

Introducción de sistemas agroforestales como alternativa para el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático en Latinoamérica Tropical

Juan Gabriel Chipantiza Masabanda ^{1,2}  , Alex Gavilanes Montoya ^{1,3}  & Greys Carolina Herrera Morales ¹ 

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, El Coca EC220001, Ecuador

² Grupo de Investigación Causana Yachay, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, El Coca EC220001, Ecuador

³ RETOUR: Research Project - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador & Research Institute: IDI - ESPOCH

 Correspondencia: juan.chipantiza@esPOCH.edu.ec  + 593 99 833 9097

Recibido: 07/noviembre/2020; **Aceptado:** 10/diciembre/2020; **Publicado:** 14/diciembre/2020

DOI/URL: <https://www.greenworldjournal.com/doi-029-gwj-2020>



Check for updates



Resumen: A medida que nuestro clima continúa calentándose y sus impactos se vuelven más frecuentes y severos, los agricultores y las comunidades agrícolas de todo el mundo se verán cada vez más desafiados. La combinación del avance del cambio climático y un sistema industrial ya vulnerable es una "tormenta perfecta" que amenaza los medios de vida de los agricultores y nuestro suministro de alimentos. El objetivo de investigación se basa en analizar las experiencias de países de Latinoamérica Tropical en cuanto a la introducción de sistemas agroforestales como alternativa para el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático. Los SAF constituyen una alternativa para el desarrollo sostenible ya que suponen un incremento en el margen de utilidad de los agricultores y proveen varios servicios ecosistémicos, siendo el más importante el almacenamiento de carbono.

Palabras claves: agricultura; impactos ecología; ecosistema.

Introduction of agroforestry systems as an alternative for sustainable development and climate change mitigation in Tropical Latin America

Abstract: As our climate continues to heat up and its impacts become more frequent and severe, farmers and farming communities around the world will be increasingly challenged. The combination of advancing climate change and an already vulnerable industrial system is a "perfect storm" that threatens farmers' livelihoods and our food supply. The research objective is based on analyzing the experiences of countries in Tropical Latin America in introducing agroforestry systems as an alternative for sustainable development and climate change mitigation. PES are an alternative for sustainable

development as they increase farmers' profit margin and provide several ecosystem services, the most important being carbon storage.

Keywords: agriculture; ecological impacts; ecosystem.

1. Introducción

El cambio climático es un tema de preocupación mundial debido a las consecuencias negativas en los ámbitos ecológico, económico – productivo, social y político. Pese a que las variaciones climáticas han existido desde tiempos remotos [1], el clima actual está variando de forma repentina debido a las emisiones generadas por la actividad humana, las cuales han alterado la composición atmosférica y su correcto funcionamiento [2]. El cambio climático está causando una enorme presión en los sistemas naturales y productivos, así como en la mayor parte de comunidades del mundo [2,3], ya que incide directamente en la disponibilidad de recursos naturales esenciales como el agua y los alimentos de origen vegetal o animal. Entre los innumerables efectos observados en el entorno figuran el incremento de la temperatura y del nivel del mar, la disminución de la capa de hielo o nieve y la variación del régimen de precipitación [4].

La agricultura ha contribuido al cambio climático, y paralelamente es afectada por este. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector agrícola han incrementado, aunque no tan rápido como aquellas que se derivan de otras actividades humanas; estas emisiones se desprenden principalmente de los procesos de fertilización, de la gestión de estiércol y de la aplicación directa de este en el suelo [5,6]. En Ecuador para el año 2010 se estimó que el sector agrícola emitió 14.515,94 Gg CO₂ eq (representa el 18,03% del total de emisiones a escala nacional) [7]. Por otra parte, el aumento de la temperatura y la variación de la precipitación generan un impacto negativo en la agricultura, dado que afectan directamente al rendimiento de los cultivos (cambios en la producción y los costos) e influyen indirectamente en la disponibilidad de agua de riego [8,9].

Conforme al objetivo 12 de la Agenda 2030 se debe garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles mediante la articulación de economías verdes y que emitan una baja cantidad de carbono; por su parte el objetivo 13 se vincula con la adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático así como sus efectos adversos [10]. Una de las soluciones para el cambio climático en la agricultura es la adaptación basada en ecosistemas, es decir incluir elementos en los sistemas agrícolas para potenciar los procesos naturales y la provisión de servicios ecosistémicos; entre estas prácticas se incluye la conservación y restauración del entorno natural, y el manejo adecuado del agroecosistema [11,12]. Los sistemas agroforestales incluyen especies leñosas perennes (sean árboles o arbustos) y cultivos tradicionales o pastizales, la interacción de estos componentes contribuye a la mitigación y adaptación al cambio climático y provee un sinnúmero de productos y servicios ambientales [13]. Estos sistemas son altamente difundidos en los trópicos en combinación con cultivos como el cacao, plátano, piña o cítricos [14]. El objetivo del presente artículo de revisión es analizar las experiencias de países de Latinoamérica Tropical en cuanto a la introducción de sistemas agroforestales como alternativa para el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático.

2. Materiales y Métodos

Se realizó una revisión documental acerca de los términos “desarrollo sostenible, cambio climático y sistemas agroforestales (SAF)”, finalmente se investigó acerca de experiencias relacionadas a la aplicación de SAF en América Tropical. Los tipos de documentos fueron artículos científicos, libros, tesis y guías referidas a SAF en países americanos; se indicó el título, autores, tipo de documento y se registró la base de datos de la que fue extraída (en caso de precisarse). No se limitó el año de publicación de los documentos, los criterios de inclusión o exclusión fueron:

- Ubicación geográfica: Únicamente se consideraron los países que pertenecen a la zona de América Tropical. Se entiende por “América Tropical” a la porción del continente que se ubica entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, por tanto comprende a Centroamérica y a una fracción de Sudamérica.
- Cultivo principal: Se incluyó a las investigaciones que traten acerca de SAF cuyos cultivos principales sea cacao, café o plátano (o una combinación de los mismos), principales productos de las zonas tropicales.
- Enfoque: Se abordó dos enfoques: producción (en masa de producto o biomasa aérea) y almacenamiento de carbono.

Con base a los criterios antes mencionados, se seleccionaron un total de once documentos 7 artículos científicos, 1 guía y 3 tesis (Tabla 1).

Tabla 1. Lista depurada de fuentes a analizarse.

No.	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO				BASE DE DATOS
		Artículo	Libro	Guía	Tesis	
1	Agro-ecosistemas tradicionales con cacao: Análisis de casos de pequeños productores en Los Ríos, Ecuador. [15]	x				Dialnet
2	Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. [16]	x				Scielo
3	Cultivo y productividad de Sistemas Agroforestales con cacao en estados tempranos de desarrollo en el bosque seco tropical del departamento de Antioquía. [17]				x	Universidad Nacional de Colombia
4	Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (<i>Coffea arabica</i> L.) y en monocultivo en el litoral ecuatoriano. [18]	x				Dialnet
5	Modelación y diseño de sistemas de especies múltiples de cultivos; Caso sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica. [19]				x	Tecnológico de Costa Rica
6	Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles forestales. [20]	x				Research gate

7	Uso de recursos forestales maderables y no maderables del sistema agroforestal cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). [21]	x	-
8	Guía técnica: Cultivo de cacao bajo sombra de maderables o frutales.		x -
9	Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en Huánuco. [22]	x	Scielo
10	Evaluación agronómica de dos sistemas agroforestales con base cultivo de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L), en Guamag - Yacu cantón Echeandía, provincia Bolívar. [23]		x Universidad de Bolívar
11	Producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales sucesionales y tradicionales con cacao, Alto Beni, Bolivia. [24]	X	Scielo

Los datos extraídos fueron: autor, país, resultados y beneficios. Para organizar la información se utilizaron tablas resumen. Finalmente se analizó la tendencia de los resultados obtenidos en cada uno de los estudios referenciales.

3. Desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible surge de la necesidad de incorporar al ambiente en el esquema del desarrollo económico y social [25], componentes que inciden en el estado de los ecosistemas. Como resultado de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo (1987 - Brudland) se emitió un informe, en el cual se indica que el desarrollo sostenible es "aquel que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias" [26,27]. En este sentido se debe alcanzar un equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental, aspecto que según Riestra (2018) implica la búsqueda del equilibrio o balance entre las actividades antropogénicas, el aprovechamiento racional de los recursos procedentes del entorno natural y el desarrollo socioeconómico; de modo que se garantice el mantenimiento de los servicios ecosistémicos y la conservación del patrimonio natural [28].

Los criterios básicos de sostenibilidad son: a) La tasa de consumo de los recursos naturales no debe superar a su tasa de renovación, b) la tasa de generación de residuos no debe exceder a la tasa de absorción o autodepuración del ambiente y c) los recursos no renovables deben ser utilizados a una velocidad que permita sustituirlos con un recurso renovable equivalente [29]. En la actualidad no existen indicadores que permitan cuantificar el desarrollo sostenible ya que está vinculado con el nivel de bienestar, sin embargo, se han propuesto un sinnúmero de índices e indicadores asociados a cada una de sus dimensiones, tal es el caso de la huella ecológica, el índice del planeta vivo o el índice de bienestar de ecosistemas [30].

La Agenda 2030 fue aprobada en septiembre de 2015 por la Organización de las Naciones Unidas, establece 17 objetivos orientados al desarrollo sostenible, de modo que

constituye un instrumento para la planificación y gestión territorial (Tabla 2) [31,32]. A continuación, se presentan los objetivos enmarcados según las dimensiones social, económica y ambiental.

Tabla 2. Objetivos de la Agenda 2030 según las dimensiones social, económica y ambiental.

DIMENSIÓN SOCIAL	DIMENSIÓN ECONÓMICA	DIMENSIÓN AMBIENTAL
1. Erradicar la pobreza en todas sus formas en todo el mundo. 3. Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todas las personas, de todas las edades. 4. Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos y todas. 5. Alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas. 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles 17. Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza global para el desarrollo sostenible	2. Poner fin al hambre, lograr seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible. 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible. 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación. 10. Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos. 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.	6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. 11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. 14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. 15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica.

4. Cambio Climático

La definición del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) sugiere que es cualquier cambio en el clima debido a la variabilidad natural o a las actividades antropogénicas [33]. Los factores asociados al cambio climático son: los efectos de la nubosidad (cobertura de las nubes), la emisión de aerosoles y gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico, halocarburos, etc.), los cambios en la reflexión terrestre y el campo magnético, y la cantidad de radiación que ingresa a la Tierra [34]. De este grupo de factores, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) ha modificado los patrones climáticos en corto tiempo; y según el IPCC (2015), las emisiones antropogénicas de GEI totales han incrementado entre 1970 y 2010, produciéndose los mayores aumentos al final de ese período. Las emisiones antropogénicas anuales han aumentado entre 2000 y 2010 en 10 GTCO₂ eq, este incremento corresponde de forma directa a los sectores de

suministro de energía (47%), industrial (30%), de transporte (11%) e infraestructura antropogénica o edificios (3%) [35].

Entre las manifestaciones del cambio climático destacan el aumento de la temperatura, cambios en el régimen de precipitación, elevación del nivel del mar, incremento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos (heladas, granizadas, sequías y olas de calor), así como las variaciones del espesor de las capas de hielo y de los caudales en los sistemas hidrológicos (cambios en la calidad y cantidad de agua) [3].

En lo que respecta al sector agrícola y el cambio climático, se ha determinado que la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo son responsables de aproximadamente un cuarto de las emisiones de GEI netas (de 10 a 12 GTCO₂eq/año) debido a la deforestación, las emisiones agrícolas procedentes del suelo, la gestión de abono y estiércol, y los procesos de fertilización [28]. Zelada (2009) sugiere que se pueden disminuir las emisiones procedentes del sector agrícola mediante cambios en el mecanismo de labranza, así como por la reutilización de subproductos y residuos de cosecha.

Pese a que la agricultura es una fuente de emisión de GEI, es afectada por el cambio climático, los principales impactos son: 1) efectos biológicos en el rendimiento de los cultivos (factores directos: aumento de las temperaturas y variación de las precipitaciones, e indirectos: disponibilidad de agua de riego y proliferación de plagas), y 2) cambios en los precios, producción y consumo, como resultado inmediato de los efectos biofísicos del cambio climático [8]. Debido a la vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola, así como a su incidencia en la seguridad alimentaria y la economía local es necesario aplicar medidas de mitigación o adaptación al cambio climático [30]. Una de las alternativas recomendadas es la adaptación basada en ecosistemas, la cual consiste en la integración de los procesos naturales, la biodiversidad y los servicios ambientales en los sistemas productivos; por tanto, su desarrollo incluye actividades conservación, restauración y manejo sostenible del agroecosistema [31]. Entre las medidas de adaptación tradicionales tenemos la modificación de las fechas de siembra y cosecha, construcción de infraestructura, capacitación a agricultores, implementación de nuevas prácticas de producción, y la generación de sistemas de alarma ante la temporalidad [32]. Es importante señalar que las medidas tradicionales pueden ser utilizadas como un complemento a la adaptación basada en ecosistemas puesto que no existe suficiente evidencia que garantice su eficiencia a nivel de campo [4,36].

5. Sistemas Agroforestales

Existen numerosas definiciones referidas a los sistemas agroforestales (SAF). Según la FAO (2018), los sistemas agroforestales son sistemas multifuncionales que proveen varios beneficios de carácter económico, sociocultural o ambiental. Portillo (2010) señala que el modelo agroforestal es el “conjunto de sistemas de uso del suelo y recursos naturales en los cuales las especies leñosas (árboles y arbustos) se utilizan deliberadamente bajo un sistema de manejo integral con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal”. En base a los conceptos antes mencionados se identifica que la estructura de los sistemas agroforestales es mixta, dado que combina

a los sistemas productivos: agrícola, pecuario y forestal; esta combinación se fundamenta en los sinergismos que se establecen entre los sistemas productivos, dando lugar a interacciones complejas y de gran importancia biológica o ecológica [37].

Conforme a Silva & Rozados (2002), las principales características de los SAF son:

- La introducción de especies arbóreas en los cultivos o pastos, de modo que se garantice el aprovechamiento de recursos (agua, luz, nutrientes y espacio);
- La combinación de sistemas adopta cualquier orden temporal y espacial;
- Es un sistema estable y sostenible con el tiempo (en términos de producción y valor biológico);
- En un sistema agroforestal se obtienen dos o más productos dependiendo de la diversidad de los componentes;
- Y su objetivo principal es la reducción del riesgo y el aumento de la productividad.

Con base a las características y el funcionamiento de los SAF, sus ventajas y desventajas son (Tabla 3):

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los SAF.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>Aspectos ecológicos y agronómicos</i>	<i>Aspectos ecológicos y agronómicos</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es multiestrato y posee cobertura vegetal permanente: provee de sombra y reduce el riesgo por erosión hídrica o eólica. ▪ Recicla continuamente los nutrientes (contribución de biomasa y aporte de nutrientes). ▪ Las raíces de los árboles mejoran la estructura del suelo – evitan la compactación y mejoran la absorción del agua. ▪ La diversidad vegetal impide la proliferación de plagas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Competencia por luz, agua o nutrientes. ▪ La cosecha de especies maderables puede afectar al cultivo asociado. ▪ En caso que los árboles creen un microclima muy húmedo, se puede dar el ataque de hongos en el cultivo asociado. ▪ Ciertas especies arbóreas tienen efectos alelopáticos (fitotoxinas), tal es el caso del eucalipto.
<i>Aspectos socio económicos</i>	<i>Aspectos socio económicos</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mayores fuentes de ingresos, se reduce el riesgo asociado a pérdidas económicas. ▪ Las especies maderables proveen de un capital estable a razón de la venta de madera, además pueden satisfacer necesidades de consumo a nivel familiar: leña. ▪ Los árboles son una forma económica para delimitar un predio. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En ciertos casos se puede obtener un rendimiento inferior al esperado. ▪ La mano de obra es más costosa en fase inicial (establecimiento del SAF) ▪ Beneficio económico de los árboles es a largo tiempo, y es una causa de desmotivación en los agricultores.

Los SAF están vinculados con el desarrollo sostenible debido a los beneficios en los ámbitos social, ecológico y económico. Casanova et al. (2010) mencionan que el éxito de la agroforestería radica en los siguientes aspectos: el uso de especies arbóreas con alto potencial para mantener la biodiversidad y paralelamente garantizar la sostenibilidad del sistema de producción, la reducción de emisiones de GEI, la implementación de políticas adecuadas y mecanismos de pago por servicios ecosistémicos como el almacenamiento

o captura de carbono, y la identificación de opciones de manejo específicas dependiendo la zona agroecológica y las condiciones del entorno biofísico. En base a los beneficios obtenidos, su diversidad y permanencia, se considera que los SAF son sostenibles; es así que su desarrollo requiere de una baja cantidad de insumos (fertilizantes o pesticidas) y mínima intervención de maquinaria [38].

La introducción de los SAF responde a las necesidades socioeconómicas y ambientales, ya que la diversificación de los sistemas productivos permite generar alimentos y otras materias primas (Figura 1) (tal es el caso de la madera) mediante la introducción de elementos que provean servicios ecosistémicos y garanticen la rentabilidad agraria.

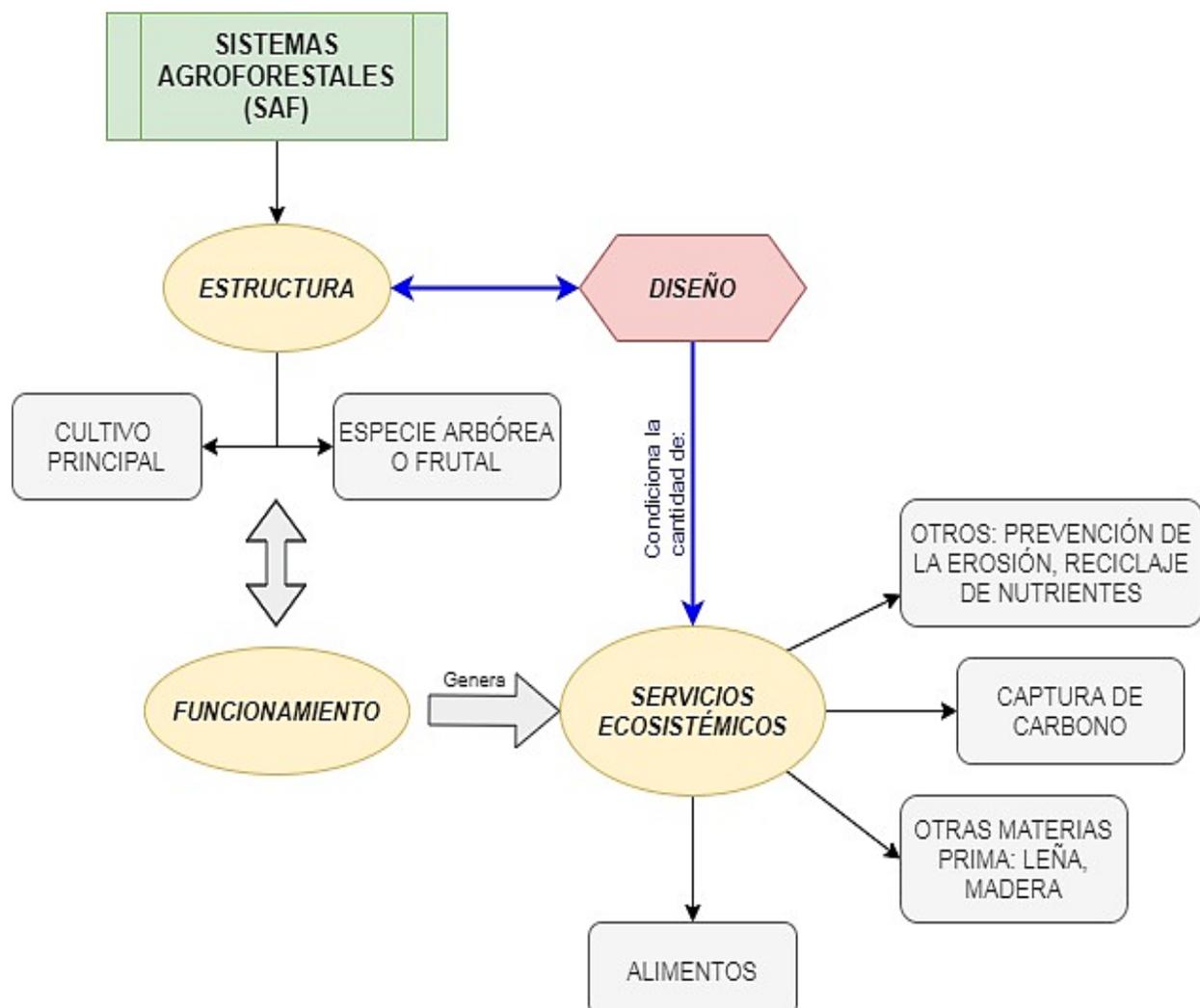


Figura 1. Sistemas agroforestales y sus contribuciones.

6. Clasificación de los sistemas agroforestales

De manera general los sistemas agroforestales pueden clasificarse en función de diversos criterios tales como: estructura, diseño, objetivos de producción, entre otros. De acuerdo a sus componentes y configuración o arreglo espacio-temporal [4,39,40], los sistemas agroforestales se clasifican en:

Tabla 4. Clasificación de los SAF.

TIPO	SAF SECUENCIALES	SAF SIMULTÁNEOS
CARACTERÍSTICAS	<p>Relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos maderables.</p> <p>Las cosechas y los árboles se alternan para ocupar el espacio, por tanto, existe mínima competencia.</p>	<p>Los árboles y cultivos o ganado ocupan un espacio determinado al mismo tiempo.</p> <p>En este tipo de sistemas los árboles compiten por luz, agua y nutrientes; para reducir el nivel de competencia se recurren a alternativas como el espaciamiento.</p>
SUBCLASES	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Sistemas de agricultura migratoria</i>: Sistemas de subsistencia, únicamente aplicables en zonas donde se deje descansar la tierra por largos períodos. • <i>Cultivos con resalvos</i>: Los cultivos y árboles son plantados al inicio de la época de lluvia. Ideal para zonas con una sola estación de lluvia al año, dado que los cultivos crecen rápidamente y los árboles lo hacen lentamente de modo que la competencia se minimiza. • <i>Sistemas multiestrato</i>: Integra cultivos anuales con varias especies de árboles (frutales o maderables). Con el fin de eliminar plantas indeseables se siembra leguminosas que sirven como alimento de bovinos. • <i>Barbechos mejorados</i>: Se usa como una alternativa para rotar los cultivos, los barbechos generalmente se siembran después que los cultivos son cosechados. • <i>Sistemas Taungya</i>: Combinación de dos componentes durante las primeras etapas del establecimiento de especies forestales. cuando las especies maderables superan la altura de ramoneo, es común introducir el componente animal. 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Plantaciones en línea</i>: Arreglos lineales, en los cuales los árboles o arbustos se disponen en hileras. Ejemplo: Plantaciones en linderos, cercas vivas, cortinas rompe vientos. • <i>Setos en callejones</i>: Los árboles son plantados con los cultivos agrícolas, los cuales en callejones entre las hileras de árboles. Debido al grado de competencia, son prácticos en circunstancias limitadas. • <i>Sistemas arboleda</i>: Árboles en asociación con cultivos perennes o anuales. La cobertura arbórea puede ser abierta, cerrada o dispersa. • <i>Sistemas silvopastorales</i>: Incorporan árboles sobre la cobertura de pasto. • <i>Sistemas silvoagrícolas</i>: Es una comunidad de plantas que se asemeja a un bosque, en el cual existen múltiples estratos y contiene árboles maduros grandes y cultivos o plantas tolerantes a la sombra. Ejemplo: Huerto casero mixto. • <i>Huertos caseros o familiares</i>: Variedad de estratos y diversidad de especies

La diferencia principal entre ambas clases de SAF es la distribución temporal, y por consiguiente el grado de competencia entre el cultivo principal y las especies arbóreas. En este sentido los SAF secuenciales tienen una ventaja competitiva sobre los SAF simultáneos, sin embargo, este margen se reduce mediante el espaciamiento o distribución espacial de las especies asociadas (árboles y arbustos). A nivel de campo, la aplicación de cualquiera de las subclases de SAF dependerá del objetivo del agricultor, así como del nivel de productividad o sostenibilidad que pretende alcanzar. Es importante destacar que la competencia entre el cultivo principal y las especies arbóreas se establece a través del

sistema radicular (extracción de nutrientes y agua), y a través de sustancias alelopáticas (vía aérea) [15].

7. Experiencias en América tropical entorno al SAF.

Pese a que diversas modalidades o subclases de SAF se han implementado a nivel mundial debido a los beneficios que proveen, su aplicación más extendida es en los trópicos [11]. A continuación, se presentan tablas referentes a experiencias de SAF aplicados en América tropical, la Tabla 5 refiere a países de Centroamérica y la Tabla 6 a países de Suramérica [41].

Tabla 5. Sistemas agroforestales implementados a nivel de Centroamérica.

CULTIVO PRINCIPAL	AUTOR	PAÍS	RESULTADOS	BENEFICIOS
CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)	Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, (2004) [20]	Honduras	Cacao y laurel: 180qq de cacao por hectárea, y 27,252 pies tablares por hectárea de laurel. Cacao y cedro: 28 qq de cacao por hectárea, y 18,41 pies tablares por hectárea de cedro. Cacao y leguminosas: 210 qq de cacao por hectárea.	Se obtuvo un rendimiento superior comparado con el monocultivo (testigo), las ganancias estuvieron asociadas tanto a la venta del cacao como de especies maderables u otros vegetales. Además, se generó un beneficio ambiental ya que el cacao integrado al sistema arbóreo contribuye en la protección del suelo
	Bautista et al., (2016) [21]	México	El rendimiento promedio de cacao fue de 962,5 Kg/Ha con ingreso neto de \$ 5475,00/ Ha. Mientras que el carbono almacenado en biomasa aérea fue de 120,35 t/Ha, con ingreso calculado por venta en \$10.831,00/ Ha.	El SAF integrado al cultivo de cacao abarca una gran cantidad de recursos maderables y no maderables (ornamentales, frutales, hortícolas, medicinales y forrajeras), los cuales son utilizados por los agricultores para el consumo familiar.
	Sol et al., (2018) [43]	México	Dos plantaciones analizadas: <i>Cometa</i> (1 Ha): Se obtuvo una producción de 80 Kg de cacao seco por Ha, y de 6,5 Kg de pimienta por árbol (Mayor producción al noveno año: 18 Kg por árbol) <i>Ceiba</i> : 120 Kg cacao seco por Ha. Adicional se obtuvo madera de especies forestales como: Cedro, pochota (<i>Pachira quinata</i>) y macuili (<i>Tabebuia rosea</i>).	El cacao es un cultivo que se desarrolla bajo sombra, por tanto, puede integrarse un SAF. Para contrarrestar la baja productividad se integró árboles que pueden ser aprovechados, tales como especies maderables y la pimienta gorda (<i>Pimienta dioica</i> L. Merrill) Paralelamente se obtiene un valor biológico: Disminuye el riesgo a erosión, incrementa la entrada de nitrógeno e interviene en el control de las plagas.

Mixtos: CACAO (<i>Theobroma cacao</i>) + BANANO (<i>Musa paradisiaca</i>)	Chávez & Salazar, (2018) [19]	Costa Rica	A partir del análisis de 180 parcelas se determinó que la producción neta de cacao fue de 191 Kg/Ha, mientras que para el otro cultivo principal banano no se determinó la producción, únicamente se refiere que abundante dado que su densidad corresponde a 1100 plantas por hectárea. En cuanto a los cultivos secundarios se determinó una producción de 26 m ³ /Ha para <i>Cordia alliodora</i> . Para los árboles frutales no se estableció la producción neta, los agricultores únicamente sugieren que se tiene un buen rendimiento.	La diversidad de especies tiene más probabilidades de generar un efecto positivo en la productividad, la cual también depende de la disponibilidad de espacio y otros recursos.
--	-------------------------------	------------	---	---

Tabla 6. Sistemas agroforestales implementados a nivel de América del Sur.

CULTIVO PRINCIPAL	AUTOR	PAÍS	RESULTADOS	BENEFICIOS
CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)	Guzmán & Levy, (2009) [44]	Bolivia.	Producción primaria neta, 6,76 t/Ha- Sistema Agroforestal vs 4,75 t/Ha – sistema tradicional.	En los SAF se obtiene una mayor producción primaria neta. Las especies arbóreas brindan alrededor del 46% de sombra (después de la poda) y aportan con materia orgánica al suelo. El diseño de la plantación busca optimizar los servicios y bienes ambientales, al igual que la producción por hectárea.
	Agudelo, (2016) [17]	Colombia.	Previa a la producción de mazorcas de cacao, la planta alcanzó una altura de 3 m, un diámetro de copa de 2 m y 4,3 cm de diámetro de tallo. Durante el desarrollo de la etapa juvenil, la acumulación de biomasa fue de 1,065 Kg/individuos. Para el caso del plátano, la altura registrada fue de 4 m, y a los 12 meses alcanzó 5,742 Kg de masa seca. Por su parte la mielina alcanzó 8m a los 12 meses, y a los 40 meses alcanzó un peso seco de 416,530 Kg.	Se incrementó el tamaño y follaje de las plantas del SAF (mayor crecimiento y desarrollo). SAF con especies perennes (melina – <i>Gmelina arborea</i>) y semiperennes (plátano – <i>Musa paradisiaca</i>).

	Sánchez & Vera, (2017) [45]	Ecuador.	<p>Sistema caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)– cacao: Número promedio de frutos de cacao fue de 35 frutos por planta (peso de la mazorca 21,40 Kg). La altura promedio de la caoba fue de 10,45 m.</p> <p>Sistema Guachapeli (<i>Albizia guachapele</i>) – cacao: Número promedio de frutos de cacao fue de 39 frutos por planta (peso de la mazorca 29,20 Kg). La altura promedio del guachapelí fue de 8,73 m.</p>	Se aumentó la productividad de los cultivos de cacao, debido a que las especies arbóreas del SAF proporcionan sombra (requerimiento importante para este cultivo).
	Pocomucha et al., (2016) [22]	Perú.	<p>El valor promedio total de carbono acumulado fue de 131,18 TC/Ha, correspondiendo 65,61 TC/Ha para biomasa aérea y 65,57 TC/Ha para el suelo.</p> <p>En cuanto a la producción: Se obtuvieron rendimientos de 489 Kg/Ha, valor que es bajo comparado con el rendimiento a escala nacional; esto se debe al manejo a nivel de parcelas que es de subsistencia.</p>	En los cacaotales vinculados a SAF se obtiene un servicio ecosistémico de importancia como es el almacenamiento de carbono (a nivel del componente suelo como de la biomasa aérea). Los productores del área de estudio reconocen la importancia del almacenamiento de carbono, aspecto que hace que muestren actitudes positivas para implementar SAF en sus cultivos de cacao.
	Zavala et al., (2018) [16]	Perú	El orden descendente en función al almacenamiento de carbono es: SAF mayor de 16 años con 344,24 tC/Ha, SAF entre 8 y 16 años con 178,61 tC/Ha, y el SAF menor de 8 años con 154,91 t C/Ha. Además se encontró mayor carbono orgánico en el suelo en el SAF con cacao menor de 8 años, con 66,16 t C/Ha entre la capa del suelo de 0 a 10 cm.	El SAF de mayor edad es aquel que almacena la mayor cantidad, por tanto es una fuente potencial de servicios ecosistémicos.

CAFÉ (<i>Coffea arabica</i>)	Suatunce et al., (2009) [46]	Ecuador	<p><i>Guayacán blanco + café + plátano (para sombra temporal)</i>: 908,9 Kg de café por hectárea, 60 racimos de plátano/Ha año y 48,46 m³ de madera/Ha. (Beneficio neto: 1432,51\$)</p> <p><i>Laurel prieto + café + plátano (para sombra temporal)</i>: 2113,82 Kg de café por hectárea, 65,70 racimos de plátano/Ha año y 19,68 m³ de madera/Ha. (Beneficio neto: 894,52\$)</p> <p><i>Teca + café + plátano (para sombra temporal)</i>: 2093,53 Kg de café por hectárea, 63,30 racimos de plátano/Ha año y 78,23 m³ de madera/Ha. (Beneficio neto: 3033,81\$)</p> <p><i>Fernansánchez + café + plátano (para sombra temporal)</i>: 1734,12 Kg de café por hectárea, 60 racimos de plátano/Ha año y 46,99 m³ de madera/Ha. (Beneficio neto: 1130,94\$)</p> <p><i>Monocultivo de café</i>: 3977,20 Kg/Ha (Beneficio neto: 1070,55\$)</p>	En los SAF combinados a diferentes especies maderables se obtiene una producción de café inferior a la del monocultivo, sin embargo debido a la diversidad de materias primas comercializables así como su precio en el mercado, el mayor beneficio económico corresponde a la combinación: teca + café + plátano.
Mixtos: CACAO (<i>Theobroma cacao</i>) + BANANO (<i>Musa paradisiaca</i>) + Café (<i>Coffea</i>)	Torres et al., (2018) [47]	Ecuador	<p>El rendimiento promedio de cacao es 0.36 t/Ha año, mientras que del café es de 81,65 Kg/Ha y del banano 76,5 racimos/Ha año. Estos rendimientos fueron obtenidos con un manejo tradicional.</p> <p>Los frutales y especies maderables presentes en los SAF son cosechados para autoconsumo y en ciertas ocasiones para la venta (no se cuantifica el rendimiento).</p>	Los SAF son de mucha importancia para pequeños productores, dado que permite diversificar cultivos, frutales, especies forestales y pecuarias (mantiene la seguridad alimentaria).

En función de las directrices establecidas se encontró una mayor cantidad de publicaciones acerca de la producción de cacao en SAF, aspecto que se debe a las características agronómicas del cultivo principal. El cacao requiere del 50 al 70% de sombra en sus fases iniciales, mientras que en plantaciones adultas la sombra puede oscilar entre el 25 al 35%, es así que en estado natural el cacao se encuentra asociado a especies arbóreas y arbustos [48,49].

En lo referente al país en el cual se realizaron los estudios, se identifica que a nivel de Centroamérica la mayor cantidad de publicaciones corresponden a México, y en Sudamérica a Ecuador. Esta tendencia está estrechamente relacionada con la producción de cacao, registrándose para Ecuador una producción total de 270.000 tM en el 2017 (1er lugar de su región), y para México de 30.000 tM (2do lugar de su región, después de República Dominicana) [50].

Los resultados de las investigaciones sugieren que dependiendo del manejo del SAF, la producción del cultivo principal puede ser relativamente mayor o menor al monocultivo. No obstante, los SAF obtienen un mayor beneficio neto debido a la comercialización de una variedad de productos, tal es el caso de la madera u otros frutos. Con relación al almacenamiento de carbono, los SAF con mayor edad exhiben una mayor captación a través de la biomasa aérea, además es importante considerar el carbono almacenado a nivel del componente suelo.

8. Conclusiones

Los SAF constituyen una alternativa para el desarrollo sostenible ya que suponen un incremento en el margen de utilidad de los agricultores, aspecto que supone una mejora en su calidad de vida (ámbitos económico y social); paralelamente su cobertura vegetal contribuye al mejoramiento de la textura y estructura del suelo e impide que procesos de erosión afecten a este recurso.

Finalmente, es importante resaltar que los SAF proveen varios servicios ecosistémicos, siendo el más importante el almacenamiento de carbono dado que está ligado a la mitigación del cambio climático. Básicamente la captura de carbono se da a nivel aéreo (hojas) y en el suelo; de manera general, una alta capacidad de almacenamiento de carbono es sinónimo de una alta producción primaria.

Contribución de los autores: Los autores participaron en todas las etapas investigativas.

Financiamiento: La publicación fue financiada a integridad por los autores y la institución responsable del proyecto.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. López Feldman, A.J.; Hernández Cortés, D. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *Trimest. Econ.* **2016**, *83*, 459–496.
2. Molina, M.; Sarukhán, J.; Carabias, J. *El cambio climático: causas, efectos y soluciones*; Fondo de Cultura Económica, 2017; ISBN 6071650771.
3. Ding, P. Tropical Fruits. In; Thomas, B., Murray, B.G., Murphy, D.J.B.T.-E. of A.P.S. (Second E., Eds.; Academic Press: Oxford, 2017; pp. 431–434 ISBN 978-0-12-394808-3.
4. Al-Kaisi, M.M.; Lal, R. Chapter 4 – Conservation Agriculture Systems to Mitigate Climate Variability Effects on Soil Health. In; Al-Kaisi, M.M., Lowery, B.B.T.-S.H. and I. of A., Eds.;

- Academic Press, 2017; pp. 79–107 ISBN 978-0-12-805317-1.
5. Lipper, L.; Dutilly-Diane, C.; McCarthy, N. Supplying Carbon Sequestration From West African Rangelands: Opportunities and Barriers. *Rangel. Ecol. Manag.* **2010**, *63*, 155–166.
 6. Hambrey, J. The 2030 Agenda and the sustainable development goals: the challenge for aquaculture development and management. *FAO Fish. Aquac. Circ.* **2017**.
 7. Cooper, R.J.; Hama-Aziz, Z.Q.; Hiscock, K.M.; Lovett, A.A.; Vrain, E.; Dugdale, S.J.; Sünnenberg, G.; Dockerty, T.; Hovesen, P.; Noble, L. Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). *Soil Tillage Res.* **2020**, *202*, 104648.
 8. Patanita, M.; Campos, M.D.; Félix, M.D.; Carvalho, M.; Brito, I. Effect of Tillage System and Cover Crop on Maize Mycorrhization and Presence of *Magnaportheopsis maydis*. *Biol.* **2020**, *9*.
 9. Branca, G.; Hissa, H.; Benez, M.C.; Medeiros, K.; Lipper, L.; Tinlot, M.; Bockel, L.; Bernoux, M. Capturing synergies between rural development and agricultural mitigation in Brazil. *Land use policy* **2013**, *30*, 507–518.
 10. Sanahuja, J.A.; Tezanos Vázquez, S. Del milenio a la sostenibilidad: retos y perspectivas de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. **2017**.
 11. Shamsuzzoha, A.; Ndzibah, E.; Kettunen, K. Data-driven sustainable supply chain through centralized logistics network: Case study in a Finnish pharmaceutical distributor company. *Curr. Res. Environ. Sustain.* **2020**, *2*, 100013.
 12. Chain-Guadarrama, A.; Martínez-Rodríguez, M.R.; Cárdenas, J.M.; Vílchez-Mendoza, S.; Harvey, C.A. Uso de prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas por pequeños cafetaleros en Centroamérica. *Agron. Mesoam.* **2019**, *30*, 1–18.
 13. Dagar, J.C.; Tewari, V.P. Evolution of Agroforestry as a Modern Science BT – Agroforestry: Anecdotal to Modern Science. In; Dagar, J.C., Tewari, V.P., Eds.; Springer Singapore: Singapore, 2017; pp. 13–90 ISBN 978-981-10-7650-3.
 14. Chavez, E.S.; Puyutaxi, F.A.; Barragan, J.J.; Nicklin, C.; Miranda, S.B. Comparación sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador. *Rev. Cienc. y Tecnol.* **2015**, *8*, 37–47.
 15. Torres, E.; Torres, A.; Sánchez, A. Agro-ecosistemas tradicionales con cacao: Análisis de casos de pequeños productores en Los Ríos, Ecuador. *Rev. Amaz. Cienc. y Tecnol.* **2018**, *7*.
 16. Zavala, W.; Merino, E.; Peláez, P. Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Sci. Agropecu.* **2018**, *9*.
 17. Agudelo, M. Cultivo y productividad de Sistemas Agroforestales con cacao en estados tempranos de desarrollo en el bosque seco tropical del departamento de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, 2016.

18. Suatunce, P.; Díaz, G.; García, L. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea Arabica* L.) y en monocultivo en el litoral ecuatoriano. *Rev. Cienc. y Tecnol.* **2009**, *2*.
19. Chávez, R.; Salazar, R. "Modelación y diseño de sistemas de especies múltiples de cultivos; Caso sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica"; 2018;
20. Sol, Á.; López, S.; Córdova, V.; Gallardo, F. Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles forestales. *Rev. Iberoam. Bioeconomía y Cambio Climático* **2018**, *4*, 862–877.
21. Bautista, E.; Pérez, J.; Ruíz, O.; Valdez, A. USO DE RECURSOS FORESTALES MADERABLES Y NO MADERABLES DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (*Theobroma cacao* L.). *Agroproductividad* **2016**, *9*.
22. Pocomucha, V.; Alegre, J.; Abregú, L. ANÁLISIS SOCIO ECONÓMICO Y CARBONO ALMACENADO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN HUÁNUCO. *Ecol. Apl.* **2016**, *15*.
23. Sánchez, F.; Vera, R. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE DOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON BASE CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN GUAMAG – YACU CANTÓN ECHEANDÍA, PROVINCIA BOLÍVAR., Universidad Estatal Bolívar, 2017.
24. Guzmán, G.; Levy, A. Producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales sucesionales y tradicionales con cacao, Alto Beni, Bolivia. *Rev Acta Nov.* **2009**, *4*.
25. Mercado, R.M. People's Risk Perceptions and Responses to Climate Change and Natural Disasters in BASECO Compound, Manila, Philippines. *Procedia Environ. Sci.* **2016**, *34*, 490–505.
26. Yu, X. Biodiversity conservation in China: barriers and future actions. *Int. J. Environ. Stud.* **2010**, *67*, 117–126.
27. Desa, U.N. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. **2016**.
28. Mestanza-Ramón, C.; Henkanaththege, S.M.; Vásquez Duchicela, P.; Vargas Tierras, Y.; Sánchez Capa, M.; Constante Mejía, D.; Jimenez Gutierrez, M.; Charco Guamán, M.; Mestanza Ramón, P. In-Situ and Ex-Situ Biodiversity Conservation in Ecuador: A Review of Policies, Actions and Challenges. *Divers.* **2020**, *12*.
29. Rondinel-Oviedo, D.R.; Schreier-Barreto, C. Methodology for Selection of Sustainability Criteria: A Case of Social Housing in Peru BT – The Palgrave Handbook of Sustainability: Case Studies and Practical Solutions. In: Brinkmann, R., Garren, S.J., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2018; pp. 385–409 ISBN 978-3-319-71389-2.
30. Sánchez Capa, M.; Mestanza-Ramón, C.; Sánchez Capa, I. Perspectiva de conservación del suelo en la Amazonía ecuatoriana. *Green World J.* **2020**, *3*, 009.
31. Floris, M.; Gazale, V.; Isola, F.; Leccis, F.; Pinna, S.; Pira, C. The Contribution of Ecosystem Services in Developing Effective and Sustainable Management Practices in Marine Protected

- Areas. The Case Study of "Isola dell'Asinara." *Sustain.* 2020, 12.
32. United Nations Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development ... Sustainable Development Knowledge Platform.
33. Fernández-Reyes, R.; Águila Coghlan, J.C. Un periodismo en transición ante el V informe del IPCC, El acuerdo de París y Los objetivos de desarrollo sostenible. *Ámbitos Rev. Int. Comun.* 37, 1-13. **2017**.
34. Spellman, F.R. *The Science of Environmental Pollution*; CRC Press, 2017; ISBN 9781351849241.
35. Zoppi, C. Ecosystem Services, Green Infrastructure and Spatial Planning. *Sustain.* 2020, 12.
36. Muschler, R.G. Agroforestry: Essential for Sustainable and Climate-Smart Land Use? BT - Tropical Forestry Handbook. In; Pancel, L., Köhl, M., Eds.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2014; pp. 1-104 ISBN 978-3-642-41554-8.
37. Silva-Pando, F.; Rozados Lorenzo, M.. Agrosilvicultura, agroforestería, prácticas agroforestales, uso múltiple: Una definición y un concepto. *Cuad. Soc. Esp. Cien.* **2002**, 14, 9-21.
38. Wilson, M.; Liu, S. Evaluating the non-market value of ecosystem goods and services provided by coastal and nearshore marine systems. **2008**.
39. Hutchinson, J.J.; Campbell, C.A.; Desjardins, R.L. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agric. For. Meteorol.* **2007**, 142, 288-302.
40. Toranza, C.; Lucas, C.; Ceroni, M. Distribución espacial y cobertura arbórea del bosque serrano y de quebrada en Uruguay Los desafíos de mapear ecosistemas parchosos. *Agrociencia Uruguay* **2019**, 23, 1-12.
41. Bautista Rodríguez, L.X.; Guzmán Alvis, M.C. Comunicación y diseño gráfico: contexto y relación. **2020**.
42. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola Guía técnica CULTIVO DE CACAO BAJO SOMBRA DE MADERABLES O FRUTALES. *Proy. UE cuencas* **2004**.
43. Sol-Sánchez, Á.; López-Juárez, S.A.; Córdova-Ávalos, V.; Gallardo-López, F. Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles forestales. *Rev. Iberoam. Bioeconomía y Cambio Climático* **2018**, 4, 862-877.
44. Guzmán, G.; Levy, A. Producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales sucesionales y tradicionales con cacao, Alto Beni, Bolivia. *Rev Acta Nov* **2009**, 4, 34-45.
45. Sánchez Espinoza, F.T.; Vera Montoya, R.E. Evaluación agronómica de dos sistemas agroforestales, con base cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en Guamag-Yacu, cantón Echeandía, provincia Bolívar 2017.

46. Suatunce Cunuhay, P.; Díaz Coronel, G.; García Cruzatty, L. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea Arabica* L.) y en monocultivo en el litoral ecuatoriano. *Cienc. y Tecnol.* **2009**, *2*, 29–34.
47. Torres Navarrete, E.; Torres Navarrete, A.; Sánchez Laíño, A. Agro-ecosistemas tradicionales con cacao: Análisis de casos de pequeños productores en Los Ríos, Ecuador. *Rev. Amaz. Cienc. y Tecnol.* **2018**, *7*, 83–95.
48. Mestanza Ramon, C.; Sanchez Capa, M.; Cunalata Garcia, A.; Jimenez Gutierrez, M.; Toledo Villacís, M.; Ariza Velasco, A. Community Tourism In Ecuador: A Special Case In The Rio Indillama Community, Yasuní National Park. *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*, 2019, vol. 8, num. 6, p. 653–657 **2020**.
49. Mestanza-Ramón, C.; Sanchez Capa, M.; Figueroa Saavedra, H.; Rojas Paredes, J. Integrated Coastal Zone Management in Continental Ecuador and Galapagos Islands: Challenges and Opportunities in a Changing Tourism and Economic Context. *Sustain.* 2019, *11*.
50. Banco de Desarrollo de América Latina *Observatorio del cacao fino y de aroma para América Latina*; 2018;

Reseña de los autores:



Juan Gabriel Chipantiza Masabanda, Ingeniero Agrónomo y Magister en Gestión de la Producción Agroindustrial. En la actualidad se desempeña como profesor investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Alex Gavilanez Montoya Docente Investigador ESPOCH – Sede Orellana. Ingeniero Ambiental, Magister en Economía y Administración Agrícola. Ph.D in Forestry en la Universidad Transilvania de Braşov – Rumania. Ponencias en el ámbito nacional e internacional. Libros, y artículos científicos en revistas de alto impacto.



Greys Carolina Herrera Morales, Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Master en Sistemas Integrados de Gestión en mención Seguridad Industrial, Calidad y Ambiente. En la actualidad se desempeña como profesor investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).