



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL
LITORAL.

Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas
Oceánicas y Recursos naturales.

“EVALUACIÓN Y MAPEO DE LOS SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS CON TÉCNICAS SIG: CASO DE
ESTUDIO DEL *Theobroma cacao*”

Trabajo de titulación Previo a la obtención del Título de
Magíster En Cambio Climático

Presentado por: Diego Enrique Portalanza Peralta

Guayaquil – Ecuador

2017

AGRADECIMIENTO

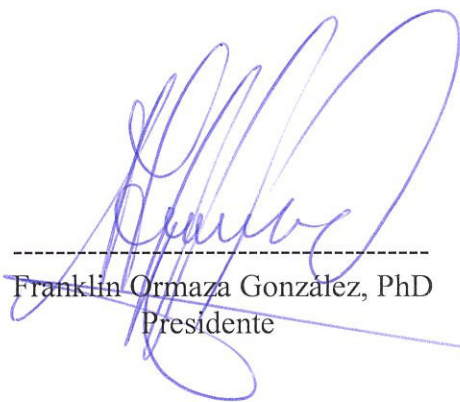
Quiero agradecer atentamente a aquellas personas que de una u otra forma compartieron sus conocimientos conmigo para hacer posible la realización de este trabajo. Especialmente agradezco a mi tutora la Dra. Calderón Vega por su tiempo y paciencia, por su asesoría y por su disposición para trabajar y transmitir conocimientos. A la Dra. María Paula Barral de la Universidad Nacional de Mar del Plata por su guía durante el entendimiento del protocolo ECOSER. Gracias al Dr. José Luis Santos quien como director de la maestría nos supo guiar, a Imelda Félix por darme todas las facilidades para escribir, al personal administrativo de la ESPOL especialmente a Karina por su ayuda y disponibilidad.

A todos ellos gracias.

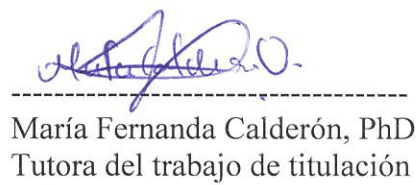
DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi abuelo Tomas Peralta Gutiérrez (†), quien a sus 100 años me enseñó que nunca se debe abandonar los sueños, a mis padres Geny y Luis Enrique, por inculcarme siempre el estudio como un medio de superación, a mis hermanos José Luis Gustavo y Luis Enrique y a mi novia María Fernanda por ser pilares fundamentales en la culminación de esta etapa.

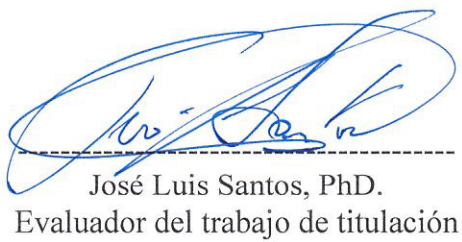
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Franklin Ormaza González, PhD
Presidente



María Fernanda Calderón, PhD
Tutora del trabajo de titulación



José Luis Santos, PhD.
Evaluador del trabajo de titulación

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Tesis, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Diego Enrique Portalanza Peralta

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	2
DEDICATORIA	3
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	4
DECLARACIÓN EXPRESA.....	5
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
Objetivos	13
General.....	13
Específicos.....	13
I. MARCO TEÓRICO	14
1.1 Servicios ecosistémicos.....	14
1.2 Protocolo de evaluación Ecoser	16
1.3 Sistemas de información geográfica (SIG).....	18
Definición.....	18
Componentes de un SIG.....	19
1.4 CACAO (Theobroma cacao L).....	22
Características botánicas.....	24
II. METODOLOGÍA	25
2.1 Área de estudio	25
2.2 Evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos.....	26
2.3 Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo	26
2.4 Almacenamiento de carbono en biomasa	28
2.5 Control de la erosión	29

2.6	Servicio de producción y regulación (IPR)	30
2.7	Modelado del flujo de los sedimentos (exportación y transporte).....	30
2.8	Provisión relativa de cada tipo de SE.....	31
2.9	Cálculo de los beneficios.....	33
III.	RESULTADOS	34
3.1	Funciones ecosistémicas	34
3.2	Matriz integrada de ponderación.....	45
3.3	Impacto de los servicios.....	49
IV.	CONCLUSIONES	52
V.	RECOMENDACIONES.....	53
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	54

RESUMEN

Los servicios ecosistémicos (SE) pueden ser definidos como las condiciones, procesos y componentes del medio ambiente natural que proveen beneficios tangibles e intangibles para la sustentabilidad y sostenibilidad de la vida humana. El objetivo de este estudio fue experimentar con la metodología ECOSER para el mapeo de los servicios ecosistémicos del cultivo del cacao mediante técnicas sistemas de información geográfico (SIG) para estimar su potencial como mecanismo de adaptación al Cambio Climático. El estudio se realizó en la provincia de los Ríos en los cantones Mocache, Baba, Palenque y Vinces en el ámbito del proyecto “*La economía de los ecosistemas y la biodiversidad en Ecuador*”. Para la evaluación y mapeo se propone el protocolo ECOSER el cual está orientada al análisis principalmente de uso de suelo que integra varias disciplinas en torno a las funciones ecosistémicas (FE), la interacciones entre estos y la vulnerabilidad en escenarios de pérdida de estos. La distribución espacial de la FE COS mostró que el 83.64% del área estudio posee un almacenamiento de 11.30 Ton/Ha dado que es una zona de producción cultivos agrícolas; seguido por un almacenamiento de 22 Ton/Ha en el 14.62% de área donde predominan principalmente los pastizales; y por último un porcentaje mínimo del 1.74% posee 52.5 Ton/Ha que corresponden a tierras forestales. El protocolo ECOSER presenta la ventaja que incluye la consulta a expertos para dar peso a la información calculada sin embargo la desventaja es que al ser un protocolo de evaluación preliminar los datos deben ser validados en campo.

Palabras clave: Servicios Ecosistémicos (SE), ECOSER, Sistemas de información geográfico, adaptación, cambio climático, funciones ecosistémicas (FE), carbono orgánico en el suelo (COS).

ABSTRACT

Ecosystem services (ES) can be defined as the conditions, processes and components of the natural environment that provide tangible and intangible benefits for the sustainability of human life. The objective of this study was to experiment with the ECOSER methodology for the mapping of ecosystem services of cocoa crop by using geographic information systems (GIS) techniques to estimate its potential as a mechanism for adaptation to Climate Change. The study was carried out in Los Rios province in Mocache, Baba, Palenque and Vínces cantons within the framework of the project called "The Economics of Ecosystems and Biodiversity in Ecuador". For the evaluation and mapping the ECOSER protocol is proposed, which is mainly oriented to land use and land cover analysis and integrates several disciplines around the ecosystem functions (EF), interactions between them and the vulnerability in changing scenarios. The spatial distribution of the EF OCS showed that 83.64% of the study area had a storage of 11.30 Ton / Ha, this area corresponded of production agricultural crops; followed by a storage of 22 Ton / Ha in the 14.62% area where pastures predominate mainly; And finally, a minimum percentage of 1.74% has 52.5 Ton / Ha corresponding to forest lands. The ECOSER protocol has the advantage of consulting experts to give weight to the calculated information. However, the disadvantage is that since it is a preliminary evaluation protocol, the data must be validated in the field.

Keywords: Ecosystem services (ES), ECOSER protocol, geographic information systems, adaptation, climate change, ecosystem functions (EF), organic carbon soil (OCS).

I. INTRODUCCIÓN

La vida en nuestro planeta depende íntegramente de los servicios que la tierra nos brinda a través de sus sistemas naturales [1] como alimentos [2], agua fresca, regulación climática por los bosques, el ciclo de los nutrientes entre otros [3]. Los servicios ecosistémicos (SE) pueden ser definidos como las condiciones, procesos y componentes del medio ambiente natural que proveen beneficios tangibles e intangibles para la sustentabilidad y sostenibilidad de la vida humana [4].

Durante los últimos 50 años los ecosistemas han cambiado de una manera más rápida y extensa que en ningún otro tiempo comparable en la historia de la humanidad, debido esencialmente a la demanda de alimentos, agua fresca y los efectos del uso de combustibles fósiles, [3].

Por lo tanto, la evaluación de ecosistemas del milenio (MEA), fue creado en un intento para establecer procesos análogos de evaluación para el panel intergubernamental de cambio climático (IPPC) pero enfocándose en “otros cambios (ecosistemas)”, donde se evidenció que el 60% de los grandes ecosistemas del mundo han sido degradados, lo que afecta negativamente al buen vivir, además, que el desarrollo antropogénico sin control está amenazando la salud de los ecosistemas y afectando los servicios que estos puedan proveer [3], entre estos, el crecimiento poblacional y económico [5].

Los factores de impacto del cambio climático (cambio de uso de suelo, aumento de emisiones de gases de efecto invernadero, aumento de la temperatura, etc.) están presionando las provisiones de servicios ecosistémicos en ambientes agrícolas [6].

La evaluación de ecosistemas se centra principalmente en estudios de bosques, riveras, lagos, áreas verdes urbanas, áreas costeras, municipios, agricultura, desiertos y cambios de uso y cobertura de suelo (CUCS) [7], los SE frecuentemente cartografiados son los de

regulación (ej. regulación climática), provisión (ej. provisión de alimentos) y culturales (ej. oportunidades de recreación) [8]

La producción mundial de cacao está liderada por los países africanos como Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún, los cuales proveen cerca del 70% del cacao que se consume a nivel mundial [9]. De acuerdo a la Organización Internacional del Cacao, la producción de granos de cacao ha sido estimada en 4.36 millones de toneladas durante el período 2013/2014, de los cuales 448000 toneladas fueron producidas en Brasil y Ecuador, mayores productores de cacao en América [10].

Hoy en día el cultivo de cacao es importante para los países tropicales, donde, es cultivado en su gran mayoría por pequeños productores (productores de subsistencia).

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) ha incrementado su producción de forma casi lineal desde los años 60, de 1.2 millones de toneladas en 1961 a 4,6 millones en el 2013, con un incremento anual de 5,5%. Durante el mismo periodo el área cosechada pasó de 4,4 millones de hectáreas a 10 millones, con un incremento anual del 2.5% (FAO, 2016), como resultado la productividad global ha pasado de 269 kg/ha (1961) a 458 kg/ha en el 2013. Entre los años 2005 y 2011 la demanda se incrementó en 1.7% por año [11]. Debido a este incremento, la demanda adicional de cacao supone una presión adicional sobre los bosques primarios donde son a menudo instalados los nuevos cultivos [12], subsecuentemente el sector cacaotero global enfrenta dos grandes retos: incrementar la producción, evitando la expansión insostenible del área cacaotera talando bosques.

La producción de cacao en sistemas agroforestales es sustentable a largo plazo debido a (i) la reducción de la temperatura del aire y del suelo [13], (ii) disminución de la velocidad del viento, (iii) reducción de la pérdida de frutos por aporte de N [14], protección contra la dispersión de esporas de hongos patógenos [15], (iv) regulación de luz y estados nutricionales de los árboles, supresión de malezas y sobre todo aumento de la biodiversidad insectil, que aporta al aumento de la productividad por medio de los servicios polinizadores [16]. Los sistemas agroforestales cacaoteros además tienen

impactos positivos en la fertilidad del suelo, y reducen y previenen la erosión del suelo [17].

El conocimiento y avance agigantado de los sistemas de información geográfica (SIG) sentaron bases sólidas de crecimiento de procesos y métodos de mapeo en la última década [18]. En la actualidad los SIG pueden realizar desde operaciones algebraicas básicas, hasta modelado de procesos de alta complejidad en estudios específicos [19]. Algunos aspectos espaciales habían sido dejados de lado en las evaluaciones ambientales, incluidos los SE, pero han llamado la atención con los avances de la tecnología de (SIG) desde los 90's [20], mayormente utilizados como herramientas para mapear y planificar. Así como también, los sensores remotos (SR) facilitan el análisis, funcionamiento y patrones de cambios a escala sinóptica y meso-escala a través del tiempo [21]. A este respecto, los primeros estudios para mapeo de SE, se realizaron para evaluar valores recreacionales [22] y múltiples servicios ecosistémicos en diferentes áreas protegidas [23], pero la revolución en el desarrollo de estas evaluaciones la realizó [24] con su conocida publicación donde fueron mapeados los servicios ecosistémicos globales.

Actualmente no hay suficientes estudios que evalúen los SE en los cultivos a pesar que estos tienen presión directamente sobre las funciones y procesos que proveen SE (como por ejemplo erosión del suelo) e indirectamente sobre las medidas de adaptación que toman los agricultores [25]. Mientras el uso de los SE por el hombre siga en aumento, existe una necesidad por investigar y cuantificar las compensaciones (positivas o negativas) entre estos servicios [26].

La transcendencia de esta investigación radica en incentivar el uso de técnicas y herramientas SIG como parte del proceso de monitoreo y evaluación de los servicios ecosistémicos, para los tomadores de decisiones. Además, se plantea una metodología de

análisis en el campo agrícola que puede ser extrapolable a otros cultivos y otras áreas de estudio.

Objetivos

General:

- ▶ Experimentar con la metodología ECOSER para el mapeo de los servicios ecosistémicos del cultivo del cacao mediante técnicas sistemas de información geográfico (SIG) para estimar su potencial como mecanismo de adaptación al Cambio Climático.

Específicos

- ▶ Aplicar una metodología para la evaluación y mapeo de los servicios ecosistémicos en el contexto agrícola
- ▶ Construir una base de datos para el almacenamiento y procesamiento de información geoespacial
- ▶ Evaluar el impacto del cultivo de cacao en los servicios ecosistémicos

I. MARCO TEÓRICO

1.1 Servicios ecosistémicos

Históricamente se han definido los servicios ecosistémicos de muchas formas, así, cronológicamente tenemos:

- Las condiciones que sustentan, a través de los procesos naturales, y satisfacen a la vida humana [4].
- Los bienes y servicios que la población humana obtiene directa o indirectamente de los ecosistemas [24].
- Capacidad de los procesos naturales para satisfacer directa o indirectamente las necesidades de los humanos [27].
- Los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas [3].
- Funciones o procesos que contribuyen al bienestar de los humanos en el presente, o tienen funciones para hacerlo en un futuro [28].
- Son los componentes disfrutados o en algún modo consumidos por los seres humanos [29].
- Componentes usados de forma activa o pasiva para generar bienestar al ser humano [30]

Puesto que el concepto de servicio ecosistémico es nuevo, se busca una clasificación que reúna todos los requisitos mencionados arriba y que sea aceptada en su gran mayoría por la comunidad científica [31]. La primera clasificación fue propuesta por Constanza y consistía en agrupar 17 servicios ecosistémicos [24] en conjunto con las propuestas de Groot [27] en la cual agrupan un total de 23 funciones interconectadas en 4 categorías principales: funciones de regulación, funciones de hábitat, funciones de producción y funciones de control. Sin embargo, la clasificación más difundida y utilizada actualmente es la propuesta por el MEA [3] donde científicos de 95 países estudiaron las consecuencias causadas a los ecosistemas entre 2001 y 2005 y determinaron que las

líneas funcionales del marco conceptual de los SE incluyen servicios de soporte, regulación, aprovisionamiento y culturales.

Los servicios de soporte son los necesarios para el funcionamiento de los demás servicios, los que se obtienen directamente de los ecosistemas (aprovisionamiento), los que regulan los procesos generales de los ecosistemas (reguladores) y los beneficios no tangibles que se obtienen de estos (culturales) [32].

(Figura 1).

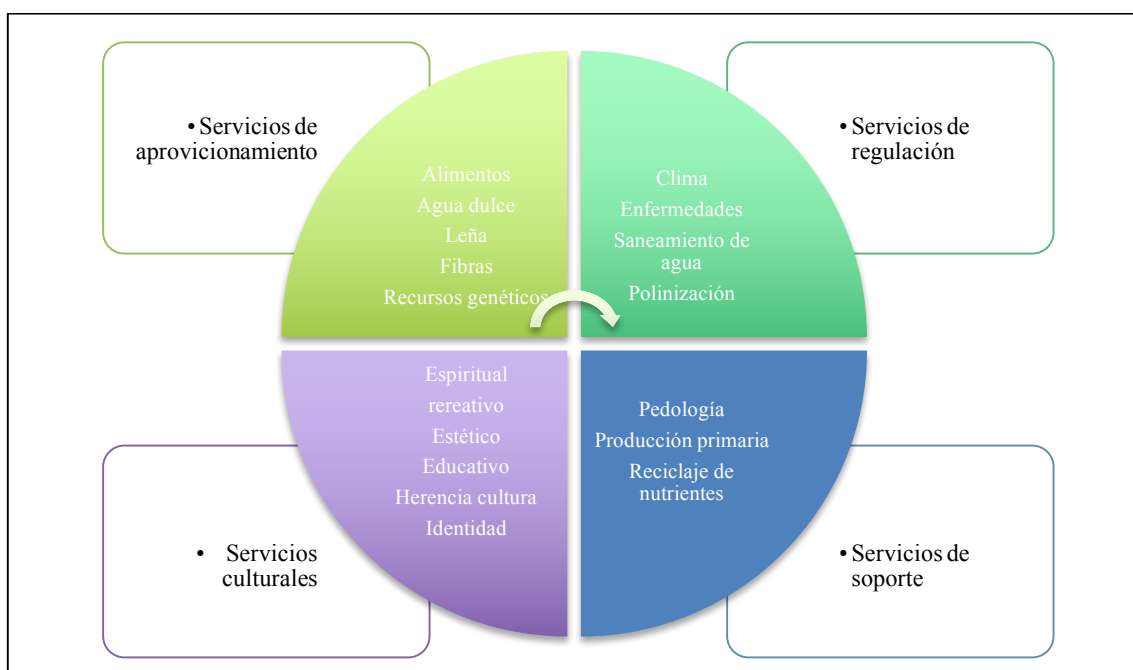


Figura 1.- Clasificación de los servicios ecosistémicos. Elaboración propia adaptado de [3]

La clasificación más reciente es la de Turner (2008) quien divide los servicios ecosistémicos en servicios intermedios, finales y beneficios [33] , En la figura 2 se visualizan los beneficios humanos que se obtienen de los servicios, y, dependiendo de su relación final con estos, pueden ser intermedios o finales.

De las metodologías antes mencionadas, Indudablemente por su origen multinacional y multidisciplinario, la propuesta hecha por el MEA (2005), es la más utilizada en estudios a nivel mundial, siendo reconocido en muchas publicaciones hechas a nivel mundial [32].

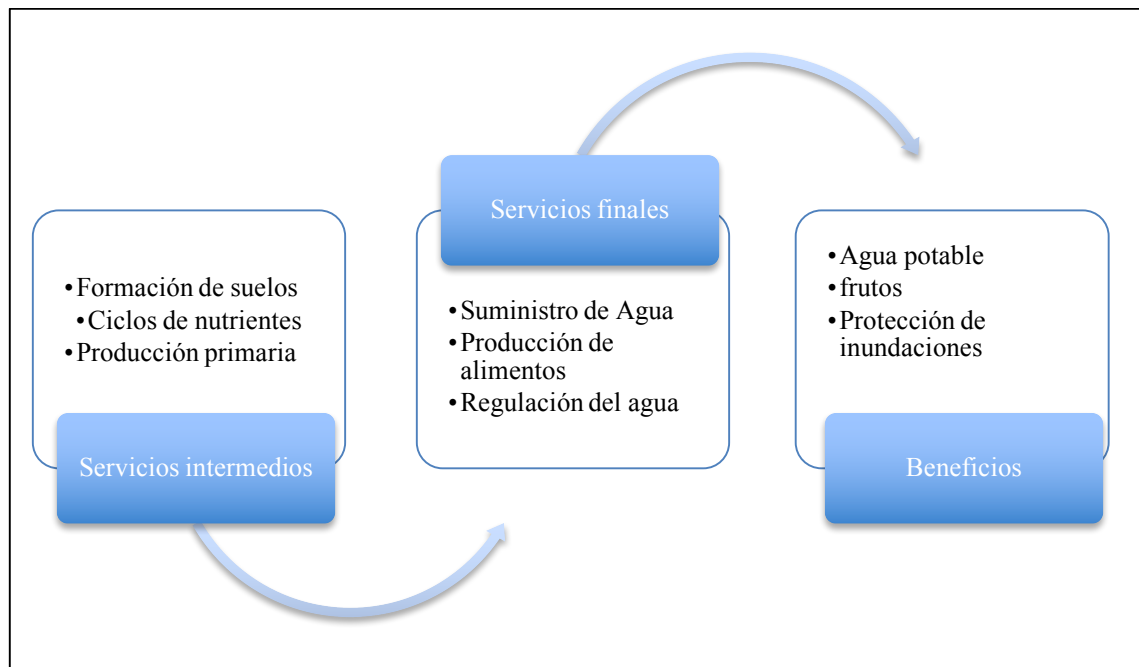


Figura 2.- Relación entre los servicios y los beneficios. Elaboración propia adaptado de [33].

1.2 Protocolo de evaluación Ecoser

El mapeo de servicios ecosistémicos y su cuantificación son claves para implementar un enfoque de sistemas para la toma de decisiones [34]. El conocimiento y avance agigantado de los (GIS) sentaron bases sólidas de crecimiento de procesos y métodos de mapeo en la última década [18]. En la actualidad los SIG pueden realizar desde operaciones algebraicas básicas, hasta modelado de procesos de alta complejidad en estudios específicos [19].

El mapeo de servicios ecosistémicos puede ser utilizado para estimar el pago por estos servicios hasta la planificación de usos de suelo en la actualidad, la integración de las dimensiones ecológicas y social con la vulnerabilidad ante la pérdida de los SE podría ser un paso importante dentro de las políticas públicas en la región [35].

ECOSER nace como una herramienta de evaluación integral de SE, surge en un proyecto del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) con el proyecto “Valorización de los bienes y servicios ambientales para caracterizar la vulnerabilidad en áreas ecológicas críticas”, luego continua con el proyecto “Valuación y modelación de bienes y servicios ecosistémicos frente a la agriculturización del paisaje” ambos proyectos en Chile y Argentina respectivamente [35]. El protocolo ECOSER es muy funcional, explícito y puede ser utilizado por cualquier usuario, además integra 3 conceptos complementarios uno del otro: a) Sistemas socio-ecológicos, b) servicios ecosistémicos [27] y vulnerabilidad socio-ecológica.

Básicamente ECOSER es un protocolo o unión de varios procedimientos que van a permitir al usuario mapear SE y estimar la vulnerabilidad socio-ecológica frente a la presión que tienen estos actualmente y son entre otros:

- Cuantificación y especialización del flujo de SE
- Exposición ante escenarios de cambio
- Sensibilidad del sistema Socio-Ecológico
- Capacidad adaptativa (figura 3)

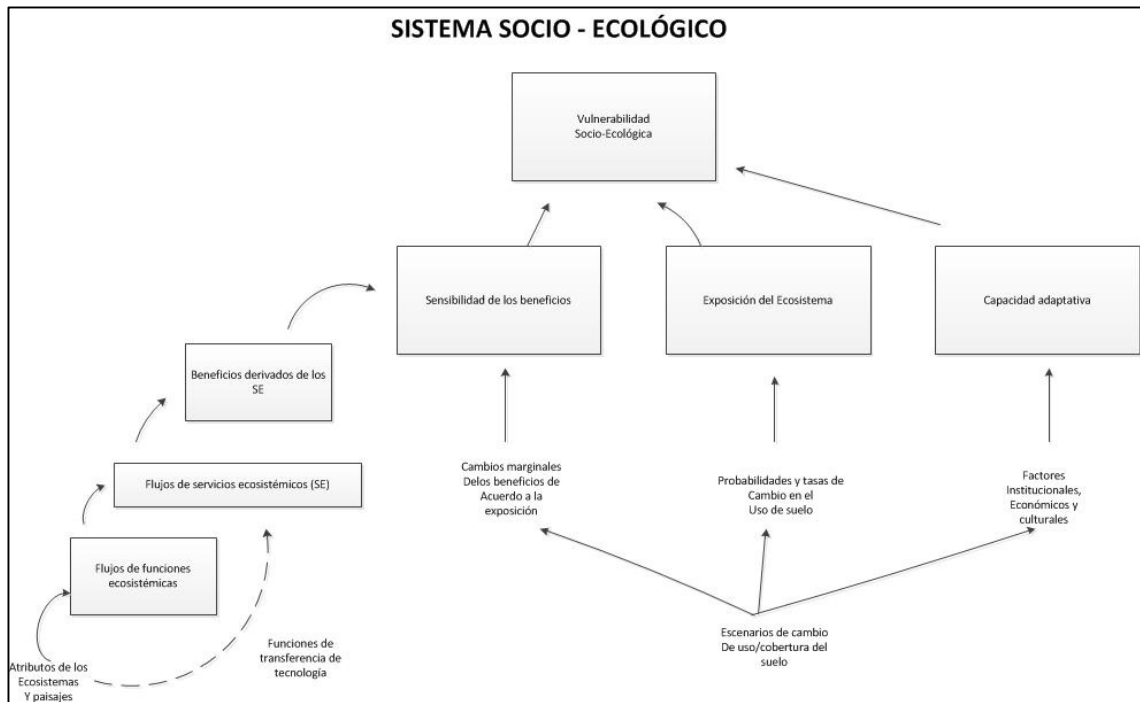


Figura 3.- Diagrama del Protocolo ECOSER para mapeo de SE y estimación de vulnerabilidad. Elaboración propia adaptado de [35].

1.3 Sistemas de información geográfica (SIG)

Definición

Un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la visualización, mantenimiento, adquisición y uso de datos cartográficos [36], también puede ser definido como un sistema de información que trabaja con datos referenciados o coordenadas geográficas [37], por tanto, los SIG son sistemas con capacidades específicas para datos referenciados y operaciones para estos datos [38].

Los sistemas de información geográfica (SIG), son sistemas temáticos de mapeo, que permiten al usuario crear mapas basados en diferentes variables [39]. Los SIG son sistemas de clases de información especial que mantienen datos de eventos, actividades e incluso cosas y, donde estos pasan o existen [40].

Las tecnologías SIG son parte de una serie de herramientas que ayudan a la precisión en prácticas agronómicas y de planificación, el sistema requiere de información básica preliminar que es relevante para algún estudio o proyecto [41]. Importar datos en un SIG requiere tiempo y atención del usuario, principalmente porque esta información proveerá conocimientos acerca del territorio y las variables en forma individual, misma que es difícil de modificar una segunda vez [42]. Las informaciones generadas por los SIG pueden ser procesadas obteniendo expresiones sintácticas de los cambios inducidos en el sistema por la variación de los parámetros, los SIG nos permiten actualizar estos parámetros y sus atributos para adaptarlos a condiciones reales y obteniendo respuestas en tiempo real [42].

Las técnicas SIG han sido utilizadas para desarrollo de informaciones relacionadas a la agricultura en escalas nacionales y regionales por muchos años [43]. Los SIG han sido utilizados desde hace 30 años, pero no fue sino hace 10 años que estas aplicaciones han sido utilizadas en la evaluación y mapeo de ecosistemas y manejo de recursos naturales [44]. Los SIG son sistemas dinámicos y no estáticos, siendo fáciles de actualizar, editar y reproducir mapas [39], y permiten la visualización de la información de nuevas formas que revelan patrones y comportamientos que no son visibles con otros sistemas de mapeo [45]. De igual forma los SIG trabajan con grandes cantidades de datos y permite la integración de data sets generados mediante medios convencionales [46].

Los SIG proveen soporte para trabajo con mapas digitales, que, al contrario de mapas de papel pueden contener gran cantidad de información espacial agronómica y otro tipo de registros necesarios para la producción de cultivos [47].

Componentes de un SIG

Los SIG pueden ser entendidos como un sistema completo de elementos interrelacionados entre sí, y constan, según algunos autores de tres sub-sistemas; 1.- Subsistema de datos, aquel que tiene la finalidad de las operaciones de entrada y salida

de datos; 2.- Subsistema de visualización.- o creación cartográfica, esta crea los mapas, leyendas entre otros y; 3.- Subsistema de análisis.- contiene los métodos o procesos para el análisis de los datos cartográficos (figura 3) [48].

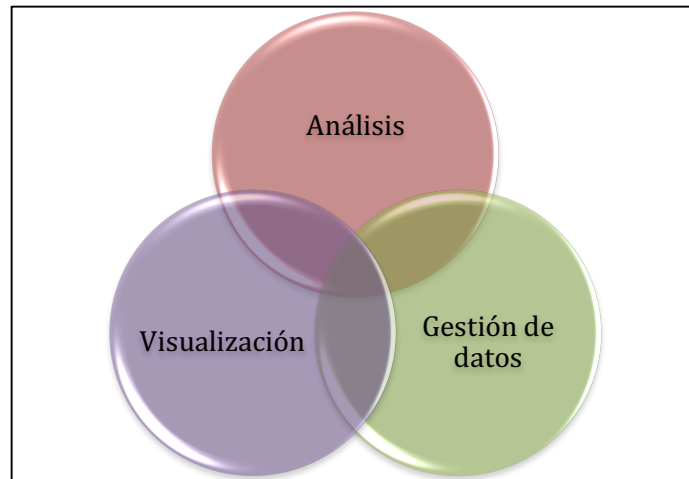


Figura 4.- Esquema de la interacción de los componentes SIG. Elaboración propia

Otra forma de ver esta interacción es analizando la interacción de los 5 elementos básicos que forman un SIG como son: Hardware, software, datos, métodos y personas (Figura 4), partiendo desde el equipo para realizar el análisis (hardware) hasta el operador que manipula los datos y los procesa (personas) [38].

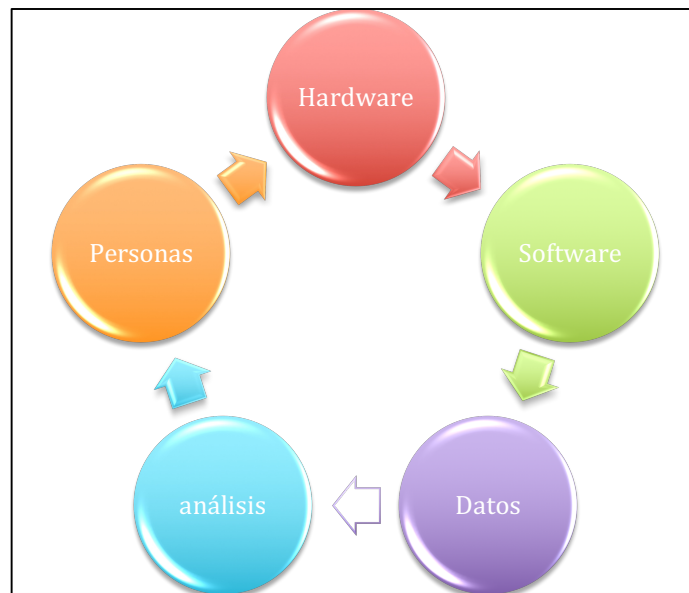


Figura 5.- Elementos que forman el sistema SIG. Elaboración propia.

Algunos autores propusieron cambiar el esquema clásico del sistema incorporando un nuevo elemento como lo es la visualización para reflejar la nueva realidad de los SIG (figura 5) [49]. Aunque el sistema de 5 elementos es más clásico, para efectos prácticos es conveniente tomar los elementos evolucionados del sistema como son: datos, procesos, visualización, tecnología y factor organizativo.



Figura 6.- División del sistema SIG según Andes, 2013. Elaboración propia

1.4 CACAO (*Theobroma cacao* L)

El cacao (*Theobroma cacao* L), es un cultivo perenne de importancia económica en países en el trópico húmedo. Sus almendras secas y fermentadas son el producto o materia prima utilizada principalmente en la industria del chocolate a nivel mundial [50]. Mucho se ha debatido en el pasado acerca del origen y domesticación de este cultivo [51], debido a su no tan clara distribución, dispersión y por su larga historia de producción [52]. Actualmente es aceptado que el origen del cacao es sudamericano donde en las faldas del río Amazonas está descrito el centro de especiación de estas especies [53], sin embargo, existe evidencia científica que sugiere su domesticación gradual en Mesoamérica hace aproximadamente 3000 años [54]. Hoy en día el cultivo

de cacao es importante para los países tropicales, donde, es cultivado en su gran mayoría por pequeños productores (productores de subsistencia). La producción mundial de cacao está liderada por los países africanos como Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún, los cuales proveen cerca del 70% del cacao que se consume a nivel mundial [9]. De acuerdo a la Organización internacional del Cacao, la producción de granos de cacao ha sido estimada en 4.36 millones de toneladas durante el período 2013/2014, de los cuales 448000 toneladas fueron producidas en Brasil y Ecuador, mayores productores de cacao en América [10].

Los granos fermentados se utilizan para obtener manteca de cacao (grasa), y alguno sólidos, éstos son los más importantes ingredientes para obtener el chocolate en todas sus presentaciones. El chocolate siempre ha sido la materia prima más importante en la industria de los dulces, además estudios recientes demuestran que el consumo de este tiene efectos beneficiosos para el hombre, conocidos desde épocas antiguas [55].

En Ecuador existen dos variedades de cacao que predominan, Nacional y CCN51 (Colección Castro Naranjal km 51). La variedad nacional, conocida como “fino de aroma, o cacao arriba” es el más demandado por la industria puesto que es utilizado para elaborar los chocolates más finos del mundo. Por otro lado, el cacao CCN51 es considerado como una materia prima para “masas” y se utiliza para elaborar chocolates de baja calidad (confites y polvo de cacao) [56]. Ecuador es un importante productor de cacao nacional [57], pero la variedad CCN51 es también cultivada debido a su bajo riesgo y resistencia a plagas (más resistente que la nacional), además su producción es mayor si compara con la variedad nacional [58]

Teniendo en cuenta que el cacao nacional es más costoso de producir y mejor cotizado en el mercado internacional, existe un problema por la mezcla que realizan los agricultores de estas dos variedades, este tipo de adulteración, resulta en serias complicaciones para el país exportador, y de igual forma para las industrias que lo importan [56].

Características botánicas

El árbol puede llegar hasta los 20 metros de alto, manteniéndose para cultivos comerciales entre 4 – 6 metros. Sus raíces pueden llegar a los 2 metros de profundidad y hasta 2 metros de forma lateral, posee hojas pecioladas formando ramas de forma ortotrópica [59]. Las flores crecen en tubérculos o bonches formando racimos pequeños donde se desarrollarán los frutos. Se desarrolla mejor en las siguientes condiciones climáticas: precipitación de 1500–2000mm/año con no más de 3 meses consecutivos de lluvias por debajo de los 100m, temperaturas máximas entre los 30-32°C en promedio y temperaturas mínimas promedio de 18-21°C, el cultivo se desarrolla mejor en las tierras húmedas bajas, aunque puede también desarrollarse en tierras altas cuando las condiciones son adecuadas, además necesita de un suelo profundo, fértil y bien drenado [60], los criterios de un buen suelo para cacao serian; 1.5 m de profundidad máxima, 30-40% de arcilla, al menos 2% de materia orgánica (MO) en la capa arable, una capacidad de intercambio catiónico de 120 mmol/kg y una base de saturación del 35%.

La mayoría de los cultivos son usualmente instalados con varetas, por su costo y fácil producción, básicamente desarrollo vegetativo de varas con raíces. Estas son sembradas en fundas de polipropileno y llevadas al campo a razón de 1100 plantas/ha (3x4- 3x4m) a la edad de entre 3 a 6 meses [61]

II. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la provincia de los Ríos en los cantones Mocache, Baba, Palenque y Vínces (Figura 6) en el ámbito del proyecto “*La economía de los ecosistemas y la biodiversidad en Ecuador*”, que se desarrolla entre el Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) y la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). El clima en la provincia es de régimen tropical mega térmico húmedo según la clasificación de Köppen [62], que se caracteriza por tener una estación lluviosa y una estación seca muy marcada (PDYOT, 2013). La temperatura media tiene un rango entre 22 y 26°C mientras que los de precipitación van de 1250 a 3000 mm, presentando menor precipitación en los cantones Buena Fe, Vínces, Palenque, Baba y una pequeña zona de Babahoyo con 1250 a 1750mm/año [63].

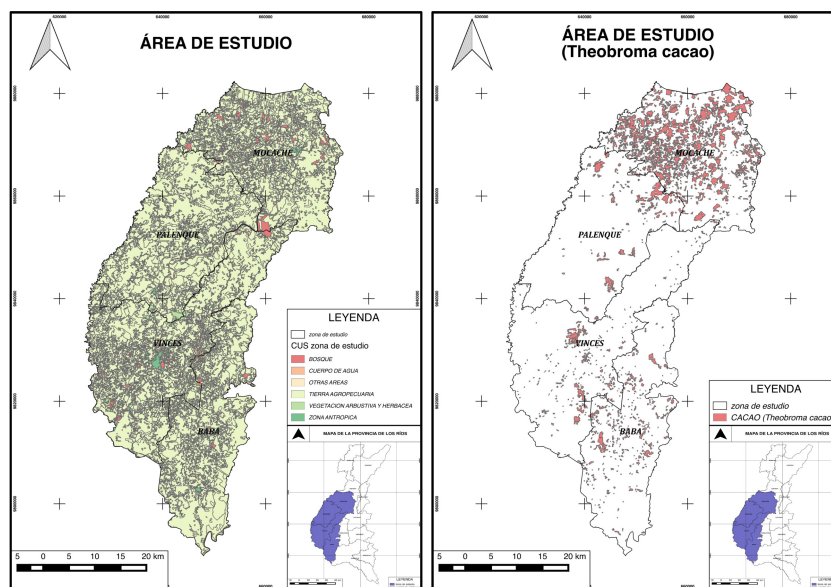


Figura 7.- Área de estudio, cantones Baba, Vínces, Palenque y Mocache, Provincia de los Ríos [64]
Elaboración autor.

2.2 Evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos

Para la evaluación y mapeo se propone el protocolo ECOSER el cual está orientada al análisis principalmente de uso de suelo que integra varias disciplinas en torno a las funciones ecosistémicas (FE), conocidos como servicios ecosistémicos intermedios, que son aquellos atributos físicos, químicos y biológicos que auto mantienen a los ecosistemas, y los servicios ecosistémicos, la interacciones entre estos y la vulnerabilidad en escenarios de pérdida de estos [65].

Para la aplicación del protocolo ECOSER es necesario contar con la siguiente información cartográfica en formato shapefile (SHP) Datum horizontal: WGS 84, proyección: Universal transversa de mercator (UTM), zona 17s: (i) los modelos digitales de elevación y terreno (MDT) (ii) las capas de uso y cobertura de la tierra (CUS), (iii) capas de recursos hídricos, (iv) mapas de tipos de suelo (MAGAP, 2015) y mapas con información climática proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). La información se procesó con los programas de uso libre QGIS versión 2.18 [101], gvSIG versión 2.3.1 [66], ArcGis versión 10.3 [47] y los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico RStudio versión 1.0.136 [96].

Toda la información cartográfica en formato raster tuvo la misma resolución (30x30m). Antes de utilizar la información fue necesario la homogenización de las categorías en función del nivel 2 así; la categoría de “CULTIVOS” estuvo compuesta por: cultivos semipermanentes, mosaico agropecuario, otras tierras agrícolas, cultivo anual y cultivo permanente, la categoría “PASTIZALES” compuesta por: pastizal, vegetación arbustiva y vegetación herbácea y por último la categoría “TIERRAS FORESTALES” compuesta por bosques nativos y plantaciones forestales.

2.3 Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo

Para estimar la función ecosistémica (FE) de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) se emplea la metodología propuesta por el Panel intergubernamental de

cambio climático [67] (Ecuación 1):

$$COS_i = COS_{Ref} * F_{lu} * F_{Fmg} * F_a \quad (1)$$

Donde:

COS_i es la cantidad de COS (Ton/ha) estimado en el pixel (i).

COS_{ref} es el contenido de COS (Mg/ha) bajo la condición de referencia (vegetación nativa sin disturbar).

F_{lu} es el factor de cambio relacionado al tipo de cobertura/uso del suelo.

F_{mg} es el factor de cambio relacionado a las diferentes prácticas de labores.

F_a es el factor de cambio que representa los distintos niveles de aporte de C al suelo.

Para el cálculo se utilizarán 3 insumos: i) COS_{ref} , capa raster donde el valor de cada pixel equivale a referencia de vegetación nativa sin disturbar (tabla I), ii) Capa de cobertura y uso de la tierra (LULC) y iii) la reclasificación de la cobertura y uso [68](tabla II)

Tabla I

*Referencias por defecto de Carbono orgánico (COS_{ref}) para suelos minerales (TM C/ Ha entre 0 y 30 cm de profundidad) **

Región climática	Suelos HAC1	Suelos LAC2	Suelos arenosos3	Suelos espódicos4	Suelos volcánicos5	Humadales 6
Boreal	68	NA	10	117	20	146
Templado frío, seco	50	33	34	NA	20	87
Templado frío, húmeda	95	85	71	115	130	
Templado cálido, seco	38	24	19	NA	70	88
Templado cálido, húmedo	88	63	34	NA	80	

Boreal, seco	38	35	31	NA	50	86
Tropical, húmedo	65	47	39	NA	70	
Tropical, muy húmedo	44	60	66	NA	130	
Tropical montano	88*	63*	34*	NA	80*	

**NA No aplica porque estos tipos de suelo no se encuentran en algunas zonas climáticas. Elaboración propia con datos de [69]

Tabla II

Factores de corrección según tipo de cobertura [67]

Cobertura	Flu	Fmg	Fa
Cultivo	0.69	1.08	1
Pastura y Pastizal	0.95	1	1
Forestación	1	1	1
Humedal	1	1	1
Bajo inundable	1	1	1
Urbano	0	0	0

Elaboración propia

Para la estimación del COS_{ref} se utilizó el mapa de los tipos de clima elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) así como el mapa de los tipos de suelo del MAGAP.

2.4 Almacenamiento de carbono en biomasa

Para estimar el almacenamiento de carbono en biomasa (carbono arbóreo, arbustivo y herbáceo y hojarasca sobre el suelo) se asignó un valor a CUS de contenido de carbono en biomasa. Se utilizaron valores de acuerdo a las bases bibliográficas globales de la

IPCC, y tablas de estimación de biomasa aérea [68] (tabla III).

Para esta FE se utilizó como insumo la CUS reclasificada según los factores de la tabla III.

Tabla III

Factores de almacenamiento según tipo de cobertura

Cobertura	Factor de almacenamiento de C en biomasa
Cultivo	5.67
Pastura y pastizal	1.22
Forestación	6.34

Elaboración propia con datos de [68]

2.5 Control de la erosión

La erosión y sedimentación son procesos naturales, pero en exceso pueden ocasionar impactos negativos como la reducción de la productividad agrícola, la contaminación de cuerpos de agua superficiales y su colmatación, entre otros. La magnitud del transporte de sedimentos en una cuenca se determina por varios factores. La variación natural en las propiedades del suelo, los patrones de precipitación y la pendiente crean patrones de erosión y de flujo de sedimentos [70] mientras que otros factores como la cobertura vegetal mantienen el suelo en su lugar y capturan los sedimentos durante su transporte.

Para cálculo se utilizó un estimador de la producción primaria neta (PPN), en este caso el índice diferencial de vegetación normalizado (IDVN) [71] siendo: (Ecuación 2)

$$\text{Control de la Erosión} = \text{PPN} * (1 - \text{cvPPN}) * (1 - \text{Pd}) \quad (2)$$

Donde:

PPN es el IDVN (0-100), calculado con la herramienta de gvSIG “NDVI” en la caja de herramientas a partir de una imagen satelital del satélite LANSAT 8, con fecha del 16 de

diciembre del 2016, para el cálculo se utilizaron las bandas rojas con un rango espectral de 0.636 – 0.673 μm y roja cercana con un rango de 0.851 – 0.879 μm [72]

P_d (0-1) es la pendiente del área de estudio y se estimó a partir del MDE del satélite ASTER con la herramienta “slope” de ArcGis.

2.6 Servicio de producción y regulación (IPR)

Este servicio permite identificar la superficie de la zona sin capacidad de producción de servicios o bienes de interés agropecuario (materias primas o alimentos) y sin provisión de regulación por falta de biomasa [71].

Para su cálculo se utilizó la siguiente Ecuación (Ecuación 3)

$$S_{\text{prod} - \text{regul}} = \text{IDVN} * (1 - cv \text{IDVN}) * (1 - Pa)$$

(3)

donde:

$S_{\text{produ-regul}}$ es la FE de producción y regulación

IDVN (0-100) es el índice diferencial de vegetación normalizado

P_a (0-1) es la superficie cubierta por cuerpos de agua, para lo cual se extrajo un raster de la capa de uso y cobertura de suelo del MAGAP con los cuerpos de agua de la zona de estudio.

2.7 Modelado del flujo de los sedimentos (exportación y transporte)

Para este cálculo se utilizó la herramienta “Transporte y acumulación de sedimentos” en

ArcGis en el ArcToolBox de ECOSER”. Los insumos utilizados se describen a continuación i) pérdida media anual de sedimentos (ver Control de la erosión), ii) subcuencas hidrográficas, para este caso se utilizó la herramienta “basin” de ArcGis para estimar las subcuencas de un MDE y se validó con el mapa de subcuencas del INAMHI, iii) MDE para cálculos como dirección del flujo y escurrimiento superficial (herramientas “FlowDirection” “FlowLength” de ArcGis) [70].

2.8 Provisión relativa de cada tipo de SE

La provisión relativa de los SE en la zona de estudio se obtuvo integrando las funciones ecosistémicas de los pasos anteriores, debido a que todas las SE tienen unidades diferentes se procedió a la normalización de valores en escala relativa de 0-100, para relativizar los valores se utilizó la siguiente ecuación [35]:

$$\frac{X_i - X_{min}}{X_{max} + X_{min}} * 100 \quad (4)$$

donde:

X_i es el valor original del pixel

X_{min} equivale al valor mínimo del conjunto de pixeles

X_{max} equivale al valor máximo.

Luego se ponderó en una matriz (tabla IV), el aporte de cada FE (filas) al SE (columnas) con una consulta a expertos (n=25), donde 0 era un aporte despreciable del FE al SE y 1 su máxima contribución.

Tabla IV

Matriz de integración para la valoración relativa de cada FE al SE [65]

Función ecosistémica	Servicio ecosistémico				
	regulación climática	amortiguación de inundaciones	disponibilidad de agua superficial limpia	disponibilidad de agua subterránea limpia	producción potencial de cultivos
almacenamiento de carbono orgánico en el suelo					
almacenamiento de carbono en biomasa					
control de la erosión					
producción y regulación					
acumulación de sedimentos					

*Se consultó expertos Ingenieros agrónomos de la Agencia ecuatoriana de aseguramiento de la calidad del agro (AGROCALIDAD) a través de una charla y correo electrónico. Los valores se ponderaron en base a una escala de 0 – 1 donde: 0 aporte despreciable y 1 aporte máximo. Elaboración propia con datos de [65].

Finalmente se integraron los mapas de SE con sus ponderaciones para obtener el flujo relativo de cada tipo de SE con la siguiente ecuación (Ecuación 5)

$$FSE_i = \sum b_{ij} * FE_j \quad (5)$$

Donde:

FSE es el flujo relativo de cada tipo de SE

B_{ij} es el aporte relativo del FE al SE

F_{Ej} es la combinación lineal de cada función ecosistémica

2.9 Cálculo de los beneficios

Para calcular los beneficios se utilizó la herramienta “beneficios” de la toolbox de ECOSER [35], este nos permitió generar un mapa mediante la utilización de la siguiente ecuación (Ecuación 6):

$$\text{Beneficio} = \text{Flujo de SE}_i * \text{Captura}_i$$

(6)

Donde:

Beneficio_i es la estimación de la posibilidad de capturar SE, mientras más cerca se encuentren del mismo.

Captura_i es la distribución de la población en la zona de estudio sobre la población total. Para calcular la distribución de la población se realizó una interpolación del número total de beneficiarios (tomado de las encuestas realizadas por el proyecto (n=480)) hacia toda el área de estudio mediante el método de interpolación de distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés).

III. RESULTADOS

3.1 Funciones ecosistémicas

Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (COS)

La distribución espacial de la FE COS (figura 8) mostró que el 83.64% del área estudio posee un almacenamiento de 11.30 Ton/Ha dado que es una zona de producción cultivos agrícolas; seguido por un almacenamiento de 22 Ton/Ha en el 14.62% de área donde predominan principalmente los pastizales; y por último un porcentaje mínimo del 1.74% posee 52.5 Ton/Ha que corresponden a tierras forestales (tabla V).

Tabla V

Valores totales (Ton/Ha) por CUS en el área de estudio

*CUS	AREA (Ha)	AREA (%)	*COS (Ton/Ha)	*COBIO (Ton/Ha)
CULTIVOS	280443.60	83.64	11.30	13.30
PASTIZAL	49013.94	14.62	22.00	4.34
TIERRAS FORESTALES	5823.80	1.74	52.50	21.58
TOTAL	335281.34	100.00	85.70	39.22

*CUS: Cobertura y uso de suelo; *COS: Carbono orgánico en el suelo; *COBIO: Carbono orgánico en el suelo. Elaboración autor.

Un análisis más detallado (tabla VI), muestra que el cantón Vínaces presentó los valores más altos de almacenamiento de COS con un 37.48% equivalente a 175.599 Ton, respecto a los cantones de Baba, Mocache y Palenque con 24.86%, 22.51 y 15.15% en su orden. De estos valores se puede inferir que el comportamiento variable de almacenamiento en los cantones bajo estudio se debe principalmente a la predominancia del desarrollo agrícola (cultivos de cacao y banano) como lo expresado en trabajos

interministeriales [64]

Tabla VI

Valores totales (Ton) de COS en cantones de la provincia de Los Ríos.

CUS*	COS* (Ton/CUS)				COS (%/CUS)			
	MOCACHE	PALENQUE	VINCES	BABA	MOCACHE	PALENQUE	VINCES	BABA
CULTIVOS	76859.87	51007.22	116712.95	80431.34	16.40	10.89	24.91	17.17
PASTIZAL	20686.25	15499.25	42051.75	32974.50	4.41	3.31	8.98	7.04
TIERRAS FORESTALES	7930.00	4485.00	16835.00	3055.00	1.69	0.96	3.59	0.65
TOTAL	105476.12	70991.47	175599.70	116460.84	22.51	15.15	37.48	24.86

*CUS: Cobertura y uso de suelo; *COS: Carbono orgánico en el suelo. Elaboración autor.

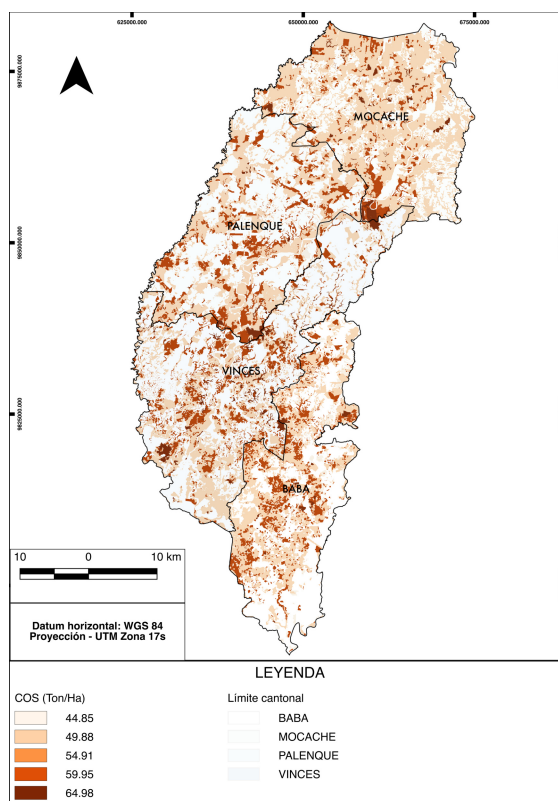


Figura 8.- Mapa de FE COS. Elaboración autor.

Por otro lado, los valores de almacenamiento de COS en el área de estudio varía entre 20 y 300 Ton, en función del tipo de cobertura cultivo y foresta como expresado por IPCC [69]

La diferencia de almacenamiento de COS se debe principalmente a los factores formadores de los suelos (pedología), y pueden mejorarse o degradarse en razón del tipo de uso y manejo que les dé en el tiempo [73]. De igual forma el contenido de COS en coberturas de cultivos y pastizales son relativamente más bajas que en coberturas de tierras forestales debido a que las actividades microbianas de zonas con altos contenidos de materia orgánica aumentan el contenido de carbono en el suelo a largo plazo y ayudan a su acumulación [74] [75]

Almacenamiento de carbono orgánico en biomasa (COBIO)

En la función COBIO (Figura 9) las tierras forestales presentaron un total de 21.58 Ton/Ha seguido de los cultivos y pastizales con 13.30 y 4.34 Ton/Ha respectivamente (Tabla V). En particular, el cantón Vinces presentó el porcentaje más alto de COBIO (Ton) con 36.25%, de este porcentaje el 32.94% corresponde a cultivos mientras que el 1.33% (tabla 7) a tierras forestales que representan por el total de área sembrada una mayor fuente de COBIO [64]. Mientras que Baba, Mocache y Palenque obtuvieron 24.83, 22 y 15.15% respectivamente, estos porcentajes se deben a que existe mayor superficie de cultivos [64].

Tabla VII

Valores totales (Ton) de COBIO en cantones de la provincia de los Ríos

CUS*	COBIO* (Ton/CUS)				(%/COBIO)			
	MOCACHE	PALENQUE	VINCES	BABA	MOCACHE	PALENQUE	VINCES	BABA
CULTIVOS	9009.63	5993.19	13783.77	9548.28	21.53	14.32	32.94	22.82
PASTIZAL	408.70	306.22	830.82	651.48	0.98	0.73	1.99	1.56

TIERRAS FORESTALES	368.14	201.48	555.68	189.94	0.88	0.48	1.33	0.45
TOTAL	9786.47	6500.89	15170.27	10389.70	23.39	15.53	36.25	24.83

*CUS: Cobertura y uso de suelo; *COBIO: Carbono orgánico en el suelo. Elaboración autor.

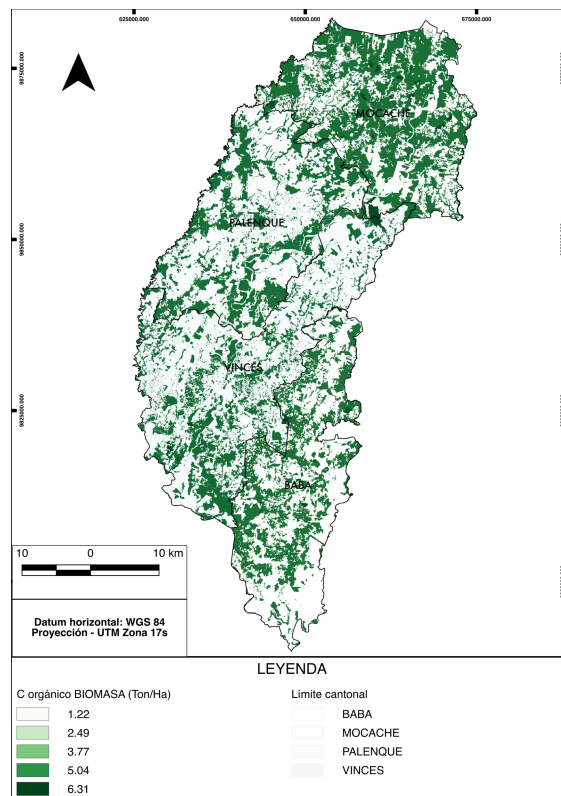


Figura 9.- Mapa de FE COBIO. Elaboración autor.

La diferencia de COS y COBIO entre las diferentes CUS, se infiere que se debe a las diferentes labores del suelo, puesto que los contenidos de CO en suelo poco laboreados son mayores que en suelos de uso intensivo [76], y concuerdan con los resultados obtenidos por Martin-Rueda, donde el COS en los primeros cm es mayor en suelos de bajo laboreo [77]. De igual forma coincide con lo dicho por Birch-Thomsen (2007), que evidenció que en el primer metro de profundidad del suelo los valores de CO representan

de 3 a 4 veces más que en la biomasa [78].

Control de la erosión

La erosión en el área de estudio fluctuó entre los 2.9 y 3.83 millones Ton/año (tabla 8), donde el cantón Mocache fue el más afectado por este factor físico con 3.83 millones de Ton/año, el cantón que menos erosión presentó fue Baba con 2.94 millones, de los cuales 2.1 equivalen a áreas de cultivos y 28879 Ton a tierras forestales.

Tabla VIII

Erosión calculada para los cantones en estudio (valores relativos)

CUS	CE*			
	BABA	MOCACHE	PALENQUE	VINCES
CULTIVOS	2116622	3315790	2460716	2308927
PASTIZAL	801747	400686	800865	869035
TIERRAS FORESTALES	28879	122194	70081	284895
TOTAL	2947248	3838670	3331662	3462857
%	21.70	28.27	24.53	25.50

*CE: control de la erosión. Elaboración autor.

Por otro lado, las frecuencias de ocurrencia de erosión entre 0 y 5 son mayores en los cantones Baba y Vínces con densidades (escala relativa de puntos) entre 0 – 0,085, mientras que en los cantones Mocache y Palenque no superaban las densidades de 0,075 (Figura 10). Los cantones que mayor erosión presentaron fueron Mocache y Vínces (28.2 y 25.5% en su orden), en ambos cantones las pendientes fueron mayores, entre 3.48 y 6.95% en su área según el cálculo a partir del MDT, las densidades entre 20 y 40 variaron entre 0 y 0,025.

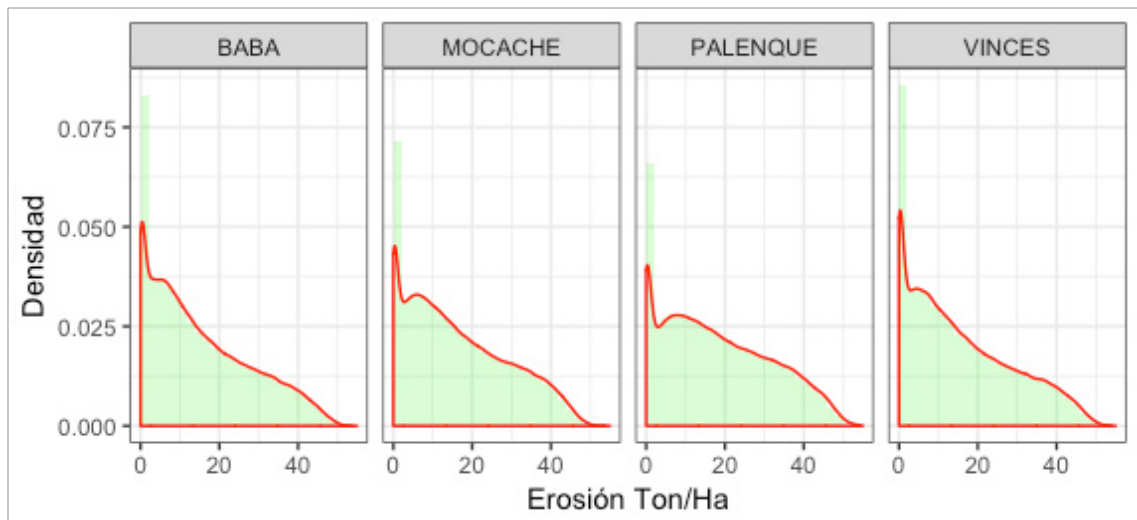


Figura 10.- Frecuencias de Erosión en la zona de estudio. Elaboración autor.

Estos valores se justifican en que la erosión ocurre en lugares donde la pendiente es mayor como lo analizado por Dunning (1994) [79], así como también el manejo de tierras de producción agrícola [80] debido a la necesidad de incrementar e intensificar la producción en lugares donde antes no se producía [81], un ejemplo de esto se puede citar a los sistemas de cultivos intensivos como el cacao, que están enfocados a mercados internacionales y que han ocasionado el uso de prácticas no apropiadas [79] y el cambio o modificación de terrenos desencadenando una aceleración excesiva de la erosión [82].

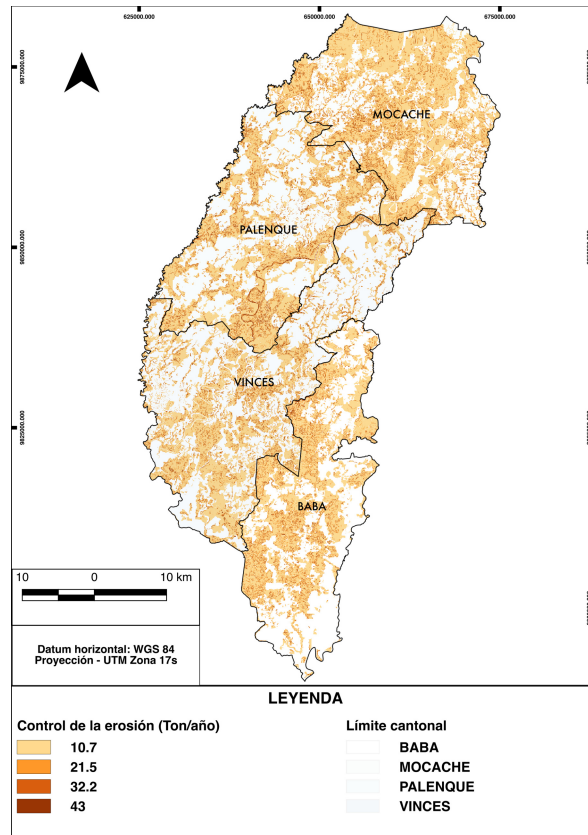


Figura 11.- Mapa de la FE control de la erosión. Elaboración propia.

Otro de los factores es el uso de maquinarias agrícolas en las actividades culturales ha acelerado los procesos de erosión en los suelos debido a la compactación de los mismos, lo cual hace importante conocer más sobre las implicaciones del uso de estas prácticas en diferentes escenarios [83].

Producción y regulación (PR)

Para esta FE se tomaron en cuenta los índices normalizados de vegetación y de áreas de las subcuencas hidrográficas con la finalidad de estimar las áreas donde no es posible generar SE y por ende regulación por la biomasa que ahí existe [71], se asume que la producción está ligada a la biomasa y que esta disminuye con la cobertura de la tierra de

cuerpos de agua [84] .

Tabla IX

Promedio de índices de producción y regulación (IPR)

CUS	IPR (valores estandarizados) *			
	BABA	MOCACHE	PALENQUE	VINCES
CULTIVOS	19.12	20.15	21.84	19.60
PASTIZAL	18.83	19.41	20.12	20.01
TIERRAS FORESTALES	16.43	16.96	17.79	18.64
Total	54.37	56.53	59.76	58.26
%	23.75	24.69	26.11	25.45

*PR: Índice de Producción y regulación. Elaboración autor.

Los resultados mostraron que en función de los valores de INDV y el área normalizada de las subcuencas hidrográficas, el índice PR varía entre 3.75 y 38.5 (Figura 10), los cuales se encuentran distribuido de forma homogénea en los cantones en estudio (tabla IX) con porcentajes de cobertura que varían entre 23.75 y 26.11%. De igual forma las frecuencias del IPR (Figura 12) mostraron que las mayores densidades se encontraron entre los índices de 5 y 15 con 0.03 y 0.04 mientras que el valor más bajo se encontró entre los rangos del índice 0 – 5 con una densidad de 0.01.

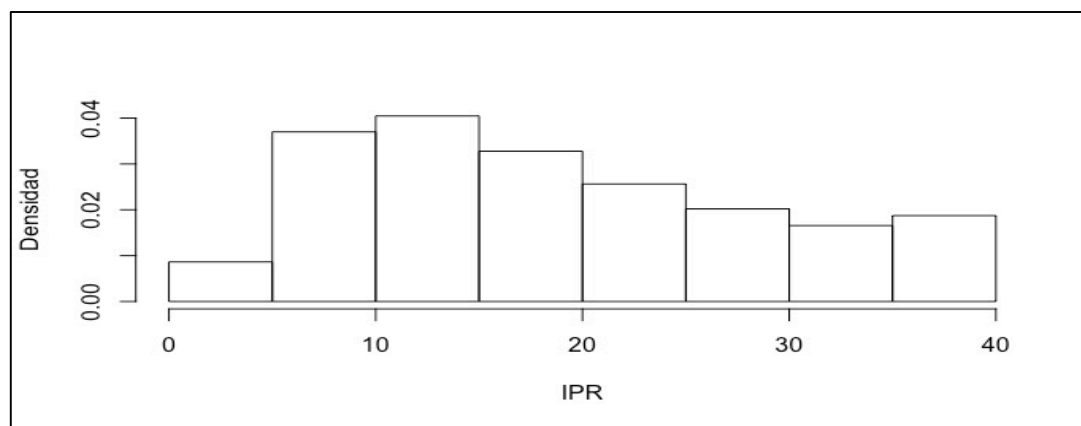


Figura 12.- Histograma de Índice de Producción y regulación (IPR) en el área de estudio. Elaboración propia.

Los porcentajes de frecuencia de los diferentes niveles del IPR se muestran en la tabla X donde: los niveles 7.8 – 11.7 y 11.7-16.6 fueron los que mostraron porcentajes más altos con 16.40 y 16% respectivamente mientras que el nivel 31.2 – 35.1 y 0 – 0.39 los más bajos con 6.50 y 0.90% en su orden.

Tabla X

*Frecuencias y porcentajes de 10 niveles de *IPR*

Nivel	Rango	Frecuencia	%	Frec_Acum	% Acum
1	-0.039 - 3.9	7.00E+03	0.90%	7.00E+03	0.90%
2	3.9 - 7.8	8.00E+04	9.80%	8.00E+04	10.60%
3	7.8 - 11.7	1.00E+05	16.40%	2.00E+05	27.10%
4	11.7 - 15.6	1.00E+05	16.00%	3.00E+05	43.10%
5	15.6 - 19.5	1.00E+05	13.40%	5.00E+05	56.50%
6	19.5 - 23.4	9.00E+04	11.10%	5.00E+05	67.50%
7	23.4 - 27.3	7.00E+04	9.00%	6.00E+05	76.60%
8	27.3 - 31.2	6.00E+04	7.60%	7.00E+05	84.10%
9	31.2 - 35.1	5.00E+04	6.50%	7.00E+05	90.60%
10	35.1 - 39	7.00E+04	9.40%	8.00E+05	100.00%

*PR: Producción y regulación. Elaboración propia.

En cuanto al IPR por cantón, este mostro una tendencia similar entre los cuatro cantones en estudio, sin embargo, Baba y Vínces mostraron una mayor densidad entre los niveles 0 – 10 con hasta 0.05 mientras que Palenque y Mocache con densidades más bajas de hasta 0.037 (Figura 13), sin embargo los cantones Mocache y Vínces fueron los cantones que mayor densidad mostraron en el rango de 10-25 con densidades de más de 0.04, lo que coincide con la cobertura descrita por el MAGAP [64]. La producción y regulación de una zona puede ser mantenida por la cantidad de biomasa de la misma, así; Richmond (2008) estableció una correlación positiva entre la biomasa y varios flujos de ecosistemas de provisión y regulación [85].

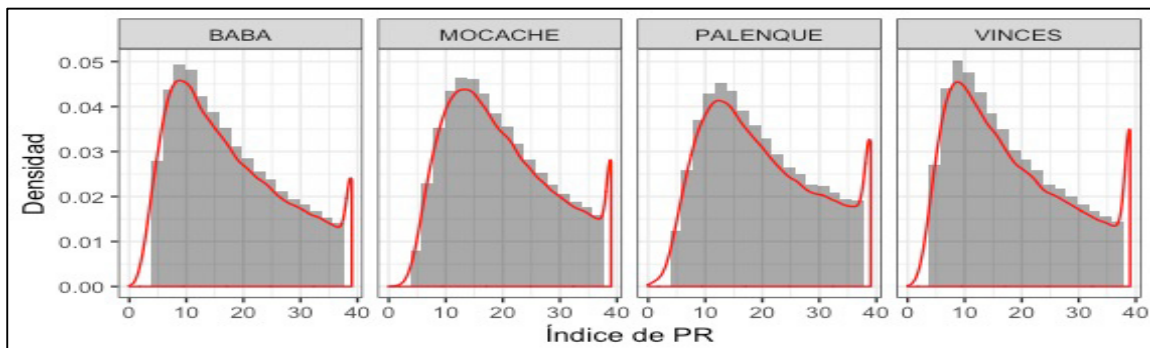


Figura 13.- Frecuencias de índice PR (Producción y regulación) en la zona de estudio. Elaboración propia.

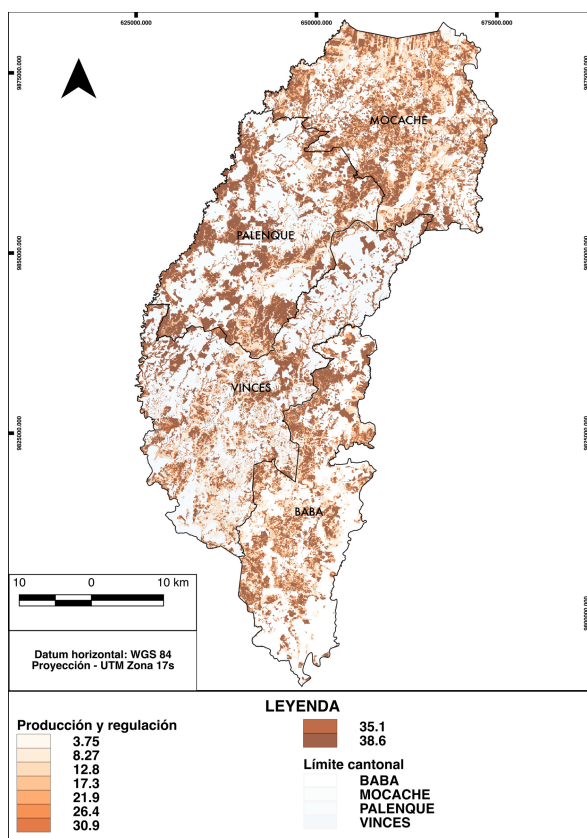


Figura 12.- Mapa de FE de Producción y Regulación. Elaboración propia.

Exportación y transporte (Acumulación de sedimentos)

La cantidad de sedimentos acumulados en el área de estudio se calculó a partir del valor en toneladas de pérdidas por erosión [86], el área de las subcuencas hidrográficas y la dirección y escurrimiento superficial del flujo. Los valores totales fueron llevados a la zona de estudio por CUS [64], presentando valores entre 1.2 y 1.6 millones Ton/año (Tabla XI) en los cantones Vínches y Mocache respectivamente, los que corresponde al 22.71 y 28.74% en su orden. Los cantones que presentaron menos sedimentación fueron Palenque y Baba con 25 y 22% respectivamente. Los valores de sedimentos transportados se deben principalmente al desarrollo de una agricultura intensiva y semi-intensiva (cacao, banano, maíz, etc.) en el área de estudio las mismas que presionan al suelo y aceleran su actividad geológica natural transformándolos en suelos infértiles [87]. De igual forma los sedimentos móviles cercanos a las riberas de los ríos pueden causar daños, como colmatación en los embalses o cerrado de los cauces naturales, así como pérdida de la materia orgánica de los suelos [88].

Tabla XI

Acumulación de sedimentos

CUS	AS*			
	BABA	MOCACHE	PALENQUE	VINCES
CULTIVOS	916884	1405287	1107155	857354
PASTIZAL	349880	168122	317284	338056
TIERRAS FORESTALES	11592	39953	22445	79128
Total	1278356	1613362	1446884	1274538
%	22.77	28.74	25.78	22.71

*AS: Acumulación de sedimentos. Elaboración autor.

El transporte y acumulación de sedimentos en la zona de estudio (figura 11) fluctúa entre 12.4 y 49.8 en los 4 cantones, muy por debajo de la media mundial de producción de

sedimentos que es de aproximadamente 150 Ton/año, aunque la media de China es de 1000 Ton/año [89], esto se debe principalmente a las condiciones del suelo, la baja erodabilidad, la cobertura vegetal, pendiente mayormente homogénea, precipitaciones moderadas y actividades agrícolas semi intensivas [89].

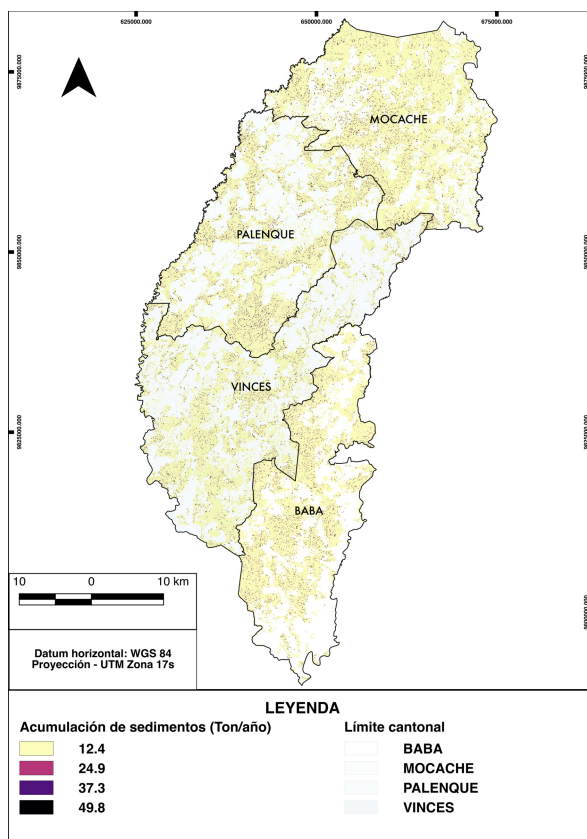


Figura 13.- Mapa de FE Acumulación de sedimentos. Elaboración autor.

3.2 Matriz integrada de ponderación

La integración y ponderación de las FE y los SE se realiza no solo para conocer el aporte de cada uno de los servicios en sí, sino para conocer el valor de los ecosistemas a través de sus características geomorfológicas, así como del uso del mismo [90], de igual forma

esta valoración servirá como herramienta para determinar los usos y beneficios de los SE y evitar futuros conflictos por el uso de la tierra [91]. Luego de la valoración realizada por los expertos se obtuvo que la FE que más aporta a los SE con 67% fue la COS, seguido del control de la erosión (CE) con 64%, además la acumulación de carbono orgánico en biomasa (COBIO) y el SE de producción y regulación con 58 y 52% respectivamente. Por otro lado, el SE que menor aporte tuvo, según el juicio de expertos fue la acumulación de sedimentos (AS) con 33% (tabla 11)

Tabla XII

Valoración del aporte relativo de cada FE a los SE

SE* \ FE*	AS	CE	COBIO	COS	PR	Total
AI	0.34	0.79	0.47	0.54	0.38	0.50
DAS	0.46	0.52	0.38	0.71	0.34	0.48
DASU	0.38	0.62	0.43	0.71	0.37	0.50
PPC	0.18	0.68	0.78	0.89	0.81	0.67
RC	0.26	0.58	0.83	0.50	0.72	0.58
Total	0.33	0.64	0.58	0.67	0.52	0.55

*AI (amortiguación de inundaciones), DAS (disponibilidad de agua superficial limpia), DASU (disponibilidad de agua subterránea), PPC (producción potencial de cultivos), RC (regulación climática), AS (acumulación de sedimentos), CE (control de la erosión), COBIO (carbono orgánico de la biomasa), COS (carbono orgánico en el suelo) y PR (producción y regulación). Elaboración autor.

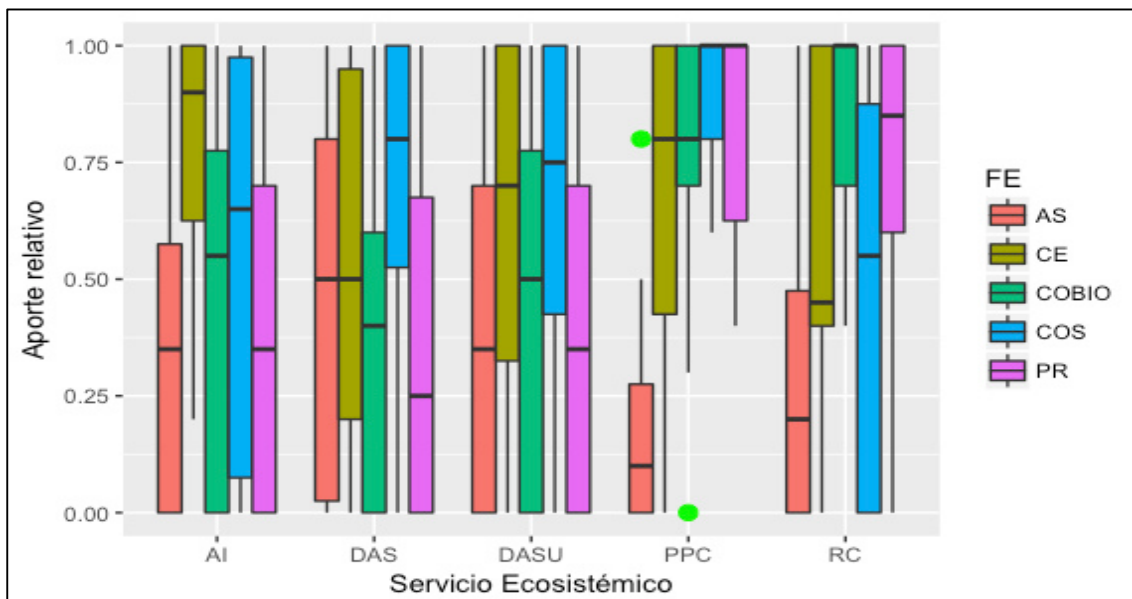


Figura 14. Valoración según criterio de expertos (n=20) del aporte de cada FE a los SE. Elaboración autor.

En cuanto a la valoración de los SE, se obtuvo que la producción potencial de cultivos (PPC) con 67% fue la más alta, seguido de la amortiguación a inundaciones (AI) y disponibilidad de agua subterránea (DASU) con 50% y la más baja calificación para la disponibilidad de agua superficial (DAS) con 48%.

Luego de calcular la provisión relativa de los servicios ecosistémicos (PRSE), se procedió a interceptar los resultados con los cantones del área de estudio de acuerdo a su clasificación geomorfológica según la jerarquización para zonas aptas para el cultivo de cacao y se encontró que los porcentajes de provisión en los cuatro cantones era similar con 24.59 y 25.18% (Tabla XIII) de variación máxima, los valores más altos se encontraron en la CUS “Tierras forestales” con 167 en Baba y Mocache y 146 y 153 de flujo relativo de SE en Palenque y Vínces en su orden esto se debe no solo a la consulta de expertos sino que la PRSE de una zona varía cuando las prácticas de manejo agrícola y las condiciones climáticas cambian [92].

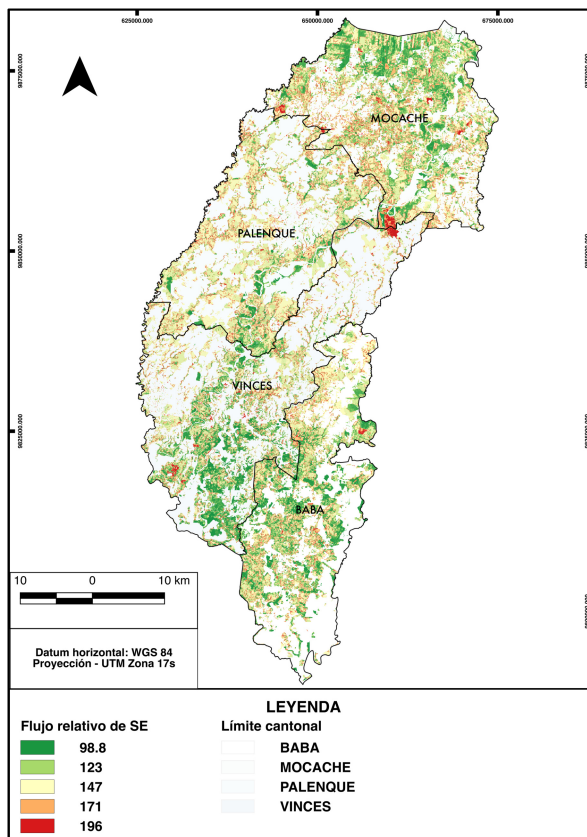


Figura 13.- Distribución espacial de la provisión relativa de los SE. Elaboración autor.

Tabla XIII

Provisión relativa de los servicios ecosistémicos

CUS	PROVISIÓN INTEGRADA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS			
	BABA	MOCACHE	PALENQUE	VINCES
CULTIVOS	136.83	135.68	148.26	137.61
PASTIZAL	133.66	133.24	142.66	136.98
TIERRAS FORESTALES	167.53	167.93	146.27	153.18
Total	438.02	436.85	437.19	427.77
%	25.18	25.11	25.13	24.59

El nivel de PRSE cumple con los principios básicos de Constanza (1997) puesto que estos se pueden seguir de forma de forma que: se pueda llevar un registro de su cambio en el tiempo, se pueda tener sistemas de alertas tempranas ante las amenazas a impactos,

sean de fácil medición, se pueda tener registro del cambio por actividad antrópica o por fenómenos naturales y que estas puedan ser comparadas en una escala regional [24].

3.3 Impacto de los servicios

El impacto de los servicios ecosistémicos estimado a partir de los beneficios (valores relativos) para los productores cacaoteros de la zona (n= 480) estuvieron entre 16.4 y 198; siendo los niveles 3 y 4 (16.4 - 39.1; 39.1 - 61.8) los que concentran mayores áreas de cobertura con 23.20 y 53.50% respectivamente, mientras que los niveles 9 y 10 corresponden a los valores más altos de impactos (153 – 175; 175 – 198) con porcentajes menores a 0.01%. (Tabla XIV).

Tabla XIV

Porcentajes de frecuencias de beneficios calculados para el área de estudio.

Nivel	Rangos	Frecuencia	Porcentaje
1	16.4 - 39.1	7.00E+03	23.20%
2	39.1 - 61.8	2.00E+04	53.50%
3	61.8 - 84.5	6.00E+03	18.40%
4	84.5 - 107	1.00E+03	3.30%
5	107 – 130	2.00E+02	0.60%
6	130 - 153	4.00E+01	0.10%
7	153 – 175	6.00E+00	0.00%
8	175 - 198	1.00E+00	0.00%

Nota. Elaboración autor.

Un análisis más detallado del comportamiento de los beneficios en el área de estudio mostró una distribución normal en los cuatro cantones (Figura 14). El cantón Mocache presento frecuencias de hasta 300 con valores de beneficios entre 25 y 50, mientras que Palenque, Vínces y Baba bordeaban frecuencias de 200.

Las altas frecuencias evidenciadas en el cantón Mocache se deben principalmente al desarrollo de actividades agrícolas (58.890 Has), donde uno de los cultivos más

significativos es el cacao (15.000 Has) [64]. Mientras, los cantones Baba, Palenque y Vínces mostraron predominancia de cultivos de ciclo corto como el maíz y el arroz, cuyas actividades agrícolas someten a los ecosistemas a una gran presión antrópica, lo que supone un desequilibrio en la captura de los SE por la alteración de los ecosistemas [93].

Por lo tanto, se puede inferir que la cantidad de hectáreas con cacao en cada cantón influye positivamente en la captura y provisión de beneficios de SE puesto que el Cacao es considerado como un cultivo de importancia tanto ecológica como ambiental, por su capacidad de generar materia orgánica, de regular el micro clima, por su facilidad de intercambiar nutrientes, evitar la erosión y promover la actividad macro y micro biótica del suelo, entre otras [94].

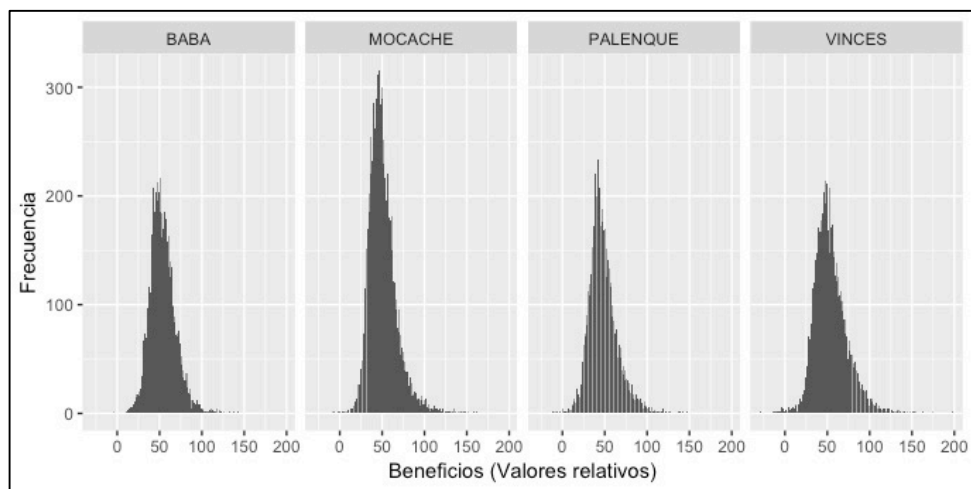


Figura 14.- Histogramas de frecuencia de beneficios en el área de estudio por cantón, Elaboración autor.

En cuanto a la relación entre los beneficios de los SE y los beneficiarios (figura 15), se encontró que el coeficiente de r^2 fue de 0.72, lo que nos indica una relación muy fuerte entre las dos variables dado que los beneficios de los SE se describen principalmente a partir de las potencialidades de las zonas en función de los ecosistemas que los rodean [95].

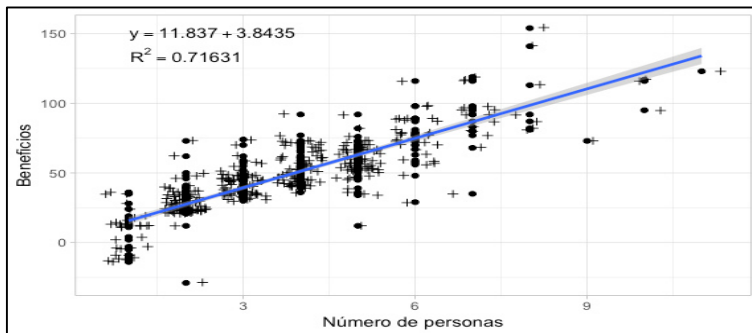


Figura 15.- Relación entre número de personas y beneficios (valores relativos). Elaboración autor.

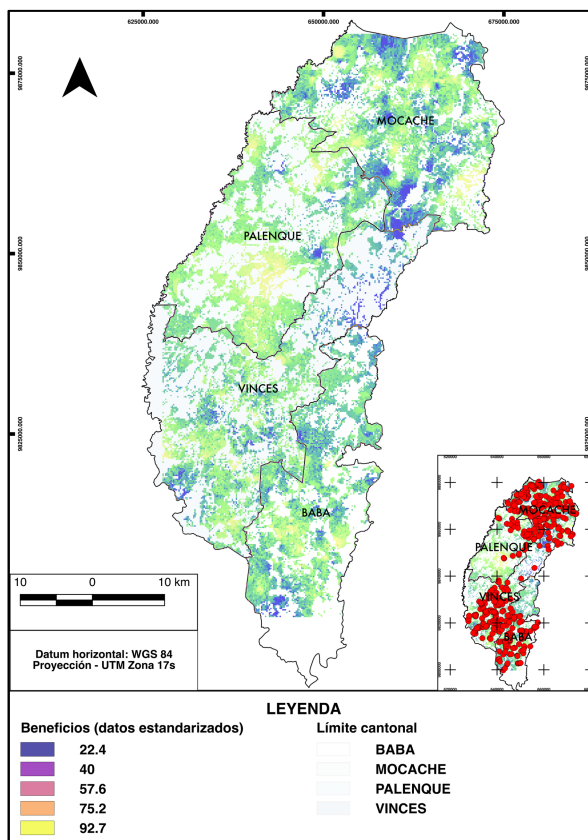


Figura 16.- Mapa de Beneficios de los SE en la zona de estudio. Elaboración autor.

IV. CONCLUSIONES

La utilización de protocolos con información cartográfica base, permite hacer una evaluación preliminar global, sin la necesidad de tener que hacer muestreos de tipo destructivo o de campo, disminuye costos y se pueden tomar decisiones de adaptación a niveles regionales o municipales.

En el marco de la aplicación del protocolo ECOSER, este presenta la ventaja de que puede incluir la consulta a expertos para dar peso a la información calculada sin embargo la desventaja es que al ser un protocolo de evaluación preliminar los datos deben ser validados en campo.

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la metodología utilizada es aún muy subjetiva al momento de acercarnos a una estimación de los servicios ecosistémicos de un área por la complejidad de la relación entre la información base, esto hace imperativa la necesidad de trabajar con los gobiernos locales que son los que toman las decisiones relacionadas al manejo de ecosistemas y cambios y usos de suelo, con la finalidad de generar políticas y guías para el desarrollo.

Si bien es cierto la mayoría de los mapas finalmente se convierten en información netamente empírica, puede ser utilizada para concienciar a la población y enseñarles la importancia de los SE y su rol dentro de la conservación de la biodiversidad.

La aplicación del protocolo ECOSER mostro que el 83% del área de estudio posee un estimado de 11.30 Ton/Ha de COS correspondiente a áreas de cultivo mientras que las tierras forestales 52.50 Ton/Ha que equivalen a un 1.74% del área total de estudio.

El COBIO en cultivos fue estimado en 13.30 Ton/Ha para cultivo y en 21.58 Ton/Ha para tierras forestales mientras que para pastizales fue 4.34 Ton/Ha.

El cantón que más erosión presento fue Mocache con 3.83 millones de Ton/año mientras que Baba con 2.94 millones Ton/Ha fue el menor, los rangos de erosión van desde 10.7 a 43 Ton/año dependiendo de la zona.

La producción y regulación de SE por la biomasa en el orden de 3 – 38/100 debido a que la variación de la biomasa es baja en algunas zonas, tendiendo a la protección y regulación debido a su relación con los flujos de SE.

El transporte y acumulación de sedimentos fue mayor en los cantones Vínces y Baba con 1.2 y 1.6 millones Ton/año respectivamente mostrando una variabilidad espacial de entre 12.4 y 49.8 Ton/Ha/año, debido principalmente a la variabilidad de cultivos y tipos de cobertura de la zona.

La FE que más puntaje obtuvo entre los expertos fue el COS con un promedio de 0.67/1, 3 centésimas más que la erosión con 0.64/1. El coeficiente de variación más alto se presentó al momento de calificar la PPC con 0.37 y los más bajos en AI y DAS con 0.17. La aplicación de este tipo de metodologías permitirá a los tomadores de decisiones planificar a largo plazo el uso de los SE en pos del desarrollo sustentable de los agricultores, tomando en cuenta medidas de adaptación y mitigación en largo y corto plazo.

Los niveles de frecuencias que más porcentajes de captura de beneficios fueron los niveles 3 y 4 (16.4 - 39.1; 39.1 – 61.8) con 23.20 y 53.50% respectivamente, mientras que los niveles 9 y 10 (153 – 175; 175 – 198) correspondían a porcentajes menores a 0.01%.

La relación de los SE y los beneficiarios fue de muy buena mostrando un r^2 de 0.72 lo que nos indica una buena interacción entre estas dos variables.

V. RECOMENDACIONES

Para lograr que los análisis sean lo menos subjetivos posibles, es recomendable la utilización de datos validados en campo. La toma de información valedera de campo como input genera mayor confianza en los resultados finales, de esta forma se generarán estimaciones que sean confiables acerca del valor real de los ecosistemas

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Pullanikkati, Mapping of provisionin Ecosystems Services in Likangala River Catchment, Zomba, Southern Malawi, N. University, Ed., Malawi, 2014.
- [2] C. Butler y Oluoch-Kosura, «Linking future ecosystem services and future human well-being,» *Ecology and Society*, pp. 11-30, 2006.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, I. Press, Ed., Washington, DC, 2005.
- [4] G. Daily, Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems, Washington, DC: Island Press, 1997, p. 392.
- [5] P. Ehrlich y A. Ehrlich, «Solving the human predicament,» *International journalof environmental studies*, pp. 557-565, 2012.
- [6] M. Schönhart, H. Mitter, E. Schmid, G. Heinrich y A. Gobiet, «Integrated analysis of climate change impacts and adaptation measures in Austrian agriculture.,» *Ger. J. Agric. Econ*, pp. 156-176, 2014.
- [7] J. P. Schagner, B. Luke, J. Maes y H. Volkmar, «Mapping ecosystem services' values: Current practice and future prospects,» *Ecosystem Services* , pp. 33-46, 2013.
- [8] B. Egoh, G. Drakou, M. Dunbar, J. Maes y L. Willemen, «Indicators for mapping ecosystem services: A reviewen,» 2012.
- [9] FAOSTAT, «FAOSTAT,» 24 10 2016. [En línea]. Available: <http://faostat3.fao.org/search/cacao/E>. [Último acceso: 2016].
- [10] ICO, «Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, XLI(2),» 2015.
- [11] ICCO, «Quarter bulletin Cocoa stat,» 2012.
- [12] Y. Clough, H. Faust y T. Tscharntke, «Cacao boom and bust: sustainability of agroforests and opportunities for biodiversity conservation,» *Conservation. Lett*, pp. 197-205, 2009.
- [13] J. Beer, R. Muschler, D. Kass y E. Somarriba, «Shade management in coffee and cocoa plantations,» *Agroforestry systems*, p. 139-164., 1998.
- [14] M. Bos, I. Steffan-Dewenter y T. Tscharntke, «Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao,» *Agric. Ecosyst. Environ*, pp. 201-205, 2007.
- [15] R. Rice y R. Greenberg, «Cacao cultivation and the conservation of biological diversity,» *Ambio*, vol. 29, pp. 167-173, 2000.
- [16] R. Asare, «World Cocoa Foundation Partnership Conference,» de *A review on cocoa agroforestry as a means for biodiversity conservation*, Denmark, 2006.

- [17] B. Duguma, J. Gockowski y J. Bakala, «Smallholder cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agro-forestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities.,» *Agroforestry*, pp. 177-188, 2011.
- [18] E. Nelson y G. Daily, «Modelling ecosystem services in terrestrial systems.,» *F1000 Biology*, nº 2, p. 53, 2010.
- [19] K. S. D. W. S. W. R. 2. Bagstad, «A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation.,» *Ecosyst. Serv.* , pp. 27-39, 2013.
- [20] N. Bockstael, «Modelling economics and ecology: the importance of a spatial perspective.,» *American Journal of Agricultural economics*, vol. 78, pp. 1168-1180, 1996.
- [21] E. Lambin, B. Turner, S. Agbola y A. Angelsen, «The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths.,» *Global Environment*, pp. 261-269, 2001.
- [22] I. Bateman, J. Brainard y A. Lovett, «Modelling Woodland Recreation Demand Using Geographical information Systems: A benefit transfer Study.,» *GEC*, pp. 95-106, 1995.
- [23] J. Eade y D. Moran, «Spatial economic valuation: benefits transfer using geographical information systems.,» *Journal of Environmental Management*, pp. 97-110, 1996.
- [24] R. Constanza, R. D arge, R. Groot, S. Farberk, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. Oneill, J. Paruelo y R. Rasking, «The value of world's ecosystem services and natural capital.,» *Natre*, pp. 253-260, 1997.
- [25] I. Bateman, A. Harwood, G. Mace, R. Watson, D. Abson, B. Andrews, A. Binner, A. Crowe, B. Day, S. Dugdale, C. Fezzi, J. Foden, D. Hadley, R. Haines-Young, M. Hulme, A. Kontoleon, A. Lovett, P. Munday, U. Pascual, J. Paterson, G. Perino, A. Sen, G. Siriwardena, D. van Soest y M. Termansen, «Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom.,» *Science*, pp. 45-50, 2013.
- [26] S. Carpenter, H. Mooney, J. Agard, D. Capistrano y R. Defries, «Science for managing ecosystem services: beyond the millennium ecosystem assessment.,» *PNAS*, pp. 1305-1312, 2009.
- [27] R. De Groot, M. Wilson y R. Boumans, «A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services.,» *Ecological Economics*, pp. 393-408, 2002.
- [28] USEPA, Ecological benefits assessment strategic plan, Washington, DC: SAB Review Draft, 2004.

- [29] J. Boyd y J. Banzhaf, «What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units,» *Ecological Economics*, pp. 616-626, 2007.
- [30] B. Fisher y K. M. P. Turner, «Defining and classifying ecosystem services for decision making,» *Ecological economics*, pp. 643-653, 2009.
- [31] C. Berlanga-Robles y A. Ruiz, «Esquema de clasificación de los humedales en México,» *Investigaciones geográficas*, pp. 25-46, 2008.
- [32] V. Camacho y A. Ruiz, «Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos,» *Bio ciencias*, pp. 3-15, 2011.
- [33] R. Turner, S. Georgious y B. Fisher, *Valuing ecosystem services: The case of multi-functional wetlands*, London: Cromwell press, 2008, p. 240.
- [34] B. Burkhard, N. Crossman, S. Nedkov, K. Petz y R. Alkemade, «Mapping and modelling ecosystem services for science, policy and practice,» *Ecosystem Services*, pp. 1-3, 2013.
- [35] P. Laterra, A. Barral, L. Carmona y Nahuelhual, «Focusing conservation Efforts on Ecosystem service supply may increase Vulnerability of socio-ecological systems,» *PloS One*, vol. 11, 2016.
- [36] C. Tomlin, *Geographic information systems and cartographic modelling*, Prentice Hall, 1990.
- [37] J. Star y J. Estes, «Geographic information systems: An Introduction,» *Prentice-Hall*, 1990.
- [38] V. Olaya, *Sistemas de información Geográfica*, vol. I, 2011, pp. 24-25.
- [39] A. Coleman y J. Galbraith, «Using GIS as an agricultural land-use planning tool,» Virginia, 2015.
- [40] P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire y D. Rhind, «Geographic information systems and science,» *Wiley*, 2006.
- [41] O. Suarau y A. OrevaOghene, «GIS Applications in agronomy,» de *Geospatial Technology - Environmental and Social Applications*, INTECH, 2016, pp. 219-220.
- [42] B. Basso, T. McVicar, B. Lee, H. Yazdanpanah y H. Das, «Remote sensing and GIS applications in agro meteorology,» *Guide to agricultural meteorological practices*, p. 53, 2005.
- [43] E. Usery, S. Pocknee y B. Boydell, «Precision farming data management using geographic information systems,» *Photogrammetric engineering and remote sensing*, pp. 1383-1391, 1995.
- [44] P. Burrough, «Principles of geographical information systems for land resource assessment,» *Oxford university press*, 2006.

- [45] I. Environmental Systems Research Institute, Getting to know ArcView GIS, 3rd Edition ed., California: ESRI, 1999.
- [46] B. Rao, «Remote sensing and GIS-Its applications in soil science,» de *Proceedings of National Symposium on Soil Science Research*, Kolkata, 2007.
- [47] V. Senthurpandian, S. Jayaganesh, S. Srinivas y N. M. N. Palani, «Application of geographic information system to fertility management of tea soils of Anamallais,» *Asian Journal of earth Sciences*, pp. 136-141, 2010.
- [48] ESRI, «Enterprise geographic information servers: A new information system architecture. A esri white paper,» 2003.
- [49] D. Andes, «The components of the GIS evolved,» 24 10 2003. [En línea]. Available: <http://gislounge.com/the-components-of-gis-evolve>. [Último acceso: 2016].
- [50] J. Cuatrecasas, «Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*,» pp. 379-614, 1964.
- [51] M. De la cruz, R. Whitkus y L. Mota-Bravo, «Origins of cacao cultivation,» *Nature*, pp. 542-543, 1995.
- [52] J. Motamayo, P. Lachenaud, J. Da silva y R. Loor, «Geographic and genetic population differentiation of Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L),» *Plos one*, p. 3311, 2008.
- [53] J. Yang, A. Lambert, D. Hannes, M. Kamaldeo y Cronk, «Chloroplast microsatellite primers for cacao (*Theobroma cacao*) and other Malvaceae,» *American Journal of Botany*, pp. 372-374, 2011.
- [54] E. Cheesman, «Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations,» *Tropical Agriculture*, pp. 144-159, 1944.
- [55] D. Puciarelli, «Cocoa and heart health: A historical review of the science,» *Nutrients*, vol. 5, pp. 3854-3870, 2013.
- [56] P. Vargas, V. Ciobota, W. Salinas, B. Kampe, P. Aponte, P. Rosh, J. Popp y L. Ramos, «Distinction of Ecuadorian varieties of fermented cocoa beans using Raman spectroscopy,» *Food Chemistry*, pp. 274-280, 2016.
- [57] M. Almeida, *Análisis sobre el desarrollo de la comercialización internacional del cacao nacional fino o de aroma del 2002 al 2012, su producción e impacto político, económico y social*, Quito: Universidad Pontificia, 2014.
- [58] I. Herrmann, J. Haase, M. Blauhut, N. Barz y M. Fischer, «DNA-based differentiation of the Ecuadorian cocoa types CCN-51 and Arriba based on sequence differences in the chloroplast genome,» *Journal of agricultural chemistry*, pp. 12118-12127, 2014.

- [59] C. p. Compendium, «CABI,» 12 11 2016. [En línea]. Available: <http://www.cabi.org/cpc/ebook/20153099610>. [Último acceso: 2016].
- [60] J. Cuatrecasas, *Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus Theobroma*, 1964, pp. 379-614.
- [61] E. Eshett, P. Ay, J. Omueti y A. Juo, «A cocoa based cropping system on basaltic soils in southeastern Nigeria,» *Beitrage zur Tropischen Landwirtschaft und eterinarmedizin*, pp. 13-24, 1991.
- [62] W. Köppen, «: Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle),» *Petermanns Geografy*, p. 193'203, 1918.
- [63] G. L. Ríos, «Gobierno autónomo descentralizado de Los Ríos,» 15 01 2013. [En línea]. Available: http://www.los-rios.gov.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=file&id=116%3Aplan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial&start=30. [Último acceso: 15 11 2016].
- [64] S. M. Magap, «Mapa de cobertura y uso de la tierra,» Quito, 2015.
- [65] P. Lattera, P. Barral, A. Carmona y L. Nahuelhual, *ECOSER: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial*, INTA, Ed., San Luis, 2015.
- [66] g. Asociación, «Asociación gvSIG,» 11 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.gvsig.com/es>. [Último acceso: 11 01 2017].
- [67] IPCC, «Generic methodologies applicable to multiple land-use categories,» *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, pp. 1-59, 2006.
- [68] IPCC, «Cropland,» *Guidelines for National Greenhouse Gas inventories*, pp. 1-66, 2006c.
- [69] IPCC, «Guidelines for National Greenhouse Gas inventories,» *Forest lands*, 2006.
- [70] M. Barral, «Tutorial para el mapeo de funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos. Protocolo ECOSER,» La Plata, 2015.
- [71] P. Lattera, E. Jobbagy y J. Paruelo, *Valoracion de servicios ecosistémicos, Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*, INTA, Ed., Buenos Aires, Buenos Aires: INTA, 2011.
- [72] E. Viglizzio, A. Pordomingo, M. Castro y G. Lertora, «Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the pampas of Argentina.,» *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 87, p. 169'195, 2003.

- [73] FAO, CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS PARA UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA, Roma: Institut national de recherche agronomique, 202.
- [74] C. Petersen, L. Drinkwater y P. Wagoner, «The Rodale Institute's Farming Systems Trial. The First 15 Years,» *Rodale Institute*, 2000.
- [75] F. Tebruegge, *No-tillage visions - proteccion of soil, water and climate*, I. f. A. Engineering, Ed., Giessen: Justus-Liebig University, 200.
- [76] A. Sombrero, A. De-Benito y M. Diéz, «Secuestro de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes sistemas de laboreo y rotaciones de cultivo en condiciones semiáridas de Castilla y León, España,» de *Congreso Europeo de Agricultura de Conservación*, Madrid, 2010.
- [77] M.-R. I., L. Muñoz-Guerra, F. Yunta, E. Esteban, J. Tenorio y J. 2. Lucena, «Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a Calcicortidic Haploxeralf,» *Soil Tillage Research*, pp. 1-9, 2007.
- [78] T. Birch-Thomsen, B. Elberling, B. Fog y J. Magid, «Temporal and spatial trends in soil organic carbon stocks following maize cultivation in semi-arid Tanzania, East Africa,» *Nutrient Cycle agroecosystems*, pp. 291-302, 2007.
- [79] N. Dunning y T. Beach, «Soil Erosion, Slope Management, and Ancient Terracing in the Maya Lowlands,» *Society for American Archaeology*, pp. 51-69, 1994.
- [80] J. ARNÁEZ, P. RUIZ-FLAÑO, T. LASANTA, L. ORTIGOSA, J. LLORENTE, N. PASCUAL y N. LANA-RENAULT, «EFECTOS DE LAS RODADAS DE TRACTORES EN LA ESCORRENTÍA Y EROSIÓN DE SUELOS EN LADERAS CULTIVADAS CON VIÑEDOS,» *Cuadernos de investigación Geografica*, pp. 115-130, 2012.
- [81] J. García-Ruiz y F. Lopez, «La erosión del suelo en España,» *Sociedad Española de Geomorfología*, p. 441, 2009.
- [82] R. Cots, J. Martínez y M. Ramos, «Agricultural trajectories in a Mediterranean mountain region (Priorat. NE Spain) as a consequence of vineyard conversion plan,» *Land Degradation and Development*, pp. 1-13, 2009.
- [83] S. Materechera, «Tillage and tractor traffic effects on soil compaction in horticultural fields used for peri-urban agriculture in a semi-arid environment of the North West Province, South Africa,» *Soil & Tillage Research*, pp. 11-15, 2009.
- [84] E. Odum y H. Odum, «Natural Areas as Necessary Components of Man's Total Environment,» de *Transactions of the 37th North American wildlife and natural resources Conference*, Washinton DC, 1972.
- [85] A. Richmond, R. Kaufmann y R. Myneni, «Valuing ecosystem services: a shadow price for net primary production,» *Ecology Ecomomics*, pp. 654-462,

- 2008.
- [86] P. Laterra, E. Jobbagy y J. Paruelo, «Valoración de servicios ecosistémicos, Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial,» 2011.
- [87] J. García y F. López, «La erosión del suelo en España,» *Sociedad Española de Geomorfología*, p. 441, 2009.
- [88] G. Kaless, B. Montero y W. Greco, «Cambios hidrológicos y morfológicos en el Río Chubut aguas abajo de la presa Florentino Ameghino,» *V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos*, 2008.
- [89] D. Walling y B. Webb, «Erosion and Sediment Yield: a global overview,» IAHS Publication, Wallingford, 1996.
- [90] F. Müller, «Indicating ecosystem and landscape organisation,» *Ecological indicators*, pp. 280-294, 2005.
- [91] P. Vihervaara, A. Kumpula, A. Tanskanen y B. Burkhard, «Ecosystem services - A tool for sustainable management of human-environment systems. Case study Finnish Forest Lapland,» *Ecological Complexity*, pp. 410-420, 2010.
- [92] F. Rositano y O. Ferraro, «Ecosystem services provided by agroecosystems: A qualitative and quantitative assessment of this relationship in the Pampa region, Argentina,» *Environmental Management*, pp. 606-619, 2014.
- [93] S. Díaz, «Biodiversity regulation of ecosystem services,» *Current state and trends*, vol. 1, 2006.
- [94] A. Bolívar, M. Toro, M. Sandoval y M. López, «Importancia ambiental y socioeconómica de las micorrizas en el cultivo de cacao caso: Hacienda cata, Municipio de costa de oro, Estado aragua,» *Agronomía Tropical*, pp. 492-501, 2009.
- [95] E. Corredor, J. Fonseca y E. Páez, «Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano,» *UNAD*, pp. 77-83, 2012.
- [96] W. Bank, «World Bank,» 2000. [En línea]. Available: <http://siteresources.worldbank.org/INTPOVERTY/Resources/335642-1124115102975/1555199-1124115201387/cry.pdf>. [Último acceso: 24 09 2016].
- [97] FAO, «Food and Agriculture organization,» 10 10 2016. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>. [Último acceso: 10 10 2016].
- [98] H. Wickham, «ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis,» *Springer-Verlag*, 2009.

- [99] R. C. Team, «R: A language and environment for statistical computing,» *R Foundation for Statistical computing*, 2016.
- [100] K. Renard, G. Foster, G. Weesies y J. Porter, «RUSLE: Revised Universal Erosion Equation,» *Journal of soil and water Conservation*, pp. 30-33, 1991.
- [101] W. Wischmeier y D. Smith, «Predicting Rainfall Erosion Losses —A Guide To Conservation Planning,» 1978.
- [102] P. Bolton, P. Bradbury, L. P y E. Atkinson, CALSITE V 3.1 - User Manual, HR Walling, 1995.
- [103] J. Riquier, L. Bramaio y S. Cornet, «A new system or soil appraisal in terms of actual and potential productivity,» *FAO Soil Resources, Development and Conservation Service*, 1970.
- [104] Q. D. Team, «QGIS Geographic Information System,» 2009.
]
- [105] FAO, «FAOSTAT online database,» 6 12 2016.
]