

Community participation for carbon measurement in forests of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico

Participación comunitaria para la medición de carbono en bosques de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México

M. Isabel Ramírez^{1*}; Daniel Benet²; Diego R. Pérez-Salicrup³; Margaret Skutsch¹; Ysmael Venegas-Pérez²

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701. C. P. 58190. Morelia, Michoacán, México.

²Alternare, A. C. Caravaggio 27, col. Nonoalco-Mixcoac. C. P. 03700. Benito Juárez, Ciudad de México, México.

³Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701. C. P. 58190. Morelia, Michoacán, México.

*Corresponding author: isabelrr@ciga.unam.mx, tel.: +52 (443) 322-3841

Abstract

Introduction: Community participation is an effective strategy for forest management and ecosystem services management.

Objectives: To apply participatory methods for estimating carbon stocks in community owned forests and to identify land uses and conflicts that may influence the maintenance of these forests.

Materials and methods: Participatory mapping workshops were held in four communities. Members were instructed in the measurement of tree-size parameters to estimate aboveground carbon in forest biomass. Work was conducted in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, a priority area for REDD+ in Mexico.

Results and discussion: Awareness-raising, acceptance and flexibility processes were identified towards the incorporation of participatory tools, both for future participation in carbon markets and to improve existing forest management practices of the communities. Carbon values obtained through participatory methods were consistent with those identified by experts for the forest types included in this study. Averages of 112, 98 and 91 Mg C·ha⁻¹ were estimated in conifer-dominated, broadleaf-dominated and mixed-species forest sites, respectively. In some communities there are conflicts over land ownership boundaries and there are some internal conflicts where community agreements have not been respected.

Conclusion: Participatory methods of tree carbon mapping and measurement support forest management through the generation of reliable data that can facilitate community management of resources. Carbon stocks were associated more with the degree of forest conservation, than with vegetation type, and forest disturbance is more associated with internal and external conflicts than with forest management practices.

Keywords: Community forest management; carbon stocks; land use; tree carbon; REDD+.

Resumen

Introducción: La participación comunitaria es una estrategia efectiva para el manejo forestal y la gestión de servicios ecosistémicos.

Objetivos: Aplicar métodos participativos para la estimación de reservas de carbono en bosques comunitarios e identificar los usos de suelo y conflictos que pueden influir en su mantenimiento.

Materiales y métodos: Se realizaron talleres de mapeo participativo en cuatro comunidades; los miembros fueron instruidos en la medición de variables dasométricas, para estimar carbono en biomasa forestal aérea. Se trabajó en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, una región de atención prioritaria para REDD+ en México.

Resultados y discusión: Se identificaron procesos de sensibilización, aceptación y flexibilidad hacia la incorporación de herramientas participativas, tanto para una posible participación en mercados de carbono como para mejorar las prácticas de manejo forestal de las comunidades. Los valores de carbono obtenidos mediante los métodos participativos concuerdan con los identificados por los expertos para estos tipos de bosques. Se estimaron promedios de 112, 98 y 91 Mg C·ha⁻¹ en sitios del bosque dominados por coníferas, latifoliadas y mixtos, respectivamente. En algunas comunidades existen conflictos por límites de propiedad de la tierra y conflictos internos donde los acuerdos comunitarios no se han respetado.

Conclusión: Los métodos participativos de mapeo y medición del carbono arbóreo apoyan el manejo forestal a través de la generación de datos confiables que facilitan la gestión comunitaria de los recursos. Las reservas dependen más del grado de conservación del sitio que del tipo de vegetación, y la perturbación del bosque está más asociada a conflictos internos y externos que al manejo forestal.

Palabras clave: Manejo forestal comunitario; reservas de carbono; uso del suelo; carbono arbóreo; REDD+.

Introduction

Forests cover about 30 % of the Earth's land surface, totaling almost 4 billion hectares (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016). Between 1990 and 2015, 129 million hectares of forests were lost globally, which is equivalent to an approximate loss of 11 Pg (11 billion tons) of carbon stocks through deforestation or forest degradation (FAO, 2016). The loss and disturbance of temperate and tropical forests is the second largest source of direct CO₂ emissions to the atmosphere (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

In 2008, the Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation Plus (REDD+) initiative was launched as one of the global strategies to mitigate climate change. This initiative aims to reduce greenhouse gas (GHG) emissions through the conservation and sustainable management of forests in developing countries (Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Development Programme, & United Nations Environment Programme [FAO, UNDP, & UNEP], 2015). REDD+ seeks to consolidate itself as a form of environmental governance for sustainable development that contributes to alleviating rural poverty and inequality, as well as guaranteeing the conservation of biodiversity (Corbera & Schroeder, 2011). In this way, each nation is responsible for directing its own program according to its particular conditions, but with the informed and active involvement of relevant social actors, including indigenous groups and rural communities dependent on forests (FAO, UNDP, & UNEP, 2015).

In developing countries, about 25 % of forests are under community ownership or management schemes (Bluffstone, Robinson, & Guthiga, 2013), so it is paramount to include local communities in the design and implementation of any public policy that affects their territories. Community participation in carbon measurement and monitoring makes it possible to physically measure forest degradation, biomass density and the annual increase in carbon stocks, variables that are difficult to measure reliably using remote sensing technologies (Skutsch & McCall, 2011). It also allows recording social and other kinds of environmental data simultaneously, observing changes in community territories in real time and explaining in detail the causes of carbon stock losses. In addition, the appropriation of measurement and data collection techniques by communities can improve their management capacity and strengthen the owners' sense of territory (Butt, Epps, Overman, Iwamura, & Fragoso, 2015; Larrazábal, McCall, Mwampamba, & Skutsch, 2012; Sharma, Deml, Dangal, Rana, & Madigan, 2015). Communities can and should measure changes

Introducción

Los bosques cubren cerca de 30 % de la superficie terrestre con casi 4 000 millones de hectáreas (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2016). Entre 1990 y 2015 se perdieron 129 millones de hectáreas de bosques a nivel global, que equivalen a una pérdida aproximada de 11 Pg (11 000 millones de toneladas) de reservas de carbono por deforestación o degradación forestal (FAO, 2016). Esto mantiene a la pérdida y perturbación de bosques y selvas como la segunda fuente de emisiones directas de CO₂ a la atmósfera (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

En 2008 se puso en marcha el programa REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation Plus*) como una de las estrategias globales para mitigar el cambio climático. Esta iniciativa tiene por objetivo reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) mediante la conservación y manejo sostenible de los bosques de países en desarrollo (Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Development Programme, & United Nations Environment Programme [FAO, UNDP, & UNEP], 2015). REDD+ busca consolidarse como una forma de gobernanza ambiental para el desarrollo sustentable, que contribuya a aliviar la pobreza y desigualdad rural, así como a garantizar la conservación de la biodiversidad (Corbera & Schroeder, 2011). De esa manera, cada nación es responsable de dirigir el programa de acuerdo con sus condiciones particulares, pero con el involucramiento informado y activo de los actores sociales relacionados, entre ellos los grupos indígenas y las comunidades rurales dependientes de los bosques (FAO, UNDP, & UNEP, 2015).

En los países en vías de desarrollo, alrededor de 25 % de los bosques se encuentran bajo esquemas de propiedad o manejo comunitario (Bluffstone, Robinson, & Guthiga, 2013), por lo que es primordial incluir a las comunidades locales en el diseño y aplicación de cualquier política pública que afecte sus territorios. La participación comunitaria en la medición y monitoreo del carbono permite medir físicamente la degradación forestal, la densidad de biomasa y el incremento anual de reservas, variables que difícilmente se pueden medir con fiabilidad mediante tecnologías de percepción remota (Skutsch & McCall, 2011); también permite registrar datos sociales y ambientales de manera simultánea, observar los cambios en sus territorios en tiempo real y explicar con detalle las causas de las pérdidas en las reservas de carbono. Además, la apropiación de técnicas de medición y obtención de datos mejora la capacidad de manejo e impacta en la apropiación del territorio por parte de los usuarios (Butt, Epps, Overman, Iwamura, & Fragoso,

in their carbon stocks as a strategy for more effective, efficient and integrated forest management (Agrawal & Angelsen, 2009; Skutsch & McCall, 2011). In the case of forest carbon measurement and monitoring, global studies have reported that participatory methods yield valid, robust and reliable data (Hawthorne, Boissière, Felker, & Atmadja, 2016; Larrazábal et al., 2012).

It has been shown that communities that monitor their forests also manage them better (Gibson, Williams, & Ostrom, 2005). In Mexico, 55 % of forest lands are under communal ownership schemes (Madrid, Nuñez, Quiroz, & Rodríguez, 2009). Although the national REDD+ strategy (ENAREDD+) does not consider community participation as part of its measurement, reporting and verification (MRV) system, it does include the development of skills in communities to carry out better forest management practices among its objectives (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2014; Ellis, Rodríguez-Ward, Romero-Montero, & Hernández, 2015). Moreover, if communities are able to increase their carbon stocks instead of just reducing their losses, they would have the possibility to participate in voluntary carbon markets, external to government programs, and sell the credits for the certified increases (Balderas & Skutsch, 2012).

The objectives of this study were to estimate carbon stocks in communally owned forests through participatory mapping and measurement methods, and to identify land uses, priority landscape elements and forest conflicts that may influence the maintenance or enhancement of carbon stocks. The study was conducted in an international conservation priority area: the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2008), which is part of the upper Cutzamala River basin, and which is one of the priority REDD+ regions in Mexico (Ellis et al., 2015), given its importance in providing water to the country's most densely populated region.

Materials and methods

Study area

The Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) has plant associations of oak (*Quercus* sp.), pine (*Pinus* sp.), sacred fir (*Abies religiosa* [Kunth] Schltdl. & Cham.) and mixed-species forests (Giménez, Ramírez, & Pinto, 2003), associated with its elevational gradient of between 2400 and 3620 m. Sacred fir forests are the habitat where colonies of monarch butterflies (*Danaus plexippus* L.) overwinter during November-March in Mexico (UNESCO, 2008). For more than 10 centuries, these forests have been used by the local population, as settlements dependent on the use of natural resources

2015; Larrazábal, McCall, Mwampamba, & Skutsch, 2012; Sharma, Deml, Dangal, Rana, & Madigan, 2015). Las comunidades pueden y deberían medir los cambios en sus reservas de carbono como estrategia para un manejo forestal más efectivo, eficiente e integral (Agrawal & Angelsen, 2009; Skutsch & McCall, 2011). En el caso de la medición y monitoreo de carbono forestal, estudios a nivel mundial han reportado que los métodos participativos arrojan datos válidos, robustos y confiables (Hawthorne, Boissière, Felker, & Atmadja, 2016; Larrazábal et al., 2012).

Se ha demostrado que las comunidades que monitorean sus bosques también los manejan mejor (Gibson, Williams, & Ostrom, 2005). En México, 55 % de las tierras forestales se encuentran bajo esquemas de propiedad comunal (Madrid, Nuñez, Quiroz, & Rodríguez, 2009). A pesar de que la Estrategia Nacional REDD+ (ENAREDD+) no considera la participación comunitaria como parte de su sistema de medición, reporte y verificación (MRV), sí tiene entre sus objetivos desarrollar capacidades en las comunidades para que lleven a cabo mejores prácticas de manejo forestal (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2014; Ellis, Rodríguez-Ward, Romero-Montero, & Hernández, 2015). En este sentido, si las comunidades son capaces de incrementar sus reservas de carbono en lugar de solo reducir sus pérdidas, tendrían la posibilidad de participar en mercados voluntarios de carbono, externos a los programas gubernamentales, y vender los créditos por los incrementos certificados (Balderas & Skutsch, 2012).

Los objetivos del presente estudio fueron estimar las reservas de carbono en bosques de propiedad comunal mediante métodos de mapeo y medición participativa, e identificar los usos del suelo, elementos prioritarios del paisaje y conflictos forestales que puedan tener influencia en el mantenimiento o incremento de las reservas de carbono. El estudio se realizó en un área prioritaria de conservación a nivel internacional: la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2008), que forma parte de la cuenca alta del Río Cutzamala, una de las regiones de atención prioritaria para REDD+ en México (Ellis et al., 2015), dada su importancia para la provisión de agua a la región más densamente poblada del país.

Materiales y métodos

Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), en relación con su gradiente altitudinal que va entre 2400 y 3620 m, presenta asociaciones vegetales de bosques de encino (*Quercus* sp.), pino (*Pinus* sp.), oyamel

have been established around them. Early evidence of this process is the pre-Hispanic ruin of Ziráhuato (650-1500 AD.; Guzmán, 2012) in the municipality of Zitácuaro, as well as the ruins of several agricultural, forestry and mining haciendas of the colonial era that can be seen in the surroundings of the reserve.

The MBBR covers 56259 ha divided into three core zones (13554 ha) and two buffer zones (42705 ha). By law, only environmental research and education activities that do not alter the habitat can be carried out in the core zones. In the buffer zones, controlled sustainable production activities such as ecotourism, forest management, and agricultural production are permitted (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP], 2000). Throughout the 20th century, most of the territory that currently makes up the MBBR was granted to agrarian nuclei in the form of communal property (ejidos and indigenous communities). The reserve also includes some private properties, a federal property and a state one. In the two forms of communal land tenure, individuals who hold the title of ejidatario or comunero make decisions about the management of common resources of the agrarian nuclei (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 1992).

Four agrarian nuclei of the municipality of Zitácuaro participated in this work: the indigenous communities of Carpinteros, Donaciano Ojeda and Francisco Serrato, and the ejido San Juan Zitácuaro. All have forest lands partially within the MBBR and cover a total area of 6563 ha (Figure 1). Each agrarian nucleus shows different levels of anthropic pressure on the forest (Table 1), which is reflected in the degree of conservation.

Participatory mapping of forest condition

Participatory mapping workshops were held, one per community, with the participation of the relevant authorities and inhabitants interested in forest activities. Each workshop included talks on the project and the importance of the ecosystem carbon sequestration service. Foresters from Alternare A. C. and geographers, ecologists and environmentalists from UNAM-Campus Morelia collaborated in the workshops as well as in the other project tasks.

High-resolution satellite images obtained from Google Earth Pro (2014) were printed to create 120 x 70 cm photomaps (scale between 1:5000 and 1:10000, depending on the size of each agrarian nucleus), where the conditions of tree density and forest fragmentation could be observed. The boundary of the agrarian nucleus was added to each photomap.

(*Abies religiosa* [Kunth] Schlttdl. & Cham.) y mixtos (Giménez, Ramírez, & Pinto, 2003). Los bosques de oyamel son el hábitat donde se establecen las colonias de mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.) que pasan el invierno (noviembre a marzo) en México (UNESCO, 2008). Durante más de 10 siglos, estos bosques han sido aprovechados por la población local, ya que alrededor de ellos se han establecido importantes asentamientos humanos dependientes del aprovechamiento de recursos naturales. Evidencia de ello son las ruinas prehispánicas de gran jerarquía de Ziráhuato (650-1500 d. C.; Guzmán, 2012) en el municipio de Zitácuaro, así como las ruinas de varias haciendas agrícolas, forestales y mineras de la época colonial que se observan en los alrededores de la reserva.

La RBMM cubre 56259 ha divididas en tres zonas núcleo (13554 ha) y dos zonas de amortiguamiento (42705 ha). Por ley, en las zonas núcleo solo pueden realizarse actividades de investigación y educación ambiental que no alteren el hábitat. En las zonas de amortiguamiento se permiten actividades productivas sustentables controladas como ecoturismo, manejo forestal y producción agrícola (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca [SEMARNAP], 2000). A lo largo del siglo XX, la mayor parte del territorio que actualmente conforma la RBMM fue otorgada a núcleos agrarios en propiedad comunal (ejidos y comunidades indígenas). La reserva también incluye algunas propiedades privadas, un predio federal y otro estatal. En las dos formas de tenencia comunal de la tierra, quienes poseen título de ejidatario o comunero son quienes toman decisiones sobre los recursos comunes del núcleo agrario (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 1992).

En este trabajo participaron cuatro núcleos agrarios del municipio de Zitácuaro: las comunidades indígenas de Carpinteros, Donaciano Ojeda y Francisco Serrato, y el ejido San Juan Zitácuaro. Todos cuentan con terrenos forestales parcialmente dentro de la RBMM y cubren una superficie total de 6563 ha (Figura 1). Cada núcleo agrario muestra niveles distintos de presión antrópica sobre el bosque (Cuadro 1), reflejados en su grado de conservación.

Mapeo participativo de la condición del bosque

Se realizaron talleres de mapeo participativo, uno por comunidad, en los que participaron las autoridades correspondientes y habitantes interesados en las actividades forestales. En cada taller se hicieron charlas sobre el proyecto y la importancia del servicio ecosistémico de captura de carbono. Tanto en los talleres como en las demás tareas del proyecto colaboraron ingenieros forestales de Alternare A. C. y geógrafos, ecólogos y ambientólogos de la UNAM-Campus Morelia.

Three teams were formed per community; each team included five to 10 people who knew the forest very well. On the photomaps, the participants of each community were in charge of indicating the forest conditions of their property, such as: dominant species, management activities and the conservation status of the forest (dense forests without disturbances in the last three decades or open forests resulting from extractions or other disturbances). Participants also identified any uses, events or resources related to their forestry and agricultural activities that they considered relevant. The maps of the three teams were integrated into a single map for each agrarian nucleus, to identify the common elements pointed out and thus reduce the inherent subjectivity of this mapping method.

Se imprimieron imágenes de satélite de alta resolución obtenidas de Google Earth Pro (2014) en fotomapas de 120 x 70 cm (escala entre 1:5000 y 1:10000, según la extensión de cada núcleo agrario), donde se apreciaban las condiciones de densidad del arbolado y fragmentación de los bosques. A cada fotomapa solo se agregó el lindero del núcleo agrario correspondiente.

Se formaron tres equipos por comunidad; cada equipo incluía de cinco a 10 personas que conocían el bosque con claridad. Sobre los fotomapas, los participantes de cada comunidad se encargaron de marcar las condiciones forestales de su predio, tales como: especies dominantes, actividades de manejo y estado de conservación del bosque (bosques densos sin perturbaciones en las

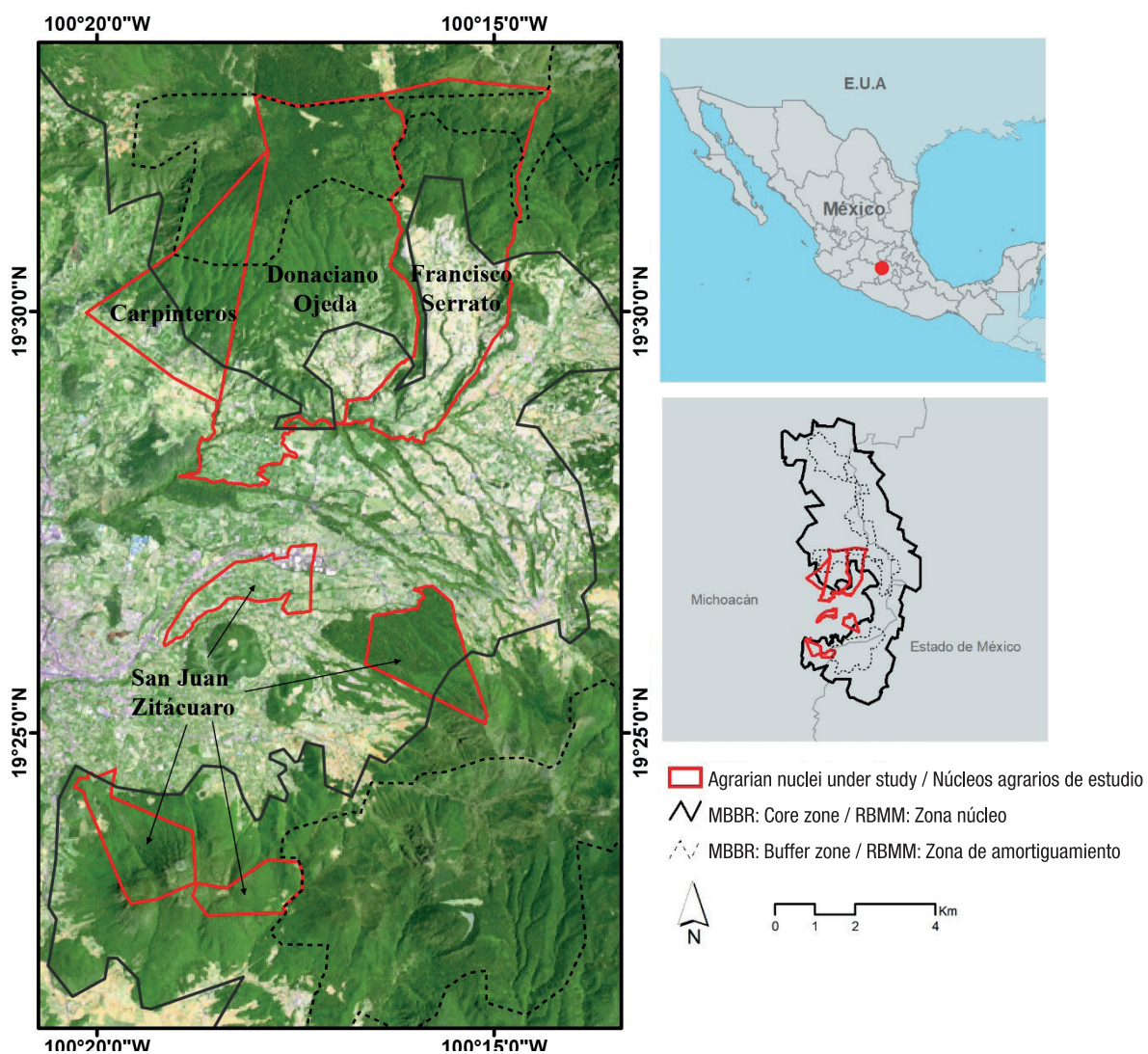


Figure 1. Study area location in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR).

Figura 1. Localización del área de estudio en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM).

Table 1. Type of land tenure, anthropic pressure and land cover by agrarian nuclei in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR).**Cuadro 1. Tipo de tenencia de la tierra, presión antrópica y cubiertas del suelo por núcleo agrario en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM).**

Characteristics / Características	Carpinteros	Donaciano Ojeda	Francisco Serrato	San Juan Zitácuaro
¹ Type of land tenure / ¹ Tipo de tenencia de la tierra	Indigenous community / Comunidad indígena	Indigenous community / Comunidad indígena	Indigenous community / Comunidad indígena	Ejido
¹ Total area (ha) / ¹ Superficie total (ha)	857	2 597	1 841	1 268
¹ Number of ejidatarios/comuneros / ¹ Número de ejidatarios/comuneros	218	666	234	144
² Number of inhabitants / ² Número de habitantes	860	2 264	2 561	1 922
³ Forest area (ha) by ejidatario/comunero / ³ Superficie (ha) de bosque por ejidatario/comunero	2.8	2.5	4.3	6.2
³ Forest area (ha) per inhabitant / ³ Superficie (ha) de bosque por habitante	0.7	0.7	0.4	0.5
⁴ Period with forest harvesting permit / ⁴ Periodo con permiso de aprovechamiento forestal	-	1996-1999	1995-1997	1995-2016
³ Loss of dense forest 1993-2015 (ha) / ³ Pérdida de bosque denso 1993-2015 (ha)	-	-45	-142	-27
³ Forests 2015 (%) / ³ Bosques 2015 (%)	71	65	55	70
³ Crops, pastures and secondary shrubs (%) / ³ Cultivos, pastos y arbustos secundarios (%)	9	22	42	7
³ Fruit plantations (%) / ³ Plantaciones frutícolas (%)	20	13	3	20
³ Urban nuclei (%) / ³ Núcleos urbanos (%)	0	0	0	3

Source: ¹Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA, 2017); for the San Juan Zitácuaro ejido, the data were estimated in the field, since it does not have official PROCEDE (Ejidal Rights Certification Program) certification. ²2010 Population and Housing Census (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017). ³Author-made calculations, from the 2015 update of Navarrete, Ramírez, and Pérez-Salicrup (2011). ⁴Data provided by the Michoacán Delegation of SEMARNAT (Secretariat of the Environment and Natural Resources).

Fuente: ¹Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA, 2017); para el ejido San Juan Zitácuaro, los datos fueron estimados en campo, ya que no cuenta con certificación oficial PROCEDE (Programa de Certificación de Derechos Ejidales). ²Censo de Población y Vivienda 2010 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017). ³Cálculos propios, a partir de la actualización 2015 de Navarrete, Ramírez, y Pérez-Salicrup (2011). ⁴Datos proporcionados por la Delegación Michoacán de la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).

Selection of sampling sites

Field sampling was done based on procedures described by Skutsch and Benet (2014). The technical team calculated the number of sites (n) to be sampled using the following formula:

$$n = \frac{CV^2 Z^2}{E^2}$$

where,

CV = coefficient of variation of the basal area (%)

Z = confidence level (90 %)

E = margin of error (10 %).

To calculate the CV, preliminary sampling was applied in different forest types and conditions in the study area. The number of resulting points (24) was distributed in equal parts among the four agrarian nuclei. The technical team proposed the distribution of the sites based on the results of the participatory mapping, the elevational gradients represented by the plant formations (Giménez et al., 2003) and the land cover as reported in Champó-Jiménez, Valderrama-Landeros, and España-Boquera (2012), López-García and Vega (2010) and Ramírez, Miranda, Zubieta, and Jiménez (2007).

The proposal was reviewed by community authorities, who made adjustments to ensure accessibility and sampling in sites of particular interest, such as areas at risk or affected by illegal logging, and areas with reforestation programs or where they have favored natural regeneration. In the end, 31 sites were agreed upon, seven or eight per agrarian nucleus, covering the plant formations and states of conservation present in each community.

Biomass measurement brigades

The community authorities assigned brigades of three or four ejido or community members to locate the sampling sites and conduct the tree parameter measurements. Individuals in the brigades were all members of the community surveillance committees or forest brigades and were knowledgeable about the forests and their territory. A second round of on-site workshops, one day per community, was conducted to instruct the brigade members on the delimitation, distribution and size of the sampling plots and subplots, as well as how to measure diameter at breast height (DBH) and tree height (Skutsch & Benet, 2014). Diameter and surveying tapes, compasses, clinometers and flagging tapes were provided for this purpose. Participants also learned the basic functions of GPS (Garmin GPSMAP® 60C) for the identification of the central coordinates and elevation of the sampling sites.

últimas tres décadas o bosques abiertos resultado de extracciones u otras perturbaciones). Los participantes también identificaron cualquier uso, evento o recurso relacionado con sus actividades forestales y agrícolas que consideraran relevantes. Los mapas de todos los equipos se integraron en un solo mapa por núcleo agrario, para identificar los elementos comunes señalados y así reducir la subjetividad inherente de este método de mapeo.

Selección de sitios de muestreo

El muestreo en campo se hizo con base en los procedimientos descritos por Skutsch y Benet (2014). El equipo técnico calculó el número de sitios (n) a muestrear utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{CV^2 Z^2}{E^2}$$

donde,

CV = coeficiente de variación del área basal (%)

Z = Nivel de confianza (90 %)

E = margen de error (10 %).

Para calcular el CV se aplicó un muestreo previo en diferentes tipos y condiciones del bosque del área de estudio. El número de puntos resultantes (24) se distribuyó en partes iguales entre los cuatro núcleos agrarios. El equipo técnico propuso la distribución de los sitios con base en los resultados del mapeo participativo, los gradientes altitudinales que representan las formaciones vegetales (Giménez et al., 2003) y las cubiertas del suelo reportadas en los trabajos de Champó-Jiménez, Valderrama-Landeros, y España-Boquera (2012), López-García y Vega (2010) y Ramírez, Miranda, Zubieta, y Jiménez (2007).

La propuesta fue revisada por las autoridades comunitarias, quienes hicieron ajustes para asegurar la accesibilidad y el muestreo en sitios de su interés, como áreas en riesgo o afectadas por tala ilegal, y áreas con programas de reforestación o donde han favorecido la regeneración natural. Al final se acordaron 31 sitios, siete u ocho por núcleo agrario, cubriendo las formaciones vegetales y estados de conservación presentes en cada comunidad.

Brigadas de medición de biomasa

Las autoridades comunitarias asignaron brigadas de tres o cuatro participantes para ubicar los sitios de muestreo y hacer la medición dasométrica en los árboles. Los brigadistas fueron miembros de los comités de vigilancia o brigadas forestales, conocedores de los bosques y el territorio de la comunidad. Una segunda ronda de talleres *in situ*, de un día por comunidad, se

Field sampling

A cluster sampling method involving four circular plots per site was applied (CONAFOR, 2012) (Figure 2). Each plot was formed by two concentric circles with a 12.5 m and 2 m radius, equivalent to 491 m² and 12 m², respectively. In the first, trees with DBH > 7.5 cm were recorded and in the second, all regeneration individuals >25 cm in height and DBH ≤ 7.5 cm (Skutsch & Benet, 2014). First, the central tree was marked and the coordinates of the center of the plot were taken. From this tree the tape measure was stretched towards magnetic north along the 12.5 m radius; it was turned clockwise until it covered the entire plot. Each tree on this radius was marked and recorded in a format indicating the species and DBH measurement, as well as the distance from a point that allowed seeing the base and the crown, to obtain the inclination angles. This part of the work was carried out by the brigade members under the supervision of Alternare's technical team.

Using pre-prepared forms, the brigade members wrote down the common name of each tree and compared them with a MBBR vegetation guide (Cornejo-Tenorio & Ibarra-Manriquez, 2008). In cases of doubt, the trees were recorded with a consecutive identifier and a sample was collected for identification by UNAM Campus-Morelia specialists.

Sampling was done in five days per community, with a survey of between four and eight plots per day (one or two sampling sites), depending on the distance to

realizó para instruir a los brigadistas en la delimitación, distribución y tamaño de las parcelas y subparcelas de muestreo; así como para medir el diámetro a la altura del pecho (DAP) y distancias y ángulos para derivar las alturas de los árboles (Skutsch & Benet, 2014). Para ello se proporcionaron cintas diamétricas y cintas métricas de topógrafo, brújulas, clinómetros y cintas de marcaje (*flagging tape*). Asimismo, los participantes aprendieron las funciones básicas del GPS (Garmin GPSMAP® 60C) para la identificación de coordenadas centrales y elevación de los sitios de muestreo.

Muestreo en campo

Se aplicó un método de muestreo por conglomerados de cuatro parcelas circulares por sitio (CONAFOR, 2012) (Figura 2). Cada parcela estuvo formada por dos círculos concéntricos de 12.5 m y 2 m de radio, equivalentes a 491 m² y 12 m², respectivamente. En el primero se registraron los árboles con DAP > 7.5 cm y en el segundo todos los individuos de regeneración >25 cm de altura y DAP ≤ 7.5 cm (Skutsch & Benet, 2014). Primero se marcó el árbol central y se tomaron las coordenadas del centro de la parcela. A partir de este árbol se tendió la cinta métrica con dirección al norte magnético a lo largo del radio de 12.5 m; se giró en sentido de las manecillas del reloj hasta cubrir toda la parcela. Cada árbol sobre dicho radio se marcó y se registró en un formato señalando la especie y medida de DAP, así como la distancia desde un punto que permitiera ver la base y la copa, para obtener los ángulos de inclinación. Esta parte del trabajo estuvo a cargo de los brigadistas supervisados por el equipo técnico de Alternare.

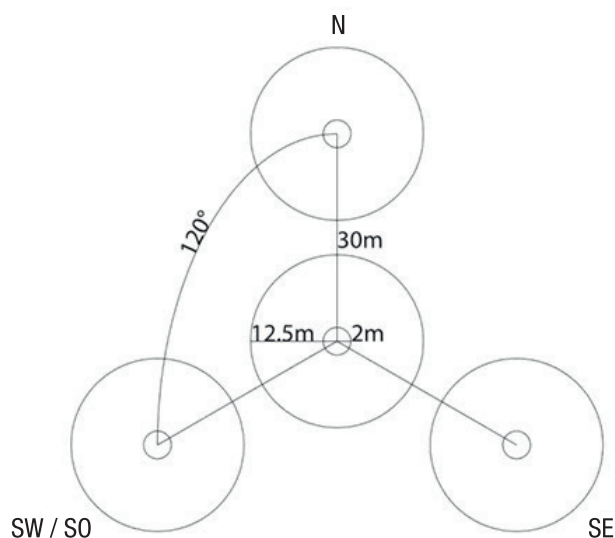


Figure 2. Conglomerate sampling design of four plots per site, for the measurement of tree-size parameters.

Figura 2. Diseño de muestreo por conglomerado de cuatro parcelas por sitio, para la medición de variables dasométricas.

the site, the number of trees per plot and the progress in the sampling area. In this process, the team of academics systematically recorded the performance of each brigade with respect to three criteria: interest and initiative, organization, and mastery of materials and measurements.

Tree carbon estimation

With the data recorded by the local brigade members, as supervised by the Alternare A. C. technicians, aboveground biomass and tree carbon were calculated by team members from the university (UNAM Morelia). In these calculations, non-linear allometric equations available for the identified species were applied (Table 2), giving preference to those that had been generated for species in nearby regions

En los formatos de registro, los brigadistas anotaron el nombre común de cada árbol y los cotejaron con una guía de vegetación de la RBMM (Cornejo-Tenorio & Ibarra-Manriquez, 2008). En los casos de duda, los árboles se registraron con un identificador consecutivo y se colectó una muestra para su identificación por especialistas de la UNAM Campus-Morelia.

El muestreo se hizo durante cinco días por comunidad, con un levantamiento de entre cuatro y ocho parcelas por día (uno o dos sitios), dependiendo de la distancia para llegar al sitio, del número de árboles por parcela y del progreso en el dominio del muestreo. En este proceso, el equipo de académicos registró, de manera sistemática, el desempeño de cada brigada respecto a tres criterios: interés e iniciativa, organización, y dominio de los materiales y mediciones.

Table 2. Allometric equations used to estimate the aboveground biomass of species present in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve.

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas utilizadas para estimar la biomasa aérea de especies presentes en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

Species/Especie	Equation/Ecuación	Source/Fuente
<i>Abies religiosa</i>	$B = 0.0754 * (DBH^{2.513}) /$ $B = 0.0754 * (DAP^{2.513})$	Avendaño, Acosta, Carrillo, and Etchevers (2009)
<i>Ageratina mairretiana</i>	$B = 0.0890 * (DBH^{2.5226}) /$ $B = 0.0890 * (DAP^{2.5226})$	Návar (2009)
<i>Arbutus</i> sp.	.	.
<i>Buddleja cordata</i>	.	.
<i>Comarostaphylis longifolia</i>	.	.
<i>Cornus disciflora</i>	.	.
<i>Crataegus mexicana</i>	.	.
<i>Ilex brandegeana</i>	.	.
<i>Populus</i> sp.	.	.
<i>Quercus</i> sp.	.	.
<i>Styrax argenteus</i>	.	.
Other broadleaves	.	.
<i>Alnus</i> sp.	$B = 0.1649 * (DBH^{2.2755}) /$ $B = 0.1649 * (DAP^{2.2755})$	Acosta, Carrillo, and Gómez (2011)
<i>Clethra mexicana</i>	$B = 0.4632 * (DBH^{1.8168}) /$ $B = 0.4632 * (DAP^{1.8168})$	Acosta et al. (2011)
<i>Cupressus lindleyi</i>	$B = 0.5266 * (DBH^{1.7712}) /$ $B = 0.5266 * (DAP^{1.7712})$	Rojas-García et al. (2015)
<i>Pinus</i> sp.	$B = 0.1229 * (DBH^{2.3964}) /$ $B = 0.1229 * (DAP^{2.3964})$	Návar (2009)
<i>Ternstroemia sylvatica</i>	$B = 0.132193 * (DBH^{2.49568}) /$ $B = 0.132193 * (DAP^{2.49568})$	Rodríguez, Jiménez, Aguirre, Treviño, and Razo (2009)

and with similar climatic conditions, in accordance with the recommendations of the IPCC (2003). Most of the equations available for Mexican species only require the DBH to make the estimate (Rojas-García, de Jong, Martínez-Zurimendí, & Paz-Pellat, 2015); for the calculation of tree carbon, it was assumed to account for 50 % of the biomass (IPCC, 2003). In the case of broadleaf trees for which no specific allometric equation was available, we used the regional model for *Quercus* sp. proposed by Nívar (2009), instead of using alternative general equations for pantropical species (Gibbs, Brown, Niles, & Foley, 2007).

The aboveground biomass and carbon content were estimated per individual, plot and site. For comparative purposes, the value of the latter was extrapolated to values per hectare. Average values were calculated by potential vegetation type (Giménez et al., 2003) and by actual vegetation type, determined by the dominance (>75 %) of a group of species (coniferous or broadleaf) (Jardel, 2015).

Recognition of forest uses

During the information and participatory mapping workshops, the field data collection and the review of results (which involved a third round of one-day workshops per community), semi-structured interviews were conducted with participants, brigade members and authorities. General information was obtained on land use, impacts and community achievements in forest management; agreements for access to forest resources, violations of such agreements and corresponding sanctions, and the conflicts and environmental history of the property.

Results and discussion

Participatory mapping workshops provided general information about the forests of each community and their conservation status. The information obtained through participatory methods, in addition to showing phenomena and physical spatial objects, can also expose priority relationships and events for people who live and perceive those spaces (McCall, Skutsch, & Chutz, 2016; Norris, 2014). This can result in communities becoming more involved in the management of the territory and its resources, as well as in actions to address climate change (Pokorny et al., 2008; Sheppard et al., 2011).

In the participating communities, regulated uses were identified, as well as clandestine logging, fires, pests and landslides that altered the structure and dynamics of the forests. Recovery areas, where reforestation and natural regeneration stood out, were also pointed out. Other relevant aspects represented in the maps were conflicts over land ownership boundaries, as

Estimación de carbono arbóreo

Con los datos registrados por los brigadistas locales y supervisados por los técnicos de Alternare A. C., los participantes de la UNAM-Campus Morelia calcularon la biomasa aérea y carbono arbóreo. En estos cálculos se aplicaron ecuaciones alométricas no lineales disponibles para las especies identificadas (Cuadro 2), dando preferencia a las generadas para especies de regiones próximas y de condiciones climáticas similares, de acuerdo con las recomendaciones del IPCC (2003). La mayoría de las ecuaciones disponibles para especies mexicanas estiman biomasa y solo requieren el DAP para hacer la estimación (Rojas-García, de Jong, Martínez-Zurimendí, & Paz-Pellat, 2015); para el cálculo de carbono arbóreo se asumió que representa 50 % de la biomasa (IPCC, 2003). En el caso de las latifoliadas de las que no se encontró ecuación alométrica específica se usó el modelo regional para *Quercus* sp. propuesto por Nívar (2009), en lugar de usar alguna ecuación general para especies pantropicales (Gibbs, Brown, Niles, & Foley, 2007).

La biomasa aérea y contenido de carbono se calcularon por individuo, parcela y sitio. Con propósitos comparativos, el valor de este último se extrapoló a valores por hectárea. Los valores promedio se calcularon por tipo de vegetación potencial (Giménez et al., 2003) y por tipo de vegetación real, determinada por la dominancia (>75 %) de un grupo de especies (coníferas o latifoliadas) (Jardel, 2015).

Reconocimiento de los usos del bosque

Durante los talleres de información y mapeo participativo, toma de datos en campo y revisión de resultados (tercera ronda de talleres de un día por comunidad), se realizaron entrevistas semiestructuradas a participantes, brigadistas y autoridades. Se obtuvo información general sobre los usos del suelo, impactos y logros de la comunidad en el manejo del bosque; de los acuerdos para el acceso a los recursos forestales, violaciones a tales convenios y sanciones correspondientes; así como de los conflictos e historia ambiental del predio.

Resultados y discusión

Los talleres de mapeo participativo arrojaron información general sobre los bosques de cada comunidad y su estado de conservación. La información obtenida con métodos participativos, además de mostrar fenómenos y objetos espaciales físicos, también expone relaciones y eventos prioritarios para las personas que viven y perciben esos espacios (McCall, Skutsch, & Chutz, 2016; Norris, 2014). Esto da como resultado que las comunidades se involucren en el manejo del territorio y sus recursos, así como en las acciones para

well as some important components of the forest, such as springs, firewood collection areas, sites with fauna of interest and sites for collecting non-timber products (Figure 3). This creates complex mosaics of varying degrees of conservation, structure and tree composition that, as in other parts of the country, are reflected in the range of carbon stock by vegetation type. In Mexico, specialized literature on temperate forests reports values between 60 and 155 Mg C·ha⁻¹ for oak forests and mixed pine-oak forests; between 40 and 200 Mg C·ha⁻¹ in pine forests; and between 80 and 180 Mg C·ha⁻¹ in sacred fir forests (Álvarez & Rubio, 2013; De Jong, 2001; Návar, 2009; Ordóñez et al., 2008; Razo, Gordillo, Rodríguez, Mayacotte & Acevedo, 2013; Rodríguez et al., 2009).

enfrentar el cambio climático (Pokorny et al., 2008; Sheppard et al., 2011).

En las comunidades participantes se identificaron aprovechamientos regulados, así como talas clandestinas, incendios, plagas y deslizamientos de tierras que alteraron la estructura y dinámica de los bosques. Se señalaron también áreas de recuperación donde destacaron las reforestaciones y la regeneración natural. Otros aspectos relevantes que se representaron en los mapas fueron los conflictos por límites de propiedad de la tierra, así como algunos componentes importantes del bosque, entre ellos, manantiales, lugares de recolección de leña, sitios con fauna de interés y sitios de recolecta de productos

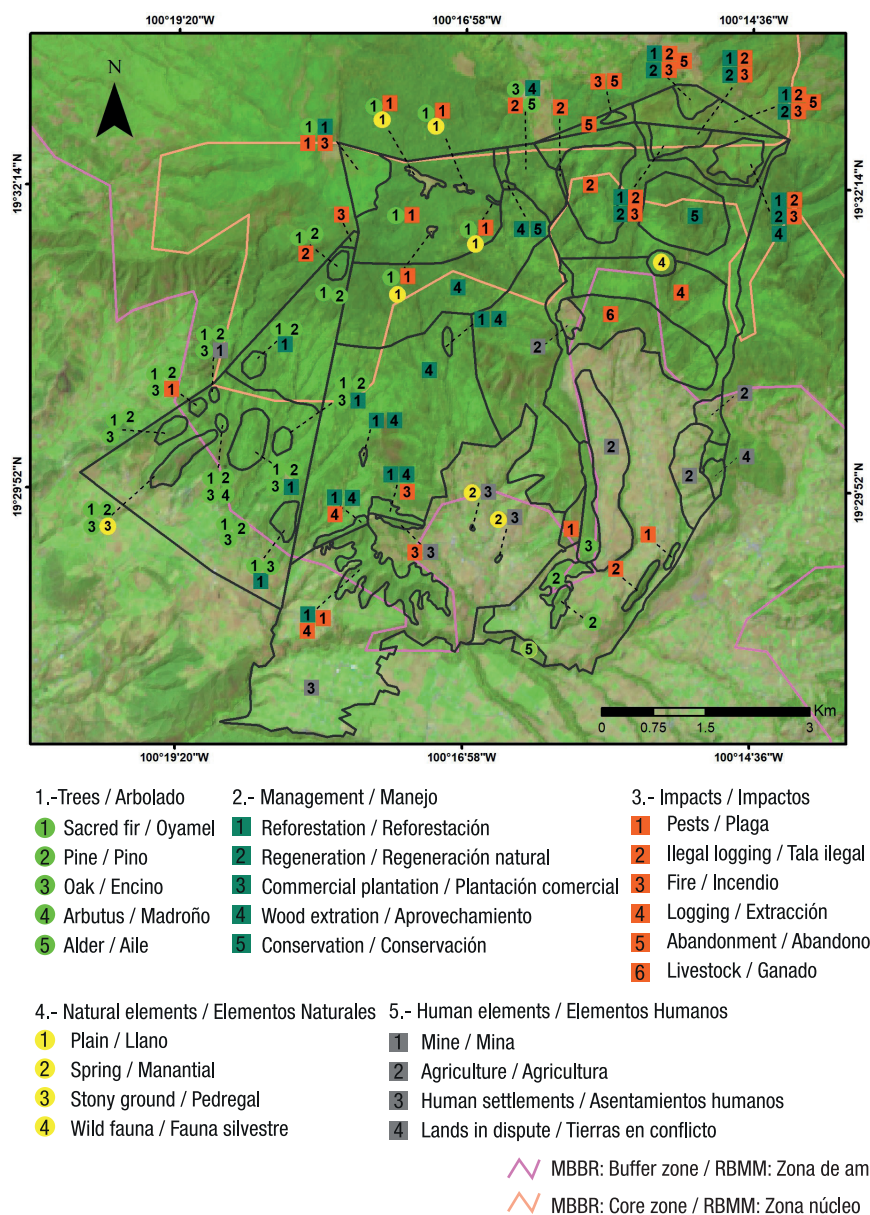


Figure 3. Example of the result of the integration of participatory mapping: indigenous communities of Carpinteros, Donaciano Ojeda and Francisco Serrato in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR).

Figura 3. Ejemplo del resultado de la integración del mapeo participativo: comunidades indígenas de Carpinteros, Donaciano Ojeda y Francisco Serrato en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM).

Table 3 shows that, within the MBBR's core zone, aboveground forest carbon estimates were highest at sampling sites dominated by conifers (*A. religiosa* and *A. religiosa-Pinus* sp.) with values between 51 and 210 Mg C·ha⁻¹. In sites where broadleaf trees (*Quercus* sp. and *Alnus* sp. and other broadleaf species) predominate, between 40 and 154 Mg C·ha⁻¹ were recorded, and in sites co-dominated by conifers and broadleaf trees, values between 15 and 157 Mg C·ha⁻¹ were determined. These intervals are explained more by the degrees of conservation of the site than by the composition of the vegetation. Moreover, due to management differences, the dominant species in some sites do not correspond to the expected plant associations of the bioclimatic level in which they are found (Giménez et al., 2003).

The reliability of measurements obtained by participatory methods is well documented (Butt et al., 2015; Larrazábal et al., 2012; Skutsch & McCall, 2011), as is the accuracy of the application of allometric models. It is estimated that DBH alone is sufficient to estimate 95 % of carbon stocks in tropical forests (Gibbs et al., 2007), particularly if local specific allometric equations are used (Álvarez et al., 2011; Vieilledent et al., 2012).

Comparison of the carbon stocks measured and values reported in the specialized literature allows inferring that these communities have potential for carbon sequestration and storage. The brigade members perceived this situation when they visited the sites and transmitted this idea to the authorities for consideration in developing forest management plans. It is important to recognize that the potential for carbon sequestration is not only a consequence of the ecological conservation status of the forest, but also of the existence of local institutions that are able to organize themselves to carry out forest activities (Barsimantov & Navia, 2012; Gibson et al., 2005).

Table 4 indicates that the Donaciano Ojeda indigenous community had the highest carbon content (132 ± 46 Mg C·ha⁻¹). There, community members make a very significant investment in effort and resources to monitor their forest in an organized manner and prevent illegal extraction of trees by outsiders. They also make frequent rounds to monitor the conditions of their forest and identify, with precision, the sites where wood has recently been extracted. For its forest monitoring and care work, the community received an Honorable Mention in the Recognition of Nature Conservation awards in 2013.

In the Carpinteros indigenous community, the average carbon level in the sampled sites reaches 90 ± 34 Mg C·ha⁻¹ (Table 4), which denotes the dominance of young forests, resulting from disturbances two to three decades ago. Since the declaration of the MBBR, the community has worked in an organized manner in

no maderables (Figura 3). Lo anterior crea mosaicos complejos de distintos grados de conservación, estructura y composición arbórea que, al igual que en otras partes del país, se reflejan en amplios rangos de reservas de carbono por tipo de vegetación. En México, la literatura especializada sobre bosques templados reporta valores entre 60 y 155 Mg C·ha⁻¹ para bosques de encino y bosques mixtos de pino-encino; entre 40 y 200 Mg C·ha⁻¹ en los de pino; y entre 80 y 180 Mg C·ha⁻¹ en bosques de oyamel (Álvarez & Rubio, 2013; De Jong, 2001; Návar, 2009; Ordóñez et al., 2008; Razo, Gordillo, Rodríguez, Mayacotte & Acevedo, 2013; Rodríguez et al., 2009).

El Cuadro 3 muestra que, dentro del área núcleo de la RBMM, las estimaciones de carbono aéreo forestal fueron más altas en los sitios de muestreo dominados por coníferas (*A. religiosa* y *A. religiosa-Pinus* sp.) con valores entre 51 y 210 Mg C·ha⁻¹. En los sitios donde predominan las latifoliadas (*Quercus* sp. y *Alnus* sp. y otras especies de hoja ancha) se registraron entre 40 y 154 Mg C·ha⁻¹, y en los sitios codominados por coníferas y latifoliadas se determinaron valores entre 15 y 157 Mg C·ha⁻¹. Estos intervalos se explican más por los grados de conservación del sitio que por la composición de la vegetación. Por otra parte, debido al manejo, las especies dominantes encontradas en varios casos no corresponden a las asociaciones vegetales potenciales del piso bioclimático en el que se encuentran (Giménez et al., 2003).

La confiabilidad de las mediciones obtenidas por métodos participativos está bien documentada (Butt et al., 2015; Larrazábal et al., 2012; Skutsch & McCall, 2011), así como la exactitud de la aplicación de modelos alométricos. Se estima que solo el DAP explica 95 % de las reservas de carbono en los bosques tropicales (Gibbs et al., 2007). Esta cifra puede incrementarse si se usan ecuaciones alométricas específicas locales (Álvarez et al., 2011; Vieilledent et al., 2012).

Los valores encontrados y los de referencia permiten inferir que estas comunidades tienen potencial para la captura y almacenamiento de carbono. Los brigadistas percibieron esta situación al momento de visitar los sitios y la transmitieron a las autoridades para su consideración en los planes de manejo forestal en desarrollo. Es importante reconocer que el potencial para la captura de carbono no es consecuencia solo de los estados ecológicos de conservación del bosque, sino también de la existencia de instituciones locales que sean capaces de organizarse para realizar actividades forestales (Barsimantov & Navia, 2012; Gibson et al., 2005).

El Cuadro 4 indica que la comunidad indígena Donaciano Ojeda tuvo el contenido de carbono más alto (132 ± 46 Mg C·ha⁻¹). Allí hacen una inversión muy importante en esfuerzo y recursos para vigilar su bosque

Table 3. Tree carbon content by sampling site and vegetation type in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve. Cuadro 3. Contenido de carbono arbóreo por sitio de muestreo y tipo de vegetación en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

Site/Sitio	Coordinates/ Coordenadas	Elevation (m)/ Altitud (m)	Carbon (Mg·ha ⁻¹)/ Carbono (Mg·ha ⁻¹)	Dominant trees/ Arbolado dominante	Potential vegetation ¹ /Vegetación potencial ¹
Carpinteros indigenous community/Comunidad indígena Carpinteros					
La Cabaña	19.530° N, 100.298° W	3 121	51	Conifers/Coníferas	Sacred fir/Oyamel
Mesa Chica	19.527° N, 100.301° W	3 016	136	Mixed/Mixto	Sacred fir/Oyamel
Debajo Mesa Chica	19.523° N, 100.300° W	2 898	136	Mixed/Mixto	Sacred fir-pine-broadleaf species/ Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Los Pozos	19.515° N, 100.313° W	2 615	109	Mixed/Mixto	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha
Cerca de Piedra	19.503° N, 100.304° W	2 492	92	Mixed/Mixto	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha
El Voladero	19.505° N, 100.317° W	2 480	78	Mixed/Mixto	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha
Magueyitos	19.495° N, 100.306° W	2 361	57	Broadleaf/ Latifoliadas	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha
El Espinal	19.505° N, 100.327° W	2 270	62	Mixed/Mixto	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha
Donaciano Ojeda indigenous community/Comunidad indígena Donaciano Ojeda					
El Cuartel	19.539° N, 100.284° W	3 001	210	Conifers/Coníferas	Sacred fir/Oyamel
La Rosa	19.534° N, 100.287° W	2 979	174	Conifers/Coníferas	Sacred fir-pine-broadleaf species/ Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Chivatí	19.540° N, 100.297° W	2 947	71	Conifers/Coníferas	Sacred fir-pine-broadleaf species/ Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Piedra Encimada	19.538° N, 100.271° W	2 885	117	Broadleaf/ Latifoliadas	Sacred fir-pine-broadleaf species/ Oyamel-pino-especies de hoja ancha
El Puerto	19.511° N, 100.292° W	2 647	125	Broadleaf/ Latifoliadas	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha
El Salto	19.516° N, 100.273° W	2 633	128	Broadleaf/ Latifoliadas	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha
Chisña	19.499° N, 100.288° W	2 384	98	Broadleaf/ Latifoliadas	Pine-oak-broadleaf species/ Pino-encino- especies de hoja ancha

Table 3. Tree carbon content by sampling site and vegetation type in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve. (cont.)
Cuadro 3. Contenido de carbono arbóreo por sitio de muestreo y tipo de vegetación en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. (cont.)

Site / Sitio	Coordinates / Coordenadas	Elevation (m) / Altitud (m)	Carbon (Mg·ha ⁻¹) / Carbono (Mg·ha ⁻¹)	Dominant trees / Arbolado dominante	Potential vegetation ¹ / Vegetación potencial ¹
Francisco Serrato indigenous community / Comunidad indígena Francisco Serrato					
La Cebolleta	19.543° N, 100.256° W	3 064	78	Mixed / Mixto	Sacred fir / Oyamel
Salistrillo	19.541° N, 100.244° W	3 048	26	Mixed / Mixto	Sacred fir / Oyamel
Loma Caño Seco	19.532° N, 100.264° W	2 875	154	Broadleaf / Latifoliadas	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Loma del Gallinero	19.535° N, 100.253° W	2 874	141	Broadleaf / Latifoliadas	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Xoreje	19.522° N, 100.254° W	2 715	110	Conifers / Coníferas	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Madroños	19.517° N, 100.258° W	2 625	57	Conifers / Coníferas	Pine-oak-broadleaf species / Pino-encino-especies de hoja ancha
Tercera Manzana	19.487° N, 100.268° W	2 387	32	Mixed / Mixto	Pine-oak-broadleaf species / Pino-encino-especies de hoja ancha
Parador ecoturístico	19.481° N, 100.280° W	2 232	103	Mixed / Mixto	Pine-oak-broadleaf species / Pino-encino-especies de hoja ancha
San Juan Zitácuaro ejido / Ejido San Juan Zitácuaro					
Cima Cacique	19.389° N, 100.316° W	3 184	15	Mixed / Mixto	Sacred fir / Oyamel
Intermedio	19.381° N, 100.311° W	2 840	79	Broadleaf / Latifoliadas	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Agua de la Difunta	19.384° N, 100.307° W	2 800	84	Mixed / Mixto	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Caseta 2	19.430° N, 100.259° W	2 751	157	Mixed / Mixto	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Reforestación Cacique	19.378° N, 100.302° W	2 750	40	Broadleaf / Latifoliadas	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Mesa del León	19.376° N, 100.317° W	2 668	40	Broadleaf / Latifoliadas	Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha
Caseta 1	19.442° N, 100.261° W	2 575	157	Mixed / Mixto	Pine-oak-broadleaf species / Pino-encino-especies de hoja ancha
La Charca	19.439° N, 100.273° W	2 465	97	Mixed / Mixto	Pine-oak-broadleaf species / Pino-encino-especies de hoja ancha

¹Dominant trees of the corresponding bioclimatic level, according to Giménez et al. (2003).

¹Arbolado dominante del piso bioclimático correspondiente, según Giménez et al. (2003).

Table 4. Tree carbon content by forest type and by study community in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve. Cuadro 4. Contenido de carbono arbóreo por tipo de bosque y por comunidad de estudio en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

Study classification / Clasificación de estudio	Tree carbon (Mg C·ha ⁻¹) / Carbono arbóreo (Mg C·ha ⁻¹)
Dominant trees / Arbolado dominante	
Conifers / Coníferas	112 ± 66
Broadleaf / Latifoliadas	98 ± 42
Mixed / Mixto	91 ± 45
Potential vegetation / Vegetación potencial	
Sacred fir / Oyamel	86 ± 75
Sacred fir-pine-broadleaf species / Oyamel-pino-especies de hoja ancha	109 ± 45
Pine-oak-broadleaf species / Pino-encino-especies de hoja ancha	92 ± 34
Community / Comunidad	
Carpinteros indigenous community / Comunidad indígena Carpinteros	90 ± 34
Donaciano Ojeda indigenous community / Comunidad indígena Donaciano Ojeda	132 ± 46
Francisco Serrato indigenous community / Comunidad indígena Francisco Serrato	88 ± 48
San Juan Zitácuaro ejido / Ejido San Juan Zitácuaro	84 ± 53

± Standard deviation of the mean.

± Desviación estándar de la media.

the recovery of its trees through reforestation, forest monitoring and control of the agricultural frontier; it also identifies a close relationship between the state of its forests and the availability of water for human consumption and productive activities. In 2012, the community received the National Forest Merit Award in the category of Forest Restoration. This area exhibits an extended process of intensified agricultural land use, as they have replaced most of their plots used for growing corn and other self-consumption crops with avocado plantations for export, which show significant growth in the eastern region of the state. During the results review workshop, participants mentioned that the data from the tree carbon measurements are useful for the development of the forest harvesting plan and that the members of the measurement brigades are part of the community Forestry Committee.

In the Francisco Serrato indigenous community, the average tree carbon level of the sampled sites was 88 ± 48 Mg C·ha⁻¹ (Table 4). Significant efforts have also been made there to monitor their forests; problems due to extraction by outsiders have decreased in recent years, although they have not completely disappeared. The community also faces internal conflicts where

de forma organizada y evitar la extracción ilegal de árboles por personas ajenas a la comunidad. También realizan recorridos frecuentes para dar seguimiento de las condiciones de su bosque e identifican, con precisión, los sitios donde recientemente se ha extraído madera. Por su trabajo de vigilancia y cuidado del bosque, la comunidad recibió Mención Honorífica en el Reconocimiento a la Conservación de la Naturaleza en 2013.

En la comunidad indígena Carpinteros, el promedio de carbono en los sitios muestreados alcanza 90 ± 34 Mg C·ha⁻¹ (Cuadro 4), lo cual denota la dominancia de bosques jóvenes, resultado de perturbaciones de hace dos a tres décadas. A partir de la declaración de la RBMM, la comunidad ha trabajado organizadamente en la recuperación de su arbolado a través de reforestaciones, vigilancia del bosque y control de la frontera agrícola; también identifica una relación estrecha entre el estado de sus bosques y la disponibilidad de agua para el consumo humano y las actividades productivas. En 2012, la comunidad recibió el Premio Nacional al Mérito Forestal en la categoría de Restauración Forestal. Esta zona presenta un proceso extendido de intensificación del uso del suelo

community agreements have not been respected by all, so there is forest deterioration caused even by the inhabitants themselves. During the trips to reach the sampling plots, evidence of tree extraction outside the community agreements was found and no sanctions were reported for the offenders.

In the San Juan Zitácuaro ejido, the average carbon level of the sampled sites was the lowest ($84 \pm 53 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$; Table 4), although there are very contrasting conditions in the four fragments that constitute its property. In one, the recovery of about 350 ha of forest that was under agriculture for 45 years stands out (Figure 4).

agrícola, ya que han sustituido la mayor parte de sus parcelas de maíz y otros cultivos de autoconsumo por plantaciones de aguacate para exportación, las cuales presentan crecimiento importante en la región oriente del estado. Durante el taller de revisión de resultados, los participantes mencionaron que los datos de las mediciones de carbono arbóreo les sirven para la elaboración del plan de aprovechamiento forestal y que los miembros de las brigadas de medición forman parte del Comité Forestal de la comunidad.

En la comunidad indígena Francisco Serrato, el promedio de carbono arbóreo de los sitios muestreados

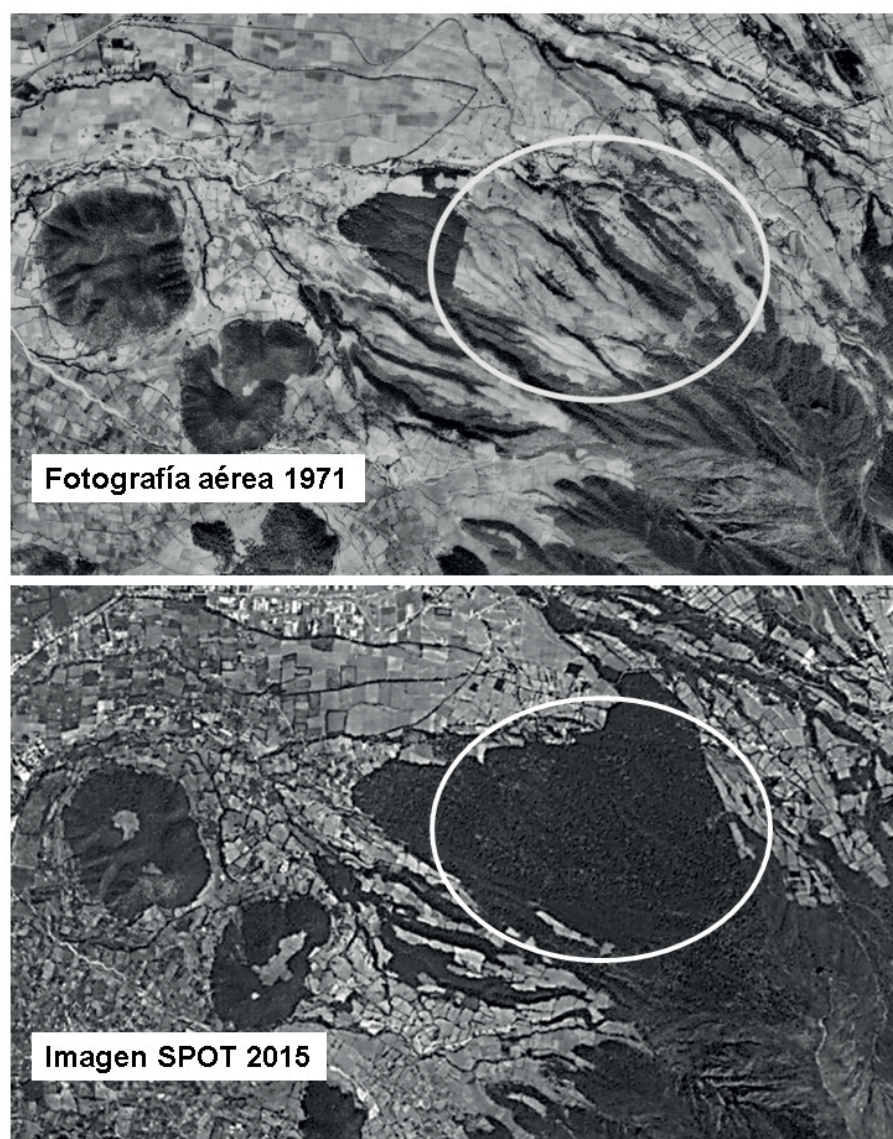


Figure 4. Example of forest reversion in the San Juan Zitácuaro ejido, Michoacán, 1971-2015. Top image: fragment of orthophoto R3-20A-11(31) from INEGI, 1971. Bottom image: view of SPOT 5 585/311 panchromatic band image, taken in February 2015.

Figura 4. Ejemplo de reconversión forestal en el ejido San Juan Zitácuaro, Michoacán, 1971-2015. Imagen superior: fragmento de ortofoto R3-20A-11(31) de INEGI, 1971. Imagen inferior: vista de banda pancromática de imagen SPOT 5 585/311 de febrero 2015.

Based on a communal decision, the inhabitants opted to convert these areas to forest through a complex mixture of reforestation and natural regeneration, in order that they might later carry out authorized forest uses. This area is in the process of being certified by the Forest Stewardship Council (FSC). In 2011, the ejido won the National Forest Merit Award in the category of Forest Protection. Members of this community refer to the importance of caring for the forest to ensure the water supply to allow for agricultural intensification, and to change subsistence crops for avocado orchards of high commercial value. This, in turn, is seen as a source of funding for forest conservation activities. On the other hand, in the fragment furthest from the population nucleus, the forests with the lowest carbon content levels were found (Table 2); this area has no surveillance and is difficult to access, which prevents attending, in a timely manner, to natural disturbances (fires or pests) or illegal extractions.

Brigade members from the four communities showed interest in learning tree measurement and monitoring skills, indicating the presence of social conditions receptive to the incorporation of new techniques for the efficient management of their resources. In the ENAREDD+, participatory measurement, reporting and verification (PMRV) does not appear as a form of recording carbon gains or as an activity financed with program resources (CONAFOR, 2014); however, the authorities and brigade members expressed motivation both in terms of obtaining data to improve forest use and thus achieve economic benefits for the community, and in terms of the possibility that at a certain point in time they may be able to access funds for carbon sequestration.

Conclusions

The data obtained through participatory mapping and measurement of tree carbon by community members were consistent with those generated by experts. Communities were able to directly identify areas with potential for carbon sequestration and may thus consider this in their management plans. The participatory methods used are adaptable to the skills, interests and needs of the community; they promote awareness, facilitate community discussion for the management of their resources, and assist in linking local processes with the objectives of external programs in which they can participate. In the four agrarian nuclei analyzed, it could be inferred that the content of carbon stocks depends more on the degree of conservation of the site than on the type of vegetation, and forest disturbance is more associated with internal and external conflicts than with forest management itself.

fue 88 ± 48 Mg C·ha⁻¹ (Cuadro 4). Allí también se han realizado esfuerzos importantes para vigilar sus bosques; los problemas de extracción por miembros ajenos a la comunidad han disminuido en los últimos años, aunque no han desaparecido por completo. La comunidad también enfrenta conflictos internos donde los acuerdos comunitarios no se han respetado por todos, por lo cual hay deterioro forestal causado incluso por los propios habitantes. Durante los recorridos para llegar a las parcelas de muestreo se encontraron evidencias de extracción de árboles fuera de los acuerdos comunitarios y se reportó que no se aplicaron sanciones a los infractores.

En el ejido San Juan Zitácuaro, el promedio de carbono de los sitios muestreados fue el más bajo (84 ± 53 Mg C·ha⁻¹; Cuadro 4), aunque presenta condiciones muy contrastantes en los cuatro fragmentos que constituyen su propiedad. En uno destaca la recuperación del bosque de cerca de 350 ha que hace 45 años eran parcelas agrícolas (Figura 4). A partir de una decisión comunal, los habitantes optaron por la reconversión de esas áreas a bosque a través de una mezcla compleja de reforestación y regeneración natural, para realizar aprovechamientos forestales autorizados. Esta zona se encuentra en proceso de certificación por el *Forest Stewardship Council* (FSC). En 2011, el ejido obtuvo el Premio Nacional al Mérito Forestal en la categoría de Protección Forestal. Los miembros de esta comunidad hacen referencia a la importancia de cuidar el bosque para garantizar el suministro de agua que permita la intensificación agrícola, y para cambiar los cultivos de subsistencia por huertas de aguacate de alto valor comercial. Esto a su vez se ve como una fuente de financiamiento para las actividades de conservación del bosque. Por otro lado, en el fragmento más alejado del núcleo poblacional se encontraron los bosques con los niveles más bajos de contenido de carbono (Cuadro 2); esta área no tiene vigilancia y es de difícil acceso, lo cual evita atender, de manera oportuna, las perturbaciones naturales (incendios o plagas) o extracciones ilegales.

Los miembros de las brigadas de las cuatro comunidades mostraron interés en aprender las herramientas de medición y monitoreo del arbolado, lo cual representa una señal de condiciones sociales receptivas a la incorporación de nuevas técnicas para el manejo eficiente de sus recursos. En la ENAREDD+, la medición, reporte y verificación participativa (PMRV) no figura como forma de registro de ganancias de carbono o como actividad financiada con recursos del programa (CONAFOR, 2014); sin embargo, las autoridades y brigadistas expresaron motivación tanto en la obtención de datos para mejorar su aprovechamiento forestal y así lograr beneficios económicos para la comunidad, como

Acknowledgments

The authors wish to thank the following: the authorities and participants of the workshops and monitoring brigades of the indigenous communities of Carpinteros, Donaciano Ojeda and Francisco Serrato, and the San Juan Zitácuaro ejido; the Mexico REDD+ Alliance for the funding of the project of which this work is a part; the staff of Alternare A. C. for their logistical support; Guadalupe Cornejo-Tenorio of IIES-UNAM for her collaboration in species identification; and Rufina Rosas, Carlos Corona and Clarissa Guzmán for their support in the field. MIR and DB are grateful for the support of the BEST-P project (CRN3095) funded by the Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) (US NSF Grant GEO-1128040) and the VESPLAN Network (CYTED).

End of English version

References / Referencias

- Acosta, M., Carrillo, F., & Gómez, R. (2011). Estimación de biomasa y carbono en dos especies de bosque mesófilo de montaña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 529–543. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n4/v2n4a5.pdf>
- Agrawal, A., & Angelsen, A. (2009). Using community forest management to achieve REDD+ goals. En A. Angelsen (Ed.), *Realising REDD+. National strategy and policy options* (pp. 201–211). Indonesia: CIFOR. Retrieved from www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BAngelsen0902.pdf
- Álvarez, E., Saldarriaga, J. G., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A., & Phillips, J. F. (2011). *Selección y validación de modelos para la estimación de la biomasa aérea en los bosques naturales de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Retrieved from www.ideam.gov.co/documents/13257/13548/Modelos+alometricos+Carbono.pdf
- Álvarez, S., & Rubio, A. (2013). Línea base de carbono en bosque mixto de pino-encino en la Sierra Juárez (Oaxaca, México). Aplicación del modelo CO2FIX V.3.2. *Revista Chapingo Ciencias Serie Forestales y de Ambiente*, 19(1), 125–137. doi: 10.5154/r.rchscfa.2012.01.005
- Avendaño, D., Acosta, M., Carrillo, F., & Etchevers, J. (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 233–238. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n3/v32n3a11.pdf>
- Balderas, A., & Skutsch, M. (2012). Splitting the difference: A proposal for benefit sharing in Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). *Forests*, 3(1), 137–154. Retrieved from www.mdpi.com/1999-4907/3/1/137/htm

en la posibilidad de que en determinado momento puedan acceder a fondos por captura de carbono.

Conclusiones

Los datos obtenidos mediante métodos de mapeo y medición participativos para la estimación del carbono arbóreo concuerdan con los generados por expertos. Esto les permite a las comunidades identificar directamente las áreas con potencial para la captura de carbono y para considerarlas en sus planes de manejo. Las herramientas participativas son adaptables a las capacidades, intereses y necesidades de la comunidad; favorecen la concientización; facilitan la discusión comunitaria para la gestión de sus recursos; y ayudan en la vinculación de procesos locales con los objetivos de programas externos en los que pueden participar. Entre los núcleos agrarios analizados, el contenido de reservas de carbono depende más del grado de conservación del sitio que del tipo de vegetación, y la perturbación del bosque está más asociada a situaciones de conflictos internos y externos que al propio manejo forestal.

Agradecimientos

A las autoridades, participantes de los talleres y brigadas de monitoreo de las comunidades indígenas Carpinteros, Donaciano Ojeda y Francisco Serrato, y ejido San Juan Zitácuaro. A la Alianza México REDD+ por el financiamiento del proyecto del cual este trabajo forma parte. Al personal de Alternare A. C. por su apoyo logístico. A Guadalupe Cornejo-Tenorio del IIES-UNAM por su colaboración en la identificación de las especies. A Rufina Rosas, Carlos Corona y Clarissa Guzmán por su apoyo en campo. MIR y DB agradecen el apoyo del proyecto BEST-P (CRN3095) financiado por el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) (US NSF Grant GEO-1128040) y a la Red VESPLAN (CYTED).

Fin de la versión en español

- Barsimantov, J., & Navia, J. (2012). Forest cover change and land tenure change in Mexico's avocado region: Is community forestry related to reduced deforestation for high value crops? *Applied Geography*, 32(2), 844–853. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.09.001
- Bluffstone, R., Robinson, E., & Guthiga, P. (2013). REDD+ and community-controlled forests in low-income countries: Any hope for a linkage? *Ecological Economics*, 87, 43–52. doi: 10.1016/j.ecolecon.2012.12.004
- Butt, N., Epps, K., Overman, H., Iwamura, T., & Fragoso, J. M. V. (2015). Assessing carbon stocks using indigenous peoples' field measurements in Amazonian Guyana. *Forest Ecology and Management*, 338, 191–199. doi: 10.1016/j.foreco.2014.11.014

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (1992). Ley Agraria. México: Diario Oficial de la Federación (DOF). Retrieved from http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/13_250618.pdf
- Champó-Jiménez, Valderrama-Landeros, & España-Boquera (2012). Forest cover loss in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Michoacán, México (2006-2010). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(2), 143–157. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.09.074
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). Inventario nacional forestal y de suelos. Informe 2004-2009. Retrieved from www.ccmss.org.mx/descargas/Inventario_nacional_forestal_y_de_suelos_informe_2004_-_2009.pdf
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). Estrategia Nacional para REDD+ (ENAREDD+). Retrieved from www.enaredd.gob.mx/wp-content/uploads/2015/08/Estrategia-Nacional-para-REDD.pdf
- Corbera, E., & Schroeder, H. (2011). Governing and implementing REDD+. *Environmental Science and Policy*, 14(2), 89–99. doi: 10.1016/j.envsci.2010.11.002
- Cornejo-Tenorio, G., & Ibarra-Manríquez, G. (2008). *Flora ilustrada de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. México: Comisión Nacional para Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- De Jong, B. H. J. (2001). Uncertainties in estimating the potential for carbon mitigation of forest management. *Forest Ecology and Management*, 154(1-2), 85–104. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00636-8
- Ellis, E. A., Rodríguez-Ward, D., Romero-Montero, J. A., & Hernández, G. I. U. (2015). Evaluation and field survey of timber producing communities for assessing improved forest management opportunities for community forests in the peninsula Yucatan and Cutzamala early action site. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/308712467>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). *Global forest resources assessment 2015* (2nd. ed.) Roma, Italy: Author. Retrieved from www.fao.org/3/a-i4793e.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), United Nations Development Programme (UNDP), & United Nations Environment Programme (UNEP). (2015). UN-REDD programme strategic framework 2016-2020. Retrieved from http://www.redd-monitor.org/wp-content/uploads/2016/11/UNREDD_PB14_2015_Strategic-Framework-2016-20-7May2015-130662-1.pdf
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environment Research Letters* 2(4), 1–13. doi: 10.1088/1748-9326/2/4/045023
- Gibson, C. C., Williams, J. T., & Ostrom, E. (2005). Local enforcement and better forests. *World Development*, 33(2), 273–284. doi: 10.1016/j.worlddev.2004.07.013
- Giménez, J., Ramírez, M. I., & Pinto, M. (2003). Las comunidades vegetales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México, México): clasificación, composición y distribución. *Lazaroa*, 24, 87–111. Retrieved from <https://revistas.ucm.es/index.php/LAZA/article/view/LAZA0303110087A>
- Google Earth Pro. (2014). Carpinteros, Donaciano Ojeda, Francisco Serrato y San Juan Zitácuaro, Zitácuaro, Michoacán. Fecha imágenes 07/Febrero/2014. 19° 29' 26" N y 100° 16' 15" O. Retrieved May 11, 2015 from https://www.google.com/intl/es_ALL/earth/versions/#earth-pro
- Guzmán, M. (2012). Otomíes y mazahuas de Michoacán, siglos XV-XVII. *Tzintzun: Revista de Estudios Históricos*, 55, 11–74. Retrieved from www.scielo.org.mx/pdf/tzintzun/n55/n55a2.pdf
- Hawthorne, S., Boissière, M., Felker, M. E., & Atmadja, S. (2016). Assessing the claims of Participatory Measurement, Reporting and Verification (PMRV) in achieving REDD+ outcomes: A systematic review. *PLoS ONE*, 11(11), e0157826. doi: 10.1371/journal.pone.0157826
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Censo de Población y Vivienda 2010. Retrieved July 7, 2017 from <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/default.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies. Retrieved from www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014 mitigation of climate change*. UK & USA: Cambridge University Press. Retrieved from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume.pdf
- Jardel, E. (2015). *Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales*. México: SEMARNAT, GEF, & PNUD. Retrieved from [www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/MedioAmbientePublicaciones/bosquesbiodiversidad/6661Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales.pdf](http://www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/MedioAmbientePublicaciones/bosquesbiodiversidad/6661Guía%20para%20la%20caracterizaci3n%20y%20clasificaci3n%20de%20h3bitats%20forestales.pdf)
- Larrzábal, A., McCall, M. K., Mwampamba, T. H., & Skutsch, M. (2012). The role of community carbon monitoring for REDD+: A review of experiences. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(6), 707–716. doi: 10.1016/j.cosust.2012.10.008
- López-García, J., & Vega, A. (2010). Vegetation and land use 2009: Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Journal of Maps*, 6(1), 665–673. doi: 10.4113/jom.2010.1123
- Madrid, L., Nuñez, J. M., Quiroz, G., & Rodríguez, Y. (2009). La propiedad social forestal en México. *Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública*, 1(2), 179–196. Retrieved from <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/75#.XNHzzo5KiUk>
- McCall, M. K., Skutsch, M., & Chutz, N. (2016). Moving from Measuring, Reporting, Verification (MRV) of Forest Carbon to Mapping, Measuring, Monitoring (MMM). Perspectives from Mexico. *PLoS ONE*, 11(6), e0146038. doi: 10.1371/journal.pone.0146038

- Návar, J. (2009). Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 427–434. doi: 10.1016/j.foreco.2008.09.028
- Navarrete, J. L., Ramírez, M. I., & Pérez-Salicrup, D. R. (2011). Logging within protected areas: spatial evaluation of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 262(4), 646–654. doi: 10.1016/j.foreco.2011.04.033
- Norris, T. B. (2014). Bridging the great divide: State, civil, society, and ‘participatory’ conservation mapping in a resource extraction zone. *Applied Geography*, 54, 262–274. doi: 10.1016/j.apgeog.2014.05.016
- Ordóñez, J. A. B., de Jong, B. H. J., García-Oliva, F., Aviña, F. L., Pérez, J. V., Guerrero, G., ...Maser, O. (2008). Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2074–2084. doi: 10.1016/j.foreco.2007.12.024
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2008). Examination of nomination of natural, mixed and cultural properties to the World Heritage List - Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MEXICO). Retrieved from //whc.unesco.org/archive/2008/whc08-32com-8Be.pdf
- Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA, 2017). Retrieved July 7, 2017 from <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php/sistemas-de-consulta/phina>
- Pokorny, B., Sabogal, C., de Jong, W., Stoian, D., Louman, B., Pacheco, P., & Porro, N. (2008). Experiencias y retos del manejo forestal comunitario en América Tropical. *Recursos Naturales y Ambiente*, 54, 81–98. Retrieved from <https://www.cifor.org/library/2760/>
- Ramírez, M. I., Miranda, R., Zubieta, R., & Jiménez, M. (2007). Land cover and road network for the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico, 2003. *Journal of Maps*, 3(1), 181–190. doi: 10.1080/jom.2007.9710837
- Razo, R., Gordillo, A. J., Rodríguez, R., Mayacotte, C. C., & Acevedo, O. A. (2013). Escenarios de carbono para el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 17–21. Retrieved from www.itson.mx/publicaciones/flrn/Paginas/vol09.aspx
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño, E., & Razo, R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la Reserva de la Biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5(3), 317–327. Retrieved from www.revistas.unam.mx/index.php/rxm/article/view/15164/14413
- Rojas-García, F., de Jong, B. H. J., Martínez-Zurimendí, P., & Paz-Pellat, F. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science*, 72(6), 835–864. doi: 10.1007/s13595-015-0456-y
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). (2000). Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Mariposa Monarca. México: DOF. Retrieved from https://simec.conanp.gob.mx/pdf_decretos/40_decreto.pdf
- Sharma, S. K., Deml, K., Dangal, S., Rana, E., & Madigan, S. (2015). REDD+ framework with integrated measurement, reporting and verification system for Community Based Forest Management Systems (CBFMS) in Nepal. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 17–27. doi: 10.1016/j.cosust.2015.01.003
- Sheppard, S. R. J., Shaw, A., Flanders, D., Burch, S., Wiek, A., Carmichael, J., ...Cohen, S. (2011). Future visioning of local climate change: A framework for community engagement and planning with scenarios and visualization. *Futures*, 43(4), 400–412. doi: 10.1016/j.futures.2011.01.009
- Skutsch, M., & Benet, D. (2014). Organizing community level forest surveys for REDD+: Manual for community technicians. Retrieved from <http://redd.ciga.unam.mx/files/CommunityManual.pdf>
- Skutsch, M., & McCall, M. (2011). Why community forest monitoring? In M. Skutsch (Ed.), *Community forest monitoring for the carbon market. Opportunities under REDD* (pp. 3–15). UK: Routledge.
- Vieilledent, G., Vaudry, R., Andriamanohisoa, S. F. D., Rakotonarivo, O. S., Randrianasolo, H. Z., Razafindrabe, H. N., ...Rasamoelina, M. (2012). A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forest using generic allometric models. *Ecological Applications*, 22(2), 572–583. doi: 10.1890/11-0039