

# **Valoración económica de servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas**

## **PRIMER INFORME**

Autores:

Alonso Aguilar Ibarra  
José Mauricio Galeana Pizaña,  
Aldo Daniel Jiménez Ortega,  
Juan Manuel Núñez

Fecha: Noviembre 2017

## **Resumen**

Este informe da cuenta de los avances de la primera etapa del proyecto Valoración de los Servicios Ecosistémicos en el Complejo Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas (263289). Los resultados hasta ahora obtenidos, han cumplido con creces las metas y objetivos planteados, gracias a la estrecha colaboración que se ha establecido con la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) que actualmente desarrolla junto con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) el proyecto EcoValor Mx ([www.ecovalor.mx](http://www.ecovalor.mx)). Este proyecto tiene como objetivo generar conocimiento y comunicar de manera diferenciada el valor de los bienes y servicios que las Áreas Naturales Protegidas (ANP) proveen a la sociedad, a usuarios, habitantes y tomadores de decisiones. Con esta información, se busca coordinar a los tres niveles de gobierno, así como a actores relevantes dentro y fuera del sector ambiental, para incluir el enfoque de servicios ecosistémicos en la elaboración e implementación de políticas públicas e instrumentos económicos. En este marco, hasta ahora se han implementado los primeros tres pasos de la metodología propuesta y se ha llevado a cabo el primero de los tres talleres comprometidos por el proyecto.

Para esta etapa del proyecto las metas alcanzadas incluyen resultados sobre el análisis de las ventajas y desventajas de las distintas metodologías de valoración económica que podrían ser implementadas para la región de estudio, de acuerdo con la metodología planteada; así como la inserción de dos estudiantes de licenciatura. El resultado de los productos específicos es reportado a lo largo de este informe. Con respecto de la revisión bibliográfica de las metodologías y casos de valoración de bienes y servicios asociados a los ecosistemas forestales en México y en otros países, se llevó a cabo una revisión de los estudios disponibles sobre servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas, cuyo resultado se detalla en la segunda sección de este informe. De igual manera y en relación con la propuesta de elementos metodológicos para la evaluación de servicios ecosistémicos identificados como prioritarios en la región, presentada en la tercera sección, se incorporaron dos alumnas de licenciatura de la carrera de Ingeniería Geomática de la UNAM como asistentes de proyecto. Mismas que desarrollaron la tesis titulada “Modelo de calidad de hábitat y corredores para la evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos en el complejo Sierra Madre de Chiapas”. Los resultados de este trabajo de tesis, así como del resto de las actividades llevadas a cabo por el grupo de trabajo, son consignados en la cuarta sección; mientras que los pasos a seguir en la segunda etapa del proyecto son enlistados en la sección final de este informe.

## **1 Descripción de la situación del estudio**

### **1.1. Antecedentes y descripción del informe**

Este informe presenta los resultados de la primera etapa del proyecto **Valoración de los Servicios Ecosistémicos en el Complejo Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas**, del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT con Clave SEMARNAT-2015-1-263289. El objetivo general de este proyecto es desarrollar un estudio de caso de valoración económica en el complejo Sierra Madre de Chiapas que contribuya a la conservación de las Áreas Naturales Protegidas que lo integran, al mantenimiento del equilibrio ecosistémico y a la armonización social –ambiental económica de la región.

El reporte se divide en las siguientes tareas

- **Tarea 1:** Identificación de estudios y ejercicios orientados al monitoreo, mapeo y modelación de servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas.
- **Tarea 2:** revisión metodológica de marcos para el estudio de caso en donde se puedan valorar servicios ecosistémicos asociados relacionados con los temas estratégicos identificados

Para cada tarea, un objetivo de investigación fue planteado de acuerdo con la primera etapa del proyecto:

- 1) Identificar la disponibilidad de información pertinente para caracterizar, desde una perspectiva biofísica, los servicios ecosistémicos que se desean valorar.
- 2) Desarrollar una revisión sistemática de las metodologías de valoración económica en México y en otros países, que permita construir un caso de estudio en donde se puedan valorar servicios ecosistémicos asociados a algunos de los temas estratégicos que el GSM ha identificado como prioritarios en la región: seguridad alimentaria, provisión de agua, energía eléctrica y reducción del riesgo de desastres.

El trabajo resultante de estas dos tareas se reporta en las diferentes secciones de este informe técnico parcial.

El informe consta de cinco secciones que incluyen esta introducción. La segunda sección se ocupa de la tarea 1 y proporciona una revisión de los estudios

disponibles sobre servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas. La tercera sección se ocupa de la tarea 2 y describe la propuesta de elementos metodológicos para la evaluación de servicios ecosistémicos identificados como prioritarios en la región. En la cuarta sección, se presentan las actividades desarrolladas de mayo a noviembre de 2016, así como los resultados obtenidos durante la primera etapa del proyecto. Finalmente, la última sección enumeran los pasos a seguir durante la segunda etapa del proyecto.

### **1.2.Aproximación general**

El concepto de servicios ecosistémicos (SE) ha avanzado significativamente desde que se introdujo en la Declaración de Río en 1992, dentro de fuerte movimiento internacional por la gestión de los recursos naturales. Actualmente incorpora dimensiones ecológicas, económicas y socio-culturales que permiten pensar que puede ser utilizado como apoyo a los tomadores de decisiones para la aplicación de políticas eficaces que apoyen el bienestar humano y el desarrollo sostenible

Actualmente, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) en conjunto con la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ), Cooperación Alemana al Desarrollo, está desarrollando el proyecto de cooperación “Valoración de servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas federales de México: una herramienta innovadora para el financiamiento de la biodiversidad y el cambio climático”, un esfuerzo por reconocer las conexiones de los servicios ecosistémicos que se proveen desde las ANP con el bienestar humano y el desarrollo económico. Se trata de una experiencia en construcción, acerca de cómo la incorporación de la valoración de servicios ecosistémicos en la toma de decisiones puede incidir en estrategias de conservación que atiendan el desarrollo sustentable. Para su cumplimiento el proyecto consta de cinco componentes: (i) metodologías de valoración y gestión de la información; (ii) comunicación; (iii) transversalidad; (iv) instrumentos de financiamiento; y (v) fortalecimiento de capacidades.

En vista de lo anterior y buscando abonar a las componentes del proyecto CONANP-GIZ, el Centro de Investigación en Geografía y Geomática “Ing. Jorge L. Tamayo” A.C. (CentroGeo), presentó una propuesta al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT, para desarrollar un estudio de caso de valoración económica en el complejo Sierra Madre de Chiapas que contribuya a la conservación de las Áreas Naturales Protegidas que lo integran, al mantenimiento del equilibrio ecosistémico y a la armonización social-ambiental-económica de la región. Debido al carácter multidisciplinario de la propuesta,

además del grupo de trabajo conformado por especialistas del CentroGeo, se incorporaron al mismo investigadores invitados del Instituto de Investigaciones Económicas (IIEc) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); la División de Estudios Sociales de la Universidad Iberoamericana (UIA); y del Laboratorio de Ecología Evolutiva de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Se trata de un esfuerzo académico por ayudar a la toma de decisiones a construir un estudio de caso de valoración económica en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas, con la participación del Grupo Sierra Madre de Chiapas (GSM), conformado por un conjunto de actores institucionales, tanto federales como estatales, así como miembros de la sociedad civil organizada y del sector académico del estado de Chiapas.

El estudio aprobado con duración de un año, contado a partir de mayo de 2016, propone el desarrollo de una metodología para integrar los elementos biofísicos del ecosistema con los valores económicos de los servicios ecosistémicos a partir de una adaptación de la Integración de los Servicios Ecosistémicos en la Planificación del Desarrollo (ISE) desarrollado por la GIZ (Kosmus *et al.*, 2012).

La metodología ISE consiste en un proceso de seis pasos que considera a la valoración de servicios ecosistémicos un elemento fundamental pero no único para la toma de decisiones asociadas a la gestión del territorio. El estudio está desarrollando una metodología para la implementación de estos pasos en dos etapas de seis meses cada una. En la primera etapa se han implementado los tres primeros pasos del enfoque ISE. Se ha realizado un primer taller para acotar los alcances del estudio de Valoración económica de servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas, mediante la aplicación de los pasos 1 y 2 de la metodología ISE, consistentes en la definición del ámbito de estudio y el análisis y la priorización de los servicios ecosistémicos a valorar. Con respecto del paso 3, se llevó a cabo una revisión de los diferentes conceptuales y metodológicos; enfoques así como la identificación de necesidades de información espacial para el mapeo de servicios ecosistémicos a partir de los resultados obtenidos en el primer taller. Específicamente, el paso 3 consiste en la modelación biofísica de los servicios ecosistémicos para la identificación de estados y tendencias, así como de los compromisos. En la segunda etapa, se atenderán las necesidades del paso 4 asociadas con la identificación de las principales instituciones y actores que influyen en la gestión de los ecosistemas y los factores que afectan los flujos de los servicios ecosistémicos modelados en el paso 3. Finalmente, se incluirá la implementación de los pasos 5 y 6, los cuales consisten en la implementación del método de evaluación económica que asigne el valor de los servicios ecosistémicos al bienestar humano y la elaboración de una

propuesta con recomendaciones de gestión sustentable para los servicios ecosistémicos del complejo de ANP de la Sierra Madre de Chiapas que serán presentados en un tercer y último taller.

## **2 Revisión de los estudios disponibles sobre servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas**

### **2.1.Introducción**

En México, el concepto de servicios ecosistémicos, la teoría del valor de sus beneficios y los métodos de evaluación han evolucionado gradualmente desde principios de este nuevo milenio. A raíz del esfuerzo internacional que representó la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en 2005 (*Millennium Ecosystem Assessment – MEA*), el desarrollo en 2008 de la iniciativa de la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity – TEEB*) y la creación en 2013 del Panel Intergubernamental de la Biodiversidad y los Servicios de los Ecosistemas (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES*) se han venido desarrollando en el país diversas experiencias acerca del tema de servicios ecosistémicos.

Bajo la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) se identifican cuatro grupos de servicios de los ecosistemas:

- Suministro (alimentos, agua pura, leña, fibras, bioquímicos, recursos genéticos).
- Regulación (regulación del clima, regulación de las enfermedades, regulación del agua, purificación del agua)
- Culturales (valores espirituales y religiosos, recreación y ecoturismo, estéticos, de inspiración, educacionales, sentido de identidad y pertenencia a un lugar, herencia cultural)
- De apoyo (formación de suelos, producción primaria y ciclos de los nutrientes).

De igual manera, en los últimos años, múltiples procedimientos de análisis espacial propuestos para la evaluación de los servicios ecosistémicos, han sido agrupados en tres categorías principales (Martínez-Harms y Balvanera, 2012; Nelson *et al.*, 2009). Basados tanto en enfoques cuantitativos como cualitativos de los conjuntos de datos empleados, los diferentes enfoques metodológicos pueden

clasificarse en categorías como: transferencias de beneficios, funciones de producción ecológica y mapeo social (Andrew *et al.*, 2015).

La primera categoría consiste en evaluaciones a gran escala de múltiples servicios ecosistémicos, empleadas para extrapolar estimaciones de valor basadas en tipos de hábitat (Costanza *et al.*, 1997). Por ejemplo, Sutton y Costanza (2002) estimaron el valor económico de los humedales en 14.785 USD por hectárea y asignaron este valor a cada hectárea de humedal en un mapa uso de suelo y cobertura global. Esta categoría de evaluación espacial de servicios ecosistémicos es la más simple, ya que se basa en el supuesto simplificado de que cada unidad de área de un tipo de hábitat dado es de igual valor, independientemente de su calidad, configuración espacial, ubicación, proximidad a los beneficiarios, etc. Por lo que su análisis puede ser afectado por un error de generalización (Plummer, 2009).

La segunda categoría, está conformada por modelos cuantitativos que utilizan variables ecológicas medibles (por ejemplo, muestras de campo, datos hidro-climatológicos, mapas de cobertura terrestre, imágenes de percepción remota, etc.) y sociales (por ejemplo, datos de censos de económicos y de población, etc.) para cuantificar y mapear servicios ecosistémicos a través del espacio (Andrew *et al.*, 2015). Algunos de los métodos dentro de esta categoría incluyen el uso de modelos de simulación o de procesos (Band *et al.*, 2012; Crossman y Bryan 2009) y de modelos empíricos (Willemen *et al.*, 2008). Los modelos de simulación o procesos emplean conjuntos de datos espaciales que representan diversas características de la superficie terrestre. Principalmente bases de datos espaciales de productos bien establecidos como series de mapas de uso de suelo y cobertura terrestre, datos puntuales sobre la composición de especies y la estructura del bosque obtenidos de inventarios forestales, puntos o superficies de variables climáticas como temperatura, precipitación, evaporación, etc. Por otro lado, también están presentes los métodos de integración de datos que sintetizan múltiples productos espaciales preexistentes para generar mapas que permiten aproximar la distribución espacial de servicios ecosistémicos, a menudo construidos con enfoques basados en reglas. Esos modelos permiten, por ejemplo, integrar información proveniente de sensores remotos para la representación espacial de coberturas terrestres, variables biofísicas e índices de vegetación como el NDVI, una medida espectral del "verdor", relacionada con la cantidad y actividad de la vegetación. Debido a la naturaleza propia de los datos espaciales que emplean, estos métodos a menudo permiten cuantificar patrones espaciales sobre la producción de servicios ecosistémicos o sobre propiedades relevantes de los ecosistemas (Andrew *et al.*, 2014).

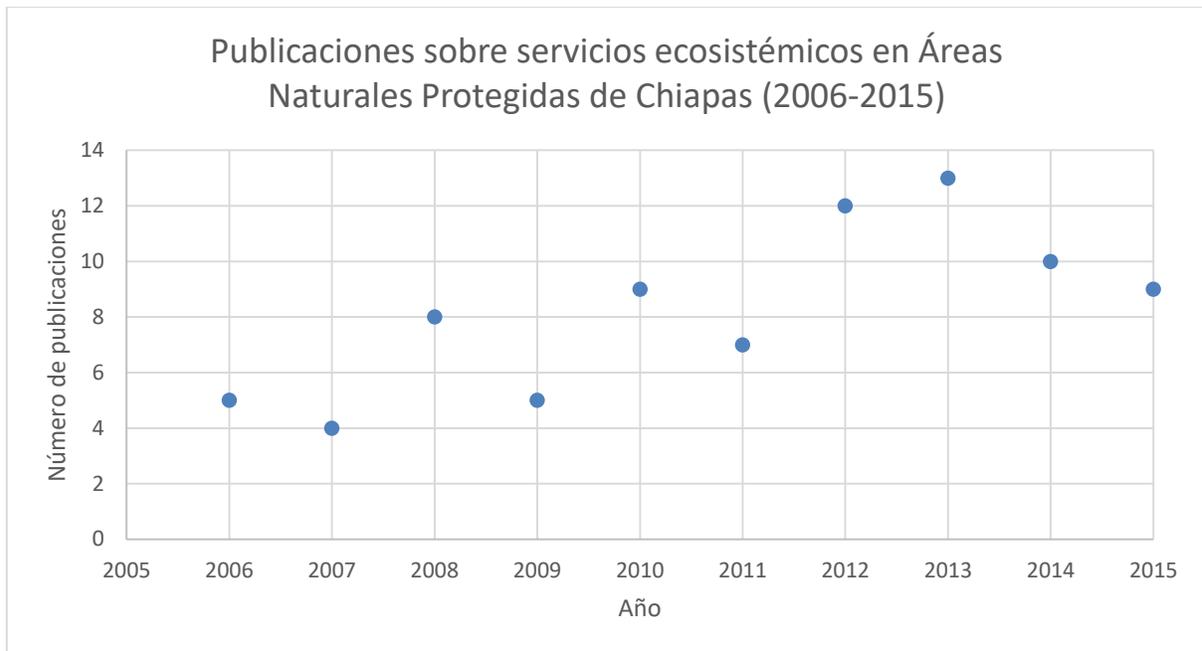
Finalmente, la tercera y más reciente de las categorías es el mapeo social de servicios ecosistémicos que incluye medidas espaciales de percepciones sociales, valores, preferencias y prioridades de lugar obtenidas a través del conocimiento de informantes capaces de asociar ciertos valores en diferentes áreas de un paisaje. Una cuestión importante con este tipo de cartografía social, es el tema de la representatividad de los mapas producidos usando estas técnicas (Nahuelhual *et al.*, 2015). Diversos ejemplos de mapeo social y sus implicaciones en la evaluación espacial de servicios ecosistémicos han sido publicados recientemente (Plieninger *et al.*, 2013; Sherrouse *et al.*, 2011; Raymond *et al.*, 2009).

Todos estos métodos, representan importantes progresos en el desarrollo de procedimientos en los estudios sobre servicios ecosistémicos publicados en los últimos años (Crossman *et al.*, 2013). Sin embargo, dada la importancia primordial de los servicios ecosistémicos para la toma de decisiones, el rápido aumento en el número de estudios que evalúan servicios ecosistémicos necesita una síntesis sistemática de todos estos enfoques para comprender cuáles son los métodos más utilizados y los más útiles. Pues por ejemplo, la transferencia de beneficios como técnica económica se aplica por igual para la conservación de la biodiversidad, el diseño de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) y la planificación del uso de la tierra por igual (Nahuelhual *et al.*, 2015). En este contexto, en esta sección revisamos estudios disponibles sobre servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas. Específicamente identificando, (i) el tipo de servicio ecosistémico que fue estudiado, (ii) los enfoques y métodos que se utilizaron para abordar los servicios ecosistémicos, y (iii) los ecosistemas y lugares en los que se abordó el estudio de los servicios ecosistémicos.

## **2.2.Métodos**

### **2.2.1. Fuentes de información**

Se identificaron todas las publicaciones sobre servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas usando las bases de datos electrónicas de la red Scopus, ScienceDirect, Scielo, Dialnet, Redalyc, Biblioteca UNAM y Google Scholar. Utilizamos para la búsqueda los títulos, palabras clave y resúmenes en combinación: “*protected area*”, “*ecosystem/environmental service*”, y “*Chiapas*”. La selección se redujo a ecosistemas terrestres, excluyendo los mares. Se identificaron un total de 118 publicaciones, de las cuales, después de llevar a cabo una primera revisión de pertinencia a partir de su resumen, se seleccionaron 82 publicaciones entre 2006 y 2015 que han abordado el tema de servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas (Figura 2.1).



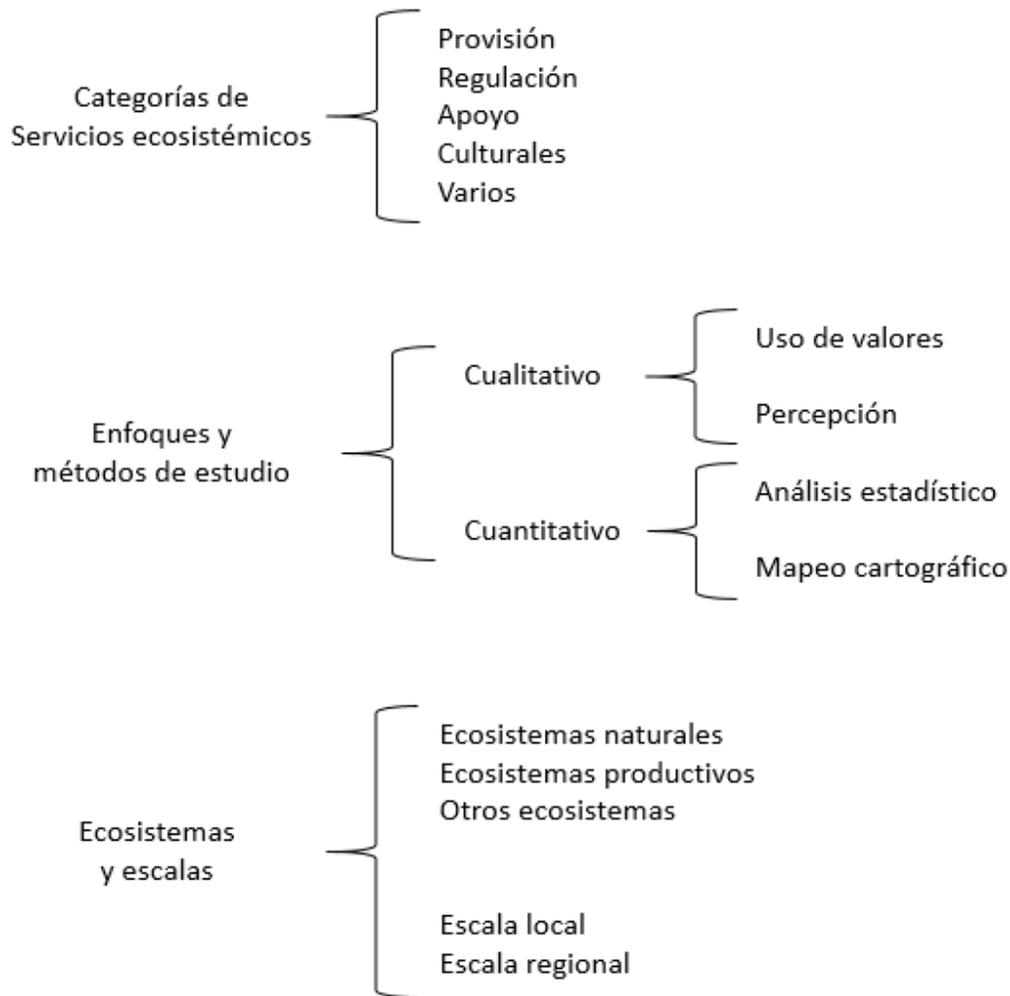
**Figura 2.1.** Número de estudios (2006-20015) empleados para el análisis.

Del total de las publicaciones que fueron empleadas para la revisión, 24% corresponden a la base de datos Scopus, 21% a Google Scholar, 20% a Redalyc, 17% a ScienceDirect, 7% a Scielo y Biblioteca UNAM, y 4% a Dialnet. Mientras que de las 82 publicaciones, 47 fueron publicadas en idioma inglés y el resto en español.

### 2.2.2. Criterios

La recolección final de los estudios para el análisis se obtuvo sobre la base de tres criterios. Los criterios a considerar se ejemplifican en la Figura 2.2.

El primer criterio consistió en la identificación de los servicios ecosistémicos abordados por los estudios. Se consideró la clasificación MAE (2005) en referencia a uno o varios servicios ecosistémicos en categorías de apoyo, regulación, provisión y culturales.



**Figura 2.2.** Criterios empleados para el análisis.

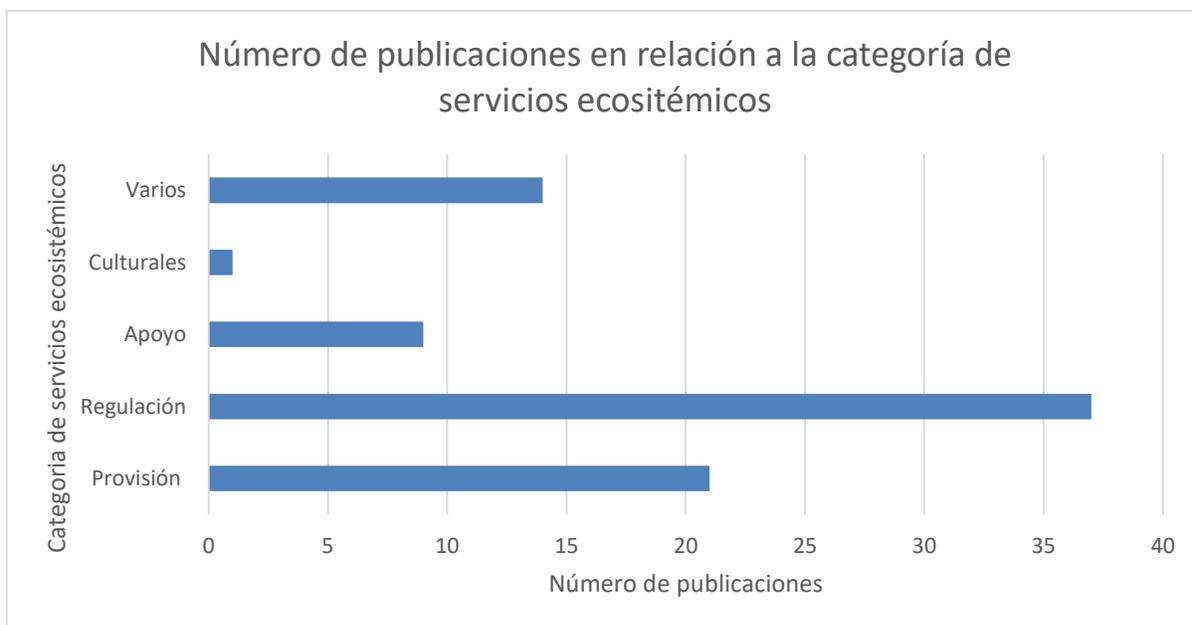
El segundo criterio distinguió el enfoque cualitativo o cuantitativo en función del tipo de información disponible entre los datos obtenidos por los autores del manuscrito (datos de campo, entrevistas, datos del censo, datos de cobertura de vegetación y uso de suelo, bases de datos geográficas, etc.). A continuación, se describieron los métodos empleados, es decir, la forma en que las fuentes de datos se utilizaron para evaluar los servicios ecosistémicos abordados, se identificaron cuatro categorías. La primera categoría son métodos de análisis estadístico. La segunda categoría abarca el uso de cartografía y otras bases de datos espaciales. El tercer enfoque se caracteriza por el uso de valores que se obtienen de estudios previos en otros lugares y otras escalas espaciales. La cuarta categoría corresponde a métodos de percepción que permiten incorporar conocimiento experto.

Finalmente el tercer criterio identifica los ecosistemas asociados al estudio de servicios ecosistémicos, así como la escala espacial y la extensión total del área en estudio.

### 2.3. Resultados y discusión

Encontramos 82 estudios sobre servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas, considerando 118 publicaciones obtenidas de diferentes bases de datos electrónicas sobre publicaciones científicas. De estos 82 estudios, 47 son publicaciones en inglés y 35 en español.

Los servicios más comúnmente abordados son de regulación, principalmente almacenamiento y secuestro de carbono en relación a PSA (Corbera *et al.*, 2012, 2009, 2007; García-Amado *et al.*, 2013, 2011). Le siguen los servicios de provisión asociados a la producción de alimentos, principalmente asociados al café (Larsen y Philpott, 2010; Perfecto *et al.*, 2010). Por otra parte los servicios menos abordados son los culturales (Morales *et al.*, 2013). La distribución de la frecuencia de los estudios que abordan servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas se muestran en la Figura 2.3.



**Figura 2.3.** Distribución de la frecuencia de los estudios que abordan servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas

Los servicios clasificados como varios, generalmente abordan dos o más servicios de regulación y apoyo (Balvanera, 2012; Cortina-Villar *et al.*, 2012; Halffer, 2011). En relación a servicios de soporte, la mayoría está relacionada a la

disponibilidad de hábitat para diferentes especies (Lavariega Nolasco *et al.*, 2013; Sekercioglu, 2012).

En general, una gran cantidad de estudios sobre servicios ecosistémicos están relacionados al PSA, principalmente en referencia a recursos forestales e hidrológicos que han generado la participación de múltiples actores sociales preocupados por la conservación de los recursos naturales y los servicios ambientales en la búsqueda de un desarrollo sustentable (Méndez-López *et al.*, 2014).

En relación a los enfoques empleados para abordar el estudio de servicios ecosistémicos, se identificaron 53 estudios con un enfoque cualitativo y 29 con enfoque cuantitativo. Entre los principales métodos cualitativos se identificaron cuestionarios, entrevistas y talleres para la obtención de conocimiento experto (Cano-Díaz *et al.*, 2015; Buda Arango *et al.*, 2014; Ferguson *et al.*, 2009). Así como el empleo de tablas de valores extraídas de revisiones bibliográficas (Williams-Guillén y Otterstrom, 2014; Perfecto *et al.*, 2010). En cuanto a los enfoques cuantitativos, se identificaron mayoritariamente métodos de análisis estadístico principalmente asociados con la toma de muestras en cultivos de café (Marinidou *et al.*, 2013; de la Mora *et al.*, 2015, 2008; Philpott *et al.*, 2006). Un número más pequeño de estudios fue relacionado con técnicas de mapeo cartográfico que principalmente incluyen el uso de coberturas de uso de suelo y vegetación, datos de la topografía del terreno, suelos y datos de estudios forestales (Romero-Berny *et al.*, 2015; Philpott *et al.*, 2008).

Finalmente en relación a los ecosistemas estudiados y las escalas abordadas. El 56% de los estudios dan cuenta de ecosistemas naturales, principalmente bosques, selvas y manglares en relación a servicios ecosistémicos de regulación (García-Amado *et al.*, 2013; Kosoy *et al.*, 2008). El 34% está relacionado a ecosistemas productores de café, así como actividades agroforestales y silvopastoriles (Bishop y Pagiola, 2012; Aguilar *et al.*, 2012; Gómez-Castro *et al.*, 2010). Con respecto del alcance de la escala espacial de estudio, la gran mayoría corresponde con una escala local, en sitios dentro o muy cercano a las Áreas Naturales Protegidas. Entre los sitios específicos más referidos por los estudios están Soconusco en relación con el cultivo de café (de la Mora *et al.*, 2015; Philpott *et al.*, 2006), Lacandona (Kosoy *et al.*, 2008), además de las Áreas Naturales Protegidas de La Sepultura, La Frailescana, El Triunfo, El Ocote y el volcán Tacaná (Báez *et al.*, 2014). Algunos estudios incluyen una escala regional de estudio, por ejemplo para la región Sierra Madre de Chiapas (Cortina-Villar *et al.*, 2012; Schroth *et al.*, 2009).

En resumen, la síntesis revela que hay un creciente número de publicaciones que abordan el estudio de los servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas. En estos resultados encontrados, los servicios ecosistémicos abordados, así como los enfoques y métodos son variados. Aunque hay tendencia al estudio de servicios ecosistémicos de regulación con un enfoque cualitativo, orientado principalmente hacia el PSA. En donde es posible observar la falta de fuentes de información y descripciones metodológicas detalladas.

Específicamente los servicios que mayor se abordan son el almacenamiento de carbono y la producción de alimentos. Siendo muy notable la ausencia de servicios ecosistémicos culturales. No obstante en general se observa de nuevo una falta de investigación formal sobre los servicios y su relación con la toma de decisiones. Ya que muchos de ellos se abocan a dar cuenta del estado de los ecosistemas sin proponer acciones o planes al respecto.

Una opción al respecto que aparece reportada, es el enfoque de conocimiento experto adquirido mediante encuestas, entrevistas y talleres que permiten incorporar las perspectivas de las diferentes partes interesadas en estudios de servicios ecosistémicos. Estas técnicas fueron frecuentemente referidas como una fuente de evaluación relativamente rápida que agrupa el conocimiento de los expertos, que sin embargo no proporciona estimaciones cuantitativas de los servicios ecosistémicos.

#### **2.4. Conclusiones**

Esta revisión, identifica como un reto importante, dotar de evaluaciones con la información disponible más precisa, que ayuden a convertir a los servicios ecosistémicos en una herramienta clave para guiar la toma de decisiones. Un reto importante al respecto de la información empleada en el estudio de servicios ecosistémicos, es su relación con respecto de las precisiones alcanzadas, lo que puede poner en duda la utilidad de los productos generados. La mayoría de los esfuerzos de evaluación de servicios ecosistémicos revisados carecen de esfuerzos reales de evaluación de confiabilidad. Lo que coincide con otros muchas revisiones al respecto (Seppelt *et al.* 2011).

Lo anterior puede plantear un problema para los tomadores de decisiones, así como para los investigadores sobre el tema de servicios ecosistémicos, limitando la credibilidad de los resultados y reduciendo su impacto. Por tanto aquí se sugiere la necesidad de enfoques más integrados y adaptados a las necesidades de información en relación con el uso y la gestión de los ecosistemas.

## **2.5. Referencias incluidas en la revisión**

- Aguilar, R., Nahed, J., Parra, M., García, L., & Ferguson, B. (2012). Medios de vida y aproximación de sistemas ganaderos al estándar de producción orgánica en Villaflores, Chiapas, México. *Avances de la Investigación Agropecuaria*, 16(3).
- Alfaro-Arguello, R., Diemont, S. A., Ferguson, B. G., Martin, J. F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, J. D., & Ruíz, R. P. (2010). Steps toward sustainable ranching: An emergy evaluation of conventional and holistic management in Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems*, 103(9), 639-646.
- Alix-Garcia, J. M., Shapiro, E. N., & Sims, K. R. (2012). Forest conservation and slippage: Evidence from Mexico's national payments for ecosystem services program. *Land Economics*, 88(4), 613-638.
- Aronson, J., Renison, D., Rangel-Ch, J. O., Levy-Tacher, S., Ovalle, C., & Del Pozo, A. (2007). Restauración del Capital Natural: sin reservas no hay bienes ni servicios. *Revista Ecosistemas*, 16(3).
- Báez, W. L., Gómez, R. C., Santos, R. R., Ñíguez, P. C., & Mendoza, I. C. (2014). Conectividad hídrica entre cuencas, municipios y reserva de la biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, (8), 1417-1423.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
- Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., DeClerck, F., Gardner, T., ... & Matos, D. M. S. (2012). Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Services*, 2, 56-70.
- Bishop, J., & Pagiola, S. (Eds.). (2012). *Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development*. Taylor & Francis.
- Buda Arango, G., Trench, T., & Durand, L. (2014). El aprovechamiento de palma camedor en la Selva Lacandona, Chiapas, México: ¿Conservación con desarrollo?. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 22(44), 200-223.
- Bullock, J. M., Aronson, J., Newton, A. C., Pywell, R. F., & Rey-Benayas, J. M. (2011). Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(10), 541-549.
- Campbell, A., Clark, S., Coad, L., Miles, L., Bolt, K., & Roe, D. (2008). Protecting the future: Carbon, forests, protected areas and local livelihoods. *Biodiversity*, 9(3-4), 117-121.
- Cano-Díaz, V. C., Cortina-Villar, S., & Soto-Pinto, L. (2015). La construcción de la acción colectiva en una comunidad del Área Natural Protegida: La Frailescana, Chiapas, México. *Argumentos (México, DF)*, 28(77), 79-96.

- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. Serie técnica, Informe técnico, 384.
- Chávez González, H., & González Guillén, M. D. J. (2015). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 8-23.
- Cisneros, A. C., Pinto, L. S., & Lugo, E. E. (2012). Entre la conservación del bosque y el crecimiento de la ciudad: las localidades rurales en el espacio periurbano del Huitepec en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Estudios demográficos y urbanos*, 739-787.
- Comino, E., Bottero, M., Pomarico, S., & Rosso, M. (2014). Exploring the environmental value of ecosystem services for a river basin through a spatial multicriteria analysis. *Land use policy*, 36, 381-395.
- Corbera, E. (2012). Problematizing REDD+ as an experiment in payments for ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(6), 612-619.
- Corbera, E., Brown, K., & Adger, W. N. (2007). The equity and legitimacy of markets for ecosystem services. *Development and change*, 38(4), 587-613.
- Corbera, E., Kosoy, N., & Tuna, M. M. (2007). Equity implications of marketing ecosystem services in protected areas and rural communities: Case studies from Meso-America. *Global Environmental Change*, 17(3), 365-380.
- Corbera, E., Soberanis, C. G., & Brown, K. (2009). Institutional dimensions of Payments for Ecosystem Services: An analysis of Mexico's carbon forestry programme. *Ecological economics*, 68(3), 743-761.
- Cortina-Villar, S., Plascencia-Vargas, H., Vaca, R., Schroth, G., Zepeda, Y., Soto-Pinto, L., & Nahed-Toral, J. (2012). Resolving the conflict between ecosystem protection and land use in protected areas of the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Environmental management*, 49(3), 649-662.
- Cruz González, B., Jarquín Gálvez, R., Tobias, R., & Magdaleno, H. (2013). Viabilidad económica y ambiental de policultivos de hule, café y cacao. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(1), 49-61.
- Cruz-Morales, J., García-Barrios, L. E., & García-Barrios, R. (2015). When death approaches: reverting or exploiting emergent inequity in a complex land-use table-board game.
- de Groot, R. S., Jax, K., & Harisson, P. A. (2014). Link between Biodiversity and Ecosystem Services. In *OpenNESS Ecosystem Services Reference Book*.

- De la Mora, A., García-Ballinas, J. A., & Philpott, S. M. (2015). Local, landscape, and diversity drivers of predation services provided by ants in a coffee landscape in Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 201, 83-91.
- De la Mora, A., Livingston, G., & Philpott, S. M. (2008). Arboreal ant abundance and leaf miner damage in coffee agroecosystems in Mexico. *Biotropica*, 40(6), 742-746.
- De la Mora, A., Murnen, C. J., & Philpott, S. M. (2013). Local and landscape drivers of biodiversity of four groups of ants in coffee landscapes. *Biodiversity and conservation*, 22(4), 871-888.
- DeClerck, F. A., Chazdon, R., Holl, K. D., Milder, J. C., Finegan, B., Martinez-Salinas, A., ... & Ramos, Z. (2010). Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: Past, present and future. *Biological conservation*, 143(10), 2301-2313.
- del-Val, E., Balvanera, P., Castellarini, F., Espinosa-García, F. J., Murguía, M., & Pacheco, C. (2015). Identifying areas of high invasion risk: a general model and an application to Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 208-216.
- Ferguson, B. G., Morales, H., Rojas, A. G., Pérez, F. D. J. Í., Torres, M. E. M., McAfee, K., ... & Vandermeer, J. (2009). La soberanía alimentaria: cultivando nuevas alianzas entre campo, bosque y ciudad. *Agroecología*, 4, 49-58.
- Figueroa, F., & Sánchez-Cordero, V. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(13), 3223-3240.
- García-Amado, L. R., Pérez, M. R., & García, S. B. (2013). Motivation for conservation: assessing integrated conservation and development projects and payments for environmental services in La Sepultura Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. *Ecological Economics*, 89, 92-100.
- García-Amado, L. R., Pérez, M. R., Dahringer, G., Escutia, F. R., García, S. B., & Mejía, E. C. (2013). From wild harvesting to agroforest cultivation: A *Chamaedorea* palm case study from Chiapas, Mexico. *Forest Policy and Economics*, 28, 44-51.
- García-Amado, L. R., Pérez, M. R., Escutia, F. R., García, S. B., & Mejía, E. C. (2011). Efficiency of payments for environmental services: equity and additionality in a case study from a biosphere reserve in Chiapas, Mexico. *Ecological Economics*, 70(12), 2361-2368.
- Gómez, G. M., Arce, A. M., Ruiz, J. F. H., & Cruz, J. U. G. (2014). El sector forestal en Chiapas: Un análisis desde la perspectiva de la economía ecológica. *Nova Scientia*, 2(3), 37-50.

- Gómez, G. M., Ruiz, J. F. H., & Cruz, J. U. G. (2011). Organización social para el desarrollo sustentable en Chiapas, México. *Semestre Económico*, 14(29), 77-97.
- Gómez-Castro, H., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., & Gonzalez-Reyna, A. Estimaciones de biomasa aérea y carbono almacenado en *Gliricidia sepium* (lam.) y *Leucaena leucocephala* (jacq.) y su aplicación en sistemas silvopastoriles. Relación de artículos publicados en ITEA durante 2010, 256.
- González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2006). Ecología y restauración de los bosques de *Quercus* de Chiapas, sur de México. In *Memorias del I Simposio Internacional de Robles y Ecosistemas Asociados*.
- Guarderas, A. P., Hacker, S. D., & Lubchenco, J. (2008). Current status of marine protected areas in Latin America and the Caribbean. *Conservation Biology*, 22(6), 1630-1640.
- Halfpter, G. (2011). Reservas de la Biosfera: problemas y oportunidades en México. *Acta zoológica mexicana*, 27(1), 177-189.
- Harvey, C. A., Komar, O., Chazdon, R., Ferguson, B. G., Finegan, B., Griffith, D. M., ... & Van Breugel, M. (2008). Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conservation biology*, 22(1), 8-15.
- Jha, S., & Vandermeer, J. H. (2010). Impacts of coffee agroforestry management on tropical bee communities. *Biological Conservation*, 143(6), 1423-1431.
- Kemkes, R. J., Farley, J., & Koliba, C. J. (2010). Determining when payments are an effective policy approach to ecosystem service provision. *Ecological Economics*, 69(11), 2069-2074.
- Koleff, P., Urquiza-Haas, T., & Contreras, B. (2012). Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).
- Kosoy, N., Corbera, E., & Brown, K. (2008). Participation in payments for ecosystem services: case studies from the Lacandon rainforest, Mexico. *Geoforum*, 39(6), 2073-2083.
- Larsen, A., & Philpott, S. M. (2010). Twig-Nesting Ants: The Hidden Predators of the Coffee Berry Borer in Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 42(3), 342-347.
- Lavariaga Nolasco, M. C., Briones-Salas, M., & Rodríguez, C. (2013). Registro de tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*) con cámaras-trampa en la sierra Madre de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(3).

- Marinidou, E., Finegan, B., Jiménez-Ferrer, G., Delgado, D., & Casanoves, F. (2013). Concepts and a methodology for evaluating environmental services from trees of small farms in Chiapas, México. *Journal of environmental management*, 114, 115-124.
- Martínez, J. M. (2015). Las áreas naturales protegidas como herramienta para el cuidado y gestión de los recursos naturales: caso de la reserva de la biosfera de La Sepultura en el estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (13), 261-271.
- Mecalco, R. D. J. S., & Izaba, B. S. (2013). Percepción social del cambio climático en Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación en comunidades indígenas de Oaxaca y Chiapas. *Temas antropológicos: Revista científica de investigaciones regionales*, 35(1), 29-53.
- Méndez-López, M. E., García-Frapolli, E., Pritchard, D. J., González, M. C. S., Ruiz-Mallén, I., Porter-Bolland, L., & Reyes-García, V. (2014). Local participation in biodiversity conservation initiatives: A comparative analysis of different models in South East Mexico. *Journal of environmental management*, 145, 321-329.
- Mendoza Sáenz, V. H., & Horváth, A. (2013). Roedores y murciélagos en la zona cafetalera del Volcán Tacaná, Chiapas, México. *Therya*, 4(2), 409-423.
- Montoya Gómez, G., Hernández Ruiz, J. F., Velasco Pérez, A., Reygadas, L., & Ramos Maza, T. (2006). Organización comunitaria para la conservación forestal: estudio de caso en la Selva Lacandona de Chiapas, México. *Papeles de población*, 12(49), 177-204.
- Morales, J. C. S., Gómez, G. M., & Baltazar, E. B. (2013). Autogestión y participación local en el centro ecoturístico " Cascadas El Corralito", Oxchuc, Chiapas. *Teoría y Praxis*, (13), 107-132.
- Orsi, F., & Geneletti, D. (2010). Identifying priority areas for Forest Landscape Restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. *Landscape and Urban Planning*, 94(1), 20-30.
- Orsi, F., Church, R. L., & Geneletti, D. (2011). Restoring forest landscapes for biodiversity conservation and rural livelihoods: A spatial optimisation model. *Environmental Modelling & Software*, 26(12), 1622-1638.
- Pak, D., Iverson, A. L., Ennis, K. K., Gonthier, D. J., & Vandermeer, J. H. (2015). Parasitoid wasps benefit from shade tree size and landscape complexity in Mexican coffee agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 21-32.

- Pascual, U., Phelps, J., Garmendia, E., Brown, K., Corbera, E., Martin, A., ... & Muradian, R. (2014). Social equity matters in payments for ecosystem services. *Bioscience*, *biu146*.
- Perevochtchikova, M., & Oggioni, J. (2014). Global and Mexican analytical review of the state of the art on ecosystem and environmental services: A geographical approach. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, *2014(85)*, 47-65.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., & Philpott, S. M. (2010). Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio ecosistémico autónomo. *Agroecología*, *5*, 41-51.
- Philpott, S. M., Lin, B. B., Jha, S., & Brines, S. J. (2008). A multi-scale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *128(1)*, 12-20.
- Philpott, S. M., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2006). Effects of management intensity and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems. In *Arthropod Diversity and Conservation* (pp. 125-141). Springer Netherlands.
- Philpott, S. M., Uno, S., & Maldonado, J. (2006). The importance of ants and high-shade management to coffee pollination and fruit weight in Chiapas, Mexico. *Biodiversity & Conservation*, *15(1)*, 487-501.
- Ramos, M. M., Barraza, L., & Balbanera, P. (2012). Manejo de bosques tropicales: bases científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, *4(2)*.
- Razola, I., Benayas, J. R., De la Montaña, E., & Cayuela, L. (2006). Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. *Revista Ecosistemas*, *15(2)*.
- Rivera Vázquez, R., Soto Pinto, L., Núñez Colín, C. A., De Jung, B., Hernández Rivera, M., & Ordóñez Díaz, J. A. (2013). Producción y tasa de descomposición de hojarasca en Acahuals de selva caducifolia en Chiapas. *Revista mexicana de ciencias forestales*, *4(20)*, 20-30.
- Romero-Berny, E. I., Acosta-Velázquez, J., Tovilla-Hernández, C., Schmook, B., & Gómez-Ortega, R. (2016). Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*, *1(54)*, 153-169.
- Rosas Arellano, J., Escamilla Prado, E., & Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, *26(4)*, 375-384.

- Rosas-Baños, M. (2013). Nueva Ruralidad desde dos visiones de progreso rural y sustentabilidad: Economía Ambiental y Economía Ecológica. *Polis* (Santiago), 12(34), 225-241.
- Santos González, A., Estrada Lugo, E., & Rivas Lechuga, G. (2012). Uso de la leña y conservación del bosque en el volcán Huitepec, Chiapas, México. *LiminaR*, 10(1), 138-158.
- Schroth, G., Laderach, P., Dempewolf, J., Philpott, S., Hagggar, J., Eakin, H., ... & Eitzinger, A. (2009). Towards a climate change adaptation strategy for coffee communities and ecosystems in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(7), 605-625.
- Sekercioglu, C. H. (2012). Bird functional diversity and ecosystem services in tropical forests, agroforests and agricultural areas. *Journal of Ornithology*, 153(1), 153-161.
- Shapiro-Garza, E. (2013). Contesting the market-based nature of Mexico's national payments for ecosystem services programs: Four sites of articulation and hybridization. *Geoforum*, 46, 5-15.
- Sierra, C. L. J., Ramírez, J. S., Cortés-Calva, P., Cámara, A. B. S., Dávalos, L. I. Í., & Ortega-Rubio, A. (2014). México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. **NÚMERO ESPECIAL MONOGRÁFICO: ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS**, 16.
- Sierra, P. L. (2014). Entre la reconversión productiva y la soberanía alimentaria. El caso de la producción de jatropha en Chiapas. *El Cotidiano*, 188, 69.
- Soares, D. (2007). Acceso, abasto y control del agua en una comunidad indígena chamula en Chiapas: Un análisis a través de la perspectiva de género, ambiente y desarrollo. *Región y sociedad*, 19(38), 25-50.
- Speelman, E. N., García-Barrios, L. E., Groot, J. C. J., & Tittonell, P. (2014). Gaming for smallholder participation in the design of more sustainable agricultural landscapes. *Agricultural Systems*, 126, 62-75.
- Toledo-Aceves, T., Meave, J. A., González-Espinosa, M., & Ramírez-Marcial, N. (2011). Tropical montane cloud forests: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 974-981.
- Torres, A. B., MacMillan, D. C., Skutsch, M., & Lovett, J. C. (2013). Payments for ecosystem services and rural development: Landowners' preferences and potential participation in western Mexico. *Ecosystem services*, 6, 72-81.
- Williams-Guillén, K., & Otterstrom, S. (2014). Market-Based Incentives for the Conservation of Ecosystem Services in Agricultural Landscapes:

Examples from Coffee Cultivation in Latin America. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Academic Press, Oxford, 172-185.

Williams-Guillén, K., & Perfecto, I. (2010). Effects of agricultural intensification on the assemblage of leaf-nosed bats (Phyllostomidae) in a coffee landscape in Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 42(5), 605-613.

Wunder, S., & Wertz-Kanounnikoff, S. (2009). Payments for ecosystem services: a new way of conserving biodiversity in forests. *Journal of Sustainable Forestry*, 28(3-5), 576-596.

### **3 Propuesta de elementos metodológicos para la evaluación de servicios ecosistémicos identificados como prioritarios en la región**

#### **3.1.Introducción**

Los servicios ecosistémicos son las condiciones y los procesos mediante los cuales los ecosistemas, directa o indirectamente, proporcionan beneficios a las personas para el desarrollo humano y la actividad económica (MEA, 2005). Algunos de estos procesos incluyen por ejemplo, el movimiento de especies, los procesos de estacionalidad de la vegetación, el ciclo del agua, la dinámica de producción de suelo, etc., en relación con la producción y el acceso a alimentos, la recreación cultural y estética entre otras. A menudo esta diversidad de servicios ecosistémicos se agrupa en servicios de provisión, culturales, de regulación y de soporte.

De acuerdo con el tema de estudio que se aborda, los servicios de los ecosistemas pueden integrarse desde enfoques ecológicos, económicos o sociales. El enfoque ecológico se centra en la medición de las funciones ecológicas o propiedades de los ecosistemas (de Groot *et al.*, 2002); el enfoque económico estima los valores de uso y no uso de los ecosistemas con fines de valoración económica (Fisher y Turner, 2008); y el enfoque social se basa en el valor de los atributos o preferencias que la sociedad le otorga a los servicios ecosistémicos (Martín-López *et al.* 2012). La comprensión ensamblada de este ciclo respecto de los ecosistemas y el bienestar humano es necesaria para gestionar eficazmente el territorio. Pero requiere del trabajo interdisciplinario entre varios campos, alrededor del desarrollo de la teoría que permita vincular ciertos atributos del territorio a los efectos previstos en la prestación de servicios de los ecosistemas. Así por ejemplo, es importante avanzar en la investigación y la implementación de servicios ecosistémicos mediante el desarrollo de herramientas, directrices y estándares para mejorar el análisis y modelado espacial de los servicios de los ecosistemas (Crossman *et al.*, 2013).

El análisis y modelado espacial son un aspecto importante para la aplicación de un enfoque territorial de servicios ecosistémicos porque ayudan a las personas a comprender y comunicar como la contribución de los servicios de los ecosistemas

al bienestar humano puede ser retratada espacialmente en diversas escalas, desde lo local hasta lo global. Se trata pues, de hacer explícitas las relaciones espaciales entre los servicios de los ecosistemas y los beneficiarios humanos. Este mapeo espacialmente explícito de los servicios de los ecosistemas se reconoce como un paso clave para la implementación del marco de servicios ecosistémicos en la toma de decisiones (Fisher *et al.*, 2009).

En este contexto, el proyecto Valoración de Servicios Ecosistémicos del Complejo Sierra Madre de Chiapas, está implementado una metodología que permita integrar los elementos biofísicos del ecosistema con los valores económicos de los servicios ecosistémicos. Esta propuesta metodológica, desarrollada a lo largo del proyecto, procura un enfoque de integralidad ecosistémica con énfasis en el apoyo a la toma de decisiones para la gestión del territorio. En este sentido, esta sección reporta la aplicación de elementos metodológicos que procuren la integración de los procesos biofísicos del ecosistema y sus funciones con el valor que la sociedad les otorga a los mismos, para facilitar, mediante la construcción de herramientas de valoración económica, apoyo a la toma de decisiones para la gestión del territorio.

Hasta ahora se han implementado tres de los seis pasos propuestos por la metodología para la Integración de los Servicios Ecosistémicos en la Planificación del Desarrollo (Kosmus *et al.*, 2012). Los días 25 y 26 de agosto de 2016 se realizó el primer taller de Valoración de Servicios Ecosistémicos del Complejo Sierra Madre de Chiapas, en las oficinas de la Gerencia Estatal Chiapas de la Comisión Nacional Forestal, ubicadas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Ver Anexo III).

Al taller asistieron representantes de las Reservas de la Biósfera Volcán Tacaná, El Triunfo, La Sepultura, del Área de Protección de Recursos Naturales La Frailescana de la CONANP; de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (SEMAHN) y de la Secretaría de Planeación del Gobierno de Chiapas (SEPLAN); las organizaciones The Nature Conservancy (TNC) y Pronatura Sur A.C.; integrantes del grupo de trabajo del proyecto; y EcoValor Mx como facilitadores del taller. El objetivo consistió en acotar los alcances del estudio de “Valoración económica de servicios ecosistémicos en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas” en el contexto del proceso de Grupo Sierra Madre y el proyecto EcoValor Mx; así como aplicar los pasos 1 y 2 de la metodología sobre la Integración de los Servicios Ecosistémicos en la Planificación del Desarrollo (ISE). El resultado del taller fue la definición

colectiva del objetivo del estudio y los servicios ecosistémicos prioritarios para su evaluación económica (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Diagrama de la estrategia para la definición de un objetivo común.

El objetivo construido de manera colectiva quedó expresado como:

Realizar un estudio de valoración económica de máximo tres servicios ecosistémicos generados en el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas, para incidir en políticas públicas de los sectores ambiental, productivo, social y de infraestructura que promuevan el uso y mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

Mientras que los servicios ecosistémicos seleccionados fueron:

1. Provisión de agua y ciclo hidrológico
2. Provisión de alimentos
3. Captura de carbono

De igual manera, algunos de los acuerdos alcanzados con respecto del objetivo construido y los servicios ecosistémicos seleccionados son:

- Evaluación de servicios ecosistémicos a nivel de toda la región, pero con énfasis en el papel que las ANP juegan en la prestación de los servicios ecosistémicos seleccionados
- Selección de métodos de valoración económica que permitan incidir en la toma de decisiones

En este sentido, las siguientes secciones, dan cuenta de los elementos metodológicos incorporados para el cumplimiento de los acuerdos alcanzados con respecto de los alcances de modelado biofísico, la situación actual y las principales tendencias de la provisión y la demanda de los servicios ecosistémicos seleccionados (paso 3), así como del análisis de los factores y disposiciones que intervienen e influyen en cómo la gente gestiona, usa e impacta en los ecosistemas y sus servicios (paso 4).

### **3.2.Elementos del enfoque de servicios ecosistémicos**

El concepto de servicios ecosistémicos se ha convertido en un enfoque importante que permite vincular el funcionamiento de los ecosistemas con el bienestar humano (Fisher *et al.*, 2009). La importancia de este vínculo en la toma de decisiones, nos permite ampliar nuestra comprensión de cómo el suministro de bienes y servicios asociados con los ecosistemas está relacionado con la gestión de recursos y las acciones humanas que modifican el paisaje. Si bien este enfoque tiene múltiples orígenes y vertientes; dos principales enfoques son claramente reconocidos: El enfoque de la biología de la conservación y el enfoque de la economía ambiental (Lele *et al.*, 2013). Mientras que el primero está centrado en evaluar los beneficios indirectos que los seres humanos obtienen del funcionamiento de los ecosistemas: conservación del suelo, purificación del agua, asimilación de desechos, polinización, regulación hidrológica, etc., así como del valor de la conservación de la biodiversidad por sí misma (Balvanera *et al.*, 2001; Daily, 1997). El segundo asume un “stock de capital natural” que genera

diferentes tipos de flujos de beneficios: productos o bienes, beneficios o servicios indirectos y valores puros de conservación, culturales o estéticos (Fisher *et al.*, 2009; Costanza *et al.*, 1997).

Este segundo enfoque ecosistémico no ha carecido de controversia. Primero, por la manera en que la relación naturaleza-sociedad se representa, como una relación positiva simple en donde un capital más natural siempre conduce a más servicios de los ecosistemas y por lo tanto a un mayor bienestar humano (Lele *et al.*, 2013; Daily *et al.*, 2009). Segundo, por su estrecha relación con el papel de la valoración económica que se sugiere una excesiva dependencia de un marco de flujo de recursos económicos utilizado en muchas evaluaciones de servicios ecosistémicos (Spangenberg y Settele, 2010). Su aplicación está impulsada de origen por la preocupación de que las acciones humanas que llevan al agotamiento de los recursos, la contaminación y la extinción podrían tener consecuencias negativas significativas para el bienestar humano (de Groot, 1987). Además de que su utilidad subyacente ha sido ampliamente reconocida en relación con el desarrollo de enfoques más holísticos para la gestión de territorio y la toma de decisiones (Fisher *et al.*, 2009).

De igual manera, el marco de servicios ecosistémicos de la economía ambiental, permite responder en un sentido geográfico preguntas acerca de ¿dónde se están produciendo los beneficios los ecosistemas? y ¿quiénes son y dónde están las personas que utilizan los servicios de los ecosistemas? A diferencia de las ciencias ecológicas que tienden a representar los servicios de los ecosistemas como sitios vinculados a mapas estáticos (Tallis *et al.*, 2008); la economía ambiental basada en flujos, permite describir los patrones de transmisión de un servicio desde la provisión a las áreas de beneficio, lo que refleja el entendimiento de que las relaciones entre ecosistemas y sus beneficiarios a menudo son dinámicas (Fisher *et al.*, 2009). El enfoque sobre flujos de servicios ecosistémicos, permite referirse espacialmente a la transmisión de servicios ecosistémicos a las personas (Bagstad *et al.*, 2013).

De esta manera, acordamos la definición de un enfoque de servicios ecosistémicos, para describir un marco de servicios de los ecosistemas que permita aplicar los principios subyacentes asociados con el paradigma de la economía ambiental. Los principales elementos de este enfoque de servicios ecosistémicos identificados hasta ahora son:

- A) que la naturaleza de las interacciones entre los sistemas naturales y el bienestar humano son explícitamente explícitas

B) que la no coincidencia espacial y temporal entre los servicios de los ecosistemas y los beneficiarios humanos, permite cuantificar flujos de servicios de los ecosistemas

C) que al representar espacialmente los flujos de servicios ecosistémicos como una red conectada al paisaje, los cambios en los ecosistemas se pueden incorporar en el proceso de modelado

D) que al cuantificar los flujos de beneficios de los ecosistemas hacia las personas, su valoración (monetaria o no monetaria) se vuelve también espacialmente explícita

### **3.3.Principales características de las herramientas para el mapeo y evaluación espacial de servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son uno de los mecanismos a través de los cuales los ecosistemas transfieren beneficios de manera directa o indirecta a la vida de las personas; por lo que la localización y extensión espacio-temporal son características importantes que tienen influencia significativa en el tipo y grado de los servicios suministrados (Morse-Jones *et al.*, 2011). En consecuencia, el desarrollo de una comprensión de la prestación de servicios ecosistémicos, su mapeo y evaluación, basados en el análisis espacial de los servicios de los ecosistemas en un espacio tiempo dado, pueden ayudar como herramienta de apoyo a la toma de decisión. Por ejemplo, al comunicar de forma intuitiva y sencilla a los administradores de los recursos naturales y al público en general, las complejas interacciones entre los servicios de los ecosistemas a través de escalas espaciales y temporales (Cowling *et al.*, 2008). Ahora bien, aunque intuitivamente simple, en la práctica el mapeo de servicios ecosistémicos es una tarea complicada que en principio incluye poner atención a una serie de cuestiones conceptuales y metodológicas acerca de cómo plantear enfoques y metodologías espacialmente explícitos para mapear los servicios de los ecosistemas. En donde por ejemplo, se hagan consideraciones de las escalas espaciales y temporales en las que se manifiestan diversos servicios ecosistémicos (Kozak *et al.*, 2011; Hein *et al.*, 2006).

Para que el mapeo de servicios ecosistémicos se convierta en una herramienta clave para la toma de decisiones, es importante que su evaluación espacial proporcione la información más precisa posible (Martínez-Harms y Balvanera, 2012). En este sentido, los paradigmas actuales para cartografiar servicios ecosistémicos a través de funciones de producción ecológica, proporcionan un

sólido marco científico (Andrew *et al.*, 2015). La mayoría de los métodos de funciones de producción ecológica aportan resultados más confiables que la transferencia de beneficios y el mapeo social, ya que están basados en el análisis y modelado de patrones espaciales robustos, transparentes y relevantes asociados a la prestación de servicios ecosistémicos (Willemen *et al.*, 2015). Aunque están restringidos al mapeo de servicios muy específicos, al alcance de la escala espacial y temporal, así como al empleo de software de análisis espacial muy especializado (Nahuelhual *et al.*, 2015).

Estos métodos de funciones de producción ecológica permiten, en particular, explorar una gran diversidad de enfoques sobre evaluaciones espaciales para cuantificar la capacidad de un ecosistema para proporcionar beneficios sociales (Daily *et al.*, 2009). En relación a la evaluación espacial de los servicios ecosistémicos, la planificación de usos de suelo en el ámbito urbano o el monitoreo de pagos por servicios ambientales en el ámbito rural, requieren diferentes técnicas de mapeo general, así como atributos de procedimientos distintos y fuentes de información de diferente naturaleza, escala y resolución espacio-temporal. No obstante, en cada una de estas categorías, el objetivo final es el mismo, la representación explícita de un patrón espacial en relación a la cuantificación de servicios ecosistémicos. Sin embargo, diferentes tipos de modelos pueden ser empleados bajo diferentes escenarios de tipos de decisión y disponibilidad de información. Por ejemplo, para modelar el almacenamiento de carbono, diferentes funciones de producción ecológica pueden ser implementadas en relación a la información de Percepción Remota empleada (Galeana *et al.*, 2016).

En cualquiera de los casos, la información espacial que representa diferentes aspectos del territorio es necesaria para mapear la distribución de los servicios ecosistémicos. En donde esta información espacial puede indicar directamente servicios de los ecosistemas o bien ser integrada con otras capas de información utilizando modelos basados en reglas, empíricos o de procesos para aproximar patrones espaciales en relación a la oferta y demanda de servicios ecosistémicos. Un reto importante al respecto de estos patrones espaciales, es su relación con respecto de las precisiones alcanzadas, lo que puede poner en duda la utilidad de los productos generados. La mayoría de los esfuerzos de evaluación espacial de servicios ecosistémicos carecen de esfuerzos reales de evaluación de confiabilidad (Seppelt *et al.* 2011); no obstante, la existencia de prácticas y directrices comunes para evaluar la exactitud de productos de datos espaciales como mapas de uso de suelo y cobertura terrestre (Olofsson *et al.*, 2013; Couturier *et al.*, 2012).

De esta manera, el reto actual en el mapeo y modelado de servicios ecosistémicos, es la falta de un enfoque concreto para clasificar y evaluar diferentes procedimientos empleados para la generación de patrones espaciales relevantes sobre servicios ecosistémicos en relación a los beneficiarios de esos servicios y sus propósitos (Nahuelhual *et al.*, 2015). Un servicio ecosistémico sólo existe si alguien en algún lugar se está beneficiando de él. Estos beneficiarios pueden estar cerca o lejos, distribuirse de manera no equitativa y demorarse en el tiempo. De tal manera que resulta esencial la comprensión de las relaciones espaciales entre los servicios de los ecosistemas y los beneficiarios humanos (Fisher *et al.*, 2009).

Si bien, las funciones de producción ecológica son cada vez más empleadas para cuantificar la capacidad de un ecosistema para proporcionar beneficios sociales; es necesario continuar incorporando nuevos enfoques metodológicos que permitan describir, cuantificar y correlacionar consistentemente patrones espaciales producto de las relaciones entre servicios ecosistémicos y beneficiarios humanos (Nahuelhual *et al.*, 2015). En la medida en la que se incorpore mayor conocimiento a los enfoques metodológicos para el análisis y modelado de servicios ecosistémicos, mejores técnicas de mapeo espacial serán empleadas y mayor será la aplicación de los conceptos de los servicios de los ecosistemas en la toma de decisiones. Por ejemplo, la incorporación de mayores y mejores técnicas de Percepción Remota puede incrementar sustancialmente los esfuerzos de análisis y mapeo espacial de los servicios ecosistémicos (Tallis *et al.*, 2012; Feld *et al.*, 2010).

El uso emergente de todas estas herramientas de análisis espacial, representan un medio poderoso para la extracción y creación de nueva información para la toma de decisiones en relación a los vínculos entre los servicios ecosistémicos y los beneficios humanos. Algunas características que estas herramientas de análisis espacial pueden aportar al mapeo y evaluación espacial de servicios ecosistémicos, pueden resumirse como:

- I. La posibilidad para vincular explícitamente los servicios de los ecosistemas al bienestar
- II. Ayudar a integrar la información de los servicios de los ecosistemas a los responsables de la formulación de políticas y otras partes interesadas
- III. Ser utilizadas como un medio para construir criterios y sistemas de ponderación para la toma de decisiones colaborativa, el aprendizaje social, y en general, para la deliberación entre un amplio grupo de interesados

### **3.4.Métodos propuestos**

Uno de los principales motores de cambio en los servicios ecosistémicos identificados es el cambio en la cobertura terrestre (Reyers *et al.*, 2009). Por lo que a nivel local y regional, el concepto de servicios ecosistémicos puede actuar como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para que una parte interesada pueda lograr una gestión sostenible de los usos y coberturas terrestres (Wang *et al.*, 2015). Sin embargo, la información sobre los factores de cambio y sus consecuencias para los servicios ecosistémicos y el bienestar humano a estas escalas, está en gran medida ausente de los métodos tradicionales empleados para el modelado espacial de los cambios en el uso y cobertura terrestre. Incorporar esta información en un proceso social junto con las partes interesadas en resolver este tipo de problemas puede asegurar que el conocimiento local produzca los cambios de comportamiento que reflejen más fielmente los factores que intervienen e influyen en los ecosistemas y sus servicios. De tal manera que sea posible de responder un conjunto básico de preguntas geográficas acerca de ¿Dónde es probable que se produzcan cambios en los ecosistemas que puedan afectar el suministro de servicios ecosistémicos?, y ¿Cuáles son las consecuencias en los servicios ecosistémicos que se verán afectadas por esos cambios?

En relación a lo anterior, estamos en la tarea de construcción de un enfoque que permita recopilar información para cuantificar las consecuencias a escala local del cambio de uso y cobertura terrestre para los servicios ecosistémicos identificados como prioritarios para el complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas. El objetivo es desarrollar una aproximación que permita incorporar información sobre las consecuencias del cambio en el uso y cobertura terrestre de la región para evaluar cambios en la prestación de servicios de los ecosistemas. Para ello se proponen los siguientes componentes: (1) cuantificar y mapear los servicios ecosistémicos de provisión de agua, provisión de áreas óptimas para cultivo de café y maíz, así como carbono almacenado en la biomasa aérea forestal; (2) evaluar económicamente la distribución de los servicios ecosistémicos, áreas de importancia para la prestación de servicios y áreas de superposición entre servicios; (3) incorporar información local sobre los factores que intervienen e influyen en los ecosistemas y sus servicios mediante un proceso social junto con las partes interesadas en identificar e implementar estrategias para mejorar y salvaguardar la prestación de servicios de los ecosistemas; y (4) generar escenarios de la prestación de servicios de los ecosistemas como resultado del cambio en el uso y cobertura terrestre de la región, para desarrollar herramientas de ayuda a la gestión sostenible de los ecosistemas.

Los componentes reportados en este primer informe, corresponden a los tres primeros pasos de la Integración de los Servicios Ecosistémicos en la Planificación del Desarrollo reportado por Kosmus *et al.* (2012). Las fases subsecuentes de la metodología: analizar el marco institucional y cultural (paso 4), preparar la mejor toma de decisiones (paso 5), e (Implementación del cambio (paso 6) serán implementadas en la segunda fase del proyecto. A continuación se detallan los métodos propuestos para evaluar cada uno de los servicios ecosistémicos identificados en el primer taller.

### **3.4.1. Simulación hidrológica**

En el ambiente de Sistemas de Información Geográfica, los modelos de simulación hidrológica son una herramienta valiosa para la gestión por cuencas de los recursos hídricos y ambientales. Específicamente, un modelo de escurrimiento puede definirse como un conjunto de ecuaciones que ayuda en la estimación del escurrimiento en función de varios parámetros utilizados para describir las características de la cuenca (Devia *et al.*, 2015). Para su modelado, los insumos más importantes son los datos de precipitación y la definición de la red de drenaje, junto con otras características climáticas, propiedades del suelo, tipos de cobertura terrestre, topografía de la cuenca, contenido de humedad del suelo y características del acuífero, entre otras variables consideradas (Moradkhani y Sorooshian, 2008).

De acuerdo con los datos y parámetros de entrada requeridos, así como por los principios físicos aplicados, los modelos de simulación hidrológica pueden clasificarse como modelos empíricos, conceptuales y físicos (Devia *et al.*, 2015). Los modelos empíricos están impulsados por la información de datos de entrada y salida concurrentes que no toman en cuenta las características y los procesos físicos del sistema hidrológico. La red neural artificial y la regresión borrosa son algunas de las técnicas de aprendizaje automático empeladas por los métodos de hidroinformática (Adamowski *et al.*, 2012; Lobbrecht *et al.*, 2002). Por su parte, los modelos conceptuales describen los procesos hidrológicos mediante una serie de representaciones de elementos físicos de una cuenca como precipitación, infiltración, evaporación, escurrimiento, etc. Estos modelos son conocidos como modelos hidrológicos deterministas si arrojan la misma salida para un solo conjunto de valores de entrada, mientras que los modelos estocásticos, pueden producir diferentes valores de salida para un solo conjunto de entradas (Farmer y Vogel, 2016). Finalmente, los modelos físicos consisten de representaciones matemáticas de los principios de los procesos físicos, que empelan variables de estado medibles en función de tiempo y espacio. Se llaman también modelos mecanicistas debido al uso de parámetros que describen las características físicas

del fenómeno real a través de su distribución espacial. Los modelos MIKE SHE y SWAT son ejemplos de este tipo de modelos (Devia *et al.*, 2015).

Esta sección presenta el modelo de simulación hidrológica SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) propuesto para la detección del escurrimiento superficial en las cuencas hidrográficas de la Sierra Madre de Chiapas. La herramienta SWAT, implementa un modelo físico complejo, diseñado para probar y predecir la circulación de agua y sedimentos en cuencas no aforadas, a partir de una pequeña calibración directa que permite obtener buenas predicciones hidrológicas (Devia *et al.*, 2015; Easton *et al.*, 2010).

Para su funcionamiento el modelo emplea datos climatológicos, de suelo y de uso de suelo y cobertura terrestre, a partir de los cuales es capaz de describir la circulación de agua y sedimentos en una cuenca hidrográfica. El modelo divide toda la cuenca en subcuencas que a su vez se dividen en unidades de respuesta hidrológica, uso del suelo, vegetación y características del suelo. Los datos de precipitaciones diarias, temperatura máxima y mínima del aire, radiación solar, humedad relativa del aire y velocidad del viento pueden ser las entradas utilizadas por el modelo, siendo capaces de describir la circulación de agua y sedimentos, el crecimiento de la vegetación y la circulación de nutrientes. Con base en la cantidad de precipitación y la temperatura diaria promedio se pueden determinar diferentes métodos para la estimación de la evapotranspiración (Penman Monteith, Priestly-Taylor y Hargreaves). Para obtener un pronóstico preciso de la circulación de agua, nutrientes y sedimentos, es necesario simular un ciclo hidrológico que integre la circulación general del agua en la cuenca hidrográfica y por lo tanto el modelo utiliza la siguiente ecuación de equilibrio hídrico en la cuenca:

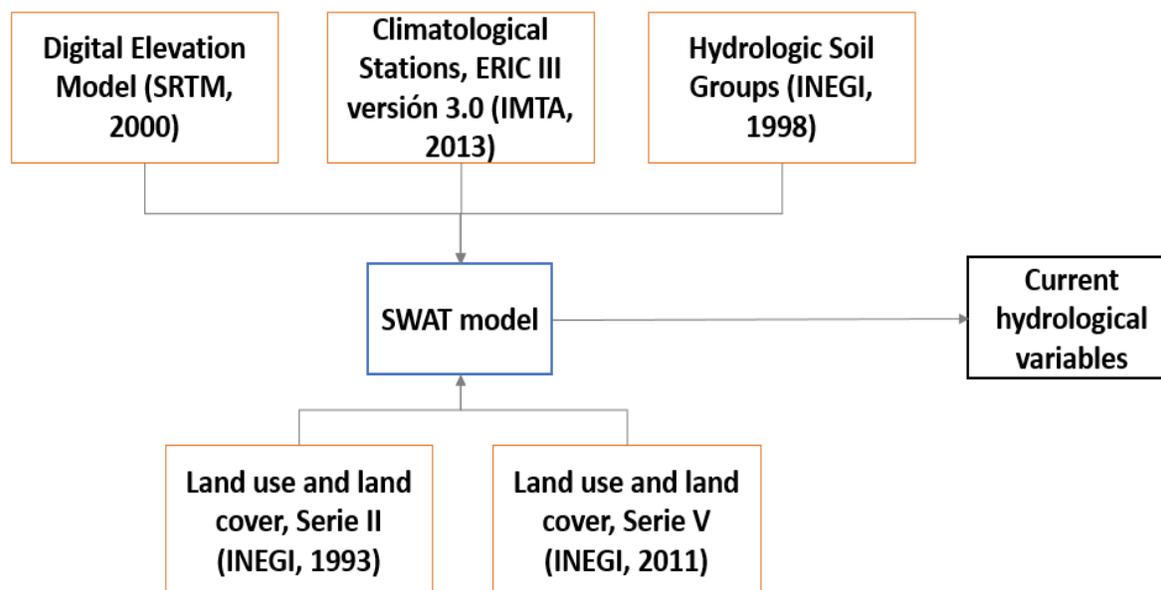
$$SW_t = SW_o + \sum(R_i - Q_i - ET_i - P_i - Q_{gw})$$

En donde,  $SW_t$  es el contenido de agua en el suelo,  $SW_o$  es el agua aprovechable por las plantas,  $R_i$  es la precipitación,  $Q_i$  es la escorrentía,  $ET_i$  es la evapotranspiración,  $P_i$  es la percolación, y  $Q_{gw}$  es el flujo de retorno o flujo base correspondiente a la escorrentía del agua subterránea.

De esta manera, el modelo de simulación hidrológica SWAT, se compone de una serie de ecuaciones que calculan e interrelacionan matemáticamente, los diversos procesos de movimiento del agua que ocurren en una unidad de respuesta hidrológica. El programa implementado como una extensión del ARCGIS, resuelve computacionalmente los componentes del balance hidrológico para cada área mediante ecuaciones que resuelven a sus vez los componentes de dicho

balance, es decir las funciones matemáticas que relacionan y resuelven los términos de precipitación, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración, almacenamiento y flujo base.

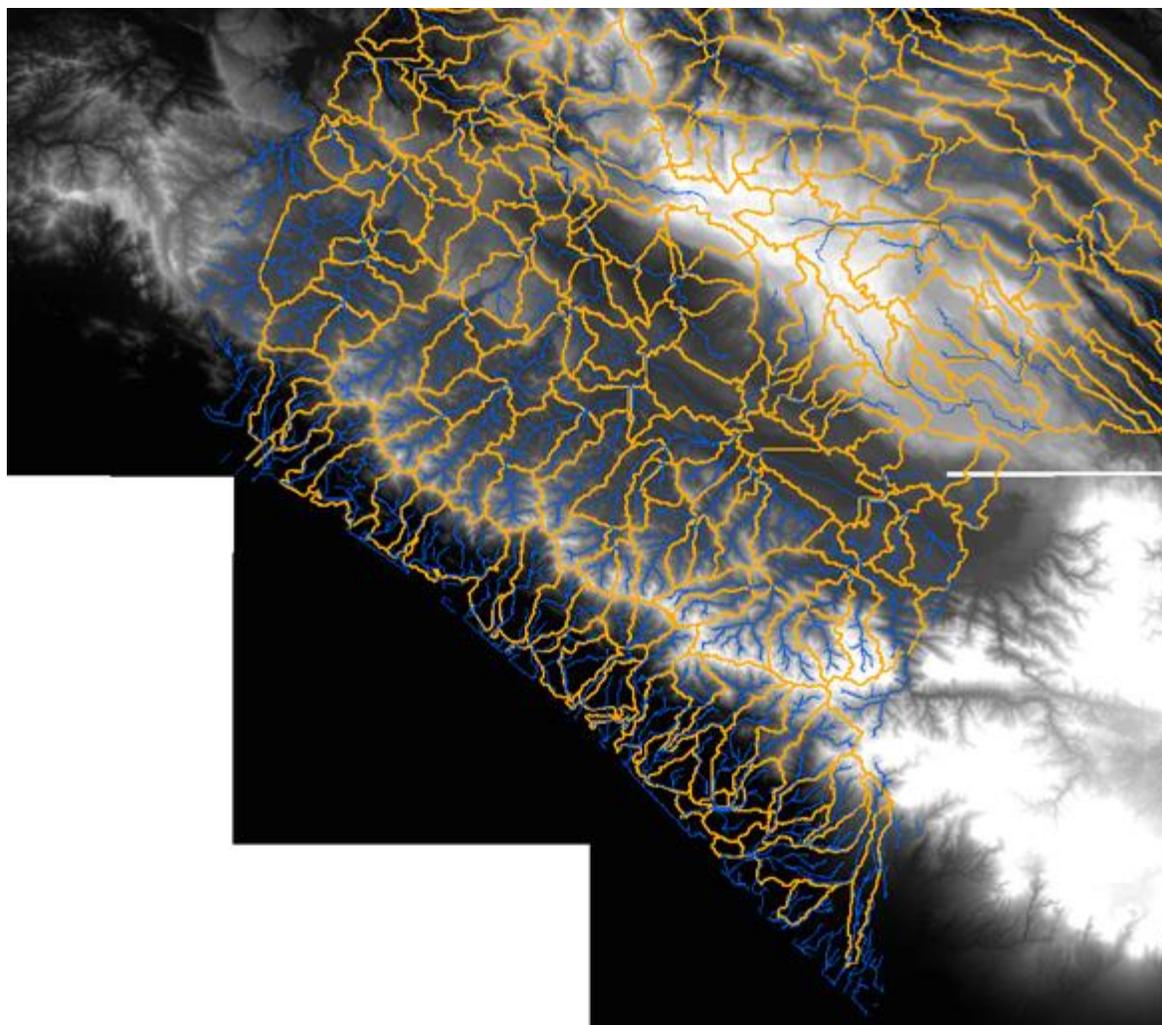
El método planteado para la simulación hidrológica se presenta en la Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Diagrama de flujo propuesto para la simulación hidrológica.

En donde los datos empleados para el modelo incluyen la topografía del terreno capturada mediante un Modelos Digital de Elevación (SRTM, 2000); Grupos de suelo (INEGI, 1998); series de datos para estaciones climatológicas en un periodo mínimo de 10 años, principalmente temperatura máxima, mínima y precipitación (IMTA, 2013); y cobertura de uso de suelo y vegetación (INEGI, 1993, 2011).

Mediante la adecuación de los datos, principalmente la determinación de clases de uso de suelo y vegetación, los parámetros que definen a las diferentes grupos de suelo, así como la espacialización de los valores de las estaciones climatológicas. Se procedió a la determinación de las cuencas y subcuencas a través de un valor de área umbral adecuado para los objetivos del proyecto (Figura 3.3).



**Figura 3.3.** Determinación de las subcuencas hidrográficas para la Sierra madre de Chiapas

De igual manera, se procedió a la división de las subcuencas en unidades de respuesta hidrológica, que conforman una combinación única de tipos de suelo, usos de suelo, vegetación, y pendiente. En donde cada subcuenca posee al menos una unidad de respuesta hidrológica. Esta división, permite al modelo reflejar diferencias en evapotranspiración en función de los distintos tipos de suelo y cobertura terrestre, lo que aporta una mayor precisión en la descripción física del balance de agua por parte de la simulación (Devia *et al.*, 2015). Así entonces, los resultados del modelo están compuestos por la delimitación de cuencas y subcuencas, así como de los resultados del balance hídrico por unidad de respuesta hidrológica.

### 3.4.2. Áreas de aptitud para provisión de alimentos

La modelación de la provisión de alimentos como un servicio ecosistémico fue llevada a cabo considerando la capacidad de los ecosistemas de proveer de condiciones aptas para la producción de cultivos bajo condiciones agroecológicas. Lo anterior se traduce en la identificación de aquellos territorios que poseen condiciones naturales para el desarrollo del cultivo en lugar de considerar el conjunto de actividades antropogénicas relacionadas a la actividad, como lo son el uso de variedades mejoradas, riego, mecanización, fertilizantes y agroquímicos.

La identificación de las áreas de aptitud fue llevada a cabo para los cultivos de café arábica (*Coffea arabica*), café robusta (*Coffea canephora*), maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) considerando parámetros biofísicos, edáficos y climáticos (Ceballos y López, 2010; Baca *et al.*, 1992), tales como altitud, pendiente, precipitación, temperatura, cobertura arbórea, para el caso particular del café arábica, en un primer momento, así como pH del suelo, en un segundo momento. Las áreas identificadas fueron divididas en dos categorías: áreas con potencial, las cuales son aquellas en las que el cultivo puede desarrollarse sin que se presenten condiciones de estrés ambiental (Sotelo *et al.*, 2012) y, áreas óptimas, las cuales corresponden a aquellas zonas en donde las condiciones climáticas y del terreno permiten la obtención de mayores rendimientos derivado de un mejor desempeño del cultivo. Los datos de altitud y pendiente fueron obtenidos del continuo de elevaciones mexicano 3.0 de INEGI a una resolución de 30 metros, del cual se obtuvo el mapa de pendientes mediante el software ArcMap 10.1. Los datos edafológicos fueron obtenidos del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos Serie II de INEGI, mientras que la capa de cobertura arbórea fue obtenida de la Serie V de Uso de Suelo y Vegetación, en ambos caso a una escala de 1:250,000. Los datos de precipitación y temperatura fueron obtenidos de la base de climatología de referencia del sistema meteorológico nacional 1902-2011 a una resolución espacial de 30 metros (Fernández *et al.*, 2014). Los datos de precipitación utilizados corresponden a la suma de los promedios mensuales, mientras los de temperatura al valor medio mensual, considerando para ambas variables la totalidad del año para el cultivo de café y el ciclo primavera-verano, para el caso del maíz y frijol, el cual corresponde a los meses de mayo a octubre.

La obtención de las áreas fue realizada mediante los cálculos de cada uno de los parámetros de cada cultivo a través de álgebra de mapas, mismos que fueron reclasificados y transformados a datos vectoriales para su posterior intersección geométrica, con el fin de establecer las áreas de cumplimiento de todos los parámetros obtenidos, es decir, la definición de las áreas objetivo del estudio. En el caso del frijol y del maíz, al ser éstos abordados como un solo sistema de

producción, se llevó a cabo la intersección geométrica entre las áreas con potencial, así como para las áreas óptimas, para cada uno de los cultivos.

### **Áreas de aptitud para Maíz**

Los parámetros de altitud para el desarrollo del maíz se ubicaron en el rango de 0 a 3,300 msnm para las áreas con potencial y de 0 a 1,600 metros para las áreas óptimas (González, 1984; Purseglove, 1985; Benacchio, 1982). En cuanto a la pendiente, se consideró un rango de 1 a 10 por ciento para ambos tipos de áreas (Sotelo, *op cit.*), mientras que el pH se ubica entre 5.5 - 7.5 para las áreas con potencial y 6–7 para las óptimas (INEGI, 1997; Moreno, 1992).

El rango de precipitación para las áreas con potencial se ubica entre los 500 y 1,500 mm promedio por ciclo y de los 500 a los 800 mm para las áreas óptimas (Sotelo, *op cit.*; Ruiz *et al.*, 2013; Doorenbos y Kassam, 1979). En el caso de la temperatura, el rango correspondiente a las áreas de potencial se ubica entre los 12 y 30 grados Celsius promedio anual, mientras que para las óptimas es de 18 a 24 grados Celcius (Sotelo, *op cit.*; Purseglove, *op cit.*).

### **Áreas de aptitud para Frijol**

La altitud para el desarrollo del cultivo del frijol se ubica en el rango de 0 a 2,500 msnm para las áreas con potencial y de 500 a 1,000 metros para las áreas óptimas (Sotelo, *op cit.*; Benacchio, *op cit.*). La pendiente se ubica en un rango de 1 a 15 por ciento para ambos tipos de áreas (Sotelo, *op cit.*), mientras que el pH se ubica entre 5.3 - 7.5 para las áreas con potencial y 5.5 - 6.5 para las óptimas (Ruiz *et al.*, 2013, Benacchio, *op cit.*; Duke, 1983).

El rango de precipitación para las áreas con potencial se ubica entre los 500 y 2,000 mm promedio por ciclo y de los 500 a los 1,000 mm para las áreas óptimas (Sotelo, *op cit.*; Benacchio, *op cit.*). La temperatura correspondiente a las áreas de potencial se ubica entre los 10 y 30 grados Celsius promedio anual, mientras que para las óptimas es de 16 a 24 grados Celsius (Ruiz *op cit.*; Navarro, 1983).

### **Áreas de aptitud para Café Arábica**

La altitud para el desarrollo del café arabica en las áreas con potencial se ubica en el rango de 600 a 2,000 msnm y de 700 a 1,300 metros para las áreas óptimas (Fundación PRODUCE, 2003 citado en González y Hernández, 2016; CONABIO 2015). La pendiente de las áreas potenciales se ubica en un rango de 0 a 60 por ciento, y entre 1 y 33 por ciento para las óptimas (González y Hernández, *op cit.*; Bezaury, 2014), mientras que el pH se ubica entre 4.5 - 7 para las áreas con potencial y 4.5 - 5.5 para las óptimas (González y Hernández, *op cit.*; Ruiz, *op cit.*).

El rango de precipitación para las áreas con potencial se ubica entre los 1,000 y 3,000 mm promedio por ciclo y de los 1,500 a los 2,000 mm para las áreas óptimas, mientras que para la temperatura corresponde a las áreas de potencial se ubica entre los 12 y 26 grados Celsius promedio anual, mientras que para las óptimas es de 17 a 23 grados Celsius (González y Hernández, *op cit.*; Ruiz, *op cit.*).

### **Áreas de aptitud para Café Robusta**

La altitud para el desarrollo del café robusta en las áreas con potencial se ubica en el rango de 0 a 1,000 msnm y de 0 a 700 metros para las áreas óptimas (CONABIO 2015). Al igual que en el caso de la variedad arabica, la pendiente de las áreas potenciales se ubica en un rango de 0 a 60 por ciento, y entre 1 y 33 por ciento para las óptimas (González y Hernández, *op cit.*; Bezaury, 2014), mientras que el pH se ubica entre 4.5 - 7 para las áreas con potencial y 4.5 - 5.5 para las óptimas (González y Hernández, *op cit.*; Ruiz, *op cit.*).

El rango de precipitación para las áreas con potencial se ubica entre los 1,000 y 3,800 mm promedio por ciclo y de los 1,800 a los 2,500 mm para las áreas óptimas, mientras que para la temperatura corresponde a las áreas de potencial se ubica entre los 16 y 28 grados Celsius promedio anual, mientras que para las óptimas es de 18.3 a 26.7 grados Celsius (FIAGRO, 2005; Baradas, 2004; Ruiz, *op cit.*).

### **3.4.3. Modelación del carbono almacenado en la Biomasa aérea**

La estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea fue realizado a partir de la información dasométrica resultante del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2010), donde cada conglomerado está integrado por 4 unidades de muestreo secundarias circulares o rectangulares, según sea el ecosistema, dispuestas en forma de una Y invertida, cada una con una superficie de 400m<sup>2</sup>. La información levantada en estas unidades es la siguiente: Nombre científico y común de la especie, su diámetro normalizado (DN) y su altura total (A) por árbol (CONAFOR, 2010). En este trabajo para la estimación del carbono por árbol se aplicaron ecuaciones de biomasa de acuerdo a la especie, género o bioma, en función de la disponibilidad de las mismas así como de la diversidad de las especies en el área de estudio.

Las ecuaciones alométricas fueron consultadas en AloMéxico, la cual es una herramienta que fue desarrollada por el “Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades REDD+ y cooperación Sur-Sur” y divulgada a través del “Centro de Excelencia Virtual en Monitoreo Forestal en Centroamérica” de la CONAFOR (<http://mrv.cnf.gob.mx/modelosalometricos/index.php/inicio>).

Para llevar estas estimaciones por conglomerado a hectárea, se empleó la metodología propuesta por Smelko y Merganic (2008), en la cual se considera un estimador de media de razones, donde el numerador corresponde al total del carbono obtenido considerando los valores de carbono obtenidos en las parcelas de 400 m<sup>2</sup> y el denominador se refiere a la superficie muestreada en cada conglomerado, y se obtiene al multiplicar 400 m<sup>2</sup> por el número de parcelas de 400 m<sup>2</sup> evaluadas en el i-ésimo conglomerado (PAOT-INIFAP, 2010). El estimador puntual por hectárea para el i-ésimo conglomerado se representa de la siguiente manera (PAOT-INIFAP, 2010):

$$Y_{ha(i)} = \frac{Y_i}{X_i} = \frac{\sum_{j=1}^m Y_{ij}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^t Y_{ijk}}{\sum_{j=1}^m X_{ij}}$$

Donde:

Y<sub>ijk</sub>: Es el carbono del k-ésimo árbol (t árboles) obtenido con la ecuación de carbono. Este árbol pertenece a la j-ésima unidad de muestreo secundaria y al i-ésimo conglomerado.

X<sub>ij</sub>= 400 m<sup>2</sup>, es la superficie de j-ésima unidad de muestreo secundaria perteneciente al i-ésimo conglomerado.

m: Número de unidades de muestreo secundarias evaluadas en el i-ésimo conglomerado.

t: Número de árboles evaluados en la unidad de muestreo secundaria perteneciente al i-ésimo conglomerado.

Una vez realizado esto se seleccionaron, de manera aleatoria, el 50% de los sitios se usaron para calibrar y el otro 50% verificar el modelo de regression-kriging.

Método de Regression-Kriging (RK) es una técnica de interpolación híbrida que emplea la combinación de métodos de regresión lineal con Kriging ordinario sobre los residuales de la regresión (Hengl *et al.*, 2003). En este caso las predicciones son llevadas a cabo por separado para la deriva y los residuos, para luego ser añadidos juntos (Hengl *et al.*, 2003):

$$\hat{z}_{RK}(s_0) = \hat{m}(s_0) + \hat{e}(s_0)$$

$$\hat{z}_{RK}(s_0) = \sum_{k=0}^p \hat{\beta}_k * q_k(s_0) + \sum_{i=0}^n \varpi_i(s_0) * e(s_i)$$

$\beta_k$  son los coeficientes del modelo de deriva,  $q_k$  es el número de variables auxiliares,  $\omega_i(s_0)$  son los pesos determinados por el semivariograma y  $e$  son los residuales de la regresión. En forma matricial se expresa (Hengl *et al.*, 2003):

$$\begin{aligned} z &= q^T * \beta + \epsilon \\ \hat{z}(s_0) &= q_0^T * \hat{\beta} + \lambda_0^T * e \end{aligned}$$

Donde  $\epsilon$  son los residuales de la regresión,  $q_0$  es el vector de  $p$  variables auxiliares en  $S_0$ , es el vector de  $p + 1$  variables estimado de la deriva,  $\lambda_0$  es el vector de los  $n$  pesos del Kriging y  $e$  es el vector de los  $n$  residuales. Tomando en consideración la correlación espacial de los residuales, los coeficientes del modelo se resuelven con una generalización de estimación de mínimos cuadrados (Hengl *et al.*, 2003):

$$\hat{\beta} = (q^T * C^{-1} * q)^{-1} * q^T * C^{-1} * z$$

Donde  $q$  es la matriz de variables auxiliares en todos los puntos observados o muestreados,  $z$  es el vector de las observaciones muestreados, y  $C$  es la  $n \times n$  matriz de covarianza de los residuales siguiente (Hengl *et al.*, 2003):

$$C = \begin{bmatrix} C(s_1, s_2) & \dots & C(s_1, s_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C(s_n, s_2) & \dots & C(s_n, s_n) \end{bmatrix}$$

La matriz de covarianza entre pares muestreados  $C(s_i, s_j)$  puede ser estimada mediante el modelo del semivariograma, el cuál incorpora la correlación espacial y sus variaciones locales de residuales dentro de los parámetros de la estimación de los modelos de regresión. El método de Regression-kriging se ha reportado en múltiples ocasiones para el modelado de la distribución espacial de la biomasa o carbono en bosques (Viana *et al.*, 2012; Castillo-Santiago *et al.*, 2013; Galeana *et al.*, 2014).

En este sentido se empleó como variable secundaria un modelo continuo de altura del dosel, el cual se generó a partir del método Co-kriging ordinario a partir de las alturas de los árboles reportadas en el Inventario Nacional Forestal y el Global Forest Canopy Height propuesto por Simard *et al.*, (2011), siendo la altura de los árboles una variable que proporciona mediciones de la estructura vertical de las masas forestales y por ende con la biomasa (Lefsky *et al.*, 2002; Hyde *et al.*, 2006; Santoro *et al.*, 2007; Balzter *et al.*, 2007; García *et al.*, 2009; Gleason y Im, 2012, Zolkos *et al.*, 2013; Galeana *et al.*, 2016).

El Global Forest Canopy Height es un modelo digital del dosel gratuito derivado de información Lidar derivado del sensor Geoscience Laser Altimeter System (GLAS) a bordo de la plataforma ICESat. Cuyo barrido fue efectuado con una densidad de puntos de 121 puntos por grado al cuadrado y resolución espacial es de 1 km. Cuya precisión fue evaluada a partir 66 sitios FLUXNET, arrojando un error cuadrático medio de 4.4 metros (Simard *et al.*, 2011).

Para bajar la resolución espacial del modelo a 1 ha, se llevó el modelo bivariado con los datos de altura de los conglomerados denominado Co-kriging ordinario, donde a partir de la autocorrelación espacial y combinación lineal de ambas variables se generó un nuevo modelo de altura del dosel del área de estudio.

Posteriormente se llevó a cabo el modelo de regresión simple para determinar la correlación entre el carbono almacenado en la biomasa asociado a los conglomerados respecto al modelo continuo de altura del dosel y así mismo, para poder estimar la autocorrelación espacial de los residuales y evaluar la pertinencia del método de Regression-Kriging y con lo los cuales se realizó un kriging ordinario para sumarse a la parte determinística del modelo de regresión.

El modelo resultante fue verificado con los valores muestrales de los sitios de validación. Para evaluar estas diferencias se calcula el error cuadrático medio. Cuanto más pequeño sea, mejores serán las predicciones. Su expresión matemática es (Goovaerts, 2000):

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{(si)} - z_{(si)})^2}{n}}$$

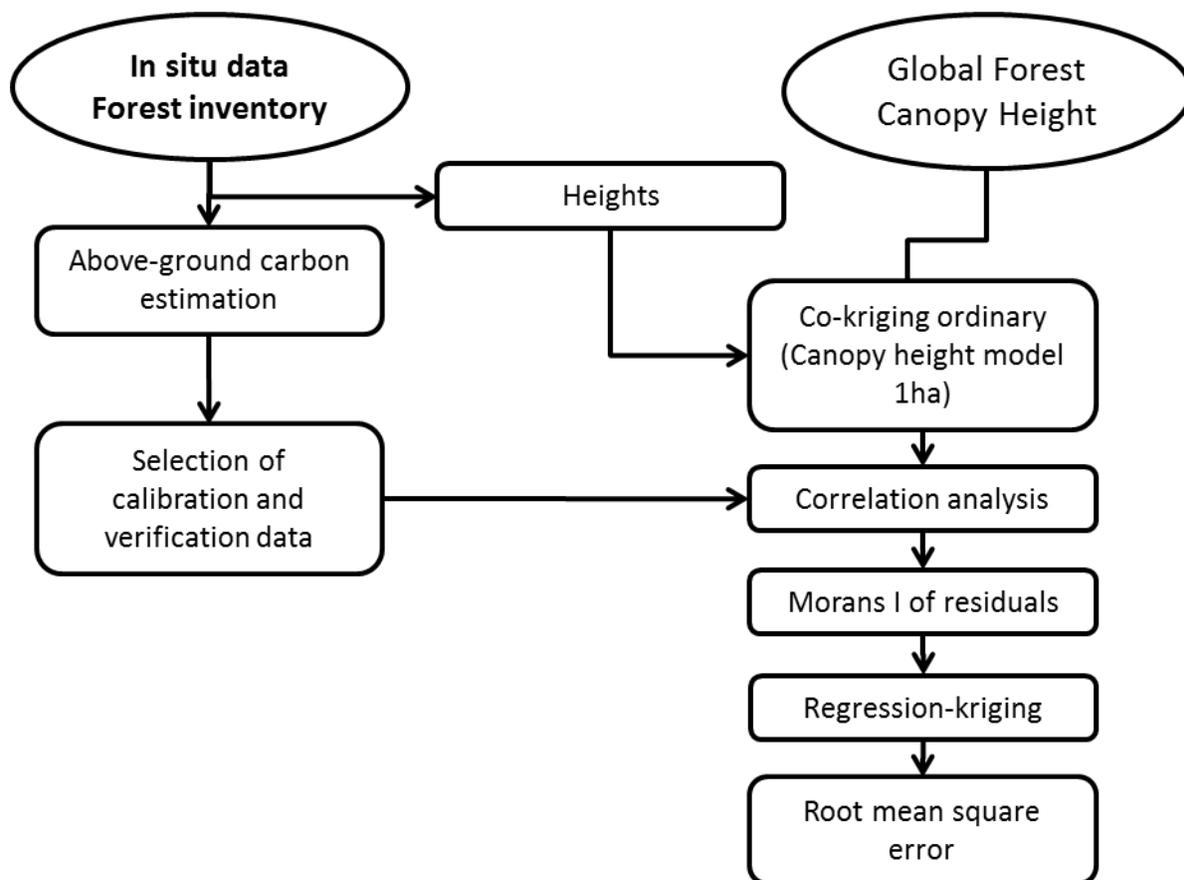
Donde

$Z_{(si)}$  = Valor real

$z_{(si)}$  = Valor estimado

n= número total de muestras

El diagrama de flujo que resume la metodología propuesta para la modelación del carbono almacenado en la Biomasa aérea se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** Diagrama de flujo para la modelación del carbono almacenado en la Biomasa.

#### 4 Actividades desarrolladas y resultados obtenidos

A continuación se enlistan las actividades desarrolladas como parte de la primera etapa del proyecto:

1. **Seminario de investigación.** Mayo a noviembre de 2016. Estrategia desarrollada para llevar a cabo discusión acerca de la propuesta metodológica que sustenta el proyecto. (Ver Anexo I)

**Sesión 1.** 30 de mayo de 2016. Presentación del proyecto y del grupo de trabajo a la CONANP y la GIZ

**Sesión 2.** 9 de junio de 2016. Discusión sobre conceptos generales y definiciones sobre servicios ecosistémicos

**Sesión 3.** 23 de junio de 2016. Revisión de servicios ecosistémicos en relación a la agricultura

**Sesión 4.** 14 de julio de 2016. Revisión sobre la metodología de Integración de los Servicios Ecosistémicos en la Planificación del Desarrollo (ISE) desarrollado por la GIZ (Kosmus *et al.*, 2012)

**Sesión 5.** 7 de septiembre de 2016. Discusión sobre la propuesta metodológica para el mapeo y modelado biofísico de los servicios ecosistémicos seleccionados para el estudio (provisión de agua, provisión de alimentos y almacenamiento de carbono)

**Sesión 6.** 7 de noviembre de 2016. Presentación de resultados del modelado biofísico y su discusión en relación a las posibles estrategias a desarrollar para la valoración económica

2. **Taller.** 25-26 de agosto de 2016. Primer Taller de Valoración los Servicios Ecosistémicos en el Complejo Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas en la sesión de trabajo Valoración Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos. (Ver Anexo II)
3. **Sesiones de trabajo técnico.** Septiembre a noviembre de 2016. Taller teórico-práctico para el aprendizaje del software *Land Change Modeler* de Clark Labs, para el análisis y simulación de escenarios de uso de suelo y cobertura terrestre. (Ver Anexo III)
4. **Ponencia 1.** 18-21 de octubre de 2016. Presentación del trabajo “Valoración los Servicios Ecosistémicos en el Complejo Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas” en la Primera Conferencia Regional de la Alianza de Servicios Ecosistémicos (*Ecosystem Services Partnership-ESP*) en Latinoamérica y el Caribe. Cali, Colombia. (Ver Anexo IV)
5. **Tesis de licenciatura.** Junio a noviembre de 2016. Desarrollado la tesis titulada “Modelo de calidad de hábitat y corredores para la evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos en el complejo Sierra Madre de Chiapas” elaborada por Sandra Lizbeth Medina Fernandez y Catalina Ordoñez Ramos. (Ver Anexo V)
6. **Ponencia 2.** 10-11 de noviembre de 2016. Presentación del trabajo “Valoración los Servicios Ecosistémicos en el Complejo Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas” en el 1er Congreso

Internacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México.  
(Ver Anexo VI)

- 7. Posgrado.** Agosto a noviembre de 2016. Impartición de la asignatura optativa “Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota para el Análisis de la Sostenibilidad” en el programa de Maestría de Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM. (Ver Anexo VII)

## **5 Siguiendo pasos (segunda etapa)**

Los resultados que se han producido durante esta etapa del proyecto en relación a las actividades arriba descritas, permiten avanzar hacia el desarrollo de la segunda etapa, en la que se espera completar los últimos tres pasos de la metodología ISE (Kosmus *et al.*, 2012). Las actividades a desarrollar durante esta segunda etapa consistirán en:

1. Realización del segundo taller de valoración económica para dar cuenta del paso 4 de la metodología propuesta.
2. Diseño y ejecución de la estrategia de valoración económica para los servicios ecosistémicos modelados. Esta actividad incluirá tanto trabajo de gabinete como de campo.
3. Presentación de resultados de la valoración económica a los actores interesados durante la realización del tercer taller comprometido (pasos 5 y 6).
4. Elaboración de productos comprometidos. Durante la segunda etapa, se llevará a cabo el desarrollo de una aplicación web que permita hacer explícita la metodología empleada para la valoración de los servicios ecosistémicos identificados. Así como de la experiencia en general del proceso llevado a cabo durante todas las etapas del proyecto a través del diseño y elaboración de material de difusión para diversos actores.
5. Elaboración de manuscrito que consignará los resultados de la investigación. En donde se plantea como valor agregado el incorporar información sobre los factores de cambio y sus consecuencias para los servicios ecosistémicos y el bienestar humano, mediante un proceso social junto con las partes interesadas en la gestión de los ecosistemas.

## 6 Referencias

- Adamowski, J., Chan, H. F., Prasher, S. O., & Sharda, V. N. (2012). Comparison of multivariate adaptive regression splines with coupled wavelet transform artificial neural networks for runoff forecasting in Himalayan micro-watersheds with limited data. *Journal of Hydroinformatics*, 14(3), 731-744.
- Andrew, M. E., Wulder, M. A., & Nelson, T. A. (2014). Potential contributions of remote sensing to ecosystem service assessments. *Progress in Physical Geography*, 38(3), 328-353.
- Andrew, M. E., Wulder, M. A., Nelson, T. A., & Coops, N. C. (2015). Spatial data, analysis approaches, and information needs for spatial ecosystem service assessments: a review. *GIScience & Remote Sensing*, 52(3), 344-373.
- Baca D., J., P. F. Díaz J. y A. Amador. (1992). Regionalización agrícola de las huastecas: agroambientes y zonas agrícolas. *Rev. de Geogr. Agríc.* 17: 7-65.
- Bagstad, K. J., Semmens, D. J., Waage, S., & Winthrop, R. (2013). A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 5, 27-39.
- Balvanera, P., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., Ricketts, T. H., Bailey, S. A., Kark, S., ... & Pereira, H. (2001). Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science*, 291(5511), 2047-2047.
- Balzter, H., Rowland, C. and Saich, P., (2007), Forest canopy height and carbon estimation at Monks Wood National Natura Reserve, UK, using dual-wavelength SAR Interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 108, 224-239.
- Band, L. E., Hwang, T., Hales, T. C., Vose, J., & Ford, C. (2012). Ecosystem processes at the watershed scale: Mapping and modeling ecohydrological controls of landslides. *Geomorphology*, 137(1), 159-167.
- Baradas, M. W. (1994). Crop requirements of tropical crops. En *Handbook of agricultural meteorology*. J.F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202.
- Benacchio, S.S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p
- Bezaury, A. (2014). *Café sustentable: Manual de buenas prácticas para la producción de café sustentable*. Alianza México-Redd-USAID.

- Castillo-Santiago, M., Ghilardi, A., Oyama, K., Hernández-Stefanoni, J., Torres, I., Flamenco-Sandoval, A., Fernández, A., Mas, J., (2013). Estimating the spatial distribution of woody biomass suitable for charcoal making from remote sensing and geostatistics in central Mexico. *Energy for Sustainable Development* 17, 177–188.
- Ceballos-Silva, A., y López-Blanco, J. (2010). Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una evaluación multicriterio-SIG. *Terra Latinoamericana* Vol. 28, no. 2, Chapingo, México.
- Comisión Nacional Forestal CONAFOR., (2010), Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Re-muestreo 2010. México, 140 p.
- CONABIO. (2015). Bosques, selvas y cafés de Chiapas. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, recuperado de [http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/pdf/bosques\\_selvas\\_cafes\\_chiapas.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/corredor/cbmm/pdf/bosques_selvas_cafes_chiapas.pdf).
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Raskin, R. G. (2016). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital (1997). *The Globalization and Environment Reader*, 117.
- Couturier, S., Núñez, J. M., & Kolb, M. (2012). Measuring tropical deforestation with error margins: A method for REDD monitoring in south-eastern Mexico. INTECH Open Access Publisher.
- Cowling, R. M., Ego, B., Knight, A. T., O'Farrell, P. J., Reyers, B., Rouget, M., ... & Wilhelm-Rechman, A. (2008). An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9483-9488.
- Crossman, N. D., & Bryan, B. A. (2009). Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multifunctionality. *Ecological Economics*, 68(3), 654-668.
- Crossman, N. D., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemsen, L., Petz, K., Palomo, I., ... & Alkemade, R. (2013). A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. *Ecosystem Services*, 4, 4-14.
- Daily, G. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- Daily, G. C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Mooney, H. A., Pejchar, L., ... & Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 21-28.
- De Groot, R. S. (1987). Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. *Environmentalist*, 7(2), 105-109.

- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.
- Devia, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic Procedia*, 4, 1001-1007.
- Doorenbos, J. y A.H. Kassam. (1979). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma. 212 p.
- Duke, J.A. (1983). *Phaseolus vulgaris L. handbook of energy crops. Horticulture and Landscape Architecture. Purdue University.* Unpublished
- Easton, Z. M., Fuka, D. R., White, E. D., Collick, A. S., Biruk Ashagre, B., McCartney, M., ... & Steenhuis, T. S. (2010). A multi basin SWAT model analysis of runoff and sedimentation in the Blue Nile, Ethiopia. *Hydrology and earth system sciences*, 14(10), 1827-1841.
- Farmer, W. H., & Vogel, R. M. (2016). On the deterministic and stochastic use of hydrologic models. *Water Resources Research*, 52(7), 5619-5633.
- Feld, C. K., J. P. Sousa, P. M. Da Silva, and T. P. Dawson. (2010). Indicators for Biodiversity and Ecosystem Services: Towards an Improved Framework for Ecosystems Assessment. *Biodiversity and Conservation* 19: 2895–2919. doi:10.1007/s10531-010-9875-0
- Fernandez, A., Zavala, J., Romero, R. y Trejo, R. I. (2014). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, INECC y SEMARNAT.
- FIAGRO. (2005). Manual de Caficultura Orgánica para el Productor. CLUSA/El Salvador, UCRAPROBEX
- Fisher, B., & Turner, R. K. (2008). Ecosystem services: classification for valuation. *Biological conservation*, 141(5), 1167-1169.
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological economics*, 68(3), 643-653.
- Fundación PRODUCE de Chiapas e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. (2003). Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, 58 p.
- Galeana-Pizaña, J. M., López-Caloca, A., López-Quiroz, P., Silván-Cárdenas, J. L., & Couturier, S. (2014). Modeling the spatial distribution of above-ground carbon in Mexican coniferous forests using remote sensing and a geostatistical approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30, 179-189.

- Galeana-Pizaña, J. M., Núñez Hernández, Juan Manuel & Corona Romero, Nirani (2016). Remote Sensing-Based Biomass Estimation, Environmental Applications of Remote Sensing, Prof. Maged Marghany (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/61813.
- García, M., Riaño, D., Chuvieco, E., Danson, M., (2009). Estimating biomass carbon stocks for a Mediterranean forest in central Spain using LIDAR height and intensity data. *Remote Sensing of Environment* 114, 816–830.
- Gleason, C., Im, J., 2012. Forest biomass estimation from airborne LiDAR data using machine learning approaches. *Remote Sensing of Environment* 125, 80–91.
- González de C., M. (1984). *Especies vegetales de importancia económica en México*. Ed. Porrúa. México, 305 p
- González, H. y Hernández, J. R., (2016). Zonificación agroecológica del Coffea arabica en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, núm. 90, pp. 105-118 UNAM.
- Goovaerts, P., (2000), Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- Hein, L., Van Koppen, K., De Groot, R. S., & Van Ierland, E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological economics*, 57(2), 209-228.
- Hengl, T., Heuvelink, G. and Stein, A., (2003), Comparison of Kriging with external drift and regression-kriging. Technical note, ITC, Available online at [http://www.itc.nl/library/Academic\\_output/](http://www.itc.nl/library/Academic_output/)
- Hyde, P., et al., (2006), Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/ InSAR, ETM+, Quickbird) synergy. *Remote Sensing of Environment*, 102, 63-73.
- Kosmus, M., Renner, I., & Ullrich, S. (2012). Integrating ecosystem services into development planning: A stepwise approach for practitioners based on the TEEB approach. GIZ, Bonn/Eschborn, Germany.
- Kozak, J., Lant, C., Shaikh, S., & Wang, G. (2011). The geography of ecosystem service value: The case of the Des Plaines and Cache River wetlands, Illinois. *Applied Geography*, 31(1), 303-311.
- Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Harding, D.J., Parker, G.G., Acker, S.A., Gower, S.T., (2002). Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes. *Global Ecology and Biogeography* 11, 393–399.
- Lele, S., Springate-Baginski, O., Lakerveld, R., Deb, D., & Dash, P. (2013). Ecosystem services: origins, contributions, pitfalls, and alternatives. *Conservation and Society*, 11(4), 343.

- Lobbrecht, A. H., Dibike, Y. B., & Solomatine, D. P. (2002). Applications of Neural Networks and Fuzzy Logic to Integrated Water Management Project Report. IHE, Delft.
- Martínez-Harms, M. J., & Balvanera, P. (2012). Methods for mapping ecosystem service supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), 17-25.
- Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., Del Amo, D. G., ... & González, J. A. (2012). Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. *PloS one*, 7(6), e38970.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington DC.
- Moradkhani, H., & Sorooshian, S. (2009). General review of rainfall-runoff modeling: model calibration, data assimilation, and uncertainty analysis. In *Hydrological modelling and the water cycle* (pp. 1-24). Springer Berlin Heidelberg.
- Moreno D., R. (1992). Criterio para la interpretación de resultados de análisis de suelos. Documento de circulación interna. INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Toluca. Toluca, Edo. de México. 25 p
- Morse-Jones, S., Luisetti, T., Turner, R. K., & Fisher, B. (2011). Ecosystem valuation: some principles and a partial application. *Environmetrics*, 22(5), 675-685.
- Nahuelhual, L., Laterra, P., Villarino, S., Mastrángelo, M., Carmona, A., Jaramillo, A., ... & Burgos, N. (2015). Mapping of ecosystem services: missing links between purposes and procedures. *Ecosystem Services*, 13, 162-172.
- Navarro S., F. (1983). Marco de referencia del área. In: *Frijol en el Noroeste de México. Tecnologías de producción*. SARH-INIA-CIPAC. CAEVACU. CPIEAS. Culiacán, Sinaloa, México. pp. 1-28
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D., ... & Lonsdorf, E. (2009). Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4-11.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122-131.
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E., & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land use policy*, 33, 118-129.

- Plummer, M. L. (2009). Assessing benefit transfer for the valuation of ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 38-45.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT), (2010). Estimación de almacenamiento de carbono en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, 2010, Informe Técnico, México, PAOT: INIFAP. 51 p.
- Purseglove, J.W. (1985). *Tropical crops: Monocotyledons*. Longman Scientific and Technical. N.Y., U.S.A. 607 p
- Raymond, C. M., Bryan, B. A., MacDonald, D. H., Cast, A., Strathearn, S., Grandgirard, A., & Kalivas, T. (2009). Mapping community values for natural capital and ecosystem services. *Ecological economics*, 68(5), 1301-1315.
- Reyers, B., O'Farrell, P. J., Cowling, R. M., Egoh, B. N., Le Maitre, D. C., & Vlok, J. H. (2009). Ecosystem services, land-cover change, and stakeholders: finding a sustainable foothold for a semiarid biodiversity hotspot.
- Santoro, M., et al., (2007), Properties of ERS-1/2 coherence in the Siberian boreal forest and implications for stem volume retrieval. *Remote Sensing of Environment*, 106, 154-172.
- Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of applied Ecology*, 48(3), 630-636.
- Sherrouse, B. C., Clement, J. M., & Semmens, D. J. (2011). A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services. *Applied geography*, 31(2), 748-760.
- Simard, M., Pinto, N., Fisher, J. B., & Baccini, A. (2011). Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G4).
- Šmelko Š, Merganič J. Some methodological aspects of the National Forest Inventory and Monitoring in Slovakia. *Journal of Forest Science*. (2008); 54:476–483.
- Sotelo, E. D., González, A., Cruz, G., Martínez, A. y Flores, R. (2012). *Determinación del Potencial Productivo en Cultivos Prioritarios en el Estado de México*. INIFAP, Gobierno del Estado de México, Fundación Produce y SAGARPA.
- Spangenberg, J. H., & Settele, J. (2010). Precisely incorrect? Monetising the value of ecosystem services. *Ecological Complexity*, 7(3), 327-337.

- Sutton, P. C., & Costanza, R. (2002). Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation. *Ecological Economics*, 41(3), 509-527.
- Tallis, H., Lester, S. E., Ruckelshaus, M., Plummer, M., McLeod, K., Guerry, A., ... & Fox, D. (2012). New metrics for managing and sustaining the ocean's bounty. *Marine Policy*, 36(1), 303-306.
- Viana, H., Aranha, J., Lopes, D., Cohen, W., (2012). Estimation of crown biomass of *Pinus pinaster* stands and shrubland above-ground biomass using inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction models. *Ecological Modelling* 226, 22–35.
- Wang, Z., Wang, Z., Zhang, B., Lu, C., & Ren, C. (2015). Impact of land use/land cover changes on ecosystem services in the Nenjiang River Basin, Northeast China. *Ecological Processes*, 4(1), 1.
- Willemen, L., Drakou, E. G., Dunbar, M. B., Mayaux, P., & Egoh, B. N. (2013). Safeguarding ecosystem services and livelihoods: understanding the impact of conservation strategies on benefit flows to society. *Ecosystem Services*, 4, 95-103.
- Willemen, L., Verburg, P. H., Hein, L., & van Mensvoort, M. E. (2008). Spatial characterization of landscape functions. *Landscape and Urban Planning*, 88(1), 34-43.
- Zolkos, S., Goetz, S., Dubayah, R., (2013). A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using Lidar remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 128, 289–298.