	72.4 $\pm 9.3$ a	43.4 $\pm 4.3$ b	37.1 $\pm 2.1$ b	35.4 $\pm 2.7$ b	26.6 $\pm 1.8$ c

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0.05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. Factor de transformación de *stock* de C a su equivalente CO<sub>2</sub> = (C  $\times$  3.67). Ingreso por el incremento de las equivalencias de *stocks* de C = CO<sub>2</sub>  $\times$  5 USd

#### 4.6.2 Ingresos por venta de carbono y productividad

El bosque primario no tiene ingresos por producción, por lo que mantiene únicamente los valores potenciales por la venta de carbono que son inferiores a los registrados en los seis sistemas de producción agrícola. En los sistemas agrícolas, considerando la edad de los cultivos como covariable, los promedios de los ingresos potenciales por la venta de carbono más los de producción en los sistemas agrícolas con sombra (1 455  $\pm$  162) presentan diferencias significativas ( $p=0.0001$ ) frente a los sistemas sin sombra (2 118  $\pm$  208), que poseen los máximos valores. En los SAFs, existen diferencias estadísticas entre los sistemas de cacao con la chakra. En los sistemas sin sombra se marcan diferencias entre el cacao semilla con la chakra (Cuadro 24). El sistema cacao semilla sin sombra tiene mayores ingresos promedio (2 754 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y la chakra con sombra los menores (765 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Cuadro 24).

Usando la edad como covariable, económicamente en los sistemas de uso con cultivo de cacao, los cacaotales sin sombra (2 402  $\pm$  286 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) resultan ser más rentables ( $p=0.0493$ ) que los cacaotales con sombra (1 688  $\pm$  195 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Los propagados por semilla (2 257  $\pm$  256) tienen mayores ingresos ( $p=0.0238$ ) que los propagados por injerto (1 555  $\pm$  152 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Internamente en los sistemas con sombra y los sin sombra no existen diferencias significativas entre los propagados por semilla e injertado (Cuadro 24).

*Cuadro 24. Promedio  $\pm$  error estándar de los valores estimados para la cuantificación monetaria de un posible ingreso potencial por acumulación de C y producción en los sistemas de producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

Tasas de acumulación y precios	Bosque primario	Con sombra			Sin sombra		
		Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Acumulación anual (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	1.7 $\pm$ 0.02 d	17.9 $\pm$ 1.8 a	14.5 $\pm$ 1.9 a	8.7 $\pm$ 0.9 b	7.4 $\pm$ 0.4 b	7.1 $\pm$ 0.5 b	5.3 $\pm$ 0.4 c
Precio de acumulación anual (USd Mg <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	<b>8.3</b> $\pm$ 0.12 d	89.7 $\pm$ 9 a	72.4 $\pm$ 9.3 a	43.4 $\pm$ 4.3 b	37.1 $\pm$ 2.1 b	35.4 $\pm$ 2.7 b	26.6 $\pm$ 1.8 c
Ingreso por producción agrícola (USD ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0	1903 $\pm$ 314 ab	1333.5 $\pm$ 171.8 bc	722.3 $\pm$ 121 d	2719.3 $\pm$ 413 a	1752.9 $\pm$ 272 abc	1214 $\pm$ 107 c
<b>Ingreso total (USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b>	<b>8.3</b> $\pm$ 0.12 d	<b>1992.7</b> $\pm$ 314.6 ab	<b>1405.9</b> $\pm$ 175.2 bc	<b>765.7</b> $\pm$ 117.6 d	<b>2754</b> $\pm$ 413.2 a	<b>1789.9</b> $\pm$ 272.3 abc	<b>1240.6</b> $\pm$ 109.1 c

#### 4.7 Relación entre las variables de riqueza, carbono y productividad a través de los ingresos generados

Entre las variables riqueza y carbono, el cacao semilla ( $R^2=0.16$ ), injertado ( $R^2=0.27$ ) y chakra con ( $R^2=0.54$ ) y sin ( $R^2=0.2$ ) sombra, tienen coeficientes de regresión significantes con pendiente positiva. Las variables de riqueza con ingresos por producción, los sistemas cacao semilla ( $R^2=0.39$ ) e injertado con sombra ( $R^2=0.17$ ) y sin sombra ( $R^2=0.26$ ) tienen regresión significativa. La pendiente es positiva para el cacao injertado con y sin sombra y negativa para el cacao semilla con y sin sombra. La relación ingresos por producción y carbono, los sistemas cacao semilla ( $R^2=0.14$ ) y chakra ( $R^2=0.16$ ) sin sombra tienen de regresión significativa, con pendientes negativa y positiva, respectivamente. En la relación ingresos por producción e ingresos por venta de carbono el cacao injertado ( $R^2=0.11$ ) y las chakras con ( $R^2=0.75$ ) y sin ( $R^2=0.52$ ) sombra, tienen coeficientes de regresión significantes; el primer sistema tiene pendiente negativa y el segundo positiva (Cuadro 25).

Según la relación de las variables riqueza de especies con ingresos por producción, en el sistema cacao semilla con sombra, la correlación de Spearman muestra una correlación positiva ( $r=0.68$ ) con nivel de significancia ( $p=0.0049$ ) (Cuadro 26). En la relación de las variables ingresos por producción e ingresos potenciales por venta de carbono, existen correlaciones significantes ( $p=0.0500$ ,  $p=0.0300$ ) en los sistemas cacao injertado y chakra con sombra, con coeficientes positivos de 0.26 y 0.63 respectivamente.

Cuadro 25. Regresiones lineales entre las variables de riqueza, carbono e ingresos en los seis sistemas agrícolas estudiados

Relaciones entre variables	Con sombra			Sin sombra		
	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Riqueza-carbono*	$R^2 = 0.16$ $Y=3.84+0.05 X$	$R^2 = 0.27$ $Y=1.89+0.06 X$	$R^2 = 0.54$ $Y= -2.79+0.09 X$	$R^2 = 0.09$ $Y= -1.01+0.03 X$	$R^2 = 0.000014$ $Y= 0.87-0.00011 X$	$R^2 = 0.2$ $Y=-0.65+0.02 X$
Riqueza-ingresos por producción*	$R^2 = 0.39$ $Y=15.32 - 0.0027 X$	$R^2 = 0.17$ $Y=3.69+0.0036 X$	$R^2 = 0.02$ $Y=6.4-0.0015 X$	$R^2 = 0.17$ $Y= 4.33-0.0009 X$	$R^2 = 0.26$ $Y= -0.0028+0.00049 X$	$R^2 = 0.0041$ $Y= 0.51+0.00017 X$
Ingresos producción-carbono*	$R^2 = 0.03$ $Y=0.03 + 2585 X$	$R^2 = 0.08$ $Y=913 + 3.8 X$	$R^2 = 0.2$ $Y=235.8 + 5.5 X$	$R^2 = 0.14$ $Y= 4359 -19.3 X$	$R^2 = 0.1$ $Y= 974.6 + 9.5 X$	$R^2 = 0.16$ $Y=755 + 7.8 X$
Ingresos producción-ingresos venta de carbono*	$R^2 = 0.001$ $Y=1800.7 + 1.1X$	$R^2 = 0.11$ $Y=881.6 + 6.3 X$	$R^2 = 0.75$ $Y=1782-24.4 X$	$R^2 = 0.07$ $Y= 4197.8-41.8 X$	$R^2 = 0.0006$ $Y=1637 + 3.1 X$	$R^2 = 0.52$ $Y=99.9 + 41.8 X$

$R^2$ : Coeficiente de determinación; \* variable regresora o independiente.

Cuadro 26. Correlaciones entre las variables de riqueza, carbono e ingresos, en los sistemas agrícolas

Relaciones entre variables	Con sombra			Sin sombra		
	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra	Cacao semilla	Cacao injertado	Chakra
Riqueza-carbono	$p=0.1100$ $r=0.43$	$p=0.2000$ $r=0.42$	$p=0.0800$ $r=0.75$	$p=0.1800$ $r=0.53$	$p=0.900$ $r=0.06$	$p=0.1400$ $r=0.62$
Riqueza-ingresos por producción	$p=0.0049$ $r=-0.68$	$p=0.1000$ $r=0.52$	$p=0.9100$ $r=0.06$	$p=0.5100$ $r=-0.27$	$p=0.1900$ $r=0.56$	$p=0.8000$ $r=0.12$
Ingresos producción-carbono	$p=0.5800$ $r=-0.15$	$p=0.2300$ $r=0.38$	$p=0.2200$ $r=0.54$	$p=0.6500$ $r=-0.19$	$p=0.3800$ $r=0.36$	$p=0.6600$ $r=0.18$
Ingresos producción-ingresos potenciales de C	$p=0.3300$ $r=-0.26$	$p=0.0500$ $r=0.63$	$p=0.0300$ $r=-1.00$	$p=1.0000$ $r=0$	$p=0.7900$ $r=-0.11$	$p=0.2700$ $r=0.48$

#### 4.7.1 Posibles efectos de diversificación de sistemas de uso: riqueza, carbono e ingresos potenciales (variación de los stocks de CO<sub>2e</sub> y producción)

La diversificación de paisajes como herramienta de planificación puede tener efectos positivos sobre la conservación de la diversidad y la acumulación de carbono en el Sumaco. Las combinaciones entre el bosque primario con los sistemas agrícolas, tienen una riqueza promedio de 71 especies ha<sup>-1</sup>. En los sistemas agrícolas la combinación de sistemas cacao semilla e injertado con sombra tienen el mayor número de especies (23.6 especies ha<sup>-1</sup>) y la combinación entre cacao semilla y chakra sin sombra son las que tienen el menor número (3.1 sp ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 27).

Cuadro 27. Promedios  $\pm$  desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra en relación a la riqueza de especies en la Reserva de la Biosfera Sumaco

SISTEMAS (especies ha <sup>-1</sup> )	Bosque primario	Cacao semilla CS	Cacao injertado CS	Chakra CS	Cacao semilla SS	Cacao injertado SS
Cacao semilla CS	77.2 $\pm$ 9.4					
Cacao injertado CS	74.7 $\pm$ 8.6	23.6 $\pm$ 5.8				
Chakra CS	70.9 $\pm$ 9.3	19.7 $\pm$ 6.1	16.6 $\pm$ 3.7			
Cacao semilla SS	68.1 $\pm$ 9.1	16.6 $\pm$ 6.5	12.9 $\pm$ 3.8	8.4 $\pm$ 2.9		
Cacao injertado SS	67.2 $\pm$ 8.8	15.7 $\pm$ 6.3	12.2 $\pm$ 3.3	7.6 $\pm$ 2.7	3.5 $\pm$ 2.4	
Chakra SS	66.8 $\pm$ 8.9	15.2 $\pm$ 6.4	11.9 $\pm$ 3.3	7.2 $\pm$ 2.6	3.1 $\pm$ 2.5	1.8 $\pm$ 0.8

CS: con sombra; SS: sin sombra

Las cantidades de C almacenado entre el bosque primario con cualquier otro uso del suelo, tiene promedios de 219 Mg C ha<sup>-1</sup>. Las combinaciones entre los sistemas agrícolas, el cacao semilla y el injertado con sombra, presentan los mayores valores (153.4 Mg C ha<sup>-1</sup>), frente a chakra y cacao injertado sin sombra que posee los menores (68.5 Mg C ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 28).

Cuadro 28. Promedios  $\pm$  desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra en relación al C total almacenado en la Reserva de la Biosfera Sumaco

SISTEMAS (Mg C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Bosque primario	Cacao semilla CS	Cacao injertado CS	Chakra CS	Cacao semilla SS	Cacao Injertado SS
Cacao semilla CS	246.8 $\pm$ 49.6					
Cacao injertado CS	240.8 $\pm$ 43.1	153.4 $\pm$ 26.5				
Chakra CS	211.9 $\pm$ 44.2	124.6 $\pm$ 28.2	118.6 $\pm$ 13.9			
Cacao semilla SS	213.2 $\pm$ 42.6	125.9 $\pm$ 25.5	119.9 $\pm$ 7.2	91 $\pm$ 12		
Cacao injertado SS	205.5 $\pm$ 44.4	118.2 $\pm$ 25.7	112.2 $\pm$ 7.2	83.3 $\pm$ 12.1	84.6 $\pm$ 1.8	
Chakra SS	197.1 $\pm$ 42.6	109.8 25.7	103.8 $\pm$ 7.5	74.9 $\pm$ 12.2	76.2 $\pm$ 3	68.5 $\pm$ 12.7

CS: con sombra; SS: sin sombra

La combinaciones entre bosque primario con los diferentes usos de la tierra, respecto a los incrementos anuales de los *stocks* de CO<sub>2e</sub>, tienen un promedio de 5.8 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. La combinación bosque primario y cacao semilla con sombra tiene el mayor valor (11.9 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y bosque con chakra sin sombra el menor (3.3 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). En los sistemas agrícolas, las combinaciones de los sistemas cacao semilla e injertado con sombra poseen el máximo valor (20.2 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y cacao semilla con chakra sin sombra el menor valor (6.2 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Cuadro 29).

Cuadro 29. Incremento promedio anual de los stocks de C (CO<sub>2e</sub>)  $\pm$  desvíos estándar, de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra respecto en la Reserva de la Biosfera Sumaco

SISTEMAS (Mg CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Bosque primario	Cacao semilla CS	Cacao injertado CS	Chakra CS	Cacao semilla SS	Cacao injertado SS
Cacao semilla CS	11.9 $\pm$ 4.1					
Cacao injertado CS	10.0 $\pm$ 3.5	20.2 $\pm$ 5.4				
Chakra CS	5.3 $\pm$ 1	15.5 $\pm$ 4.3	13.6 $\pm$ 3.6			
Cacao semilla SS	4.5 $\pm$ 0.7	14.7 $\pm$ 4.2	12.8 $\pm$ 3.5	8.1 $\pm$ 1.2		
Cacao injertado SS	4.7 $\pm$ 0.5	14.9 $\pm$ 4.2	13 $\pm$ 3.5	8.3 $\pm$ 1.2	7.5 $\pm$ 0.9	
Chakra SS	3.3 $\pm$ 0.1	13.6 $\pm$ 4.1	11.7 $\pm$ 3.5	7 $\pm$ 1	6.2 $\pm$ 0.7	6.4 $\pm$ 0.5

CS: con sombra; SS: sin sombra

Las combinaciones basadas a los ingresos potenciales por la venta de carbono, el bosque primario en relación con los sistemas agrícolas tiene un promedio de 33 USd Mg<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Entre los sistemas agrícolas la combinación que presentan mayores valores son el cacao semilla e injertado con sombra (101.2 USd Mg<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y la combinación cacao semilla con chakra sin sombra los menores (30.8 Mg<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Cuadro 30).

*Cuadro 30. Promedios de los valores monetarios estimados por incrementos anuales de los stocks de C (CO<sub>2e</sub>) ± desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

SISTEMAS (USd ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Bosque primario	Cacao semilla CS	Cacao injertado CS	Chakra CS	Cacao semilla SS	Cacao injertado SS
Cacao semilla CS	59.5 ± 20.6					
Cacao injertado CS	49.9 ± 17.4	101.2 ± 27				
Chakra CS	26.4 ± 5.2	77.7 ± 21.3	68.1 ± 18.2			
Cacao semilla SS	22.4 ± 3.4	73.7 ± 20.9	64.1 ± 17.7	40.6 ± 6.2		
Cacao injertado SS	23.4 ± 2.6	74.7 ± 20.8	65.1 ± 17.6	41.6 ± 5.8	37.6 ± 4.3	
Chakra SS	16.6 ± 0.6	67.9 ± 20.7	58.3 ± 17.4	34.8 ± 5.2	30.8 ± 3.4	31.8 ± 2.7

CS: con sombra; SS: sin sombra

Las combinaciones entre el bosque primario con los sistemas de uso de la tierra, respecto a los ingresos totales obtenidos por los incrementos de *stocks* de C (CO<sub>2e</sub>), más los ingresos netos por producción, tiene un promedio de 855 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Entre los sistemas agrícolas la combinación que presenta los mayores valores son el cacao semilla sin sombra y cacao semilla con sombra (2370 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). La combinación entre los sistemas con sombra que poseen los mayores ingresos (1 842 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) son el cacao semilla e injerto con sombra, marcando una diferencia considerable (529 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) entre los más rentables con los de mayor conservación y provisión de servicios ecosistémicos. La chakra con sombra y sin sombra presentan el menor valor (951.8 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Cuadro 31).

*Cuadro 31. Promedio de los valores monetarios totales por incrementos anuales de los stocks de C (CO<sub>2e</sub>) y por producción ± desvíos estándar de las posibles combinaciones entre los sistemas de uso de la tierra, en la Reserva de la Biosfera Sumaco*

<b>SISTEMAS</b> (USd ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	<b>Bosque primario</b>	<b>Cacao semilla CS</b>	<b>Cacao injertado CS</b>	<b>Chakra CS</b>	<b>Cacao semilla SS</b>	<b>Cacao injertado SS</b>
Cacao semilla CS	943.5 ± 634.2					
Cacao injertado CS	906.6 ± 238.9	1841.9 ± 677				
Chakra CS	372.8 ± 142.7	1308.1 ± 650	1271.2 ± 278			
Cacao semilla SS	1435.2 ± 611.3	2370.5 ± 880.8	2333.6 ± 656.3	1799.8 ± 627.7		
Cacao injertado SS	887.4 ± 218.5	1822.6 ± 670.7	1785.7 ± 323.8	1252 ± 261	2314.3 ± 649.1	
Chakra SS	587.3 ± 115	1522.5 ± 644.5	1485.6 ± 265.2	951.8 ± 183.3	2014.2 ± 622	1466.4 ± 246.9

CS: con sombra; SS: sin sombra

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 ¿Existen influencias entre el componente arbóreo hacia la diversidad-riqueza, almacenamiento de carbono y producción-ingresos?

El bosque natural, con el mayor porcentaje de cobertura, tiene la mayor **riqueza de especies** en comparación con los sistemas de uso agrícola. Las especies más importantes registradas en el bosque primario son características de los bosques primarios en la zona de vida bosque húmedo tropical, en el hábitat de bosques sobre colinas disectadas en la provincia del Napo (Palacios y Jaramillo 2001). Esta riqueza de especies se debe a la alta densidad de individuos arbóreos, variable que esta correlacionada estadísticamente (Cuadro 15). Las densidades ( $N\ ha^{-1}$ ) de los fustales en este estudio son similares a los resultados obtenidos por el *Missouri Botanical Garden* en la provincia de Morona Santiago, Cordillera del Cóndor-Ecuador a 670 m de altitud. Esta zona es una bio-region muy importante donde se desarrolla una vegetación exclusiva con un alto nivel de endemismo debido a formaciones geológicas de tipo arenisca. Aquí se registraron 776 árboles por hectárea mayores a 10 cm de dap. También son similares respecto al área basal, ya que en este sitio se registró  $37.2\ m^2\ ha^{-1}$  (Neill 2007). Respecto al número de especies, Neill registró 220 en 1 ha., de muestreo, lo que es relativamente similar de acuerdo a la superficie empleada en nuestra investigación (0.8 ha y 186 especies).

Se demuestra que los SAFs, con la presencia de elementos arbóreos y arbustivos, presentan la mayor riqueza de especies respecto a las pocas asociadas a un monocultivo o sistema sin sombra. Esto se debe a que en los SAFs existen especies nativas sembradas y manejadas a través de regeneración natural y también comparten árboles y arbustos de con el bosque primario. Considerando latizales y fustales y únicamente fustales, se comparte un porcentaje considerable (11.8%, 11.3%) de especies, respectivamente. Esta combinación de especies utilizadas como sombra, forman los policultivos tradicionales donde se cultiva productos como: cacao-yuca-plátano (Olmedo *et al.* 2008). Las especies más comunes en los SAFs son especies de valor comercial como: *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Bactris gasipaes* las que están presentes formado SAFs en algunos países tropicales, lo que se deduce de los estudios realizados en Nicaragua (Matey *et al.* 2010), México (Salgado Mora *et al.* 2007) y Costa Rica (Grandjean 2008).

En los sistemas cacao semilla con y sin sombra y cacao injertado con sombra, la densidad ( $\text{N ha}^{-1}$ ) y área basal ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) varía mucho a nivel de finca por lo que se encontraron diferencias significativas entre los sistemas evaluados. Esto se debe a la falta de coetaneidad en las especies arbóreas de sombra lo que influye notablemente en la heterogeneidad de la estructura, siendo similar a la de un bosque natural. La densidad en el sistemas cacao semilla con sombra ( $169 \text{ N ha}^{-1}$ ), es similar con los resultados registrados por Suatunce *et al.* (2003), donde se registra  $162 \text{ N ha}^{-1}$  en un sistema de cacao con especies arbóreas y musáceas. Esto se debe posiblemente a que los dos sistemas tienen una similar tipificación basada en la combinación de elementos arbóreos con las presencia de musáceas.

Después del bosque primario, considerando fustales  $\geq 10$  cm de dap, en el sistema cacao semilla con sombra están presentes la mayor cantidad de especies, por lo que son los escenarios agrícolas más promisorios y potenciales para la conservación de la biodiversidad, lo que confirma (Montagnini y Nair 2004, Suarez 2002). Los valores promedio de riqueza en el sistemas de cacao semilla con sombra (9.3 especies) son superiores a los registrados por Suatunce *et al.* (2003) con 4.1 especies, en un sistema de cacao con especies arbóreas y musáceas, pero son similares (9.1 especies) a los registrados en un sistemas de cacao multi-estratificado. Esto se debe a que el sistema analizado forma parte de los policultivos tradicional (Rice y Greenberg 2000) que es comparado con los sistemas multi-estratos, los que se caracterizan por tener más de tres especies de vegetación arbórea remanentes del bosque natural o de la regeneración natural con un dosel de más de tres estratos y una cobertura de sombra entre 50 y 60% (Suatunce *et al.* 2003).

El **carbono almacenado** entre los sistemas estudiados, el bosque natural primario presenta la mayor cantidad de C total, debido al gran aporte de la biomasa (79.1%). Los valores registrados en este componente de almacenamiento difieren a los registrados en bosques primarios por Brown *et al.* (1997) con  $208 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y son similares a los registrados por Cifuentes (2008) en Costa Rica ( $368.8 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). También son superiores a los bosques secundarios de Nicaragua evaluados por Ibrahim *et al.* (2007) y Mena (2008) en Costa Rica. Las causas es que en el bosque primario es evidente la relación entre la biomasa con la abundancia de especies ( $910 \text{ N ha}^{-1}$ ) y sobre todo con la dominancia ( $38.8 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) de los individuos arbóreos y arbustivos existentes en el ecosistema natural, valores altos en relación a otros estudios realizados en los bosques tropicales (Palacios y Jaramillo 2010, Neill 2007).

En los sistemas agrícolas, los SAFs tienen las mayores cantidades de C almacenado, respecto a los sistemas sin sombra. Los suelos son el componente de mayor aporte. También se destaca la biomasa con la abundancia y en especial con la dominancia de las especies arbóreas y arbustivas presentes en estos tipos de uso de la tierra, las que marcan la diferencia. En los sistemas sin sombra el suelo es muy importante en el C almacenado. Poseen los valores máximos en comparación a los otros componentes, sin embargo estos sistemas almacenan menores cantidades de C respecto a los otros sistemas debido a la falta de biomasa existente en el componente arbóreo.

Los suelos, que validados en esta investigación como el componente que más aporta al almacenamiento de C en los sistemas agrícolas, y el segundo lugar en el bosque primario, no registraron diferencias significativas. Probablemente esto se debe, a que la zona de cultivo de cacao donde se desarrollo la investigación pertenece a una misma zona de vida (bosque muy húmedo tropical), por lo que no inciden factores ambientales como altitud (que tiene un rango de 350 a 600 msnm), precipitación y temperatura (CLIRSEN 1999). Los valores registrados en esta investigación, son similares a los valores obtenidos por Andrade *et al.* (2008), en fincas indígenas de Talamanca, Costa Rica y también en países como Nicaragua, Guatemala, Honduras y Panamá (Somarriba *et al.* 2011) debido a la similitud local de los ecosistemas donde se cultiva este producto (Otárola 2005). En términos de valoración, la inclusión del C almacenado en los suelos aumenta notablemente los potenciales créditos de C comercializables, especialmente donde se disponga de datos reales acerca de las tasas de acumulación, lo que es posible cuantificarlo en periodos largos, superiores a los 20 años (Silver *et al.* 2002).

La **productividad** de cacao es significativamente superior en los sistemas sin sombra, Los valores registrados en esta investigación en el sistema de mayor productividad (cacao semilla sin sombra  $2\ 515\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) tienen similitud con los registrados en tres departamentos de Guatemala (Alta Verapaz, Suchitepéquez y San Marcos) dónde se registran promedios de producción entre  $2\ 453\ \text{kg}\ \text{ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$  (Ministerio de Agricultura de Guatemala 2007). Estos resultados posiblemente se deba a la influencia de ciertos factores como: la libre competencia hacia los nutrientes del suelo con los árboles de sombra, la disminución de plagas y enfermedades (Martínez y Enríquez 1981) que permiten obtener mayores rendimientos. Otro factor determinante es la falta del manejo adecuado de la sombra la que está distribuida muy al

azar con densidades muy variables entre las diferentes fincas. Si esta estuviera distribuida homogéneamente, permitiría obtener sinergias adecuadas entre conservación y rendimientos como lo afirma (Somarriba 2011).

Otro factor que influye notablemente sobre la productividad es la cantidad de horas luz que existen en el Ecuador lo que induce directamente al elevado proceso fotosintético de las plantas. Este proceso fisiológico acelera y mejora sus procesos de desarrollo y producción (Uribe *et al.* 1998 y Ramón *et al.* 2008). También en los sistemas evaluados de cacao, se registran edades optimas con 5 años promedio, cuando inician la máxima producción (Ryan *et al.* 2009). Los promedios registrados en los sistemas con sombra SAFs ( $1\ 590\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ) son diferentes a los obtenidos en los territorios indígenas de Costa Rica donde se registró  $500\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$  (Otárola 2005), pero son similares a los rendimientos para América Latina donde se registra  $1\ 530\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$  (Corven y Villanueva 1999).

Los valores registrados en el cultivo de yuca ( $22\ 828\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ ), son similares a los registrados por Zotyen (2002) en las zonas tropicales en el Ecuador, donde registra  $20\ 000\ \text{kg ha}^{-1}$ . Esto corresponde a las chakras sin sombra donde la yuca es un cultivo dominante. Este cultivo presenta mayor producción anual en peso bruto que el cacao y el plátano, lo que se debe al peso promedio que tienen sus raíces adventicias (1 planta=2.4 kg) y la alta densidad promedio de siembra ( $10\ 000\ \text{plantas ha}^{-1}$ ). Aquí se comparte la intensificación agrícola y también las técnicas ancestrales indígenas apropiadas de la región del Sumaco.

Los **ingresos netos** tienen relación directa con los ingresos generados y sus costos operativos. Los sistemas que generan mayores ingresos netos son los cultivos sin sombra (semilla e injertado) y también el sistema agroforestal cacao semilla con sombra, marcando al cacao como cultivo mas importante en el año de evaluación. A estos ingresos se adicionan los ingresos que genera el cultivo de plátano en los tres sistemas, en especial en el cacao semilla con sombra, donde existe mayor asociación. En el sistema cacao injertado se adicionan ingresos generados por el cultivo asociado de yuca.

La diversificación productiva en los sistemas policultivos tradicionales en el Sumaco incide directamente en los ingresos económicos. Además los sistemas se tornan más estables y sostenibles, como sucede en las comunidades indígenas de Talamanca en Costa Rica

(Otárola 2005), donde se evaluó la combinación de tres cultivos: cacao, plátano y granos básicos como arroz y maíz; y en San Martín Perú donde se estudió y comparó integralmente sistemas de chakras y sistemas agroforestales Gallusser (2006).

De manera general, con los valores obtenidos por producción e ingresos netos, se evidencia las diferencias entre los sistemas evaluados. Para los sistemas con sombra existe diferencia significativa de 698 USD a favor de los sistemas sin sombra que resultan ser los más rentables en términos económicos por producción agrícola.

## **5.2 ¿Existe relación entre las chakras y cultivos de cacao sobre la diversidad, carbono y productividad e ingresos?**

En los SAFs de cacao existen mayor riqueza de especies arbóreas y arbustivas que en las chakras, debido a que en estos segundos posiblemente es mayor la existencia de plantas herbáceas medicinales, alimenticias como la yuca, papa china, maíz, plátano, guineo, etc con la combinación de un número considerable de especies de sombra como *Bactris gasipaes*, *Cordia alliodora*, *Cedrella odorata* (INIAP 2008). Los productos cultivados en las chakras son muy importantes para la alimentación familiar y también para la generación de ingresos económicos en la región, especialmente si se los cultiva intensivamente (MAGAP 2011). Los SAFs de cacao siempre han tenido el componente arbóreo formado por árboles remanentes del bosque natural y también con plantas cultivadas o manejadas por regeneración natural.

Los sistemas de cacao (semilla e injertado) acumulan hasta 10 veces más C que las chakras (Cuadro 16) debido al mayor aporte que se da en la biomasa total, lo que es determinante. Los promedios obtenidos en la biomasa aérea en los SAFs de cacao (52.8, 31.6 Mg C ha<sup>-1</sup>, semilla e injertado), son similares a los resultados existentes en Costa Rica y Guatemala (52.7 y 39.4 Mg C ha<sup>-1</sup>), respectivamente (Somarriba *et al.* 2011) debido a la similitud de los sistemas de cultivo, con sombras diversificadas. Con estos antecedentes es evidente la influencia del componente arbóreo con sombra diversificada sobre el servicio ambiental del almacenamiento de C, por lo que los SAFs de cacao se constituyen en sumideros importantes para el almacenamiento de C (Polzot 2004). Según (MAGAP 2011), las chakras proveen de servicios ecosistémicos basados en la conservación de la agro - biodiversidad *in-*

*situ*, pero quedan discriminadas frente al servicio ambiental de almacenamiento y acumulación de C donde los cultivos de cacao en SAFs son los más importantes.

El cultivo de cacao presenta los menores valores de producción en los SAFs y sistemas sin sombra que la chakra sin sombra. Se constituye el producto más importante y promisorio con plantaciones jóvenes y que de acuerdo a los precios, calidad y demanda del producto es el más rentable y el que genera los mayores ingresos económicos para las comunidades y familias indígenas y colonas del Sumaco. La yuca es el principal cultivo de las chakras y muy importante en la tradición del pueblo Kiwchua. Este producto es cultivado para la preparación de comidas y bebidas tradicionales como la chicha. También se lo cultiva masivamente en la chakra sin sombra para fines comerciales. El cultivo de plátano presente en algunos sistemas de uso tiene los menores valores de producción y también en los ingresos que genera, sin embargo, complementa la dieta alimenticia de los campesinos y tiene una buena demanda en el mercado local complementado los ingresos en los sistemas agrícolas donde se lo cultiva (INIAP 2008).

### **5.3 ¿En los sistemas de cultivo de cacao se justifica la incorporación de injertos masivamente a las nuevas plantaciones?**

En la productividad, entre los sistemas cacao semilla e injertado con sombra y cacao injertado sin sombra, no se registraron diferencias significativas. El cacao semilla sin sombra fue estadísticamente superior al cacao injertado sin sombra. Esto se debe posiblemente a que en la actualidad la mayoría de las plantaciones con injerto son jóvenes (rangos 3.6 y 4.1 años) y no han empezado su período de máxima producción, el que comienza a partir de los 8 años (Ryan *et al.* 2009). Los cacaotales propagados por semilla (rangos 5 y 7 años) ya están iniciando su periodo de máxima producción por lo que es mayor su productividad. Según Ryan *et al.* (2009) una plantación de cacao de 4 años produce el 17% menos que una de 7 años.

Aunque localmente no se tiene información acerca de los rendimientos de los cacaotales injertados en relación a la edad, por indagación a las personas lugareñas, este tipo de plantaciones no han llegado a su máximo rendimiento. Sin embargo las parcelas evaluadas con edad de 8 años, no presentaron valores superiores a los registrados en los cacaos por

semilla. Con estas dos afirmaciones no se puede definir si existe o no una diferencia entre los dos tipos propagación vegetal. Con los resultados obtenidos, preliminarmente y especulativamente es incierta la justificación de la implementación y masificación de injertos en el cultivo de cacao.

#### **5.4 ¿El carbono es una solución para la conservación y desarrollo económico de los productores en la Reserva de la Biosfera Sumaco?**

Bajo un esquema de pago por el mercado voluntario internacional de C, con respecto a las tasas de incremento anual de los *stocks* de C, para el bosque natural se asume el valor de 0.45 Mg C ha<sup>-1</sup> año, por lo que este sistema de uso, quedaría con valores sumamente bajos, basados en un pago por C voluntario en los mercados internacionales. Ante esto se afirma que los bosques maduros son buenos depósitos o reservorios de C sin embargo los bosques jóvenes (secundarios) o sistemas agroforestales poseen un mayor potencial como fijador de C (Cifuentes 2008).

En los sistemas agrícolas, la tasa de acumulación está determinada por el C almacenado y por la edad de cada tipo de planta que forma parte del sistema. En los sistemas de cacao con sombra o SAFs, se tiene una tasa de acumulación en el C total de 4 y 4.9 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para el cacao semilla e injertado respectivamente, que es inferior a los datos registrados por Somarriba *et al.* (2011), en Centroamérica (6.4 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>). Esta diferencia se debe a los procesos metodológicos que se aplican en la cuantificación de las tasas de acumulación anual. Para Centro América se toma en cuenta únicamente la edad del cultivo y no la edad que tiene cada componente florístico (leñosas, palmas, plantas de cacao). Las chakras en SAFs registran una tasa de acumulación muy baja por su bajo aporte del C almacenado en la biomasa aérea, sin embargo sus cantidades son superiores a los sistemas sin sombra.

Los ingresos potenciales determinados por las tasas de acumulación de los *stocks* de C. Con el pago referencial (5 USd por 1 Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (World Bank 2011) de acumulación el valor que recibirían los SAFs agrícolas (75 USd Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y los valores teóricos de los sistemas sin sombra (33 USd Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) son muy bajos. Tomando como referencia el costo de la canasta alimenticia básica en el Ecuador (450 USd mes<sup>-1</sup>), estos valores resultan ser

incomparables. También son muy bajos respectó a los ingresos generados por productividad en los sistemas sin sombra, que son más rentables. Estos datos son inferiores en un 37%, a los que generarían los SAFs evaluados en Centroamérica (Somarriba *et al.* 2011), los que podrían recibir en promedio 122 USd Mg<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Actualmente, según las tasas de acumulación y los ingresos generados que son muy bajos e incomparables con los ingresos por producción, sería muy difícil incentivar o promover la masificación de SAFs para intensificar la producción agrícola al mismo tiempo que obtener mayores servicios ambientales con los incremento de los *stock* y tasas de C.

Como segundo escenario tenemos la propuesta REDD+ que ofrece en un futuro mediante el desarrollo de estrategias nacionales, emitir incentivos económicos hacia los bosques naturales por deforestación evitada. En el contexto de la investigación esta propuesta sería viable cuando se tome en cuenta los valores generados en el sistemas de mayor productividad, cual espacio de cultivo es producto de deforestación y se compense a los propietarios de los bosques de acuerdo a los *stocks* de C almacenado, con la suma equivalente a los ingresos generados en el sistema productivo. Realizando un calculando estimativo en términos monetarios, considerando los valores emitidos por el sistema cacao semilla sin sombra que es el de mayor producción (2 719 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) con su *stock* de carbono (85.2 Mg C ha<sup>-1</sup>) y los *stocks* de C en los bosques primarios (334 Mg C ha<sup>-1</sup>), realizando la diferencia entre los *stocks* (334 Mg C ha<sup>-1</sup> - 85.2 Mg C ha<sup>-1</sup> = 248.8 Mg C ha<sup>-1</sup>) se obtiene la diferencia entre los *stocks* en los escenarios de bosque primario y el sistema de mayor producción. El valor obtenido en la máxima producción (2 719 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) dividido para las diferencias entre *stocks* (248.8 Mg C ha<sup>-1</sup>), nos permiten obtener el valor que se debería proponer teóricamente, pagar a los dueños del bosque para evitar el cambio de uso de la tierra, que es de 10.9 USd por cada unidad de *stock* de C, lo que es muy incierto por ser un valor muy alto.

Como tercer escenario tangible en la actualidad para promover la conservación de la diversidad en los ecosistemas de bosques primarios sería la iniciativa del Programa Socio Bosque que se está ejecutando en el Ecuador actualmente. Esta iniciativa nacional se basa en pagos por conservación de la cobertura o masa vegetal, independientemente del C almacenado, para lo que se paga a los propietarios de bosque la cantidad de 30 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (MAE 2011).

## 5.5 ¿Qué implica la diversificación de los sistemas de producción frente a la riqueza, almacenamiento de carbono y la producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco?

La diversificación mediante la combinación de escenarios o sistemas de uso, sirve como estrategia para planificar mediante los mejores resultados emitidos por las variables estudiadas. En las variables de riqueza de especies, carbono almacenado y tasas de incremento de los *stocks* de C sobresalen las combinaciones entre los SAFs cacao injertado y semilla con sombra. La combinación de estos sistemas con las especies exclusivas que poseen (24 especies ha<sup>-1</sup>), se destacan como escenarios de conservación de especies arbóreas y arbustivas, lo que influye directamente a la conservación de biodiversidad (Jiménez *et al.* 2001). Poseen el mayor promedio C almacenado en sus diferentes componentes (153 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), especialmente en biomasa y suelos lo que ratifica la importancia de estos ecosistemas agrícolas en la mitigación al cambio climático por el servicio ambiental de almacenamiento de C (Montagnini y Nair 2004, Suarez 2002). Así mismo entre los dos sistemas poseen las mayores tasa de acumulación (20.2 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) por lo que serían escenarios idóneos a incursionar en pago por servicio ambiental por la acumulación de carbono.

Los sistemas cacao semilla sin sombra y cacao semilla con sombra poseen los mayores ingresos totales (producción y tasas de acumulación = 2 370 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) lo cual se debe a que el primer sistema, genera los mayores ingresos económicos comparado con todos los sistemas agrícolas y un considerable ingreso potencial por acumulación de C. En el segundo caso por que posee un buen ingreso potencial por acumulación de *stock* de C y también un ingreso muy importante por la producción agrícola especialmente de su cultivo principal como es el cacao.

Los máximos valores obtenidos en los SAFs pertenecen a las combinaciones entre los sistemas cacao semilla e injertado con sombra (1 842 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), lo mismos que son notablemente diferentes a los registrados por el cacao semilla sin sombra (2 370 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) que genera los mayores ingresos económicos. Esta diferencia notable (529 USD ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) es lo que se debería teóricamente, compensar a los productores de los sistemas menos rentables.

Esto permitiría conservar la biodiversidad y proveer de servicios ecosistémicos a través de la existencia de la cobertura arbórea, validando la diversificación de paisajes.

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Según los resultados obtenidos y siguiendo el esquema investigativo basado en las preguntas de investigación se concluye lo siguiente:

### **6.1 ¿Existen influencias entre el componente arbóreo hacia la diversidad-riqueza, almacenamiento de carbono y producción-ingresos?**

Ningún SAFs evaluado tiene la riqueza y C almacenado que un bosque primario. Sin embargo las tasas de acumulación en los sistemas agrícolas son superiores notable y estadísticamente a la del bosque primario, en la Región del Sumaco

Los sistemas con sombra conservan la mayor riqueza de especies (latizales altos y fustales), registran las mayores cantidades de C almacenado en los diferentes componentes del ecosistema y tienen las mayores tasas de acumulación de C respecto a los cultivos sin sombra.

Existe una correlación inversa entre la existencia del componente arbóreo y la productividad. En los sistemas con sombra se registran los menores ingresos económicos generados por producción e ingresos potenciales por la venta de carbono en relación a los sistemas sin sombra.

El componente arbóreo existente en el bosque natural como en los SAFs es el factor clave para la provisión de servicios ecosistémicos. Son evidentes las sinergias entre los SAFs con la conservación y conectividad, basada en la diversidad y riqueza de especies arbóreas compartidas entre los sistemas agrícolas y el ecosistema natural.

### **6.2 ¿Existe relación entre las chakras y cultivos de cacao sobre la diversidad, carbono y productividad e ingresos?**

Considerando latizales altos y fustales los SAFs de cacao (semilla e injertado) tienen la mayor riqueza de especies, mayores cantidades de C almacenado en los diferentes componentes del ecosistema y las mayores tasas de acumulación de C en comparación con las chakras.

Los sistemas de cacao producen anualmente menos cantidades en producción (en relación al peso bruto) pero tienen los mayores ingresos económicos generados por productividad y por la venta de carbono, en comparación con las chakras.

### **6.3 ¿En los sistemas de cultivo de cacao se justifica la incorporación de injertos masivamente a las nuevas plantaciones?**

En los sistemas de cacao propagados por semilla existe mayor producción e ingresos económicos que las plantaciones propagadas por injertos.

Siendo actualmente los sistemas propagados por semilla los de mayor producción y al no poseer un registro continuo de productividad, no se justifica la incorporación ni masificación del sistema de propagación con cacao injertado en la producción de este cultivo. Sin embargo, no se puede excluir que ese patrón cambiará en edades superiores de los cultivos.

### **6.4 ¿El carbono es una solución para la conservación y desarrollo económico de los productores en la Reserva de la Biosfera Sumaco?**

Los ingresos netos por producción en los sistemas agrícolas de cacao y las chakras son altos en comparación a los precios actuales por la venta de carbono. Esto provoca que el pago por este servicio ecosistémico no sea competitivo, lo que influye negativamente para fomentar el incremento de la cobertura arbórea en las fincas con este propósito.

Los ingresos generados por la venta de C en el mercado internacional son bajos, por lo que no impactarían notablemente en la economía de los productores, en comparación a los valores obtenidos por la producción agrícola anual.

Para evitar el cambio del uso de la tierra desde los bosques primarios a cultivos de mayor rentabilidad, se debería pagar teóricamente 11 USd por cada unidad de *stock* de C existente en los bosques primarios.

## **6.5 Qué implica la diversificación de los sistemas de producción frente a la riqueza, almacenamiento de carbono y la producción en la Reserva de la Biosfera Sumaco?**

Validando la diversificación de paisajes en los sistemas de producción agrícola, la combinación de los sistemas con sombra de cacao (semilla e injertado) son escenarios de conservación a través de la riqueza de especies y de provisión de servicios ambientales, considerando el almacenamiento y acumulación de C.

Según la diversificación de paisajes en los sistemas agrícolas, los costos a compensarse a los sistemas de mayor conservación de especies y provisión ecosistémica (cacao semilla e injerto con sombra) es de 529 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> lo cual garantizaría lo omitido, además de generar un beneficio considerable por ingresos potenciales (1 842 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

Sin diversificación el costo de compensación entre los sistemas: cacao semilla sin sombra que genera los mayores ingresos económicos potenciales (2 754 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), con el cacao semilla con sombra que es el de mayor provisión ecosistémica (1 992 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), sería de 762 USd ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que supera en 31% a los costos compensatorios emitidos con la diversificación entre sistemas de uso agrícolas.

Considerando y combinando las características notables entre el sistema de mayores ingresos económicos (cacao semilla sin sombra) con el de mayor conservación y provisión de servicios ecosistémicos (cacao semilla con sombra), su diversificación y manejo adecuado permitiría enlazar dos grandes paradigmas ecosistémicos como son la conservación y productividad.

## **6.6 Recomendaciones**

En los cultivos sin sombra, es necesario enriquecer con árboles maderables valiosos y de utilidad ecológica cuales generen ingresos directos por la venta legal de la madera, acumulen y fijen carbono por su considerable biomasa y rápido crecimiento. También que generen ingresos complementarios a los productores por un pago potencial basado en un servicio ambiental, almacenamiento o acumulación de carbono que las fincas proveen a la sociedad en general.

Se recomienda diseñar estrategias locales que permitan valorar todo el potencial a través de los *stocks* de C y también de la cobertura o sombra manejada correctamente. El programa Socio-bosque por su bajo valor de pago por conservación en ecosistemas naturales, no contribuye actualmente a la conservación de los bosques primarios ni tampoco de los SAFs que proveen de servicios ecosistémicos como la conservación de la biodiversidad, almacenamiento y acumulación de C

Ante la incertidumbre del potencial en la producción y la baja edad de las plantaciones de injertos, se recomienda realizar investigaciones continuas que permitan conocer la potencialidad productiva de este de medio de propagación. Esto serviría para comprobar si en realidad conviene o no aumentar o masificar la producción de cacao en la región mediante los injertos.

La estrategia REDD + sería una alternativa futura viable para la conservación de los bosques naturales solo si se logrará cubrir los ingresos generado por productividad en los sistemas sin sombra que registran los mayores valores.

Según las combinaciones entre sistemas evaluados, validando los mayores resultados y con los pagos compensatorios o de incentivos, para combinar los dos grandes paradigmas conservación y productividad, la combinación entre los sistemas con sombra o SFAs de cacao, sería la más ideal a implementar y masificar en la región del Sumaco.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 99(1-3):15-27.
- ANACAFE (Asociación Nacional del Café en Guatemala) 2008. Propuesta metodologica para la evaluación de servicios ambientales
- ANECACAO (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao). 2011. Cacao en el Ecuador. Consultado el 8 de febrero de 2011. Disponible en: [http://www.anecacao.com/cacao\\_index.html](http://www.anecacao.com/cacao_index.html)
- Andrade, H; Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):109-116.
- Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E; Villalobos, M; Ortiz, A; Riascos, L; Ortiz Guerrero, A; Riascos Chalapud, L; Escalante, G. 2008. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Costa Rica. Agroforestería en las Américas (CATIE)*.46:45-50.
- Arreaga, WE. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 73 p.
- Arroyo, V; Mandujano, S; Benitez, J; Cuendefanto C. 2007. The influence of large tree density on howler monkey (*Alouatta palliata Mexicana*) presence in very small rainforest fragments. *Biotropica* 39:760-766.
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):32-35.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M.; Harmand, J. M.; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. *Servicios Ambientales de los Sistemas Agroforestales*. *Agroforestería de las Américas*. 10 (37-38):80-87.

- Bennett, A.F. 2004. Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Programa de conservación de bosques UICN. Conservando los ecosistemas boscosos Serie No. 1. UICN, Oficina Regional para Mesoamérica, San José, Costa Rica.
- Berry, P. 2003. Diversidad y endemismo en los bosques neotropicales de bajura. En *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. p: 84-95
- Bio-Parques. 2001. Plan de Manejo de la Reserva de Biosfera Sumaco.
- Bhagwat, S; Willis, H; Birks, J; Whittaker, R. 2008. Agroforestry: A Refuge for Tropical Biodiversity? *Trends Ecol. Evol.* 23: 261-267.
- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono.
- Brown, P; Cabarle, B; Livernash, R. 1997. Carbon counts: Estimating climate change mitigation in forestry projects. Estados Unidos, World Resources Institute. 25 p.
- Calero. 2008. Producción e incrementos de madera y carbono de laurel (*Cordia alliodora*) y cedro amargo (*Cedrela odorata*) de regeneración natural en cacaotales y bananales indígenas de Talamanca, Costa Rica. CATIE
- CATIE. 2006. Modernización e integración de las cadenas del cacao de seis organizaciones de indígenas y campesinos de América Central. Propuesta de proyecto. Resumen ejecutivo. 58 p.
- CATIE, TPCC. 2008. Proyecto Cacao Centroamérica (PCC): competitividad, ambiente y cultura.
- Chacón, P; Leblanc, H; Russo, R. 2007. Fijación de carbono en un bosque secundario de la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Tropical* 3(1):1-11.
- Chave, J; Andalo, C; Brown, S; Cairns, M; Chambers, J; Eamus, D; Fölster, H; Fromard, F; Higuchi, N; Kira, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon *stocks* and balance in tropical forests. *Oecologia* 145(1):87-99.

- Cifuentes, M. 2008. Aboveground biomass and ecosystem carbon pools in tropical secondary forests growing in six life zones of Costa Rica. Dissertation. Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA. 176 p.
- CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos). 1999. Almanaque electrónico del Ecuador.
- Coile, T. 1936. Soil samplers. *Soil Science* 42(2):139.
- Colwell, RK. 2007. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 8. Guía de usuario y aplicación disponibles en: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>.
- Conforme, I; Alfredo, J; Sandoya, F. 2001. Análisis dinámico de la deforestación en el Ecuador.
- Concha, J; Alegre, J; y Pocomucha, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en San Martín, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú. 1:1-8
- Corven, J; Villanueva, G. 1992. Rehabilitación de cacao para altos rendimientos en Centroamérica. IICA. 146 p.
- Di Rienzo J.A; Casanoves F; Balzarini M.G; Gonzalez L; Tablada M; Robledo C.W. 2009. *InfoStat, versión 2009*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Estrella, J. 2005. Biodiversidad y recursos genéticos: Una guía para su uso y acceso en el Ecuador. Editorial Abya Yala. 70 p.
- Francisco, N; Turrent, A; Oropeza, J; Martínez, M; Cortés, J. 2006. Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra Latinoamericana* 24(2):253-260.

- Galantini, J; Rosell, R; Brunetti, G; Senesi, N. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo* 20(1):17-26.
- Gallusser, S. 2006. Estudio comparativo sobre sistemas integrados de producción y sistemas agroforestales en el departamento de San Martín. Perú. 65 p.
- Gavenda, B. 2000. Soils and carbon sequestration. In *The Overstory # 66. Carbon sequestration: Storing carbon in soils and vegetation*
- Gentry, A. 1988a. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75:1-34.
- Gentry, A. 1988b. Tree species richness of upper Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 85(1):156-159.
- Geist, HJ; Lambin, EF. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience* 52(2):143-150.
- Guevara, M. 1988. Experiencias Colombianas con Cedro (*Cedrela odorata*). Convenio CONIF-HOLANDA. Bogotá. Serie Documentación. 12. 86 p.
- Guevera, S; Laborde, J; Sanchez, G. 2004. La deforestación. In S. Guevera, J. Laborde, and G. Sanchez-Rios (Eds.). *Los Tuxtlas. El Paisaje de la Sierra*. Instituto de Ecología A. C. and European Union, Xalapa, México. 85–108 p.
- Gonzales, H; Chávez, M; Bringas, H. 2009. Estimación del carbono almacenado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) comparado con un bosque secundario de tres edades. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). Tingo María, Perú.
- González, M. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y

- Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 154 p.
- Grandjean, A. 2008. Caracterización de los sistemas agroforestales con cacao de la Reserva Indígena Bribi, Talamanca, Costa Rica. En el marco del Proyecto Cacao Centroamérica (informe práctica profesional).
- Guilherme, F. 2000. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria, Brasília-DF. *Cerne* 6 (1):60-66.
- Huang, W; Luukkanen, O; Johanson, S; Kaarakka, V; Räisänen, S; Vihemäki, H. 2002. Agroforestry for biodiversity conservation of nature reserves: functional group identification and analysis. *Agroforestry Systems* 55(1):65-72
- Husch, B; Beers, T; Kershaw, J. 2003. *Forest mensuration*. Wiley. 433 p.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y en la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). 2008. Iniciativa comunitaria para la conservación y manejo sostenible del bosque de comunidades Kichwas en la sub-cuenca de los ríos Napo-Wambuino y Puni-Arajuno. Quito-Ecuador.
- IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUC)*. Suiza. 628.
- Jaimez, R; Tezara, W; Coronel, I; Urich, R. 2007. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 2 (52)
- .Jiménez, F; Muschler, R; Kopsell, E. eds. 2001. *Funciones y aplicaciones de los sistemas agroforestales*. Turrialba, CR. CATIE/GTZ. 187 p.

- Knoke, T; Calvas, B; Aguirre, N; Román-Cuesta, R; Günter, S; Stimm, B; Weber, M; Mosandl, R. 2009 Can tropical farmers reconcile subsistence needs with forest conservation. In the Ecological Society of America. 7(10):548-554.
- Korning, J; Balslev, H. 1994. Growth rates and mortality patterns of tropical lowland tree species and the relation to forest structure in Amazonian Ecuador, *Journal of Tropical Ecology*:151-166.
- Kürsten, E; Burschel, P. 1993. CO<sub>2</sub>-mitigation by agroforestry. *Water, Air, & Soil Pollution* 70 (1):533-544.
- Lagos, O; Vanegas, S. 2003. Impacto del aprovechamiento forestal en la biomasa y carbono de bosques naturales de Nueva Quezada, Río San Juan. Tesis Mag. Sc. Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua. 121 p.
- Lewis, S; Lloyd, J; Sitch, S; Mitchard, E; Laurance, W. 2009. Changing ecology of tropical forests: evidence and drivers. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* (40):529-549. doi:10.1146/annurev. ecolsys.39.110707.173345.
- Loening, L; Markussen, M. 2003. Pobreza, deforestación y sus eventuales implicaciones para la biodiversidad en Guatemala. *Economía, Sociedad y Territorio* 4(14):279-315.
- MacDicken, K., 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International, 1621 N. Kent St., Suite 1200, Arlington, VA 22209, USA.
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador) 2011. El Mejoramiento de la Chakra una Alternativa Prioritaria para la Amazonía
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) - Programa GESOREN-GTZ. 2008. Análisis Multitemporal del Uso del suelo y Cobertura Vegetal de la Reserva de Biósfera Sumaco. Quito.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). 2009. Programa Socio Bosque (en línea). Consultado 14/10/2010. Disponible en <http://www.ambiente.gov.ec/userfiles/1/file/socio%20bosque/Poznan1a.pdf>.

- MAE. 2011. REDD+ en Ecuador. Una Oportunidad para Mitigar el Cambio Climático y Contribuir a la Gestión Sostenible de los Bosques. Quito, Ecuador.
- Mantilla, L. 2007. Ecología, aprovechamiento y manejo sostenible de nueve especies de plantas del departamento del Amazonas, generadoras de productos maderables y no maderables, Bogotá, Colombia.
- Martínez, A; Enríquez, G. 1981. La sombra para el cacao. Serie Técnica. Boletín Técnico 5 (CATIE).
- Matey, A; Zeledón, L; Orozco, L; Sampson, A; Chavarría, F. 2010. Caracterización de la vegetación arbórea asociada al cacao ya fragmentos boscosos en fincas de Waslala, Nicaragua.
- Melo, O. Vargas; R. 2003. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos. Universidad de Tolima. Ibagué. 183 p.
- Mena, V. 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. CATIE, Tesis Mag. Sc. 90 p.
- Milesy, L; Dickson, B. 2010. REDD-plus y la biodiversidad: oportunidades y retos. En. *Unasylva*, 236 (61):56-63.
- Ministerio de Agricultura, ganadería y alimentación de Guatemala. 2007. Programa de apoyo a los agronegocios. *Theobroma cacao*. 25 p.
- Montagnini, F; Nair, PKR. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61-62(1):281-295.
- Morales, C; Parada, S. 2005. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. United Nations Educational. 87 p.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. CYTED, ORCYT - UNESCO, SEA. 83 p.

- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. *Catie.GTZ*. 101 p.
- Narváez, C; Gonzalez, C. 2009. Carbon storage in coffee certified plantations in Costa Rica. 23 p.
- Návar, J. 2009. Biomass component equations for Latin American species and groups of species. *Annals of Forest Science* 66:208–216.p.
- Navarro, M.; Mendoza, A. 2006. Guía técnica para promotores: Cultivo del cacao en sistemas agroforestales. Programa para el Desarrollo Rural Sostenible en el Municipio El Castillo, Rio San Juan (Nicaragua). Rio San Juan (Nicaragua). 67 p.
- Neill, D. 2007. Inventario Botánico de la Región de la Cordillera del Cóndor, Ecuador y Perú: actividades y resultados científicos del proyecto, 2004-2007.
- Nelson, D; Sommers, L. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3, chemical methods*. D. L. Sparks. Madison, Wisconsin, USA., Soil Science Society of America, Inc. and American Society of Agronomy, Inc in SSSA Book Series. 5:961-1010.
- Oades, J. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5(1):35-70.
- Ocampo, J; Eclac, U. 1999. Políticas e instituciones para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, CEPAL, División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. 10 p.
- Olmedo, J; Jara, S; Arévalo, V; Cerda, V; Cerda, A; Guerra, F. 2008. Iniciativa comunitaria para la conservación y manejo sostenible del bosque de comunidades Kichwas en la subcuenca de los ríos Napo-Wambuino y Puni-Arajuno. Programa Nacional de Forestería. Proyecto Floagri “Gestión participativa de recursos agrícolas y forestales por las poblaciones rurales de la amazonía”.
- Ordóñez, L; Salazar, A; Gavilanes, C; Andersen, J. 2010. Potencial de secuestro de carbono en sistemas agroforestales de cacao y café ubicados en la Reserva de la Biosfera Sumaco 26 p.

- Otárola, M. 2005. Estudio de rentabilidad de los sistemas productivos de las pobladores indígenas de los territorios indígenas Bribri y Cabécar. Proyecto captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en sistemas agroforestales indígenas con cacao en Costa Rica.
- Palacios, W; Jaramillo, N. 2001. Riqueza florística y forestal de los bosques tropicales húmedos del Ecuador e implicaciones para su manejo. *Revista Forestal Centroamericana*. Costa Rica:46-50.
- Pearce, D. 1990. Población, pobreza y medio ambiente. *Pensamiento Iberoamericano* 18:223-258.
- Phillips-Mora, W. 1993. Seminario regional “Sombras y cultivos asociados con cacao”. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE. Turrialba, Costa Rica:200-221.
- PNUD (*Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*). 2009. Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central.
- Polzot, C. 2004. Carbon storage in coffee agroecosystems of southern Costa Rica: Potential applications for the Clean Development Mechanism. Faculty of Environmental Studies in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Environmental Studies, York University, Toronto, Ontario, Canada.
- Purnamasari, R. 2010. Dinámica de la deforestación en pequeña escala en Indonesia. *Unasylva* (234):14-20.
- Ramos, R; Velarde, S; Ugarte-Guerra, J. 2010. Memorias del Taller Nacional: “Iniciativas para Reducir la Deforestación en la región Andino - Amazónica”, 09 de Abril del 2010. Proyecto REALU Perú. ICRAF Working Paper No. 108. ASB - World Agroforestry Centre (ICRAF). Lima, Perú.
- Rice, R; Greenberg, R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio* 29:167-173.

- Rügnitz, M; Chacón, M; Porro, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. 1. ed. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- Russo, R. 2009. Reducción de Emisiones de gases con efecto invernadero causadas por la Deforestación y la Degradación Forestal (REDD): ¿Herramienta de Mitigación?. Universidad EARTH.
- Ryan, D; Bright, G; Somarriba, E. 2009. Damage and yield change in cocoa crops due to harvesting of timber shade trees in Talamanca, Costa Rica. *Agroforestry systems* 77(2):97-106.
- Salas J. y Infante A. 2006. Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Rev. For. Lat.* 40:47-70.
- Salgado-Mora, M; Ibarra-Núñez, G; Macías-Sámamo, J; López-Báez, O. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32(011):763-768.
- Segura, M.; Kanninen, M.; Alfaro, M.; Campos, J.J. 2000. Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica. *Comunicación Técnica* 30:23-28
- Silver, WL; Ostertag, R; Lugo, AE. 2000. The Potential for Carbon Sequestration Through Reforestation of Abandoned Tropical Agricultural and Pasture Lands. *Restoration Ecology* 8(4):394-407.
- Schlegel, B; Gayoso, J; Guerra, J; 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Proyecto Fondef D98I1076 - Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile, 53 p.
- Somarriba, E; Cerda, R; Orozco, L; Deheuvels, O; Cifuentes, M; Astorga, C; Say, E; Alvarado, E; Avila, G; Davila, H; Espin, T; Mavisoy, H. 2011. Carbono en los sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Centroamérica. 34 p.
- Somarriba, E. 2010. El cacaotal mejorado: Guía del facilitador.

- Steimbreger, N; Radonich, M; Bendini, M. 2003. "Expansiones de frontera agrícola y transformaciones territoriales: procesos sociales diferenciales" en Bendini, M. y Steimbreger, N. (coord.) Territorios y organización social de la Agricultura, Cuadernos del GESA 4. Buenos Aires. 17-39.
- Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B. 2003. Composición florística y estructura de bosques y cacaotales en los territorios Indígenas de Talamanca, Costa Rica. En Agroforestería en las Américas. 10 (37-38):31-35.
- Suárez, D. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café de la Comarca Yassica Sur, Matagalpa Nicaragua. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 117 p.
- Szott, LT; Arevalo-Lopez, LA; Perez, J. 1993. Allometric relationships in Pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K). Mora-Urpi, J; Szott, LT; Murillo, M; Patino, VM. Eds. Congreso Internacional sobre Biología, Agronomía e Industrialización del Pijuayo (4, Iquitos, PE, 1989). San Jose, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica:91-114.
- Torres, P. 2005. Diseño de un sistema agroforestal basado en café robusta que incrementa la sustentabilidad, rentabilidad y equidad, en la amazonia ecuatoriana. Tesis de Maestría. Universidad Católica de Temuco. Temuco-Chile. 191 p.
- UICN. 2009a. REDD-plus y la distribución de los beneficios. Experiencia en la conservación de bosques y el manejo de recursos en otros sectores. Washington, USA.
- UICN. 2009b. REDD-plus. Scope and options for the role of forests in climate change mitigation strategies FOREST. Forest conservation programme.
- Ulmera, M; Swenson, L; Patterson, D; Dahnke, W. 1992. Organic carbon determination by the Walkley-Black, Udy dye, and dry combustion methods for selected north dakota soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 23(3):417-429.
- USAID-RED. (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional-Programa de Diversificación Económica, Honduras). 2007. Historia de éxito: cambios básicos, resultados rápidos. Asistencia agroforestal mejora ingresos en áreas rurales.

- Uribe, A; Méndez, H; Mantilla, J. 2000. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de cacao en Colombia. *Impofos. Informaciones Agronómicas* 41:4-7.
- Valdez Lazalde, J; González Guillén, M; de los Santos Posadas, H. 2006. Estimación de cobertura arbórea mediante imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución. *Agrociencia* 40(3):383.
- Valencia, R; Balslev, H; Paz Y Miño C, G. 1994. High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity and Conservation* 3(1):21-28.
- Villegas, R. 2008. Descomposición de las hojas del cacao y de seis especies arbóreas, solas y en mezcla en Alto Beni, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 82 p.
- Walkley, A; Black, CA. 1938. An examination of the Degtjareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.
- Watson, R; Noble, I; Bolin, B; Ravindranath, N; Verardo, D; Dokken, D. (eds) 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Special report. Cambridge Univ. Press. New York.
- Watzlawick, L. Sanquetta, C. Mello, A. Arce, J. 2001. Ecuaciones de biomasa aérea en plantaciones de *Araucaria angustifolia* en el sur del Estado del Paraná, Brasil. In: Simposio Internacional - Medición y Monitoreo de la Captura de carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia - Chile: Anales. Valdivia: 12p.
- Whitmore, T. 1990. An introduction to Tropical Rain forests. Clarendon Press, Oxford. 221 p.
- World Bank. 2011. State and trend of the carbon market. 77 p.
- Zotyén 2002 Cultivo de yuca *Manihot esculenta* Crantz Nueva San Salvador 46 p.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Listado de productores, numero de parcelas, ubicación geográfica en los sitios estudiados de la Reserva de la Biosfera Sumaco

Sistema	Cod	Productor	Parroquia	Parcela	X	Y	Altitud (msnm)	Edad (años)	Cobertura (%)
Chakra sin sombra	Ch ss	Luis Aguinda	Ahuano	1	215930	9882500	371	1	0
Chakra sin sombra	Ch ss	Matilde Grefa	Rumihiacu	2	204961	9878294	391	1	0
Chakra sin sombra	Ch ss	Isaac Cerda	Shandia	3	177761	98832026	528	3	1.9
Chakra sin sombra	Ch ss	Maria Alvarado	Guayusa Loma	4	194700	9890300	740	1	7.5
Chakra sin sombra	Ch ss	Maria Alvarado	Guayusa Loma	5	194841	9890249	730	1	8.3
Chakra sin sombra	Ch ss	Maria Alvarado	Guyausa Loma	6	194828	9890116	733	1	0.0
Chakra sin sombra	Ch ss	XXXX	Colonia Bolivar	7	212382	9883779	355	1	2.7
Chakra con sombra	Ch cs	Rogelio Estrada	Colonia Bolivar	8	213057	9883634	360	1	48.0
Chakra con sombra	Ch cs	XXXX	Guinea Chimbana	9	184015	9888128	533	2	22.0
Chakra con sombra	Ch cs	Mariano Tapui	Lagartococha	10	179432	9886999	589	1	20.0
Chakra con sombra	Ch cs	Lucas Andi	Shandia	11	178737	9881043	420	4	30.0
Chakra con sombra	Ch cs	Gloria Siguango	Centro Siguango	12	191698	9906693	700	1	35.0
Chakra con sombra	Ch cs	Ignacio Grefa	Rumihiacu	13	203953	9878748	396	1	22.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Luis Aguinda	Ahuano	14	215866	9882329	365	5	0.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Jeremias Cerda	Union Venecia	15	199651	9885640	426	5	7.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Cesar Alejandro Andi	Ilayacu	16	182216	9881320	488	4	8.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Felix Shiguango	Rumihiacu	17	205124	9877510	435	4	5.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Matilde Grefa	Rumihiacu	18	204054	9878838	401	4	9.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Betty Cerda Simbania	Shandia	19	178670	9880391	518	8	3.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Rebeca Andi	Shandia	20	177280	9881600	530	4	0.0
Cacao semilla sin sombra	Ca-s ss	Jose Pizango	San Pablo	21	192066	9896676	643	5	3.0

<b>Sistema</b>	<b>Cod</b>	<b>Productor</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Parcela</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Cobertura (%)</b>
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Cesar Daua	Ahuano	22	215677	9881946	364	5	60.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Maria Alvarado	Ahuano	23	215789	9882839	388	4	51.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Orlando Poveda	Colonia Bolivar	24	211765	9880793	399	4	32.6
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Orlando Poveda	Colonia Bolivar	25	211750	9880886	409	8	30.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Germania Tapui	Niucanchi cause	26	209157	9882568	380	14	23.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Magdalena Tapui	Niucanchi cause	27	209231	9882137	420	6	38.3
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Julio Alvarado	Union Venecia	28	199194	9885465	438	5	47.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Enrique Mamallacta	Union Venecia	29	199841	9884926	409	5	52.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Rosa Andi	Serena	30	173318	9878066	595	5	26.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Aida Andi	Ilayacu	31	181831	9879802	510	10	51.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	David Andi	Ilayacu	32	182178	9880986	502	5	39.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Angel Arcos	Ilayacu	33	182112	9880515	501	13	41.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Norma Tanguila	Centro Siguango	34	191702	9906675	709	10	28.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Pedro Tangil	Centro Siguango	35	191693	9906675	705	8	43.0
Cacao semilla con sombra	Ca-s cs	Ignacio Grefa	Rumihiacu	36	203800	9878690	390	4	48.0
Cacao injertado sin sombra	Ca-i ss	Maria Alvarado	Ahuano	37	216501	9882002	380	2	8.0
Cacao injertado sin sombra	Ca-i ss	Jorgue Poveda	Colonia Bolivar	39	213117	9883443	368	2	0.0
Cacao injertado sin sombra	Ca-i ss	Pablo Andi	Guinea Chimbana	41	182952	9888219	549	2	8.0
Cacao injertado sin sombra	Ca-i ss	Betty Cerda Simbania	Shandia	42	178623	9880442	519	3	0.0

<b>Sistema</b>	<b>Cod</b>	<b>Productor</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Parcela</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>Cobertura (%)</b>
Cacao injertado sin sombra	Ca-i ss	Isaac Cerda	Shandia	43	177926	9882128	522	8	5.0
Cacao injertado sin sombra	Ca-i ss	Cerafina Likui	San Pablo	44	191865	9896070	624	5	9.0
Cacao injertado sin sombra	Ca-i ss	Ruth Cayapa	Guayusa Loma	45	189552	9889861	647	3	5.0
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Carlos Pozo	Colonia Bolivar	38	213729	9883206	374	8	8.8
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Rosio Tapui	Niucanchi cause	40	209044	9882663	388	2	9.1
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Carlos Pozo	Colonia Bolivar	46	213820	9883300	374	4	42.4
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Francisco Cerda	Guinea Chimbana	47	184330	9888295	536	6	32.0
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Francisco Cerda	Guinea Chimbana	48	184470	9887727	543	6	30.0
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Cesar Ramon andi	Cando	49	171686	9879501	561	2.5	21.0
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Olmedo Cerda	Serena	50	174034	9878996	559	4	51.3
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Ricardo Shiguango	Rumihiacu	51	205094	9877388	440	3	30.0
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Matilde Grefa	Rumihiacu	52	203979	9878734	394	3	20.0
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Rebeca Andi	Shandia	53	177330	9881852	532	3	21.0
Cacao injertado con sombra	Ca-i cs	Nestor Yumbo	San Pablo	54	192474	9896123	628	3	21.0
Bosque natural primario	BP	Luis Grefa	Niucanchi cause	55	209395	9881365	435	SR	95.0
Bosque natural primario	BP	Luis Grefa	Niucanchi cause	56	209513	9881824	432	SR	92.5
Bosque natural primario	BP	EBJS	Jatun Sacha	57	208871	9881221	460	SR	99.4
Bosque natural primario	BP	EBJS	Jatun Sacha	58	208346	9881654	430	SR	97.3
Bosque natural primario	BP	EBJS	Jatun Sacha	59	208005	9882362	393	SR	91.4

*Anexo 2. Costos de operación para una plantación de cacao con densidades de 625 plantas ha<sup>-1</sup> y de plátano con densidad 204 plantas ha<sup>-1</sup> en la Reserva de la Biosfera Sumaco.*

<b>Concepto</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
Fertilización- abonamiento (aplicación de abonos)	Jornadas	10	8	80
Control de malezas (deshierbe manual)	Jornadas	10	8	80
Control fitosanitario (si el caso amerita)	Jornadas			0
Regulación de sombra (podas)	Jornadas	5	15	75
Podas (formación, mantenimiento y fitosanitario)	Jornadas	10	15	150
Cosecha y poscosecha.	Jornadas	10	8	80
<b>Sub Total cacao</b>				<b>465</b>
Siembra de plátanos	Jornal	5	8	40
Control de malezas (deshierbe manual)	Jornal	10	8	80
Compra de hijuelos de platano 8 x 8		204	0.15	30.6
Control de plagas	Insumos		20	20
Cosecha y postcosecha	Jornal	5	8	40
<b>Sub total plátano</b>				<b>210.6</b>
<b>TOTAL</b>				<b>675.6</b>

Anexo 3. Índice de Valor Importancia de todas las especies registradas en los siete sistemas de uso de la tierra en la Reserva de Biosfera Sumaco

Sistema de uso	Especie	ar	dr	porcivi
Chakra sin sombra	<i>Cordia alliodora</i>	75.0	87.8	54.3
Chakra sin sombra	<i>Erythrina amazonica</i>	25.0	12.2	12.4
Chakra con sombra	<i>Cordia alliodora</i>	27.9	18.5	15.5
Chakra con sombra	<i>Cedrela odorata</i>	13.1	28.1	13.7
Chakra con sombra	<i>Ruagea glabra</i>	9.8	12.1	7.3
Chakra con sombra	<i>Bactris gasipaes</i>	9.8	7.8	5.9
Chakra con sombra	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>	4.9	7.6	4.2
Chakra con sombra	<i>Carica papaya</i>	6.6	2.2	2.9
Chakra con sombra	<i>Vochysia bracediniae</i>	3.3	4.1	2.5
Chakra con sombra	<i>Piptocoma discolor</i>	4.9	1.8	2.3
Chakra con sombra	<i>Gustavia macarenensis</i>	3.3	3.2	2.2
Chakra con sombra	<i>Vismia cavanillesiana</i>	1.6	3.8	1.8
Chakra con sombra	<i>Miconia paleacea</i>	1.6	3.6	1.7
Chakra con sombra	<i>Caryodendron orinocense</i>	1.6	1.6	1.1
Chakra con sombra	<i>Cecropia sp.</i>	1.6	1.6	1.1
Chakra con sombra	<i>Inga edulis</i>	1.6	1.1	0.9
Chakra con sombra	<i>Croton lechleri</i>	1.6	0.9	0.8
Chakra con sombra	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	1.6	0.7	0.8
Chakra con sombra	<i>Annona sp.</i>	1.6	0.6	0.8
Chakra con sombra	<i>Persea americana</i>	1.6	0.5	0.7
Chakra con sombra	<i>Inga densiflora</i>	1.6	0.3	0.6
Cacao semilla sin sombra	<i>Bactris gasipaes</i>	31.3	11.7	14.3
Cacao semilla sin sombra	<i>Miconia paleacea</i>	15.6	26.8	14.2
Cacao semilla sin sombra	<i>Cordia alliodora</i>	21.9	17.5	13.1
Cacao semilla sin sombra	<i>Vitex pseudolea</i>	3.1	14.3	5.8
Cacao semilla sin sombra	<i>Inga ilta</i>	6.3	9.7	5.3
Cacao semilla sin sombra	<i>Cedrela odorata</i>	6.3	2.3	2.9
Cacao semilla sin sombra	<i>Annona sp.</i>	3.1	4.4	2.5
Cacao semilla sin sombra	<i>Vismia cavanillesiana</i>	3.1	4.4	2.5
Cacao semilla sin sombra	<i>Vochysia bracediniae</i>	3.1	4.3	2.5
Cacao semilla sin sombra	<i>Chimarrhis glabriflora</i>	3.1	4.0	2.4
Cacao semilla sin sombra	<i>Inga edulis</i>	3.1	0.7	1.3
Cacao semilla con sombra	<i>Cordia alliodora</i>	22.6	22.3	15.0
Cacao semilla con sombra	<i>Cedrela odorata</i>	10.8	9.3	6.7
Cacao semilla con sombra	<i>Bactris gasipaes</i>	10.8	4.4	5.1
Cacao semilla con sombra	<i>Inga edulis</i>	7.4	5.4	4.3
Cacao semilla con sombra	<i>Citrus aurantium</i>	6.4	3.5	3.3
Cacao semilla con sombra	<i>Crescentia cujete</i>	5.2	1.4	2.2
Cacao semilla con sombra	<i>Vochysia bracediniae</i>	2.2	4.1	2.1
Cacao semilla con sombra	<i>Clarisia racemosa</i>	0.5	5.8	2.1
Cacao semilla con sombra	<i>Acacia glomerosa</i>	1.0	4.8	1.9

<b>Sistema de uso</b>	<b>Especie</b>	<b>ar</b>	<b>dr</b>	<b>porcivi</b>
Cacao semilla con sombra	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>	3.7	1.6	1.8
Cacao semilla con sombra	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	2.2	2.1	1.4
Cacao semilla con sombra	<i>Capirona decorticans</i>	1.7	2.2	1.3
Cacao semilla con sombra	<i>Terminalia amazonia</i>	1.0	2.7	1.2
Cacao semilla con sombra	<i>Cecropia sp.</i>	0.5	3.0	1.2
Cacao semilla con sombra	<i>Ceiba samauma</i>	1.0	2.4	1.1
Cacao semilla con sombra	<i>Chimarrhis glabriflora</i>	0.7	2.4	1.1
Cacao semilla con sombra	<i>Annona sp.</i>	1.5	1.7	1.1
Cacao semilla con sombra	<i>Mauritia flexuosa</i>	0.7	2.0	0.9
Cacao semilla con sombra	<i>Vismia cavanillesiana</i>	1.0	1.7	0.9
Cacao semilla con sombra	<i>Artocarpus altillis</i>	0.5	2.1	0.9
Cacao semilla con sombra	<i>Myroxylon balsamum</i>	1.7	0.8	0.8
Cacao semilla con sombra	<i>Gustavia macarenensis</i>	1.7	0.7	0.8
Cacao semilla con sombra	<i>Ruagea glabra</i>	1.0	0.7	0.6
Cacao semilla con sombra	<i>Guarea guidonia</i>	0.2	1.3	0.5
Cacao semilla con sombra	<i>Iriartea deltoidea</i>	1.0	0.4	0.5
Cacao semilla con sombra	<i>Lacmellea lactescens</i>	1.0	0.4	0.5
Cacao semilla con sombra	<i>Oenocarpus bataua</i>	0.5	0.9	0.5
Cacao semilla con sombra	<i>Indeterminado</i>	0.7	0.6	0.5
Cacao semilla con sombra	<i>Grias peruviana</i>	0.7	0.5	0.4
Cacao semilla con sombra	<i>Ocotea aciphylla</i>	0.2	1.0	0.4
Cacao semilla con sombra	<i>Pourouma bicolor</i>	0.5	0.7	0.4
Cacao semilla con sombra	<i>Protium sp.</i>	0.2	0.8	0.4
Cacao semilla con sombra	<i>Carica papaya</i>	0.7	0.3	0.4
Cacao semilla con sombra	<i>Inga densiflora</i>	0.7	0.3	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Persea americana</i>	0.7	0.3	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Crematosperma gracilipes</i>	0.2	0.7	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Astrocaryum chambira</i>	0.5	0.4	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Solanum sycophanta</i>	0.2	0.6	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Inga ilta</i>	0.5	0.3	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Theobroma bicolor</i>	0.5	0.3	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Schefflera sp.</i>	0.5	0.3	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Otoba glycycarpa</i>	0.2	0.5	0.3
Cacao semilla con sombra	<i>Croton lechleri</i>	0.5	0.2	0.2
Cacao semilla con sombra	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	0.5	0.2	0.2
Cacao semilla con sombra	<i>Caryodendron orinocense</i>	0.5	0.2	0.2
Cacao semilla con sombra	<i>Zanthoxylum brisananum</i>	0.2	0.4	0.2
Cacao semilla con sombra	<i>Citrus limon</i>	0.5	0.1	0.2
Cacao semilla con sombra	<i>Miconia paleacea</i>	0.2	0.3	0.2
Cacao semilla con sombra	<i>Mangifera indica</i>	0.2	0.2	0.1
Cacao semilla con sombra	<i>Rheedia macrophylla</i>	0.2	0.1	0.1
Cacao semilla con sombra	<i>Piptocoma discolor</i>	0.2	0.1	0.1
Cacao semilla con sombra	<i>Minuartia guianensis</i>	0.2	0.1	0.1

<b>Sistema de uso</b>	<b>Especie</b>	<b>ar</b>	<b>dr</b>	<b>porcivi</b>
Cacao semilla con sombra	<i>Wettinia maynensis</i>	0.2	0.0	0.1
Cacao semilla con sombra	<i>Miconia sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Cacao semilla con sombra	<i>Citrus nobilis</i>	0.2	0.0	0.1
Cacao injertado sin sombra	<i>Cedrela odorata</i>	42.9	35.7	26.2
Cacao injertado sin sombra	<i>Vismia cavanillesiana</i>	14.3	38.5	17.6
Cacao injertado sin sombra	<i>Nectandra sp.</i>	14.3	21.1	11.8
Cacao injertado sin sombra	<i>Crescentia cujete</i>	28.6	4.7	11.1
Cacao injertado con sombra	<i>Cedrela odorata</i>	11.2	27.6	12.9
Cacao injertado con sombra	<i>Cordia alliodora</i>	19.1	14.9	11.3
Cacao injertado con sombra	<i>Vochysia bracedliniae</i>	11.2	8.9	6.7
Cacao injertado con sombra	<i>Inga edulis</i>	9.9	7.2	5.7
Cacao injertado con sombra	<i>Bactris gasipaes</i>	8.6	4.0	4.2
Cacao injertado con sombra	<i>Citrus medica</i>	3.9	3.6	2.5
Cacao injertado con sombra	<i>Vismia cavanillesiana</i>	1.3	4.6	2.0
Cacao injertado con sombra	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i>	3.9	1.9	2.0
Cacao injertado con sombra	<i>Terminalia amazonia</i>	1.3	3.4	1.6
Cacao injertado con sombra	<i>Iriarteia deltoidea</i>	2.6	1.5	1.4
Cacao injertado con sombra	<i>Annona sp.</i>	0.7	3.2	1.3
Cacao injertado con sombra	Indeterminado	1.3	2.4	1.2
Cacao injertado con sombra	<i>Citharexylum poeppigii</i>	2.6	1.0	1.2
Cacao injertado con sombra	<i>Myroxylon balsamum</i>	2.6	0.9	1.2
Cacao injertado con sombra	<i>Tabebuia chrysantha</i>	0.7	2.8	1.1
Cacao injertado con sombra	<i>Schefflera sp.</i>	2.0	1.2	1.1
Cacao injertado con sombra	<i>Cecropia sp.</i>	0.7	2.2	1.0
Cacao injertado con sombra	<i>Inga densiflora</i>	2.0	0.4	0.8
Cacao injertado con sombra	<i>Ruagea glabra</i>	1.3	0.6	0.6
Cacao injertado con sombra	<i>Artocarpus altillis</i>	0.7	1.2	0.6
Cacao injertado con sombra	<i>Persea americana</i>	1.3	0.4	0.6
Cacao injertado con sombra	<i>Ochroma pyramidale</i>	0.7	1.0	0.5
Cacao injertado con sombra	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	1.3	0.3	0.5
Cacao injertado con sombra	<i>Grias peruviana</i>	0.7	0.9	0.5
Cacao injertado con sombra	<i>Prestoea schultzeana</i>	0.7	0.8	0.5
Cacao injertado con sombra	<i>Unonopsis sp.</i>	0.7	0.7	0.5
Cacao injertado con sombra	<i>Erythrina amazonica</i>	0.7	0.6	0.4
Cacao injertado con sombra	<i>Crematosperma gracilipes</i>	0.7	0.6	0.4
Cacao injertado con sombra	<i>Theobroma bicolor</i>	0.7	0.4	0.4
Cacao injertado con sombra	<i>Piptocoma discolor</i>	0.7	0.2	0.3
Cacao injertado con sombra	<i>Miconia paleacea</i>	0.7	0.2	0.3
Cacao injertado con sombra	<i>Chimarrhis glabriflora</i>	0.7	0.2	0.3
Cacao injertado con sombra	<i>Otoba glycyarpa</i>	0.7	0.1	0.3
Cacao injertado con sombra	<i>Guarea guidonia</i>	0.7	0.1	0.3
Cacao injertado con sombra	<i>Eugenia sp.</i>	0.7	0.1	0.3
Cacao injertado con sombra	<i>Citrus limon</i>	0.7	0.1	0.3

<b>Sistema de uso</b>	<b>Especie</b>	<b>ar</b>	<b>dr</b>	<b>porcivi</b>
Cacao injertado con sombra	<i>Crescentia cujete</i>	0.7	0.1	0.3
Bosque natural primario	<i>Otoba glycyarpa</i>	8.1	17.6	8.6
Bosque natural primario	<i>Iriartea deltoidea</i>	10.7	4.6	5.1
Bosque natural primario	<i>Indeterminado</i>	6.1	3.2	3.1
Bosque natural primario	<i>Chimarrhis glabriflora</i>	1.2	5.8	2.3
Bosque natural primario	<i>Otoba parvifolia</i>	2.8	4.2	2.3
Bosque natural primario	<i>Guarea carinata</i>	1.0	3.7	1.6
Bosque natural primario	<i>Tetrathylacium macrophyllum</i>	2.6	0.9	1.2
Bosque natural primario	<i>Inga sp1.</i>	2.2	1.2	1.1
Bosque natural primario	<i>Inga alba</i>	0.6	2.6	1.1
Bosque natural primario	<i>Hasseltia floribunda</i>	1.4	1.5	1.0
Bosque natural primario	<i>Virola calophylla</i>	1.6	1.0	0.9
Bosque natural primario	<i>Sterculia colombiana</i>	1.2	1.3	0.8
Bosque natural primario	<i>Vochysia lequiana</i>	0.2	2.2	0.8
Bosque natural primario	<i>Virola sp.</i>	0.8	1.5	0.8
Bosque natural primario	<i>Apeiba aspera</i>	0.6	1.7	0.8
Bosque natural primario	<i>Celtis schippii</i>	1.2	1.0	0.7
Bosque natural primario	<i>Sterculia apeibophylla</i>	0.6	1.6	0.7
Bosque natural primario	<i>Zanthoxylum brisananum</i>	0.4	1.7	0.7
Bosque natural primario	<i>Chrysophyllum venezuelanense</i>	0.6	1.5	0.7
Bosque natural primario	<i>Perebea tessmannii</i>	1.0	0.9	0.6
Bosque natural primario	<i>Clusia sp.</i>	1.2	0.7	0.6
Bosque natural primario	<i>Pourouma minor</i>	0.6	1.3	0.6
Bosque natural primario	<i>Aegiphila sp1.</i>	0.6	1.2	0.6
Bosque natural primario	<i>Matisia obliquifolia</i>	1.2	0.5	0.6
Bosque natural primario	<i>Chrysochlamys membranacea</i>	1.2	0.5	0.6
Bosque natural primario	<i>Protium fimbriatum</i>	0.8	0.9	0.6
Bosque natural primario	<i>Pleuranthodendron lindenii</i>	0.6	1.0	0.6
Bosque natural primario	<i>Clarisia racemosa</i>	0.4	1.2	0.5
Bosque natural primario	<i>Helicostylis tomentosa</i>	0.8	0.7	0.5
Bosque natural primario	<i>Matisia bracteolosa</i>	0.6	0.9	0.5
Bosque natural primario	<i>Prunus debilis</i>	1.0	0.5	0.5
Bosque natural primario	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	0.8	0.6	0.5
Bosque natural primario	<i>Rinorea apiculata</i>	1.0	0.4	0.5
Bosque natural primario	<i>Virola peruviana</i>	0.6	0.8	0.5
Bosque natural primario	<i>Protium amazonicum</i>	1.0	0.4	0.5
Bosque natural primario	<i>Pourouma floccosa</i>	0.4	0.9	0.4
Bosque natural primario	<i>Lauraceae</i>	0.6	0.7	0.4
Bosque natural primario	<i>Moraceae</i>	1.0	0.3	0.4
Bosque natural primario	<i>Eugenia sp.</i>	1.0	0.2	0.4
Bosque natural primario	<i>Schizolobium parahyba</i>	0.4	0.8	0.4
Bosque natural primario	<i>Solanum sycophanta</i>	0.2	1.0	0.4
Bosque natural primario	<i>Pleurothyrium sp.</i>	0.6	0.6	0.4

<b>Sistema de uso</b>	<b>Especie</b>	<b>ar</b>	<b>dr</b>	<b>porcivi</b>
Bosque natural primario	<i>Cordia nodosa</i>	0.8	0.4	0.4
Bosque natural primario	<i>Simira cordifolia</i>	0.6	0.5	0.4
Bosque natural primario	<i>Drypetes amazonica</i>	0.8	0.3	0.4
Bosque natural primario	<i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	0.2	0.9	0.4
Bosque natural primario	<i>Guatteria glaberrima</i>	0.8	0.2	0.3
Bosque natural primario	<i>Sorocea steinbachii</i>	0.4	0.6	0.3
Bosque natural primario	<i>Inga multinervis</i>	0.4	0.6	0.3
Bosque natural primario	<i>Tachigali sp1.</i>	0.2	0.7	0.3
Bosque natural primario	<i>Virola elongata</i>	0.4	0.5	0.3
Bosque natural primario	<i>Vochysia sp.</i>	0.2	0.7	0.3
Bosque natural primario	<i>Chimarrhis hookeri</i>	0.4	0.5	0.3
Bosque natural primario	<i>Tetragastris panamensis</i>	0.4	0.4	0.3
Bosque natural primario	<i>Jacaratia digitata</i>	0.4	0.4	0.3
Bosque natural primario	<i>Sterculia apetala</i>	0.6	0.2	0.3
Bosque natural primario	<i>Inga acreana</i>	0.4	0.4	0.3
Bosque natural primario	<i>Parkia multijuga</i>	0.4	0.4	0.3
Bosque natural primario	<i>Cecropia membranacea</i>	0.2	0.6	0.3
Bosque natural primario	<i>Coussapoa sp.</i>	0.2	0.6	0.3
Bosque natural primario	<i>Rubiaceae</i>	0.4	0.4	0.3
Bosque natural primario	<i>Perebea guianensis</i>	0.4	0.4	0.3
Bosque natural primario	<i>Guarea macrophylla</i>	0.6	0.2	0.3
Bosque natural primario	<i>Maquira calophylla</i>	0.4	0.3	0.3
Bosque natural primario	<i>Pouteria sp.</i>	0.6	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Pentagonia macrophylla</i>	0.6	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Perebea sp.</i>	0.6	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Perebea xanthochyma</i>	0.6	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Vochysia bracediniae</i>	0.4	0.3	0.2
Bosque natural primario	<i>Guarea pterorachis</i>	0.6	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Siparuna sp.</i>	0.4	0.3	0.2
Bosque natural primario	<i>Mabea caudata</i>	0.2	0.4	0.2
Bosque natural primario	<i>Guatteria sp.</i>	0.4	0.2	0.2
Bosque natural primario	<i>Dendropanax caucanus</i>	0.4	0.2	0.2
Bosque natural primario	<i>Pseudolmedia rigida</i>	0.4	0.2	0.2
Bosque natural primario	<i>Sterculia tessmannii</i>	0.2	0.4	0.2
Bosque natural primario	<i>Bunchosia argentea</i>	0.4	0.2	0.2
Bosque natural primario	<i>Protium sagotianum</i>	0.2	0.4	0.2
Bosque natural primario	<i>Miconia sp.</i>	0.4	0.2	0.2
Bosque natural primario	<i>Protium subserratum</i>	0.2	0.4	0.2
Bosque natural primario	<i>Nectandra longifolia</i>	0.4	0.2	0.2
Bosque natural primario	<i>Abuta grandifolia</i>	0.4	0.2	0.2
Bosque natural primario	<i>Protium sp.</i>	0.2	0.3	0.2
Bosque natural primario	<i>Batocarpus costaricensis</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Hirtella racemosa</i>	0.4	0.1	0.2

<b>Sistema de uso</b>	<b>Especie</b>	<b>ar</b>	<b>dr</b>	<b>porcivi</b>
Bosque natural primario	<i>Trichilia laxipaniculata</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Tovomita sp.</i>	0.2	0.3	0.2
Bosque natural primario	<i>Viola flexuosa</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Eschweilera bracteosa</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Tapirira guianensis</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Iryanthera laevis</i>	0.2	0.3	0.2
Bosque natural primario	<i>Brosimum guianense</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Nectandra sp.</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Turpinia occidentalis</i>	0.4	0.1	0.2
Bosque natural primario	<i>Micropholis guyanensis</i>	0.2	0.3	0.2
Bosque natural primario	<i>Pseudolmedia laevigata</i>	0.2	0.3	0.2
Bosque natural primario	<i>Tachigali chrysophylla</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Oenocarpus bataua</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Quararibea sp.</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Naucleopsis glabra</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Parathesis palaciosii</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Sloanea grandiflora</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Viola duckei</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Eugenia florida</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Tovomitopsis membranacea</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Cordia ucayaliensis</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Sapium marmieri</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Citronella incarum</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Theobroma bicolor</i>	0.2	0.2	0.1
Bosque natural primario	<i>Myrcia sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Pouteria caimito</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Sanango racemosum</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Minuartia guianensis</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Brosimum lactescens</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga ruizciana</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Mollinedia sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Oenocarpus mapora</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Lacmellea floribunda</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga marginata</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Symphonia globulifera</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Pseudolmedia laevis</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Dacryodes peruviana</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Duguetia hadrantha</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Xylopia sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Mayna odorata</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Schefflera sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Casearia obovalis</i>	0.2	0.1	0.1

<b>Sistema de uso</b>	<b>Especie</b>	<b>ar</b>	<b>dr</b>	<b>porcivi</b>
Bosque natural primario	<i>Theobroma subincanum</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Pouteria torta</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Daphnopsis equatorialis</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga bourgoni</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Mabea occidentalis</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Micropholis egensis</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Zanthoxylum sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Rollinia sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Clarisia biflora</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga cordatoalata</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Parkia sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Sapium contortum</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Gustavia macarenensis</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Capirona decorticans</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Triplaris americana</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Gustavia longifolia</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Socratea exorrhiza</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Licania sp.</i>	0.2	0.1	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga sp2.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Flacourtiaceae</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Erythrina ulei</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Neea sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Virola pavonis</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga sapindoides</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga densiflora</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Crepidospermum rhoifolium</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga thibaudiana</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Cabrlea canjerana</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Apeiba tiborbou</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Curarea toxic<sup>3</sup>/<sub>4</sub>fera</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Piptadenia sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Aniba hostmanniana</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Pterocarpus rohrii</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Myrciaria sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Ruizodendron ovale</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Pentagonia spathicalyx</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Castilla ulei</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Siparuna muricata</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Wettinia maynensis</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Meliosma herbertii</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Astrocaryum chambira</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Ficus sp.</i>	0.2	0.0	0.1

<b>Sistema de uso</b>	<b>Especie</b>	<b>ar</b>	<b>dr</b>	<b>porcivi</b>
Bosque natural primario	<i>Swartzia sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Iryanthera grandis</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Gustavia sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Andira inermis</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Buchenavia sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Marila grandiflora</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Trichilia sp.</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Endlicheria metallica</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Coccoloba densifrons</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Gloeospermum equatoriense</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Abarema jupunba</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Grias peruviana</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Morus insignis</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Inga sarayacuensis</i>	0.2	0.0	0.1
Bosque natural primario	<i>Discophora guianensis</i>	0.2	0.0	0.1

Anexo 4. Carbono almacenado en los diferentes componentes del ecosistema en los sistemas de uso agrícola y bosque primario en la Reserva de la Biosfera Sumaco

Sistema	Parcelas	Carbono Mg C ha <sup>-1</sup>												
		Arboles	Cacao	Palmas	Musáceas	Latizales bajos	Brinzales herbáceas	Yuca	Biomasa	Hojarasca	Madera muerta	Necromasa	Suelo	TOTAL
Chakra sin sombra	1	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	12.5	<b>12.5</b>	2.9	0.1	<b>3.1</b>	<b>16.5</b>	<b>32.1</b>
Chakra sin sombra	2	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.4	10.3	<b>10.7</b>	1.9	0.0	<b>1.9</b>	<b>48.0</b>	<b>60.6</b>
Chakra sin sombra	3	0.1	2.2	0.0	0.00	0.0	1.3	5.3	<b>8.8</b>	0.7	0.1	<b>0.7</b>	<b>70.5</b>	<b>80.1</b>
Chakra sin sombra	4	0.2	0.0	0.0	0.01	0.0	0.0	6.7	<b>6.8</b>	0.3	0.0	<b>0.3</b>	<b>55.6</b>	<b>62.8</b>
Chakra sin sombra	5	2.6	0.0	0.0	0.00	0.0	0.5	11.5	<b>14.6</b>	1.6	0.0	<b>1.6</b>	<b>48.0</b>	<b>64.1</b>
Chakra sin sombra	6	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	11.6	<b>11.6</b>	0.9	0.0	<b>1.0</b>	<b>47.9</b>	<b>60.4</b>
Chakra sin sombra	7	6.5	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	12.3	<b>18.8</b>	0.0	0.0	<b>0.0</b>	<b>34.0</b>	<b>52.8</b>
Chakra con sombra	8	26.1	0.0	0.0	0.00	0.0	0.2	3.0	<b>29.2</b>	3.3	0.0	<b>3.4</b>	<b>34.0</b>	<b>66.6</b>
Chakra con sombra	9	3.5	0.2	2.7	0.02	0.0	0.9	6.9	<b>14.2</b>	1.8	0.0	<b>1.9</b>	<b>75.3</b>	<b>91.3</b>
Chakra con sombra	10	20.3	0.0	0.1	0.00	0.0	0.8	9.7	<b>30.9</b>	2.1	0.0	<b>2.1</b>	<b>85.8</b>	<b>118.7</b>
Chakra con sombra	11	9.8	1.1	0.0	0.09	0.0	0.2	0.0	<b>11.2</b>	0.7	0.0	<b>0.7</b>	<b>66.4</b>	<b>78.4</b>
Chakra con sombra	12	22.7	0.3	0.5	0.01	0.0	0.8	0.0	<b>24.3</b>	1.5	0.0	<b>1.5</b>	<b>85.9</b>	<b>111.7</b>
Chakra con sombra	13	13.1	1.1	1.1	0.02	0.0	0.5	0.0	<b>15.8</b>	3.5	0.0	<b>3.5</b>	<b>40.8</b>	<b>60.1</b>
Cacao semilla sin sombra	14	0.0	1.2	0.0	0.03	0.1	0.0	0.0	<b>1.3</b>	4.9	0.2	<b>5.1</b>	<b>30.0</b>	<b>36.4</b>
Cacao semilla sin sombra	15	15.4	1.2	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>16.6</b>	3.1	0.0	<b>3.1</b>	<b>71.5</b>	<b>91.2</b>
Cacao semilla sin sombra	16	3.3	1.1	0.0	0.00	0.1	0.0	0.0	<b>4.5</b>	0.3	0.0	<b>0.3</b>	<b>86.4</b>	<b>91.2</b>
Cacao semilla sin sombra	17	24.7	1.3	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>26.0</b>	3.4	0.2	<b>3.6</b>	<b>81.5</b>	<b>111.1</b>
Cacao semilla sin sombra	18	0.0	1.6	5.6	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>7.3</b>	3.6	0.0	<b>3.6</b>	<b>86.4</b>	<b>97.2</b>
Cacao semilla sin sombra	19	0.6	2.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>2.6</b>	3.7	0.0	<b>3.8</b>	<b>86.4</b>	<b>92.8</b>
Cacao semilla sin sombra	20	0.0	1.5	0.0	0.00	0.1	0.0	0.0	<b>1.6</b>	1.2	0.0	<b>1.2</b>	<b>86.4</b>	<b>89.2</b>
Cacao semilla sin sombra	21	0.0	0.7	0.0	0.00	0.1	0.0	0.0	<b>0.8</b>	1.4	0.0	<b>1.4</b>	<b>70.4</b>	<b>72.6</b>
Cacao semilla con sombra	22	119.5	0.7	4.0	0.15	0.0	0.0	0.0	<b>124.4</b>	6.6	0.1	<b>6.6</b>	<b>43.2</b>	<b>174.2</b>
Cacao semilla con sombra	23	48.6	1.1	0.0	0.00	0.1	0.0	0.0	<b>49.9</b>	5.9	0.0	<b>5.9</b>	<b>60.9</b>	<b>116.7</b>

Cacao semilla con sombra	24	58.2	1.6	5.7	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>65.5</b>	3.5	0.0	<b>3.5</b>	<b>65.6</b>	<b>134.6</b>
Cacao semilla con sombra	25	31.2	2.2	0.0	0.00	0.1	0.0	0.0	<b>33.5</b>	2.7	0.0	<b>2.7</b>	<b>68.6</b>	<b>104.8</b>
Cacao semilla con sombra	26	119.5	2.1	3.4	0.32	0.0	0.0	0.0	<b>125.3</b>	7.4	0.7	<b>8.1</b>	<b>64.5</b>	<b>197.9</b>
Cacao semilla con sombra	27	101.6	1.7	1.7	0.01	0.0	0.0	0.0	<b>105.0</b>	3.5	0.0	<b>3.5</b>	<b>112.3</b>	<b>220.8</b>
Cacao semilla con sombra	28	24.0	1.5	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>25.6</b>	2.6	0.0	<b>2.6</b>	<b>59.2</b>	<b>87.4</b>
Cacao semilla con sombra	29	144.2	1.0	1.7	0.24	0.2	0.0	0.0	<b>147.3</b>	7.3	0.0	<b>7.3</b>	<b>60.2</b>	<b>214.8</b>
Cacao semilla con sombra	30	26.7	1.4	1.1	0.00	0.3	0.2	0.0	<b>29.8</b>	2.2	0.0	<b>2.2</b>	<b>89.0</b>	<b>120.9</b>
Cacao semilla con sombra	31	51.7	1.4	0.0	0.02	0.0	0.4	0.0	<b>53.6</b>	4.9	0.0	<b>4.9</b>	<b>71.4</b>	<b>129.9</b>
Cacao semilla con sombra	32	67.8	1.8	2.5	0.00	0.1	0.5	0.0	<b>72.6</b>	2.2	0.0	<b>2.2</b>	<b>81.0</b>	<b>155.8</b>
Cacao semilla con sombra	33	51.5	1.7	1.0	0.00	0.1	0.5	0.0	<b>54.7</b>	3.0	0.0	<b>3.0</b>	<b>60.2</b>	<b>117.9</b>
Cacao semilla con sombra	34	68.2	0.6	0.9	0.04	0.0	0.0	0.0	<b>69.7</b>	2.9	0.0	<b>2.9</b>	<b>97.3</b>	<b>169.9</b>
Cacao semilla con sombra	35	36.8	1.0	4.1	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>41.9</b>	1.4	0.1	<b>1.5</b>	<b>66.3</b>	<b>109.7</b>
Cacao semilla con sombra	36	15.6	1.6	3.8	0.02	0.0	0.0	0.0	<b>21.0</b>	5.1	0.0	<b>5.1</b>	<b>38.8</b>	<b>64.8</b>
Cacao injertado sin sombra	37	0.0	1.6	0.0	0.00	0.1	0.0	0.0	<b>1.7</b>	2.0	0.0	<b>2.0</b>	<b>86.1</b>	<b>89.8</b>
Cacao injertado con sombra	38	66.8	2.8	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>69.6</b>	5.9	0.0	<b>5.9</b>	<b>64.2</b>	<b>139.7</b>
Cacao injertado sin sombra	39	0.0	2.1	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>2.1</b>	4.8	0.0	<b>4.8</b>	<b>94.5</b>	<b>101.4</b>
Cacao injertado con sombra	40	22.9	1.5	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>24.4</b>	2.9	0.0	<b>2.9</b>	<b>65.0</b>	<b>92.4</b>
Cacao injertado sin sombra	41	7.7	1.7	0.0	0.01	0.0	0.0	2.7	<b>12.1</b>	2.6	0.0	<b>2.6</b>	<b>94.5</b>	<b>109.2</b>
Cacao injertado sin sombra	42	7.3	2.0	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	<b>9.3</b>	2.3	0.0	<b>2.3</b>	<b>41.8</b>	<b>53.4</b>
Cacao injertado sin sombra	43	0.7	2.5	0.0	0.04	0.0	0.0	0.0	<b>3.3</b>	3.1	0.0	<b>3.1</b>	<b>41.8</b>	<b>48.2</b>
Cacao injertado sin sombra	44	0.2	2.1	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>2.3</b>	1.8	4.6	<b>6.5</b>	<b>88.3</b>	<b>97.1</b>
Cacao injertado sin sombra	45	1.3	1.8	0.0	0.00	0.0	0.3	0.0	<b>3.4</b>	0.5	0.0	<b>0.5</b>	<b>68.4</b>	<b>72.3</b>
Cacao injertado con sombra	46	61.5	2.2	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>63.6</b>	5.0	0.0	<b>5.0</b>	<b>96.6</b>	<b>165.3</b>
Cacao injertado con sombra	47	16.1	2.7	3.8	0.05	0.0	0.0	0.0	<b>22.6</b>	3.3	0.0	<b>3.3</b>	<b>14.3</b>	<b>40.2</b>
Cacao injertado con sombra	48	59.6	2.5	2.6	0.14	0.1	0.0	0.0	<b>64.9</b>	3.8	0.0	<b>3.8</b>	<b>68.4</b>	<b>137.1</b>
Cacao injertado con sombra	49	3.8	3.2	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	<b>7.0</b>	1.0	0.0	<b>1.0</b>	<b>43.0</b>	<b>51.0</b>
Cacao injertado con sombra	50	75.3	2.5	1.9	0.04	0.1	0.0	0.0	<b>79.9</b>	2.2	0.1	<b>2.3</b>	<b>80.7</b>	<b>162.9</b>
Cacao injertado con sombra	51	46.0	1.8	3.5	1.32	0.0	0.0	0.0	<b>52.6</b>	3.0	0.0	<b>3.0</b>	<b>68.4</b>	<b>124.0</b>
Cacao injertado con sombra	52	31.2	1.8	0.4	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>33.4</b>	2.2	0.0	<b>2.2</b>	<b>96.6</b>	<b>132.3</b>

Cacao injertado con sombra	53	12.7	2.0	1.3	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>16.0</b>	1.4	0.1	<b>1.5</b>	<b>49.6</b>	<b>67.1</b>
Cacao injertado con sombra	54	13.2	22.3	0.1	0.00	0.0	0.0	0.0	<b>35.7</b>	3.2	0.0	<b>3.2</b>	<b>69.2</b>	<b>108.1</b>
Bosque natural primario	55	352.0	0.0	9.3	0.00	0.3	0.6	0.0	<b>362.2</b>	2.8	0.0	<b>2.8</b>	<b>69.0</b>	<b>434.0</b>
Bosque natural primario	56	261.5	0.0	7.2	0.00	0.4	1.0	0.0	<b>270.1</b>	2.2	0.0	<b>2.3</b>	<b>96.4</b>	<b>368.8</b>
Bosque natural primario	57	186.0	0.0	12.3	0.00	0.4	0.4	0.0	<b>199.1</b>	4.4	0.0	<b>4.5</b>	<b>57.1</b>	<b>260.7</b>
Bosque natural primario	58	316.0	0.0	2.1	0.00	0.4	1.5	0.0	<b>319.9</b>	7.1	0.0	<b>7.1</b>	<b>67.0</b>	<b>394.0</b>
Bosque natural primario	59	154.7	0.0	14.3	0.00	0.2	0.6	0.0	<b>169.8</b>	3.5	0.0	<b>3.5</b>	<b>40.1</b>	<b>213.4</b>