



El Colegio de la Frontera Sur

Escenario de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación a nivel ejidal y potencial de mitigación en dos ejidos de Calakmul, Campeche

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestría en Ciencias en Recurso Naturales y Desarrollo Rural

Por

Jorge Sanchez Valdez

2016

“Basta un poco de espíritu aventurero para estar siempre satisfechos, pues gracias a Dios, nada sucede como deseábamos, como suponíamos, ni como teníamos previsto”

Noel Claraso i Serrat

Agradecimientos y dedicatoria

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por el apoyo (Beca CVU-537789) y la oportunidad de poder desarrollar mis estudios de maestría y este trabajo de investigación.

Especialmente al Dr. Ben De Jong, quien tuve la fortuna de tener como tutor y por quien siento gran admiración por considerarle un excelente investigador y una gran persona.

También a la Dra. Ligia Esparza Olgún y la M.C. Elsa Esquivel Bazán, ya que sin su asesoría y consejo este trabajo no hubiera sido posible.

A las comunidades de El Carmen II y Unidad y Trabajo, especialmente a Hortensia Rivera Mexicano y Juan Carlos López Díaz por su apoyo en la elaboración de las propuestas de manejo territorial.

Para el Dr. Eduardo Martínez Romero y Sur Verde, por facilitar la cartografía de usos de suelo de Calakmul y por su apoyo durante el trabajo de campo.

A la Dra. Susana Ochoa Gaona, Dra. Claudia Monzón Alvarado y Dr. Yuri Peña Ramírez quienes fungieron como sinodales, por su disposición, paciencia y sus comentarios que ayudaron a mejorar en gran medida este trabajo.

A mis padres que son mi mayor fortaleza y ejemplo, que fieles creyentes del error humano no han perdido la esperanza en mí y siempre me apoyan.

A mis amigos en casa y a los que eh tenido la suerte de conocer en este proceso, con los cuales ha sido una fortuna coincidir.

Tabla de Contenido

Resumen	1
Palabras clave	1
Introducción.....	2
Pregunta de investigación	6
Objetivos.....	6
General	6
Específicos	6
Artículo enviado a publicación: “Escenarios de referencia de emisiones de CO ₂ por deforestación a nivel ejidal y potencial de mitigación en dos ejidos de Calakmul, Campeche”.	7
Resumen	7
Palabras clave:.....	8
Abstract.....	8
Key words:.....	9
Introducción	9
Objetivo.....	12
Materiales y Métodos	12
Área de Estudio	12
Metodología Climafor.....	14
Cambios de uso de suelo (2000-2010).....	15
Mapas de Factores Causales.....	16
Matrices de riesgo de deforestación	17
Selección de matriz	18
Escenario de Referencia 2010-2020	19
Propuestas de Manejo Territorial 2015-2020.....	20
Potencial de mitigación de emisiones por deforestación	23
Resultados.....	23
Cambios de uso de suelo	23
Matrices de riesgo de deforestación	23
Selección de matriz	25
Escenario de Referencia	29
Propuestas de manejo territorial 2015-2020	30
Potencial de mitigación de emisiones de CO ₂ por deforestación	31

Discusión31

Conclusiones36

Reconocimientos.....37

Bibliografía38

Conclusiones.....45

Bibliografía:.....47

Anexos52

Resumen

El municipio de Calakmul, Campeche tienen áreas forestales con potencial para desarrollar proyectos de reducción de emisiones por deforestación, pero requiere escenarios de referencia para evaluar las medidas de mitigación. En este trabajo, se probó la aplicación de la metodología Climafor para generar escenarios de referencia a nivel ejidal en este municipio. Como parte de esta metodología se analizó la relación de la deforestación entre los años 2000 y 2010; y dos factores causales: presión poblacional (Densidad Poblacional) y accesibilidad (Cercanía a Caminos y Cercanía a Áreas Previamente Deforestadas). Con este análisis se generaron Matrices de Riesgo de Deforestación, utilizadas para estimar en cada ejido áreas susceptibles a ser deforestadas y sus emisiones en el periodo 2010-2020. Como resultado se generaron escenarios de referencia de emisiones por deforestación para 66 ejidos y toda el área de estudio ($1.46 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Adicionalmente, se estimó el potencial de mitigación en dos ejidos utilizando los escenarios de referencia para evaluar las emisiones de las propuestas de manejo territorial (2015 a 2020) de cada ejido. Estas propuestas se generaron a nivel de productor siguiendo el Estándar Plan Vivo. Según estas propuestas solo un ejido tendría emisiones menores al escenario de referencia y un potencial de mitigación de $0.30 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, por lo que podría desarrollar proyectos mitigación de emisiones. De acuerdo a los resultados observados, se considera que con la metodología empleada es viable generar escenarios de referencia por emisiones de CO_2 a nivel ejidal y estimar el potencial de mitigación a nivel ejidal o de proyecto. La metodología Climafor es una alternativa práctica y flexible para generar escenarios de referencia a nivel ejidal. Además, hacer estimaciones a nivel ejidal puede complementarse con metodologías que promuevan la participación de los productores en el diseño de propuestas de mitigación.

Palabras clave

Cambio Climático, Reducción de emisiones de CO_2 , Planeación territorial, México.

Introducción.

El cambio climático es una de las mayores amenazas y retos ambientales a los que se enfrenta actualmente la humanidad. Este fenómeno se ha relacionado con el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico debido al aumento de las tasas de emisión (IPCC, 2007).

Entre los principales GEI se encuentran el Dióxido de Carbono (CO₂), el vapor de agua (H₂O), Óxido Nitroso (N₂O), Metano (CH₄) y Ozono (O₃) (IPCC, 2007). En el año 2010 el Dióxido de Carbono (CO₂) representó el 76.00 % del total de emisiones de GEI (IPCC, 2014). Las emisiones de CO₂ se derivan principalmente del uso de combustibles fósiles y la producción de cemento, aunque los cambios en los usos de suelo, especialmente la deforestación, son otra fuente importante de emisiones (IPCC, 2000).

Los ecosistemas forestales son sumideros que captan CO₂ mediante la fotosíntesis y reservorios que almacenan el C en su biomasa y suelo. Sin embargo la deforestación y/o degradación de bosques hacen que se emita nuevamente a la atmósfera el CO₂ almacenado (IPCC, 2000; Brown et al., 2002; Arcidiacono-Bársony et al., 2011). A nivel mundial se estima que entre 2000 y 2009 un 12.00 % de las emisiones de CO₂ antropogénico provinieron de los cambios de uso de suelo y silvicultura (IPCC, 2014). En México en 2010 y en el estado de Campeche en 2005 se estimó que un 6.30 % y un 48.38 % de las emisiones de GEI también se debieron a estos cambios (SEMARNAT, 2010; INECOL, 2012).

Los ecosistemas forestales son un recurso estratégico para mitigar el cambio climático, por lo que el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) propuso la iniciativa REDD+ como instrumento político de mitigación a través de incentivos para la conservación y mejora de los ecosistemas forestales en países en desarrollo (Corbera y Schroeder, 2011). REDD+ tiene como objetivos implementar medidas para reducir las emisiones por deforestación y degradación, la conservación y aumento de los reservorios de Carbono (C) y el manejo sustentable de bosques (Angelsen, 2010).

México se encuentra en proceso de consulta la Estrategia Nacional REDD+ (ENAREDD), que servirá como marco institucional y metodológico para su implementación a nivel nacional (CONAFOR, 2015a). Sin embargo mediante el programa Acciones Tempranas REDD+ (ATREDD+), se están desarrollando proyectos piloto en los Estados de Campeche, Chiapas, Jalisco, Quintana Roo y Yucatán (CONAFOR, 2015a). De forma complementaria se está desarrollando la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE), que determinará las actividades de reducción de emisiones por deforestación y degradación para la ENAREDD+ y que toma como base las experiencias del programa ATREDD+ (CONAFOR, 2016).

Este tipo de iniciativas se han incluido recientemente dentro de los acuerdos de la Conferencia de las Partes (COP 21) de la CMNUCC celebrada en París en 2015 (United Nations, 2015). Los acuerdos establecen que los países miembros de la convención deberán tomar medidas para conservar e incrementar los sumideros y reservas de GEI, mediante la reducción de emisiones causadas por deforestación y degradación a través de la conservación y gestión sustentable de los recursos forestales (United Nations, 2015).

Para el desarrollo de este tipo de iniciativas, es necesario poder evaluar el estado de los recursos forestales y estimar las emisiones derivadas de su manejo (Brown et al., 2002). Para ello se han usado imágenes satelitales que permiten monitorear el estado de los recursos forestales y medir las reservas de C en diferentes tipos de vegetación, con lo cual se han hecho estimaciones de las reservas de C a diferentes escalas (Baccini et al., 2012; Harris et al., 2012; Cartus et al., 2014).

Se estima que la deforestación se ha desacelerado a nivel mundial, pasando de una tasa anual neta de 0.18 % en la década de los 90's a 0.08 % en el periodo 2010 a 2015 y que paralelamente se redujeron las emisiones netas de CO₂ de 1.2 Gt anuales en los 90's, a 0.4 Gt anuales de 2000 a 2010 y 0.2 Gt anuales de 2010 a 2015 (FAO, 2015). Para México, se estimó una tendencia similar, ya que a partir del año 2000 se observó una desaceleración en la pérdida de cobertura forestal respecto a décadas anteriores (Rosete-Verges et al., 2014). A partir de este mismo año se estimó que las emisiones de CO₂ derivadas de la deforestación fueron de 0.045 Gt

anuales de 2000 a 2001, 0.057 Gt anuales de 2002 a 2006 y 0.027 Gt anuales de 2006 a 2010 (CONAFOR, 2015b). En la región del Sureste de la Península de Yucatán donde se encuentra el municipio de Calakmul, se ha documentado un comportamiento similar y se estima que a partir del año 2000 o incluso desde la década de los 90's ha habido una desaceleración en las tasas de deforestación (Vester et al., 2007; Rueda, 2010).

Un elemento clave para desarrollar proyectos de tipo de REDD+ es estimar el potencial de reducción de emisiones de CO₂ o incremento de los reservorios de C, debido a la aplicación de medidas de mitigación. (Angelsen, 2008; Arcidiacono-Bársony et al., 2011). Para estimar el potencial de reducción de emisiones, se utilizan escenarios de referencia que representan el posible estado de los recursos forestales y sus emisiones en ausencia de un cambio o proyecto, y se comparan con escenarios que consideran la aplicación de actividades de mitigación, con lo cual se estima el impacto de las medidas de mitigación (IPCC, 2014).

Existen diversos enfoques para generar escenarios de referencia, basados en el uso de factores económicos, políticos, socioambientales o combinaciones de estos. Dichos enfoques pueden generar diferentes estimaciones de emisiones, lo cual tiene implicaciones directas en los beneficios ecológicos y económicos de un proyecto (Brown et al. 2007; Huettner et al., 2009). Aun no existe un consenso sobre el enfoque más adecuado (Brown et al. 2007; Busch et al., 2009; Huettner et al., 2009), sin embargo existen criterios ampliamente aceptados para la generación de escenarios de referencia como la transparencia (repetibles y comprobables) y la efectividad (relación costo-beneficio), entre otros (Huettner et al., 2009; Busch et al., 2009).

El análisis de cambios de usos de suelo (CUS) es la base para generar escenarios de referencia de emisiones. Ya que basado en las tendencias de CUS se estiman futuros CUS (Brown et al., 2002; Angelsen, 2008; Huettner et al., 2009; Kurz et al., 2009). Los análisis de CUS pueden ser realizados a diferentes escalas (espaciales y temporales) y enfoques (Top-Down y Bottom-Up) según los objetivos y disponibilidad de información (Angelsen, 2008; Corbera y Schroeder, 2011).

Los análisis de CUS a escala nacional permiten generar escenarios de referencia de forma relativamente fácil y económica para la planeación de estrategias y programas nacionales de mitigación (Lasco y Pulhin, 2000; Angelsen, 2010; Hoa, Hasegawa y Matsuoka, 2014; CONAFOR, 2015a), y es la escala recomendada para reportar los logros dentro de un país. Mientras que, análisis a mayor escala son útiles cuando no existe la infraestructura necesaria para hacer estimaciones a mayor nivel y también para desarrollar sistemas de pago por resultados a los dueños de la tierra. Este nivel permite estimar directamente el impacto de las medidas de mitigación a nivel regional (De Jong et al., 2005; Geoghegan et al., 2010), comunitario (Hajek et al., 2011; Esquivel et al. 2013), e incluso de productor. Además, combinado con un enfoque bottom-up puede ayudar a generar estrategias locales más inclusivas que fomenten la participación de los dueños de la tierra (Angelsen, 2010; Hajek et al., 2011), que pueden conjuntarse e ir escalonando hacia niveles regionales o estatales hasta llegar a un nivel nacional (CONAFOR, 2015a).

El municipio de Calakmul, Campeche cuenta con extensas reservas forestales con potencial para desarrollar proyectos de mitigación de emisiones, pero requieren escenarios de referencia que les permitan evaluar el impacto de su manejo territorial y medidas de mitigación. En este trabajo se desarrollaron escenarios de referencia para 66 ejidos de este municipio siguiendo la metodología Climafor (De Jong *et al.*, 2005; Castillo-Santiago *et al.*, 2006). La cual fue desarrollada y aplicada en el noreste de Chiapas en 2005 con buenos resultados. Esta metodología se basa en el análisis de factores causales relacionados a la deforestación para estimar posibles cambios a futuro y sus emisiones de CO². Una de sus principales características es el poder desarrollar escenarios de referencia a nivel ejidal, que pueden ser utilizados para estimar el potencial de mitigación a este nivel.

Posteriormente, como parte de este trabajo se emplearon los escenarios de referencia para estimar el potencial de mitigación de dos ejidos del área de estudio. Para lo cual también fue necesario desarrollar propuestas de manejo territorial que permitieran generar un escenario a futuro basado en como los ejidatarios están planeando manejar su territorio y sus emisiones. Estas propuestas se desarrollaron a

nivel de productor para el periodo 2015 a 2020 siguiendo la metodología del estándar Plan Vivo (Plan Vivo Foundation, 2013). Por último, se compararon las emisiones de los escenarios de referencia con las esperadas según las propuestas de manejo territorial de los ejidatarios, para evaluar si el manejo propuesto generaría una reducción o incremento en las emisiones.

Pregunta de investigación

¿Es posible generar escenarios de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación a nivel ejidal que permitan estimar su potencial de mitigación?

Objetivos

General

Generar escenarios de emisiones por deforestación a nivel ejidal en el municipio de Calakmul, Campeche que permitan hacer estimaciones del potencial de mitigación a este nivel.

Específicos

Aplicar la metodología Climafor en 66 ejidos del municipio de Calakmul, Campeche para generar escenarios de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación a nivel ejidal.

Utilizar los escenarios de referencia como base para estimar el potencial de mitigación en dos ejidos.

Artículo enviado a publicación: “Escenarios de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación a nivel ejidal y potencial de mitigación en dos ejidos de Calakmul, Campeche”.

Reference Scenario of CO₂ emissions from deforestation at ejido level and mitigation potential of two ejidos of Calakmul, Campeche.

J. Sanchez-Valdez¹, B.H.J. De Jong^{1*}, L. Esparza-Olguin¹, E. Martínez² y E. Esquivel³

¹El Colegio de la Frontera Sur. Av. Rancho Polígono 2-A, Ciudad Industrial, 24500 Lerma Campeche, Camp.

²Sur Verde. Pedro Moreno 147, Barrio de San José, Campeche, Campeche

³AMBIO. Calle Emiliano Zapata No. 4, Barrio El Relicario, 29286 San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

*Autor de Correspondencia: bjong@ecosur.mx

Resumen

El municipio de Calakmul, Campeche tienen áreas forestales con potencial para desarrollar proyectos de reducción de emisiones por deforestación, pero requiere escenarios de referencia para evaluar las medidas de mitigación. En este trabajo, se probó la aplicación de la metodología Climafor para generar escenarios de referencia a nivel ejidal en este municipio. Se analizó la relación de la deforestación entre los años 2000 y 2010; y dos factores causales: presión poblacional (Densidad Poblacional) y accesibilidad (Cercanía a Caminos y Cercanía a Áreas Previamente Deforestadas). Con este análisis se generaron Matrices de Riesgo de Deforestación, utilizadas para estimar en cada ejido áreas susceptibles a ser deforestadas y sus

emisiones en el periodo 2010-2020. Como resultado se generaron escenarios de referencia de emisiones por deforestación para 66 ejidos y toda el área de estudio ($1.46 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Adicionalmente, se estimó el potencial de mitigación en dos ejidos utilizando los escenarios de referencia para evaluar las emisiones de las propuestas de manejo territorial (2015 a 2020) de cada ejido. Estas propuestas se generaron a nivel de productor siguiendo el Estándar Plan Vivo. Según estas propuestas solo un ejido tendría emisiones menores al escenario de referencia y un potencial de mitigación de $0.30 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, por lo que podría desarrollar proyectos mitigación de emisiones. La metodología Climafor es una alternativa práctica y flexible para generar escenarios de referencia a nivel ejidal, compatibles con esquemas de pago por resultados, utilizando insumos sencillos que permiten hacer ajustes según las condiciones específicas de la región.

Palabras clave:

Cambio climático, reducción de emisiones de CO_2 , planeación territorial, México.

Abstract

The municipality of Calakmul, Campeche has forest areas with potential to develop projects to reduce emissions from deforestation, but require baseline scenarios to assess mitigation measures. In this paper we tested the application of Climafor methodology to generate baseline scenarios at ejido level for this municipality. We analyzed the relationship between deforestation observed from 2000 to 2010 and two causal factors: population pressure (population density) and accessibility (closeness to roads and closeness to previously deforested areas). Risk matrices of deforestation were generated and used to estimate the areas likely to be deforested and their emissions in the period 2010-2020 in each ejido. Reference emission scenarios of deforestation were generated separately for 66 ejidos and the entire

study. In addition, the mitigation potential was estimated in two ejidos using their reference scenario to evaluate the impact on emissions from deforestation of the land management proposals (2015 to 2020) in each ejido. Those proposals were developed at producer level following the standard Plan Vivo. According to these proposals only one of these ejidos would have lower emissions than the reference scenario and a mitigation potential of 0.30 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, so they could develop a emission mitigation project. The Climafor methodology is practical and flexible alternative scenarios to generate reference at ejidal level that can be compatibles with schemes of payment for results, using simple inputs that allow to adjustments according to the specific conditions of the region.

Key words:

Climate change, CO₂ emissions reduction, territorial plan, Mexico.

Introducción

Los ecosistemas forestales son un recurso estratégico para mitigar el cambio climático (IPCC, 2000; Brown *et al.*, 2002) ya que pueden fungir como sumideros que captan CO₂ mediante fotosíntesis y/o reservorios que almacenan el C en su biomasa y suelo. No obstante, la deforestación o degradación de bosques emite nuevamente el CO₂ a la atmosfera (IPCC, 2000; Brown *et al.*, 2002; Arcidiacono-Bársony *et al.*, 2011).

Con la finalidad de incentivar acciones que permitan reducir emisiones por deforestación y degradación, conservar e incrementar las reservas de C y promover el manejo sustentable de recursos forestales (REDD+) en países en desarrollo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) propuso la iniciativa REDD+ (Arcidiacono-Bársony *et al.*, 2011; IPCC, 2014). En México se encuentra en proceso de consulta la

Estrategia Nacional REDD+ (ENAREDD), que servirá como marco institucional para implementar esta iniciativa a nivel nacional (CONAFOR, 2015b).

Para el desarrollo de iniciativas de tipo REDD+ es necesario contar con escenarios de referencia que permitan estimar la reducción de emisiones y/o el incremento de los reservorios de C por la aplicación de medidas de mitigación (Angelsen, 2008; Arcidiacono-Bársony *et al.*, 2011; IPCC, 2014). Los escenarios de referencia son estimaciones de las emisiones esperadas a futuro en ausencia de un cambio o medida de mitigación (Huettner *et al.*, 2009).

Existen diversos enfoques para generar escenarios de referencia basados en el uso de factores económicos, políticos, socioambientales, tendencias históricas proyectadas a futuro, modelación de impacto de políticas ambientales y de desarrollo o combinaciones de estos. Dichos enfoques pueden generar estimaciones de emisiones diferentes, por lo que tienen implicaciones sobre los beneficios económicos y ecológicos de un proyecto (Brown *et al.* 2007; Huettner *et al.*, 2009). A pesar de esto, aún no existe un consenso sobre el enfoque más adecuado (Brown *et al.* 2007; Busch *et al.*, 2009; Huettner *et al.*, 2009), sin embargo, existen criterios a tomar en cuenta cuando se desarrollan escenarios de referencia, como la transparencia (repetibles y comprobables), la eficiencia de costos (relación costo-beneficio), por mencionar algunos ejemplos (Brown *et al.*, 2003; Olander *et al.*, 2008; Huettner *et al.*, 2009; Busch *et al.*, 2009).

Los escenarios de referencia y estimaciones de reducción de emisiones pueden ser generados desde diferentes escalas (temporales y espaciales) y perspectivas (Top-Down y Bottom-Up) dependiendo de los objetivos y disponibilidad de información (Angelsen, 2008; Corbera y Schroeder, 2011). Escenarios de referencia elaborados a escalas grandes permiten estimar la

reducción de emisiones a nivel regional (De Jong *et al.*, 2005; Geoghegan *et al.*, 2010), comunitario (Hajek *et al.*, 2011; Esquivel *et al.* 2013) e incluso de proyecto. Este nivel de detalle es útil para desarrollar sistemas de pago por resultados que beneficien directamente a los dueños de la tierra que implementen medidas de mitigación y si además se combina con un enfoque Bottom-Up, favorece su participación en el diseño de estas medidas (Angelsen, 2010; Hajek *et al.*, 2011).

En este trabajo se desarrollaron escenarios de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación para 66 ejidos del municipio de Calakmul, Campeche siguiendo la metodología Climafor (De Jong *et al.*, 2005; Castillo-Santiago *et al.* ,2006), que sirven como base para estimar el impacto de proyectos de mitigación a nivel ejidal. La metodología Climafor permite generar escenarios de referencia para cada ejido, basándose en la relación entre la deforestación observada en un periodo histórico y dos factores causales: accesibilidad a las áreas forestales (cercanía a caminos o áreas previamente deforestadas) y presión poblacional de los pobladores sobre los recursos naturales (densidad poblacional).

Adicionalmente se estimó el potencial de mitigación en dos ejidos comparando los escenarios de referencia con Propuestas de manejo territorial elaboradas individualmente por los productores en cada ejido. Las propuestas se elaboraron siguiendo la metodología del estándar Plan Vivo (Plan Vivo Foundation, 2013) y se estimaron sus emisiones por deforestación para cada ejido. Mediante esta comparación se estimó si el manejo propuesto en cada ejido conllevaría una reducción o incremento en las emisiones de CO₂ por deforestación con respecto al escenario de referencia.

Objetivo

Generar escenario de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación a nivel ejidal en el municipio de Calakmul, Campeche que permitan hacer estimaciones del potencial de mitigación a este nivel.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El área de estudio se encuentra dentro del municipio de Calakmul, Campeche y abarca una superficie de 509 714.60 ha (36.10 % del área municipal). Está compuesta por 66 ejidos que estuvieron cubiertos totalmente con la cartografía usos de suelo de Martínez y Garrido (2011) y que tuvieron datos poblacionales en los censos del 2000 y 2010 (INEGI, 2000; 2010).

La zona presenta una orografía poco accidentada que forma una planicie mayormente dominada por rocas calizas. Los suelos suelen ser someros de tipo litosol, rendzina, vertisol y gleysol. El clima es cálido subhúmedo (AW) y la hidrología está determinada por las condiciones pluviales que forman cuerpos de aguas perennes y temporales. La vegetación está conformada principalmente por selvas medianas subperennifolias, selvas bajas subcaducifolias secas y vegetación inundable (SEMARNAP, 2000; Arreola *et al.*, 2007).

Las principales actividades económicas son de tipo primario, predominando la agricultura (roza, tumba y quema) y la ganadería; otra fuente de ingresos importante proviene de programas federales (Esparza Olguín y Martínez Romero, 2012). Dentro de este municipio se encuentra la Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC), la cual alberga la reserva de bosque tropical más grande de México (SEMARNAP, 2000) y la zonas sujeta a Conservación Ecológica de Balam-Ku y Balam-Kin (Secretaría de Ecología, 2009).

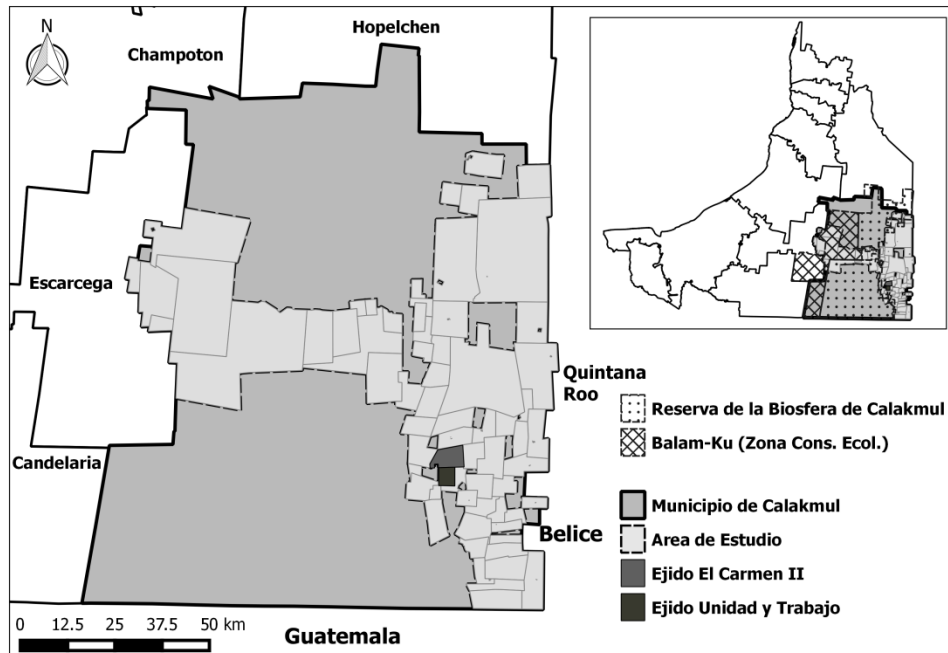


Figura 1. Localización de los ejidos en donde se elaboraron los escenarios de referencia (gris claro) y ejidos en donde se desarrollaron las propuestas de manejo a nivel de productor siguiendo la metodología del estándar Plan Vivo (gris oscuros).

En los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo los ejidatarios generaron propuestas de manejo territorial para el periodo 2015 a 2020 siguiendo la metodología del estándar Plan Vivo (Plan Vivo Foundation, 2013). El Carmen II tiene una superficie total de 4097.78 ha, se estimó que en el año 2010 el 47.48 % (1945.97 ha) eran selvas maduras y el 43.97 % (1802.10 ha) vegetación secundaria. Según el censo poblacional del 2010, en ese año había una población de 393 habitantes (INEGI, 2010). En el año 2015 contaba con 60 ejidatarios, que en su mayoría poseían 64 ha y parte del ejido seguía siendo comunal.

El ejido Unidad y Trabajo abarca en total 2061.51 ha y se estimó que en 2010 el 59.94 % (1235.80 ha) eran selvas y el 22.56 % (465.14 ha) vegetación secundaria. De acuerdo al censo poblacional del 2010, en ese año había 151 habitantes (INEGI, 2010). Mientras que en 2015

tenía 37 ejidatarios poseedores de 50 ha cada uno y conservaba 211.51 ha en uso común. Este ejido participa en el Programa Nacional Forestal (PRONAFOR) con 598.08 ha en la modalidad de pago por servicios ambientales.

Metodología Climafor

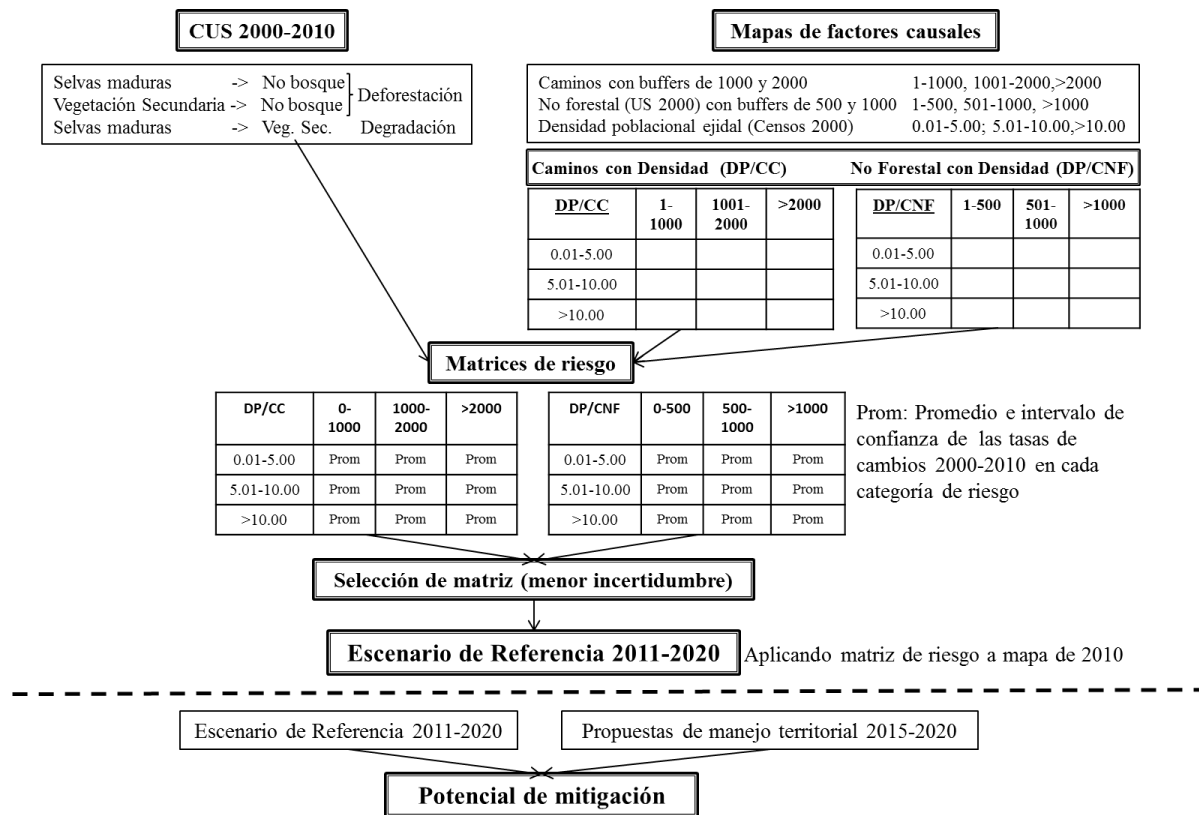


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología, (sobre la línea punteada se describe la metodología utilizada para la elaboración de los escenarios de referencia y por debajo de la línea punteada el uso de los escenarios de referencia para estimar el potencial de mitigación).

La metodología Climafor tiene como finalidad generar escenarios de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación, utilizando matrices de riesgo para estimar áreas susceptibles a ser deforestadas y calculando sus posibles emisiones derivadas. Estas matrices se elaboran con

base en la relación entre la deforestación y la combinación de dos factores causales (presión poblacional y accesibilidad).

En la figura 2 podemos observar las principales etapas de la metodología utilizada, la primera sección describe los pasos que se siguieron para generar los escenarios de referencia ejidales. Debajo de la línea punteada corresponde al uso de los escenarios de referencia como base para estimar el potencial de mitigación en dos ejidos. En la tabla 1 se muestra la información utilizada en cada paso de la metodología y su fuente.

Tabla 1. Información utilizada en cada etapa de la metodología (gris) y su fuente.

Nombre	Cambios de uso de suelo (2000-2010)	Mapas de factores causales	Matrices de riesgo	Escenarios de referencia 2010-2020	Potencial de mitigación	Fuente
Cartografía Usos de Suelo 2000						Martínez y Garrido, 2011
Cartografía Usos de Suelo 2010						Martínez y Garrido, 2011
Cartografía de Caminos						García, 2000
Cartografía Usos No Forestales 2000						Martínez y Garrido, 2011
Cartografía Usos No Forestales 2010						Martínez y Garrido, 2011
Censo Poblacional 2000						INEGI, 2000
Censo Poblacional 2010						INEGI, 2010
Estimaciones de emisiones de CO ₂						Aryal <i>et al</i> , 2014
Escenarios de Referencia 2010-2020						Elaboración propia
Propuestas de manejo territorial 2015-2020						Elaboración propia

Cambios de uso de suelo (2000-2010)

Se analizaron los cambios de uso de suelo en el periodo 2000-2010, utilizando una cartografía de usos de suelo de los años 2000 y 2010 del municipio de Calakmul (Martínez y Garrido, 2011) con 13 categorías de usos de suelo y cobertura vegetal. Las categorías se reagruparon en cuatro: “Bosque” (selvas maduras), “Bosque Secundario” (vegetación secundaria), “No Forestal” (áreas desprovistas de vegetación y agricultura) y “Desconocido” (no determinado).

Se analizaron los cambios de uso de suelo del periodo 2000-2010 y se clasificaron como “Deforestación” (Bosque → No Bosque), “Degradación” (Bosque → Bosque Secundario) y “Deforestación de Vegetación Secundaria” (Bosque Secundario → No Bosque). Cabe mencionar que los otros cambios de uso de suelo o aquellos que permanecieron sin cambios no fueron tomados en cuenta para este estudio.

Mapas de Factores Causales

Para analizar la relación entre la deforestación y dos factores causales (presión poblacional y accesibilidad), se generaron mapas que combinaron estos dos factores. Se utilizó la densidad poblacional (DP) como indicador de la Presión Poblacional. Como indicadores de accesibilidad se utilizaron por separado la Cercanía a Caminos (CC) y la Cercanía a Áreas No Forestales (CNF). Estos factores fueron seleccionados en la metodología Climafor (De Jong *et al.*, 2005), tomando como base el trabajo de Castillo-Santiago *et al.* (2006).

Se calculó la densidad poblacional (DP) de cada ejido con los datos de los Censos Poblacionales y de Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de los años 2000 y 2010 (INEGI, 2000; 2010). Se agruparon los ejidos por densidad poblacional en los rangos 0.01-5.00 habitantes/km², 5.01-10.00 habitantes/km² y >10.00 habitantes/km², bajo el supuesto de que se esperarían mayores pérdidas de cobertura forestal en las zonas con mayor densidad poblacional.

Para evaluar la cercanía a camino (CC) se utilizó una cartografía de caminos (García, 2000) del año 2000 y se utilizaron las categorías Carreteras pavimentadas, Terracería y Brechas. Se generaron tres buffers en torno a estas categorías con rangos de 1-1000m, 1001-2000m y

>2000m de distancia, bajo el supuesto que se esperaría una mayor pérdida de cobertura forestal en las zonas más cercanas a caminos.

Para evaluar la cercanía a áreas “No Forestal”, se usó la cartografía de usos de suelo del año 2000 (Martínez y Garrido, 2011). Se generaron buffers con los rangos 0 a 500m, 501 a 1000m y >1000m alrededor de las áreas sin bosque en 2000, bajo el supuesto de que se esperaría una mayor pérdida de cobertura forestal en las zonas cercanas a áreas previamente deforestadas.

Se combinaron los factores Densidad Poblacional con Cercanía a Caminos (DP/CC) y Densidad Poblacional con Cercanía a No Forestal (DP/CNF), generando dos mapas, cada uno con 9 categorías de riesgo (3 rangos de Densidad Poblacional con 3 rangos de Cercanía a Caminos y 3 rangos de Densidad Poblacional con 3 rangos de Cercanía No forestal; Fig. 2).

Matrices de riesgo de deforestación

Las matrices de riesgo son una herramienta utilizada en la metodología Climafor para estimar la superficie susceptible a ser deforestadas considerando la combinación de dos factores causales (presión población y accesibilidad) (Castillo-Santiago *et al.*, 2006). Para elaborar las matrices de riesgo se superpusieron los mapas de cambios de usos de suelo con los mapas de factores causales (DP/CC y DP/CNF) y se calcularon las tasas anuales de cambio (de forma lineal expresada como el porcentaje de la vegetación inicial que cambió) en el periodo 2000-2010 de las categorías de riesgo de cada ejido. Posteriormente se construyeron las matrices de riesgo como la media de las tasas de cambio de todos los ejidos con la misma categoría riesgo. Finalmente se calculó el intervalo de confianza (95.00 %) de cada categoría de riesgo considerando la variación de las tasas de cambio de los ejidos de la misma categoría de riesgo con respecto a la media.

Selección de matriz

Se probó el desempeño de ambas matrices para estimar los cambios a nivel ejidal, comparando las tasas observadas en cada ejido en el periodo 2000-2010 con las tasas esperadas de acuerdo a las matrices de riesgo (promedio). En cada ejido se analizó si las tasas observadas fueron mayores o menores que las esperadas, identificando aquellos ejidos que tuvieron diferencias mayores al intervalo de confianza (95.00 %) de cada categoría. Además, se calculó la equivalencia en hectáreas anuales de los valores que quedaron fuera del intervalo de confianza (Discrepancia) y se clasificaron los ejidos en base a estas diferencia en los rangos 0.01 a 1.00, 1.01 a 5.00, 5.01 a 10.00 y >10.00 ha año⁻¹. Adicionalmente se agruparon los ejidos por tamaño, para evaluar si el tamaño estaba relacionado con los valores de discrepancia.

Además se estimó la incertidumbre de las fuentes de información, con la finalidad de tener una referencia sobre la variabilidad (dispersión) de las fuentes de información (IPCC, 2006). A partir de esta variabilidad se calcularon los límites de confianza (95.00 %) sobre las estimaciones realizadas. Se consideraron tres fuentes de información para este cálculo: 1. Las estimaciones de las reservas de C y su variación (Aryal *et al.*, 2014). 2. Los valores de discrepancia como porcentaje que represento del área total deforestada anualmente. 3. Las matrices de riesgo de deforestación y su intervalo de confianza. Finalmente se combinaron los valores de estas tres fuentes, utilizando la ecuación de propagación del error (IPCC, 2006):

$$U_{Total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Donde la incertidumbre total expresada como porcentaje U_{total} se obtiene mediante la raíz cuadrada de la suma de la incertidumbre de cada fuente de información ($U_1, U_2 \dots U_n$) elevadas al cuadrado. Mediante esta información se obtuvo información de la incertidumbre obtenida al

utilizar cada matriz, incluyendo de mayor incertidumbre. Esto fue utilizado más adelante para seleccionar la matriz que generaría el escenario de menor incertidumbre y para identificar las fuentes de información que ajustes más urgentemente.

Escenario de Referencia 2010-2020

Se calculó la densidad poblacional (DP) a partir de los datos del censo poblacional del 2010 (INEGI, 2010) y se combinó con los buffers de cercanía a caminos (CC). Posteriormente se cruzó con la cartografía de usos de suelo del 2010 y se calculó la superficie forestal dentro de las categorías (DP/CC) en cada ejido. Finalmente con los datos de la matriz DP/CC y las superficies forestales de cada ejido se estimó la superficie susceptible a ser deforestada.

Para calcular los cambios en las reservas de C derivados de los cambios de uso de suelo esperados (2010-2020), se empleó como referencia del C almacenado en la vegetación el estudio de Aryal *et al.* (2014). En dicho trabajo se hicieron mediciones del C almacenado en la biomasa viva sobre el nivel del suelo en ejidos alrededor de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, con lo cual se hicieron estimaciones el C almacenado en la vegetación por edades.

Se asignaron valores de edad a la vegetación secundaria utilizando como referencia la edad promedio de la vegetación secundaria (16 años) obtenida en las propuestas de manejo realizadas en los ejidos El Carmen y Unidad y Trabajo. En el caso de las selvas (vegetación madura) se asignó una edad de 125 años, ya que de acuerdo a Aryal *et al.*, (2014) a esta edad la vegetación secundaria alcanza la madurez y se estabilizan las reservas de C. Con estas edades se asignaron valores de C a la vegetación y usando los datos de pérdida de cobertura forestal esperada (ha^{-1} anual), se estimaron las pérdidas en las reservas de C (Mg C anual). Se convirtieron las pérdidas de C en emisiones de CO_2 utilizando un factor de conversión de

44/12 (cada átomo de C tiene un peso atómico de 12 y al agregarse 2 átomos de Oxígeno forma una molécula con peso atómico de 44), por último se estimaron las emisiones por hectárea y por habitante para hacer comparables las emisiones entre ejidos.

Cabe mencionar que no se estimaron las emisiones por degradación, ya que se consideró una pérdida parcial del C almacenado y para su estimación se requeriría tener más referencias sobre la magnitud de la perturbación o una estimación de la tasa de recuperación de la biomasa después de la perturbación.

Propuestas de Manejo Territorial 2015-2020

Se generaron propuestas de manejo territorial a nivel de productor para estimar cómo los ejidatarios están manejando su territorio y como desean hacerlo a futuro. Se utilizó como base la metodología Plan Vivo (marco para la certificación de programas de pago por servicios ambientales voluntarios de carbono) para generar planes sobre el manejo territorial en los próximos cinco años y estimar las emisiones por deforestación derivadas en conjunto (Esquivel *et al.*, 2013; Plan Vivo Foundation, 2013).

Se seleccionaron los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo para desarrollar esta metodología, ya que hubo consenso por parte de la comunidad para permitir el desarrollo del trabajo. Además estos ejidos presentaron buena organización y no hubo conflictos internos que impidieran el trabajo. Cabe mencionar que en El Carmen II se llevaron a cabo mediciones del C almacenado en vegetación para el trabajo de Aryal *et al.* (2014), que sirvió como referencia para estimar las pérdidas de C por deforestación. Cabe mencionar que como parte de las primeras interacciones con las comunidades, en las cuales se les planteó nuestro interés por desarrollar estas propuestas de manejo, también se les hizo una introducción sobre la

importancia del manejo y conservación de bosques como herramienta para mitigar el cambio climático.

Primero se realizó un diagnóstico sobre los usos de suelo en el año 2015 en ambos ejidos. Se reunieron a actores clave de la comunidad que dibujaron sobre una imagen satelital (Google Earth, 2015) la ubicación, superficie y características de los principales usos de suelo (Esquivel *et al.*, 2013; Plan Vivo Foundation, 2013). Además marcaron referencias adicionales como núcleos poblacionales, caminos y cuerpos de agua (Anexo 1, 2, 3 y 4).

Siguiendo la metodología del programa Scolel Te de AMBIO para elaborar Planes Vivos Individuales se generaron las propuestas de manejo territorial a nivel de productor (Esquivel *et al.*, 2013; Plan Vivo Foundation, 2013). En esta actividad, se dieron breves charlas sobre la importancia de los bosques en la mitigación del cambio climático. Posteriormente mediante entrevistas individuales cada ejidatario indicó como planea manejar su territorio durante el periodo 2015 a 2020. Los ejidatarios dibujaron un croquis de sus parcelas en el año 2015 incluyendo los usos de suelo y tipos de vegetación con edad aproximada (Anexo 5 y 8). Después utilizaron este dibujo como plantilla para indicar en una hoja nueva, los cambios que planean desarrollar entre 2015 y 2020 (Anexo 6 y 9).

En estancias posteriores se les mostraron a los ejidatarios ejemplos de sistemas agroforestales que pudieran ser una alternativa de menor impacto y con beneficios adicionales como la reducción de emisiones y captura de C. Los sistemas presentados fueron Taungya, enriquecimiento de acahuals y sistemas silvopastoriles. Los productores interesados dibujaron una propuesta de manejo que incluía los sistemas de su interés (Anexo 7 y 10).

Con la información recopilada en las propuestas se estimó la pérdida proyectada de cobertura forestal en el territorio de los ejidatarios participantes. Esta información se concentró en una matriz de cambio que conjuntó las propuestas de cada ejido. Esta matriz contiene las categorías Agricultura Tradicional, Agricultura Mecanizada, Potrero, Vegetación secundaria por edades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 y >30 años), Vegetación secundaria con manejo por edades (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 y >30 años), Frutales y Selvas. La matriz que incluía los sistemas agroforestales agrego las categorías Taungya, enriquecimiento de acahual y sistemas Silvopastoril (Anexo 11 y 12).

Con las matrices de cambio se estimó la deforestación en cada ejido para el periodo 2015-2020. Cabe mencionar que debido a que no se contó con información sobre los posibles cambios en el territorio de las personas que no elaboraron una propuesta (46.70 % de los ejidatarios en El Carmen II y 46.00 % en Unidad y Trabajo), solo se hicieron estimaciones del área cubierta con las propuestas.

Para asignarle valores de C almacenado a la vegetación secundaria se utilizó la información recopilada en las propuestas de manejo sobre la edad de la vegetación en las parcelas. Se agruparon las parcelas con vegetación secundaria por rangos de edad (0-5 años, 6-10 años, 11-20 años, 21-30 años y >30 años) y se usó el valor intermedio de cada rango como referencia de la edad del grupo para estimar el carbono almacenado en su biomasa. Con la información sobre la pérdida de cobertura forestal y las estimaciones de C almacenado, se calcularon las pérdidas de C (Mg C anual) del área cubierta con las propuestas en cada ejido. Posteriormente las pérdidas de C se convirtieron en emisiones de CO₂ utilizando un factor de conversión de 44/12, solo se estimaron las emisiones por hectárea, ya que se desconoce el número de habitantes que hacen usos de esta porción del ejido.

Potencial de mitigación de emisiones por deforestación

Para estimar el potencial de mitigación se compararon las emisiones esperadas como resultado de las propuestas de manejo y las emisiones estimadas en los escenarios de referencia. Cuando las emisiones de las propuestas de manejo tuvieron emisiones menores al escenario de referencia se consideró que se esperaba una reducción en las emisiones del ejido. Por el contrario, cuando las emisiones esperadas en la propuesta de manejo fueron mayores se consideró que habría un incremento. En caso de estimar una reducción a ésta se le descontó el porcentaje de incertidumbre con el fin de tener una estimación más conservadora del potencial de mitigación.

Resultados

Cambios de uso de suelo

Se estimó para toda el área de estudio en el periodo 2000 a 2010, una tasa anual de deforestación de 0.31 % para selvas (1 239.65 ha año⁻¹), 2.16 % para vegetación secundaria (1 061.68 ha año⁻¹), 0.51 % para deforestación general (2 301.33 ha año⁻¹) y 1.23 % para degradación (4906.49 ha año⁻¹).

Matrices de riesgo de deforestación

En las tablas 2, 3, 4 y 5 se presentan las matrices de riesgo de deforestación, obtenidas del análisis de cambios de usos de suelo de 2000 a 2010 y su relación con los factores causales de presión poblacional y accesibilidad. Los valores de las matrices son porcentajes y rangos de 95.00 % de confianza, utilizados para estimar áreas susceptibles a ser deforestadas en el periodo 2010 a 2020 en cada ejido, tomando en cuenta la vegetación del 2010. En ambas matrices de riesgo se pudo observar que las mayores tasas de cambio en el periodo 2000 a

2010 se localizaron en las zonas con mayor densidad poblacional, en las zonas más cercanas a camino y en las zonas más cercanas a usos de suelo no forestales (Tabla 2, 3, 4 y 5).

Tabla 2. Matrices de riesgo DP/CC para deforestación de selvas de la combinación de factores Densidad Poblacional & Cercanía a Caminos expresado como % de superficie susceptible a ser deforestada e Intervalo de Confianza del 95.00 % calculado.

DP/CC Deforestación Selvas (%/año; 95.00 % I.C)		Cercanía a caminos (m)		
		1-1000	1001-2000	>2000
Densidad	>10.00	1.379; ±0.411	0.575; ±0.361	0.446; ±0.226
Poblacional	5.01-10.00	0.980; ±0.281	0.555; ±0.218	0.461; ±0.254
(hab/km ²)	0.01-5.00	0.434; ±0.194	0.272; ±0.135	0.229; ±0.117

Tabla 3. Matrices de riesgo DP/CC para deforestación de vegetación secundaria de la combinación de factores Densidad Poblacional & Cercanía a Caminos expresado como % de superficie susceptible a ser deforestada e Intervalo de Confianza del 95.00 % calculado.

DP/CC Deforestación Veg. Sec. (%/año; 95.00 % I.C)		Cercanía a caminos (m)		
		1-1000	1001-2000	>2000
Densidad	>10.00	3.636; ±0.965	2.447; ±1.416	2.367; ±1.719
Poblacional	5.01-10.00	2.909; ±0.799	1.612; ±0.686	2.416; ±1.324
(hab/km ²)	0.01-5.00	2.267; ±0.856	1.611; ±0.857	1.116; ±0.514

Tabla 4. Matrices de riesgo DP/CNF para deforestación de selvas de la combinación de factores Densidad Poblacional & Cercanía a Caminos expresado como % de superficie susceptible a ser deforestada e Intervalo de Confianza del 95.00 % calculado.

DP/CNF Deforestación Selvas (%/año; 95.00 % I.C)		Cercanía a No Forestal (m)		
		1-500	5001-1000	>1000
Densidad	>10.00	1.231; ±0.282	0.150; ±0.130	0.018; ±0.035
Poblacional	5.01-10.00	0.931; ±0.218	0.210; ±0.110	0.128; ±0.142
(hab/km ²)	0.01-5.00	0.644; ±0.182	0.125; ±0.061	0.073; ±0.096

Tabla 5. Matrices de riesgo DP/CNF para deforestación de vegetación secundaria de la combinación de factores Densidad Poblacional & Cercanía a Caminos expresado como % de superficie susceptible a ser deforestada e Intervalo de Confianza del 95.00 % calculado.

DP/CNF Deforestación Veg. Sec. (%/año; 95.00 % I.C)		Cercanía a No Forestal (m)		
		1-500	5001-1000	>1000
Densidad	>10.00	3.151; ±0.949	0.471; ±0.409	0
Poblacional	5.01-10.00	2.787; ±0.702	0.694; ±0.543	1.068; ±2.092
(hab/km ²)	0.01-5.00	2.157; ±0.450	0.453; ±0.390	0.005; ±0.008

En la tabla 5 se puede observar que en la categoría de riesgo >10.00 hab/Km² & >1000 m hubo un valor de cero, esto se debió a que solo dos ejidos presentaron áreas clasificadas como vegetación secundaria dentro de polígonos que cumplieron estas características y que estas áreas se conservaron sin cambios.

Selección de matriz

En la prueba de desempeño de la matriz DP/CC para la deforestación de selvas, se contaron 5 ejidos con tasas dentro del rango esperado, 36 ejidos con tasas menores a los rangos esperados y 25 ejidos con tasas mayores (Fig. 3). La suma de las discrepancias ejidales fue de 108.07 ha año⁻¹ lo cual representó 8.71 % de la superficie de selvas deforestadas anualmente en toda el área de estudio entre el 2000 y 2010. Para la deforestación de vegetación secundaria se contabilizaron 5 ejidos dentro del intervalo de confianza, 37 ejidos con tasas menores a los rangos esperados y 24 con tasas mayores (Fig. 4). La suma de las discrepancias fue de 52.17 ha año⁻¹, lo cual representó 4.91 % de la vegetación secundaria deforestada anualmente en toda el área de estudio entre los años 2000 y 2010.

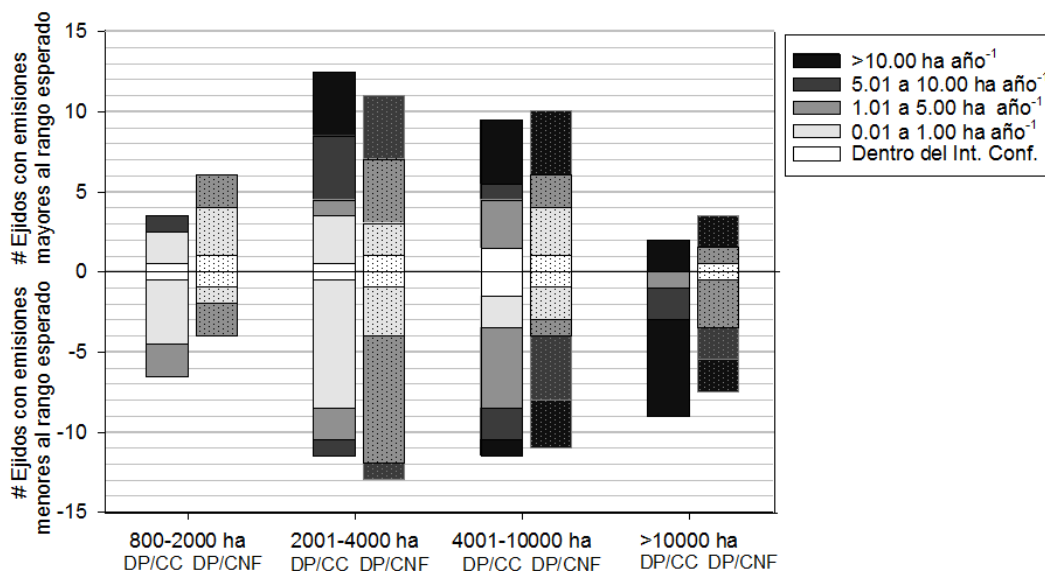


Figura 3. Número de ejidos por rangos de discrepancia (0.01 a 1.00, 1.01 a 5.00, 5.01 a 10.00 y >10.00 ha año⁻¹) entre la deforestación de selvas maduras observada y la esperada aplicando las matrices de riesgo DP/CC y DP/CNF agrupados por tamaño.

Al probar el desempeño de la matriz DP/CNF para la deforestación de selvas se contabilizaron 7 ejidos dentro del intervalo de confianza, 32 con tasas menores al rango esperado y 27 con tasas mayores (Fig. 3). La suma de las discrepancias ejidales fue de 77.23 ha año⁻¹, lo cual representó el 6.23 % de la superficie deforestada anualmente de selvas en toda el área de estudio entre los años 2000 y 2010. Para la deforestación de vegetación secundaria se contabilizaron 11 ejidos dentro del rango esperado, 31 con tasas menores al rango esperado y 24 con tasas mayores (Fig. 4). La suma de las discrepancias ejidales fue de 2.88 ha año⁻¹, lo cual representó el 0.27 % de la vegetación secundaria deforestada anualmente en toda el área de estudio. Cabe mencionar que se observó una mayor tendencia por parte de los ejidos de mayor tamaño a tener mayores valores de discrepancia.

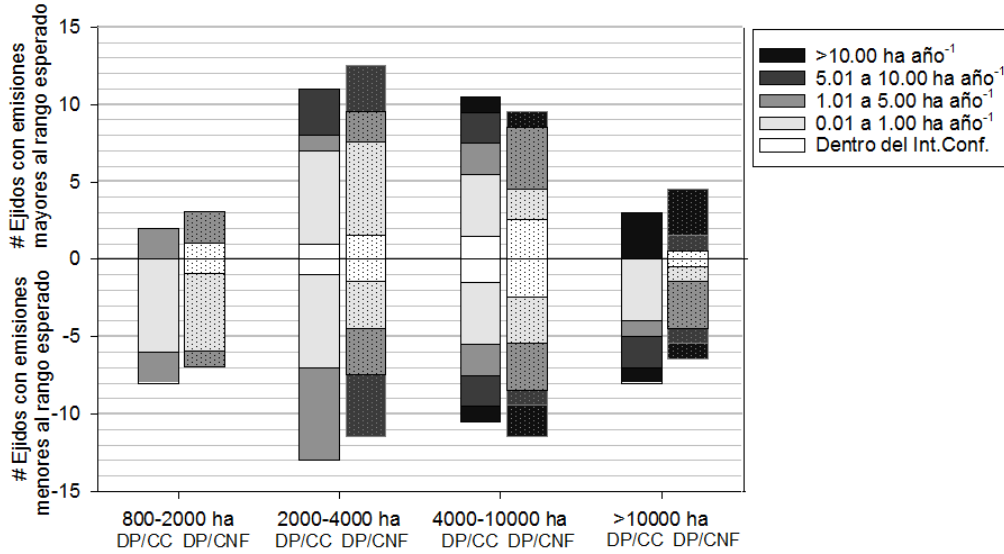


Figura 4. Número de ejidos por rangos de discrepancia (0.01 a 1.00, 1.01 a 5.00, 5.01 a 10.00 y >10.00 ha año⁻¹) entre la deforestación de vegetación secundaria observada y la esperada aplicando las matrices de riesgo DP/CC y DP/CNF agrupados por tamaño.

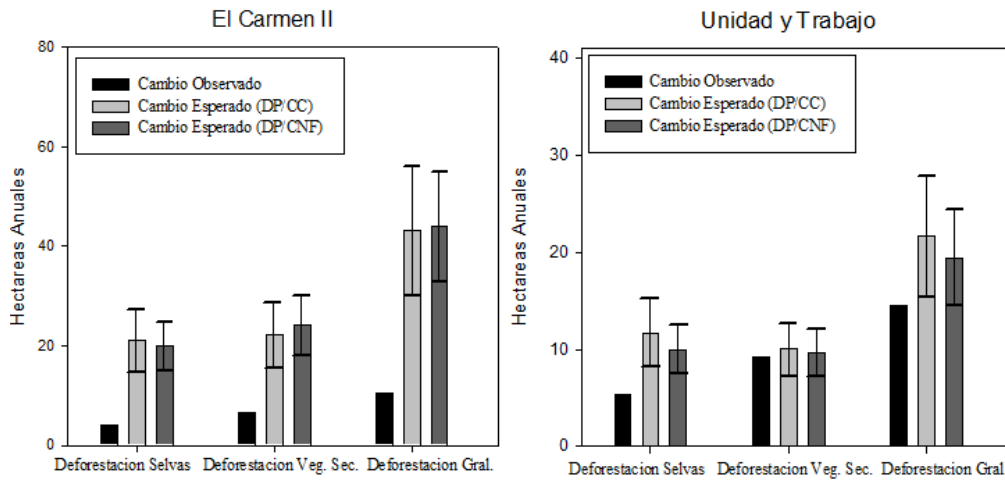


Figura 5. Cambios observado y esperados aplicando las matrices de riesgo DP/CC (gris claro) y DP/CNF (gris oscuro) en el periodo 2000-2010 en los ejidos El Carmen II (izquierda) y Unidad y Trabajo (derecha).

Los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo tuvieron el mismo rango de densidad poblacional y presentaron rangos similares de cercanía a camino. Por lo que compartieron casi todas las categorías de riesgo con la matriz DP/CC, con excepción de la categoría 5.01-10.00 hab/km²

& >2000 m (que solo se presentó en El Carmen). Con la matriz DP/CNF ambos ejidos tuvieron los mismo rangos de densidad poblacional y de usos no forestales por lo cual compartieron las mismas categorías de riesgo.

Tabla 6. Porcentajes de incertidumbre con la matriz DP/CC para los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo.

DP/CC (hab/km ² & m)	Incertidumbre (%)			
	El Carmen II		Unidad y Trabajo	
	Deforestación Selvas	Deforestación Veg. Sec.	Deforestación Selvas	Deforestación Veg. Sec.
5.01-10.00 & 1-1000	31.42 %	29.25 %	31.42 %	29.25 %
5.01-10.00 & 1001-2000	41.39 %	43.70 %	41.39 %	43.70 %
5.01-10.00 & >2000	56.51 %	55.73 %	-	-

Tabla 7. Porcentajes de incertidumbre con la matriz DP/CNF calculados de acuerdo a las características de los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo.

DP/CNF (hab/km ² & m)	Incertidumbre (%)			
	El Carmen II		Unidad y Trabajo	
	Deforestación Selvas	Deforestación Veg. Sec.	Deforestación Selvas	Deforestación Veg. Sec.
5.01-10.00 & 1-500	26.05 %	26.95 %	26.05 %	26.95 %
5.01-10.00 & 501-1000	53.51 %	78.84 %	53.51 %	78.84 %
5.01-10.00 & >1000	111.71 %	196.23 %	111.71 %	196.23 %

En las tablas 6 y 7 se presentan los porcentajes de incertidumbre calculados para las categorías de riesgo presentes en los ejidos El Carmen y Unidad y Trabajo, dichos porcentajes permiten establecer límites de confianza en las estimaciones de emisiones. Con la matriz DP/CC ambos ejidos compartieron los mismos valores de incertidumbre para sus categorías de riesgo con excepción de la categoría 5.01-10.00 hab/km² & >2000 m que no se registró en Unidad y Trabajo. Con la matriz DP/CNF ambos ejidos tuvieron las mismas categorías de riesgo por lo que les correspondieron los mismos porcentajes de incertidumbre.

La matriz DP/CNF tiene los porcentajes más altos de incertidumbre que en ocasiones superaron el 100.00 %. La matriz DP/CC tuvo un valor máximo de 56.71 % y porcentajes menores que DP/CNF, por lo cual se decidió emplear esta matriz.

Escenario de Referencia

Utilizando la matriz DP/CC se esperarían emisiones netas por deforestación de selvas y vegetación secundaria entre 2010 y 2020 en toda el área de estudio de 745 505 Mg CO₂ año⁻¹ para selvas. En los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo serían de 12 016 Mg CO₂ año⁻¹ y 5 600 Mg CO₂ año⁻¹ respectivamente. Las estimaciones por hectárea para toda el área de estudio se alcanzan 1.46 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹, hubo 43 ejidos con emisiones mayores incluidos El Carmen II (2.94 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹) y Unidad y Trabajo (2.71 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹) (Fig.6). El análisis por habitante para toda el área de estudio resulta en emisiones de 30.06 Mg CO₂ habitante⁻¹ año⁻¹, 34 ejidos tuvieron emisiones mayores incluidos El Carmen II (30.57 Mg CO₂ habitante⁻¹ año⁻¹) y Unidad y Trabajo (37.09 Mg CO₂ habitante⁻¹ año⁻¹) (Fig. 6).

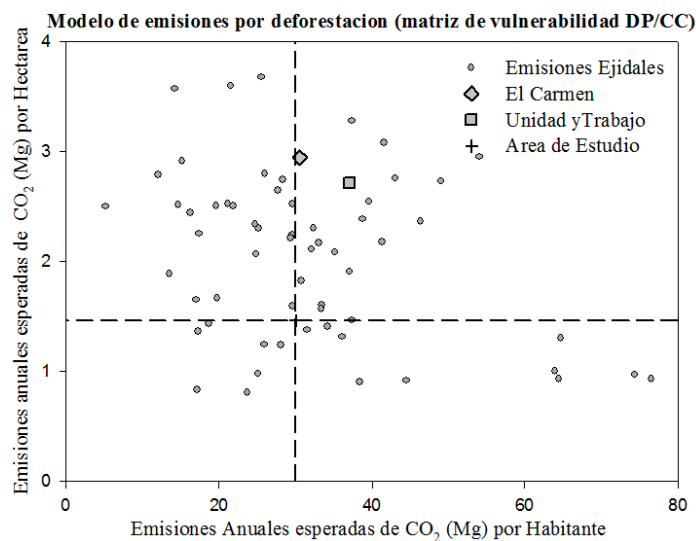


Figura 6. Escenarios de referencia de emisiones ejidales (Mg CO₂) por hectárea y poblador utilizando la matriz DP/CC.

Propuestas de manejo territorial 2015-2020

Con las propuestas de manejo en el ejido El Carmen II se abarcaron 1 804 ha (44.05 % de la superficie ejidal) mediante la participación de 32 ejidatarios (53.33 %). En Unidad y Trabajo se abarcaron 987 ha (47.78 % de la superficie ejidal) con la participaron 20 ejidatarios (54.00 %).

Tabla 8. Deforestación y emisiones de CO₂ esperadas anualmente de acuerdo las propuestas de manejo territorial para selvas maduras y vegetación secundaria por edades.

		Selvas Maduras	Vegetación Secundaria (años)				
			0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 30	>30
El Carmen	Deforestación anual (ha año ⁻¹)	5.10	7.20	10.40	13.20	0.30	0.00
	Deforestación anual (%)	0.55	6.76	8.97	3.42	0.37	0.00
	Emisiones de CO ₂ anuales (Mg CO ₂ año ⁻¹)	1805.61	198.14	743.54	1685.63	56.25	0.00
Unidad y Trabajo	Deforestación anual (ha año ⁻¹)	1.60	0.00	0.00	16.20	1.00	0.00
	Deforestación anual (%)	0.35	0.00	0.00	6.04	2.50	0.00
	Emisiones de CO ₂ anuales (Mg CO ₂ año ⁻¹)	566.47	0.00	0.00	2068.73	187.49	0.00

En la tabla 8 se puede observar que los participantes del ejido Unidad y Trabajo no propusieron deforestar vegetación secundaria de 0 a 5 años y 5 a 10 años, debido a que en las propuestas no hubo vegetación de estas características. Además la mayoría de las áreas previstas para deforestación están en el rango de edad de 10 a 20 años. También sobresale el hecho de que en ambos ejidos no se propuso deforestar vegetación secundaria mayor a 30 años, a pesar de que en ambos ejidos se identificaron parcelas de estas características.

Las emisiones por deforestación totales esperadas del área cubierta con las propuestas de manejo sería de 4 489.16 Mg CO₂ año⁻¹ en El Carmen II y 2 822.68 Mg CO₂ año⁻¹ en Unidad y Trabajo. Por hectárea las emisiones serían de 2.49 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ en El Carmen II y 2.85 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ en Unidad y Trabajo.

Cabe mencionar que mediante las propuestas no se obtuvo información sobre el cambio de uso de suelo clasificado como “degradación”, ya que no se identificaron cambios que pudiera tener este efecto, como podrían ser zonas de extracción de leña o materiales para la construcción, áreas con especies invasoras, etc.

Potencial de mitigación de emisiones de CO₂ por deforestación

Se compararon las emisiones esperadas anualmente por hectárea a causa de la deforestación general (selvas y vegetación secundaria) del escenario de referencia (DP/CC) y las propuestas de manejo territorial. Encontrando que en El Carmen II las emisiones esperadas con las propuestas fueron menores a las del escenario de referencia por 0.45 Mg CO₂ ha⁻¹ año⁻¹, por lo que se considera que habría una reducción de emisiones si se implementan las propuestas. A esta reducción se le descontó el porcentaje de incertidumbre para tener una estimación más conservadora que considere la incertidumbre asociada a las fuentes de información, resultando finalmente en un Potencial de Mitigación de 0.30 Mg CO₂ ha⁻¹. En Unidad y Trabajo las emisiones esperadas con las propuestas fueron mayores a las del escenario de referencia por 0.14 Mg CO₂ ha⁻¹ y se consideró que no hay una reducción de emisiones si se implementan las propuestas.

Discusión

Mediante la metodología del enfoque Climafor fue posible generar escenarios de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación para los 66 ejidos del área de estudio de forma relativamente sencilla y con insumos accesibles. De acuerdo a las propuestas de manejo el ejido El Carmen tendría una reducción de emisiones de 0.30 Mg CO₂ ha⁻¹ respecto a su escenario de referencia. Por lo que se considera que la porción del ejido que participo podría generar un proyecto de mitigación de emisiones.

Es recomendable hacer ajustes en la escala temporal de los análisis de cambios de uso de suelo de acuerdo a los ciclos agrícolas (principalmente de tipo roza, tumba y quema) de la región. Comparando únicamente los usos de suelo de los años 2000 y 2010, es probable que no se identificaran correctamente áreas de selva o vegetación secundaria, convertidas a agrícolas (deforestadas) y que en 2010 estaban en descanso (vegetación secundaria). Pudiendo ser clasificadas erróneamente como degradación (Selvas->Veg. Secundaria) o como vegetación secundaria sin cambios, lo cual implicaría que las tasas de deforestación y emisiones podrían ser mayores. Esto se puede detectar si se el periodo de 10 años analizando cambios de usos de suelo en ciclos más frecuentes (5 a 3 años), pero esto introducirá errores adicionales en las categorías de cambio (Gerhard *et al.*, 2014)

Para las estimaciones de emisiones de CO₂ por deforestación de selvas se considera que se tuvo una buena referencia al utilizar la edad de 125 años para todas las selvas maduras (Aryal *et al.*, 2014). Sin embargo la vegetación secundaria abarca un rango muy amplio de etapas sucesionales y haber utilizado la edad promedio de las parcelas con vegetación secundaria obtenida de las propuestas es limitado, y puede ser solo representativa para estos ejidos.

Esta metodología cumple en buena medida los criterios utilizados por Brown *et al* (2003) en la comparación de métodos para generar escenarios de referencia. El primer criterio utilizado por Brown *et al* (2003) fue la transparencia, evaluado mediante la comprensibilidad y replicabilidad. Se considera que esta metodología tiene una lógica relativamente sencilla, que se basa en la relación de la deforestación con la presión social y la accesibilidad. Bajo los supuestos de que se esperan mayores tasas de deforestación en las zonas con mayor densidad poblacional y más fácil acceso. Estos factores han sido ampliamente utilizados para estimar áreas susceptibles a ser deforestadas en otros trabajos en la zona (Geoghegan *et al.*, 2010) y a

nivel mundial (Newbold *et al.*, 2016). Por otro lado, Olander *et al* (2008) destaca también la importancia de contar con estándares de transparencia que permitan a terceros tener acceso a los datos y métodos. En este caso las variables utilizadas son relativamente sencillas y tienen múltiples aplicaciones, siendo esta información accesible y gratuita, tal como los censos poblacionales con los que se calculó la densidad poblacional (INEGI, 2000; 2010) o la cartografía de caminos (García, 2000) que están disponibles en las páginas de internet de INEGI y CONABIO.

El segundo criterio utilizado por Brown *et al* (2003) fue la incertidumbre (exactitud y precisión), considerada también importante por Olander *et al* (2008). En este estudio se calculó la incertidumbre asociada a las fuentes de información y a los resultados obtenidos. En este caso la variación de las tasas ejidales utilizadas para construir las matrices de riesgo fue la principal fuente de incertidumbre. Esto se debió a que hubo una gran variación en las tasas de deforestación de los ejidos, lo cual se relaciona con la variedad de estrategias de uso de suelo de los ejidos. Esto conlleva que las estimaciones realizadas tengan límites de confianza con un rango muy amplio y que al intentar tener una estimación del potencial más conservadora se reduzca el potencial de mitigación de forma considerable. Para reducir esta fuente de incertidumbre una opción es ajustar los rangos de los factores causales con base a un análisis más detallado de la correlación entre la deforestación y estos factores causales u otros tales como intensidad de uso de suelo o pendiente. Otra alternativa sería complementar con fuentes de información adicionales, que permitan identificar caminos que no estaban contemplados y tener datos poblacionales más detallados.

El tercer criterio utilizado por Brown *et al* (2003) es la aplicabilidad, se relaciona con la capacidad de emplear la metodología a múltiples cambios de uso de suelo y escalas. Con esta

metodología es posible generar escenarios de referencia considerando por separado la deforestación de selvas y vegetación secundaria. En el caso de la degradación se considera que es causada por otros fenómenos y actividades por lo que es probable que los indicadores utilizados en esta metodología para estimar áreas susceptibles a la deforestación no sean los más adecuados. Además los datos disponibles en este momento no fueron suficientes para estimar emisiones por degradación. Respecto a las escalas, cabe mencionar que se pudieron generar escenarios de referencia para ejidos de diversos tamaños y que en su conjunto permitieron hacer una transición a un nivel regional de toda el área de estudio.

El cuarto criterio utilizado por Brown *et al* (2003) hace referencia a la eficiencia de costos. Olander *et al* (2008) consideraron importante desarrollar estimaciones mediante esfuerzos y recursos razonables. El desarrollo del presente trabajo fue relativamente económico, ya que no requirió muchos insumos adicionales a los que están libremente disponibles (tales como cartografía de caminos, datos poblacionales, densidad de biomasa y carbono, tasas de acumulación). El software utilizado es convencional (Microsoft Excel) y libre (QGIS). Por último, ya que sigue una lógica y pasos relativamente sencillos, no requirió capacitación o conocimientos técnicos muy avanzados.

El quinto criterio fue la compatibilidad con los requerimientos internacionales, por ejemplo; periodo de análisis de cambios de usos de suelo de referencia, tipos de cambios de uso de suelo, niveles jurisdiccionales, escalas, etc. que dependen del programa en el que se desee participar. Por dar un ejemplo, el Forest Carbon Partnership Facility requiere un análisis de suelo de entre 10 a 15 años (máximo) y el Verified Carbon Standard entre 8 a 12 años (FAO, 2014), similar al que se aplicó en este estudio

Respecto a los criterios nacionales, el borrador cinco de la ENAREDD+ maneja un enfoque nacional que propone generar un escenario de referencia nacional que pueda ser escalonado a niveles estatales y municipales. Por otro lado, en caso de no contar con las capacidades suficientes para este enfoque, permite provisionalmente desarrollar escenarios Estatales con los cuales posteriormente hacer una transición a nivel nacional (CONAFOR, 2015b). Los escenarios de referencia elaborados en este trabajo se desarrollaron a nivel ejidal y regional, por lo que no cumplen con estos requisitos. Sin embargo, el enfoque utilizado tiene como ventaja cuantificar el impacto de las medidas de mitigación en cada ejido, pudiendo generar proyectos comunitarios basados en pagos por resultados (Angelsen., *et al.* 2008). Al respecto el borrador 5 de la ENAREDD+ menciona que los pagos por resultados provenientes de mercados voluntarios son una fuente complementaria de financiamiento e información útil para la ENAREDD+ (CONAFOR, 2015b).

La metodología del estándar Plan Vivo está diseñada para generar proyectos de reducción de emisiones u otros servicios ambientales, en que los productores estén involucrados en el diseño de alternativas y posteriormente en la verificación del cumplimiento de las propuestas. Mediante esta metodología se generó un escenario a futuro de los posibles cambios usos de suelo, deforestación y sus emisiones. Además este proceso ayudó a entender mejor el proceso de deforestación e identificar alternativas de mitigación compatibles con sus actividades productivas (Sistemas Silvopastoril/Apicultura). El estándar Plan Vivo compagina con las salvaguardas establecidas en la ENAREDD+, tales como inclusión, transversalidad o equidad, por lo cual puede ser una herramienta útil para el desarrollo de estrategias o proyectos.

Coincidió que las propuestas de manejo territorial que consideraban la aplicación de sistemas agroforestales conllevaban deforestar áreas previstas para ser deforestadas en las propuestas

originales por lo cual no hubo diferencia en sus emisiones por deforestación. Sin embargo, se considera que de haber desarrollado escenarios de captura de C, se hubieran encontrado mayor potencial de captura en las propuestas que contemplaran sistemas agroforestales.

Se considera que haber estimado una reducción de emisiones en el ejido El Carmen y un incremento en Unidad y Trabajo, se relaciona con tres factores principales: 1) Las propuestas de manejo territorial de Unidad y Trabajo consideran deforestar casi únicamente vegetación de 10 a 20 años, mientras que en El Carmen se contempló también vegetación de 0 a 5 años y 5 a 10 años que tiene menor C almacenado y su deforestación generaría menores emisiones. 2) De acuerdo a las propuestas de manejo territorial en Unidad y Trabajo se llevaría a cabo una deforestación más intensiva. En Unidad y Trabajo se esperaría una menor deforestación y emisiones que en El Carmen, sin embargo el área cubierta con las propuestas es mucho menor en Unidad y Trabajo. 3) El ejido El Carmen tuvo más áreas forestales con mayor cercanía a caminos. De acuerdo a la matriz de riesgo de deforestación estas áreas serían más susceptibles a ser deforestadas, lo cual influyo en que se esperaran mayores emisiones con el escenario de referencia de El Carmen.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados observados, se considera que con la metodología empleada es viable generar escenarios de referencia por emisiones de CO₂ a nivel ejidal y ser utilizados para estimar el potencial de mitigación a nivel ejidal o de proyecto.

Lo cual además puede influir positivamente en la gobernanza, si se complementa con metodologías que favorezcan la participación de los propietarios de los recursos en el diseño

de proyectos de mitigación. Como fue el caso de la metodología del estándar Plan Vivo, con la cual los ejidatarios generaron las propuestas de manejo.

Uno de los aspectos más importantes del enfoque empleado es que permite evaluar los beneficios de las medidas de mitigación, lo cual es de especial interés para desarrollar proyectos de mitigación basados en pagos por resultados. Este tipo de esquemas de pago tiene la ventaja de poder distribuir los incentivos directamente a los propietarios de la tierra de acuerdo a la eficacia de sus medidas de mitigación, siendo una compensación más justa que un programa de subsidios uniformes. Actualmente este enfoque es más compatible con mercados voluntarios, sin embargo se considera que probar esta metodología para generar escenarios de referencia a nivel estatal (construidos a partir de escenarios municipales) de acuerdo a lo propuesto hasta ahora en la ENAREDD+ puede ser una alternativa viable.

Reconocimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada a Jorge Sanchez Valdez (CVU-537789) la cual permitió llevar a cabo este proyecto. A los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo por su amable participación, en especial a Hortensia Rivera Mexicano y Juan Carlos López Díaz por su apoyo en la traducción y elaboración de las propuestas de manejo territorial. A Sur Verde por su apoyo en campo y por haber proporcionado la cartografía de usos de suelo. Este trabajo también tuvo apoyo financiero del Servicio Forestal de Estados Unidos (US-FS) a través del convenio 12-IJ-11242306-054 entre Ecosur y US-FS.

Bibliografía

Angelsen, A. 2008. REDD models and baselines. *International Forestry Review*, 10(3):465–475.

Angelsen, A., Streck, C., Peskett, L., Brown, J. y Luttrell, C. 2008. What is the right scale for REDD+?. *In: Angelsen, A. Moving ahead with REDD+. CIFOR. Bogor. p: 31-40*

Angelsen, A. 2010. The 3 REDD ‘I’s. *Journal of Forest Economics*, 16(4):253–256.

Arcidiacono-Bársony, C., Ciais, P., Viovy, N., y Vuichard, N. 2011. REDD mitigation. *Procedia Environmental Sciences*, 6:50–59.

Arreola, A., Villalobos, G., Villafuerte, L., Cervantes, E., Tipa, J., Burgos, D., Sanchez, J., Hernandez, L., Sanchez, C., y Caamal, L. 2007. Ordenamiento territorial del municipio Calakmul, Campeche. Un estudio enfocado a las funciones del paisaje. Proyecto PROSURESTE. Campeche. 370 p.

Aryal, D.R., De Jong, B.H.J., Ochoa-Gaona, S., Esparza-Olguin, L., y Mendoza-Vega, J.

2014. Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico.

Agriculture, Ecosystems & Environment, 195:220–230.

Brown, S., Swingland, I.R., Hanbury-tenison, R., Prance, G., y Myers, N. 2002. Changes in the use and management of forests for abating carbon emissions: issues and challenges under the Kyoto Protocol. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1797):1593–1605.

Brown, S., De Jong, B.H.J., Guerrero, G., Hall, M., Masera, O., Marzoli, W., Ruiz, F. y Shoch, D. 2003. *Finalizing Avoided-Deforestation Project Baselines: Modeling Deforestation in Mexico and Implications for Carbon Sequestration Projects*. Winrock International. Arlington Va. 55 p.

Brown, S., Hall, M., Andrasko, K., Ruiz, F., Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., De Jong, B.H.J. y Cornell J. 2007. Baselines for land-use change in the tropics: Application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12:1001-1026.

Busch, J., Strassburg, B., Cattaneo, A., Lubowski, R., Bruner, A., Rice, R., Creed, A., Ashton, R., y Boltz, F. 2009. Comparing climate and cost impacts of reference levels for reducing emissions from deforestation. *Environmental Research Letters*, 4(4):1-11.

Castillo-Santiago, M. A., Hellier, a., Tipper, R., y De Jong, B.H.J. 2006. Carbon emissions from land-use change: an analysis of causal factors in Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12:1213–1235.

CONAFOR (Comision Nacional Forestal). 2015. Borrador Estrategia Nacional para REDD+. México. 109 p.

Corbera, E., y Schroeder, H. 2011. Governing and implementing REDD+. *Environmental Science and Policy*, 14(2):89–99.

De Jong, B.H.J., Hellier, A., Castillo-Santiago, M.A., y Tipper, R. 2005. Application of the ‘CLIMAFOR’ approach to estimate baseline carbon emissions of a forest conservation project in the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, (10):265–278.

Esparza Olguin, L., y Martinez Romero, E., 2012. *Programa de Monitoreo Adaptativo de la Reserva de la Biosfera. ‘Cambio de uso de suelo’*. Campeche. 14 p.

Esquivel, E., Rodriguez, R., y Juarez, G., 2013. *Formulacion de un proyecto REDD (reduccion de emisiones por deforestacion y degradacion) usando el sistema plan vivo en le reserva de la biosfera selva El Ocote. Experiencia comunitaria REDD+ en la REBISO, considerando los componentes ENAREDD+*. San Cristobal de las Casas. 242 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. *Emerging approaches to Forest Reference Emission Levels and / or Forest Reference Levels for REDD +*. Ginebra. 43 p.

García, G., (2000). 'Infraestructura de caminos de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche'. Escala 1:50000. México. Extraído del Proyecto J118 Uso actual de suelo y estado de conservación de la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

Gebhardt, S., Werhmann, T., Muñoz-Ruiz, M.A., Maeda, P., Bishop, J., Schramm, M., Kopeining, R., Cartus, O., Kellndorfer, J., Ressler, R., Santos, L. y Schmidt, M. 2014. MAD-MEX: Automatic wall-to-wall land cover monitoring for the mexican REDD-MRV program using all landsat data. *Remote Sensing*, (6):3923-3943.

Geoghegan, J., Lawrence, D., Schneider, L.C., y Tully, K. 2010. Accounting for carbon stocks in models of land-use change: An application to Southern Yucatan. *Regional Environmental*

Change, 10(3):247–260.

Google Earth (2015). 'Imagen Satelital de los ejidos El Carmen II y Unidad y Trabajo', 18° 9' 25.59" N, 89° 23' 9.78" W, Alt. ojo 17.80 km. Obtenido de: <https://earth.google.com>.

Huettner, M., Leemans, R., Kok, K. y Ebeling J. 2009. A comparison of baseline methodologies for 'Reducing Emissions from Deforestation and Degradation'. *Carbon Balance and Management*, 4(4):12.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2000. XII Censo General de Población y Vivienda México, 2000.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. Censo General de Población y Vivienda México, 2000.

INECOL (Instituto Nacional de Ecología). 2012. *Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Estado de Campeche*. Campeche. 246 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. *Informe especial del IPCC: Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Montreal, Canada. 30 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Montreal, Canada. 34 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Stechow, C. von, Zwickel, T., y Minx, J.C. eds. Cambridge University Press. Cambridge y Nueva York. 1454 p.

Martínez, E., y Garrido, A. 2011. *Reporte Técnico del Proyecto Programa de Monitoreo Adaptativo de la Reserva de la Biosfera de Calakmul*. Campeche. 4 p.

Olander, L., Gibbs, H., Steininger, M., Swenson, J., y Murray, B. 2008. Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: a review of data and methods. *Environmental Research Letters* 3(2):1-11.

Plan Vivo Foundation. 2013. *The Plan Vivo Standard*. Edimburgo. 32 p.

Secretaria de Ecología, 2009. *Programa de Conservacion y Manejo de la Zona sujeta a Conservacion Ecologica Balam-Ku*. Campeche. 270 p.

SEMARNAP (Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 2000. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera de Calakmul*. Campeche. 270 p.

SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero*. México, D.F. 58 p.

Conclusiones.

Se probó que es posible generar escenarios de referencia de emisiones de CO₂ por deforestación a nivel comunitario y que además pueden ser utilizados para estimar el potencial de mitigación a nivel ejidal o de proyecto.

Una de las principales ventajas de haber empleado la metodología Climafor es su sencillez, ya que utiliza una lógica fácil de comprender e indicadores prácticos y ampliamente utilizados, pudiendo hacer ajustes sin necesidad de conocimientos avanzados. Sin embargo, cabe mencionar muchos de los aspectos clave tales como transparencia, incertidumbre, aplicabilidad y eficiencia de costos están limitados a la disponibilidad y calidad de los insumos disponibles.

Hacer estimaciones del potencial de mitigación a nivel ejidal o de proyecto tiene como una de sus principales ventajas que puede influir positivamente en la gobernanza de los ejidos. Ya que puede complementarse con metodologías que favorecen la participación de los ejidatarios en el diseño de los proyectos, como en el caso de la del estándar Plan Vivo.

Uno de los aspectos más importantes de este enfoque es la posibilidad desarrollar de mecanismos de pagos basados en resultados, ya que permite evaluar con claridad los beneficios de las medidas de mitigación. Entre las ventajas de este mecanismo está el hecho de hacer pagos diferenciados en base al potencial de mitigación del proyecto, lo cual es una forma de compensación más justa que el recurrir a programas basados en subsidios uniformes. El enfoque utilizado y los esquemas de pago por resultados son actualmente compatibles con mercados voluntarios, sin embargo en la ENAREDD+ no descarta la posibilidad de que estos mercados sean una fuente complementaria de financiamiento. Además, cada vez se reconoce lo conveniente de los mecanismos de pago por resultados y es posible que en el futuro conforme los países ganen experiencia y se desarrollen las capacidades para hacer estimación de estas características, se decida pasar a mecanismos de pago por resultados.

Entre las principales razones para utilizar un enfoque nacional que se desglose a niveles estatales, se encuentra el hecho de que es una alternativa más eficiente en cuanto a costos. Sin embargo, de contar con los insumos necesarios se podría probar generar escenarios municipales o regionales que puedan ser escalados a un nivel estatal de forma eficiente.

Por último, se considera que la región de Calakmul cuenta con las condiciones para desarrollar proyectos de reducción de emisiones e incremento de los almacenes de carbono. Además por tratarse de una prioritaria para la conservación, el desarrollo de proyectos de este tipo pueden traer como co-beneficios la conservación de hábitats de especies en peligro de extinción u otros servicios ambientales. Por lo que es importante continuar probando y ajustando metodologías que permitan desarrollar escenarios de referencia y medir la reducción de emisiones por proyectos de esta índole en la zona.

Bibliografía:

Angelsen, A. 2008. REDD models and baselines. *International Forestry Review*, 10(3):465–475.

Angelsen, A. 2010. The 3 REDD 'I's. *Journal of Forest Economics*, 16(4):253–256.

Arcidiacono-Bársony, C., Ciais, P., Viovy, N., y Vuichard, N. 2011. REDD mitigation. *Procedia Environmental Sciences*, 6:50–59.

Aryal, D.R., De Jong, B.H.J., Ochoa-Gaona, S., Esparza-Olguin, L. y Mendoza-Vega, J. 2014. Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 195:220–230.

Baccini, A., Goetz, S.J., Walker, W.S., Laporte, N.T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P.S. a., Dubayah, R., Friedl, M. a., Samanta, S., and Houghton, R. a., 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, 2(3):182–185.

Brown, S., Swingland, I.R., Hanbury-tenison, R., Prance, G., y Myers, N., 2002. Changes in the use and management of forests for abating carbon emissions: issues and challenges under the Kyoto Protocol. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360: 1593–1605.

Brown, S., De Jong, B.H.J., Guerrero, G., Hall, M., Masera, O., Marzoli, W., Ruiz, F. y Shoch, D., 2003. Finalizing Avoided-Deforestation Project Baselines: Modeling Deforestation in Mexico and Implications for Carbon Sequestration Projects. Winrock International. Arlington Va. 55 p.

Brown, S., Hall, M., Andrasko, K., Ruiz, F., Marzoli, W., Guerrero, G., Masera, O., Dushku, A., De Jong, B.H.J. y Cornell J., 2007. Baselines for land-use change in the tropics: Application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation*

Strategies for Global Change, 12:1001-1026.

Busch, J., Strassburg, B., Cattaneo, A., Lubowski, R., Bruner, A., Rice, R., Creed, A., Ashton, R., y Boltz, F., 2009. Comparing climate and cost impacts of reference levels for reducing emissions from deforestation. *Environmental Research Letters*, 4(4):1-11.

Cartus, O., Kellndorfer, J., Walker, W., Franco, C., Bishop, J., Santos, L., y Michel-Fuentes, J.M., 2014. A National, Detailed Map of Forest Aboveground Carbon Stocks in Mexico. *Remote Sensing*, 6(6):5559–5588.

CONAFOR (Comision Nacional Forestal). 2015a. Borrador Estrategia Nacional para REDD+. México. 109 p.

CONAFOR (Comision Nacional Forestal). 2015b. Mexico's Forest Reference Emission Level Proposal. México. 68 p.

CONAFOR (Comision Nacional Forestal). 2016. Borrador del Documento de la Iniciativa de Reduccion de Emisiones (IRE). Mexico. 199 p.

Corbera, E., y Schroeder, H., 2011. Governing and implementing REDD+. *Environmental Science and Policy*, 14(2):89–99.

De Jong, B.H.J., Hellier, A., Castillo-Santiago, M.A., y Tipper, R., 2005. Application of the 'CLIMAFOR' approach to estimate baseline carbon emissions of a forest conservation project in the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10:265–278.

Esquivel, E., Rodriguez, R., y Juarez, G., 2013. Formulacion de un proyecto REDD (reduccion de emisiones por deforestacion y degradacion) usando el sistema plan vivo en la reserva de la biosfera selva El Ocote. *Experiencia comunitaria REDD+ en la REBISO, considerando los componentes ENAREDD+*. San Cristobal de las Casas. 242 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Global Forest Resources Assessment 2015: How are the world's forests changing?. Roma. 2015. 47 p.

Geoghegan, J., Lawrence, D., Schneider, L.C., y Tully, K., 2010. Accounting for carbon stocks in models of land-use change: An application to Southern Yucatan. *Regional Environmental Change*, 10(3):247–260.

Hajek, F., Ventresca, M.J., Scriven, J., y Castro, A., 2011. Regime-building for REDD+: Evidence from a cluster of local initiatives in south-eastern Peru. *Environmental Science and Policy*, 14(2):201–215.

Harris, N.L., Brown, S., Hagen, S.C., Saatchi, S.S., Petrova, S., Salas, W., Hansen, M.C., Potapov, P. V., y Lotsch, a., 2012. Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. *Science*, 336:1573–1576.

Hoa, N.T., Hasegawa, T., y Matsuoka, Y., 2014. Climate change mitigation strategies in agriculture, forestry and other land use sectors in Vietnam. *Mitigation and Adaptation Strategies For Global Change*, 19:15–32.

Huettner, M., Leemans, R., Kok, K. y Ebeling J., 2009. A comparison of baseline methodologies for 'Reducing Emissions from Deforestation and Degradation'. *Carbon Balance and Management*, 4(4):1-12.

INECOL (Instituto Nacional de Ecología). 2012. Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Estado de Campeche. Campeche. 246 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Informe especial del IPCC: Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Montreal, Canada. 30 p

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri

R.K. y Reisinger, A. Ginebra. 103 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Stechow, C. von, Zwickel, T., y Minx, J.C. eds. Cambridge University Press. Cambridge y Nueva York. 1454 p.

Kurz, W.A., Dymond, C.C., White, T.M., Stinson, G., Shaw, C.H., Rampley, G.J., Smyth, C., Simpson, B.N., Neilson, E.T., Trofymow, J.A., Metsaranta, J., y Apps, M.J., 2009. CBM-CFS3: A model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards. *Ecological Modelling*, 220(4):480–504.

Lasco, R.D., y Pulhin, F.B., 2000. Forest land use change in the Philippines and climate change mitigation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 5(1):81–97.

Olander, L., Gibbs, H., Steininger, M., Swenson, J., y Murray, B. 2008. Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: a review of data and methods. *Environmental Research Letters* 3(2):1-11.

Orihuela-Belmonte, D.E., De Jong, B.H.J., Mendoza-Vega, J., Van del Wal, J., Paz-Pellat, F., Soto-Pinto, L., y Flamenco-Sandoval, A., 2013. Carbon stocks and accumulation rates in tropical secondary forests at the scale of community, landscape and forest type. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 171:72–84.

Rosete-Verges, F.A., Perez-Damian, J.L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E.N., Salinas-Chavez, E., y Remond-Noa, R., 2014. El avance de la

deforestacion en Mexico 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20:21–35.

Rueda, X., 2010. Understanding deforestation in the southern Yucatán: insights from a sub-regional, multi-temporal analysis. *Regional Environmental Change*, 10(3):175–189.

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero*. México. 58 p.

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efectos Invernaderos 1990-2010*. Mexico. 384 p.

United Nations, 2015. *United Nations Framework Convention on Climate Change. Agreements of the conference of parts. (COP 21)*. Paris. 40 p.

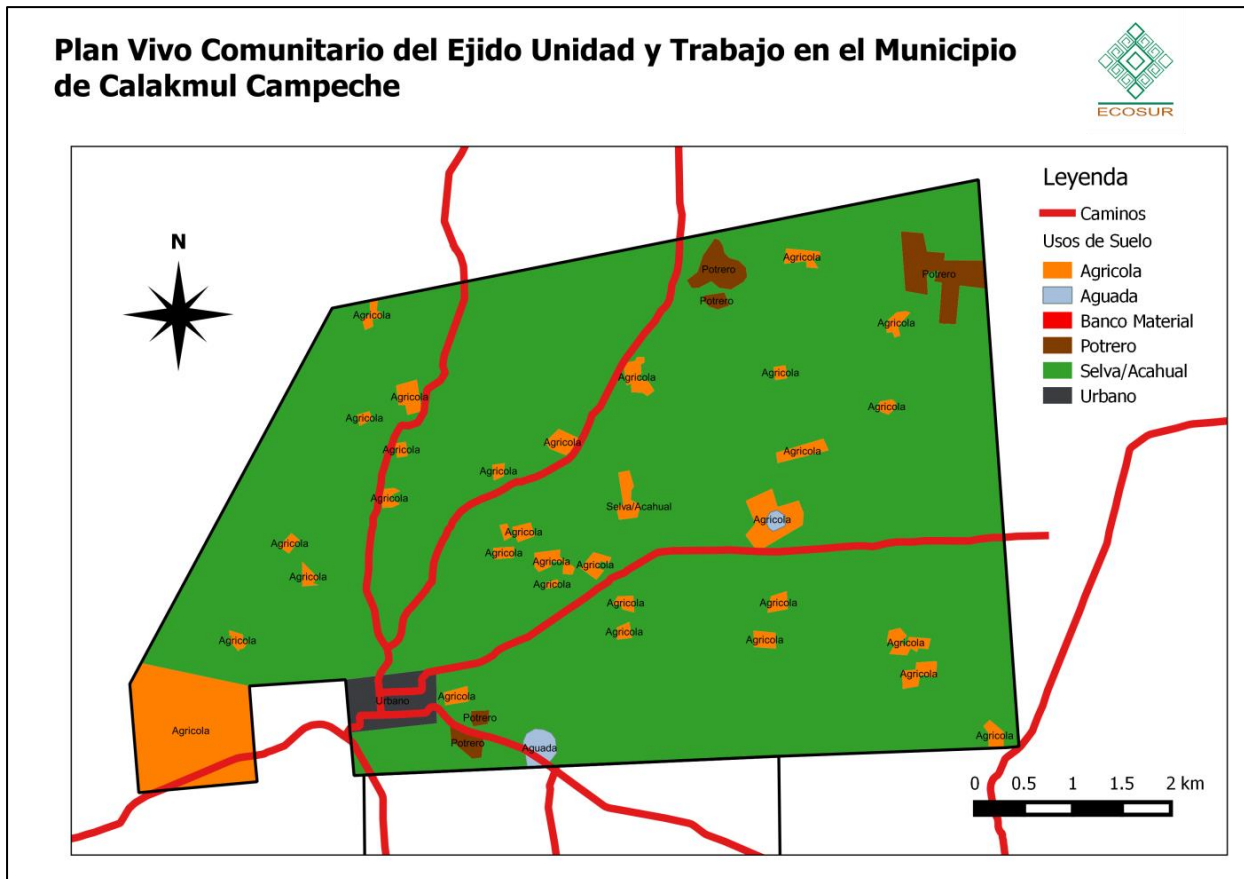
Vester, H., Lawrence, D., Eastman, J.R., Turner, B.L., Calme, S., Dickson, R., Pozo, C., y Sangermano, F., 2007. Land change in the southern Yucatan and Calakmul Biosphere Reserve: effects on habitat and biodiversity. *Ecological Applications*, 17:989–1003.

Anexos

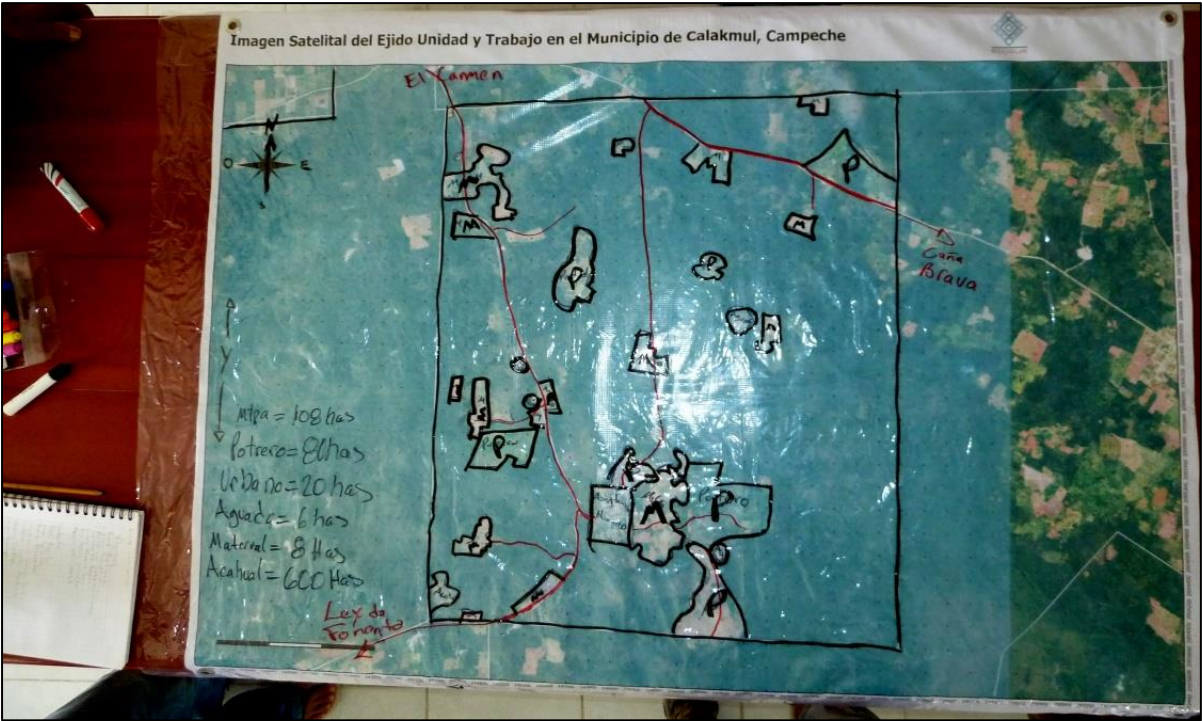
Anexo 1. Diagnóstico sobre los principales usos de suelo identificados por actores clave en el ejido El Carmen en el año 2015.



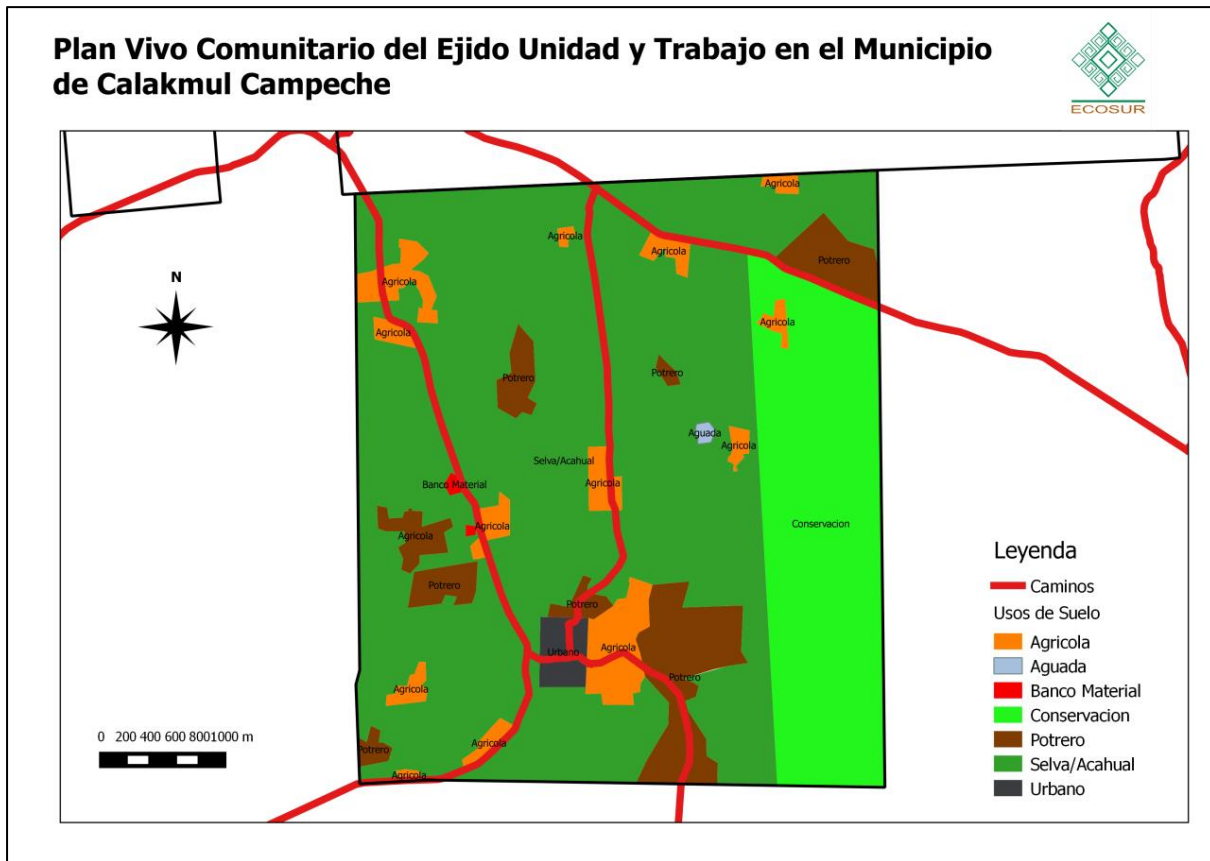
Anexo 2. Digitalización del diagnóstico sobre los principales usos de suelo identificados por actores clave en el ejido El Carmen en el año 2015.



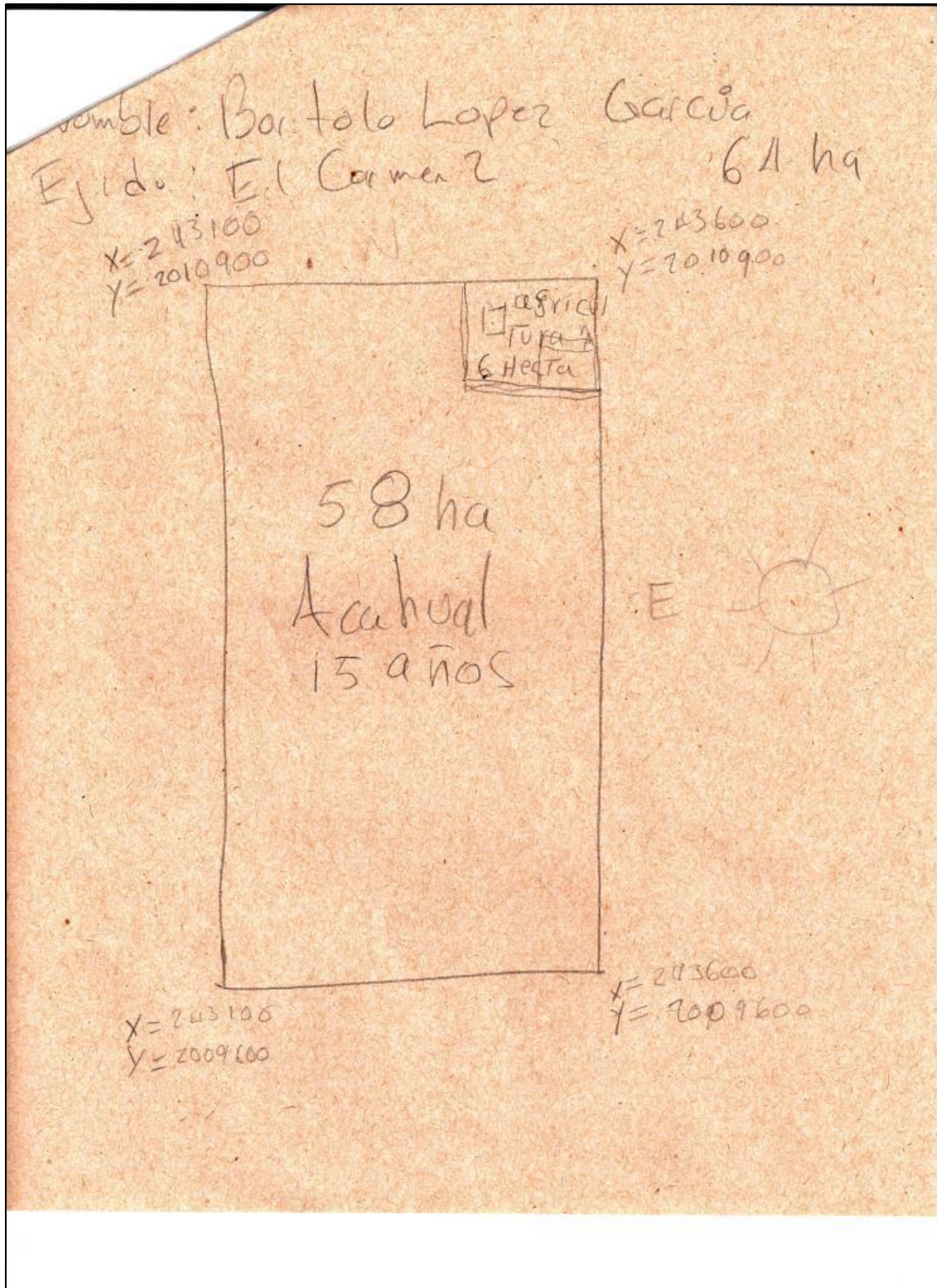
Anexo 3. Digitalización del diagnóstico sobre los principales usos de suelo identificados por actores clave en el ejido Unidad y Trabajo en el año 2015.



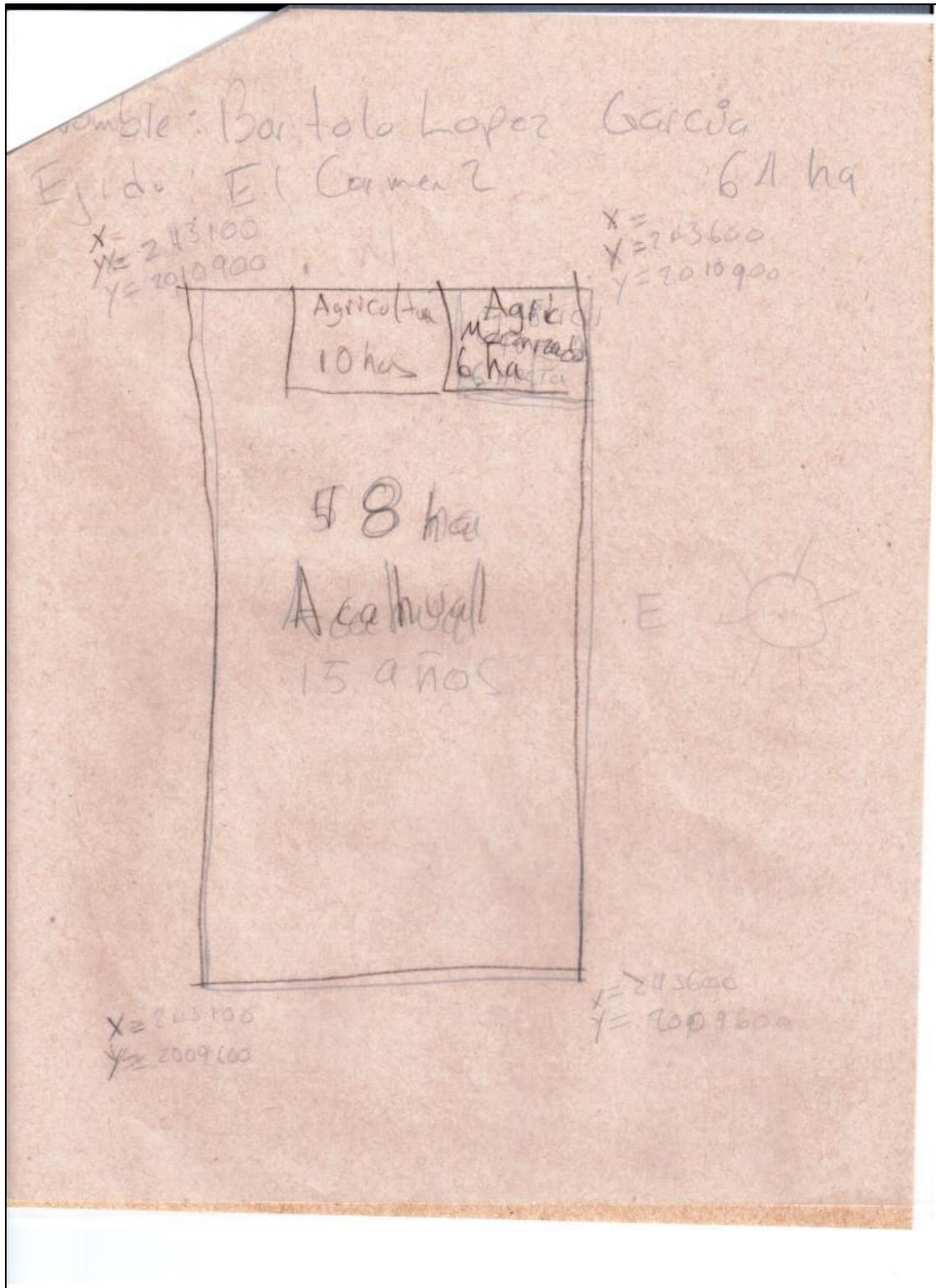
Anexo 4. Digitalización del diagnóstico sobre los principales usos de suelo identificados por actores clave en el ejido El Carmen en el año 2015.



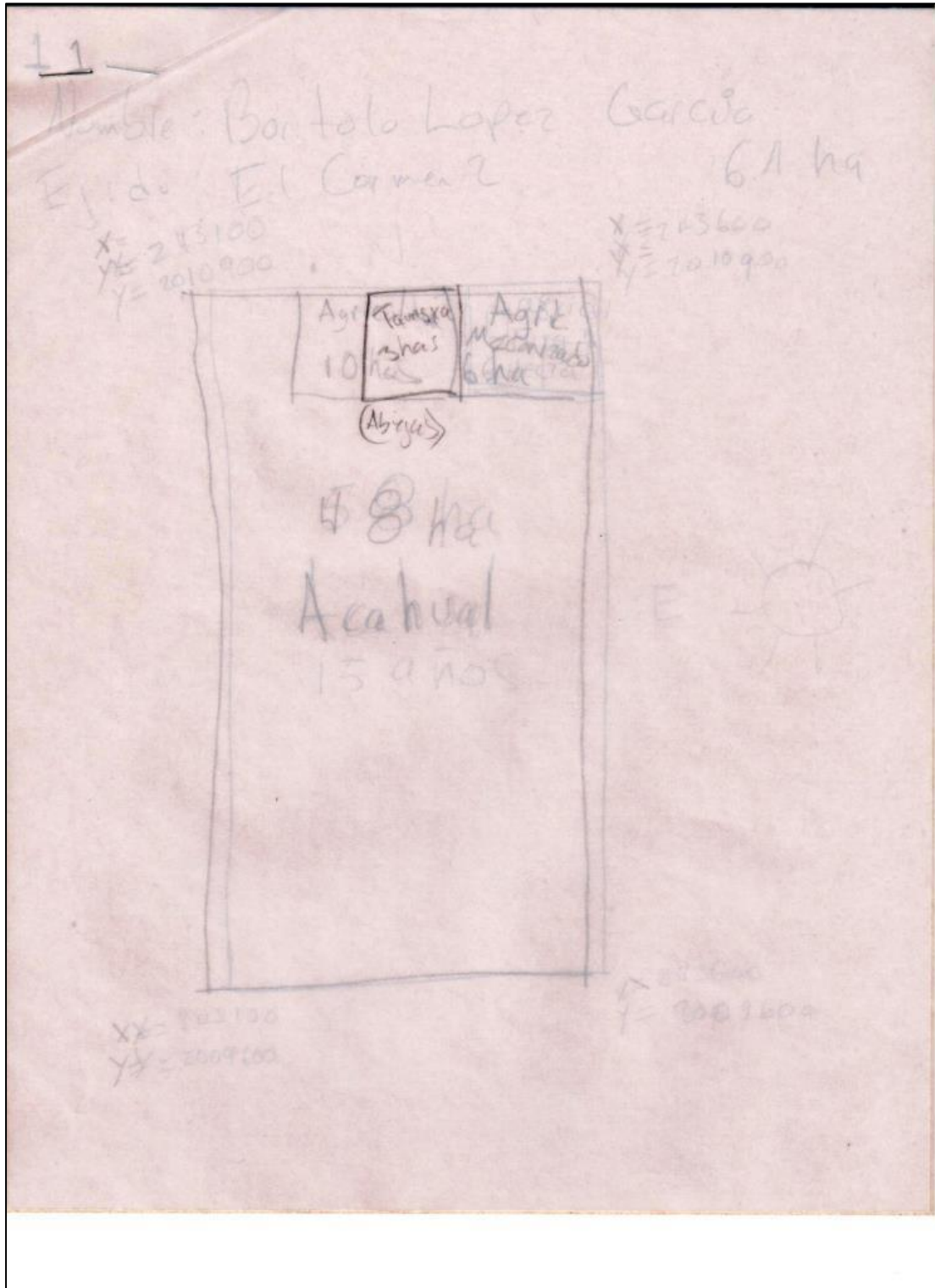
Anexo 5. Ejemplo de croquis del año 2015 de parcela de productor del ejido El Carmen.



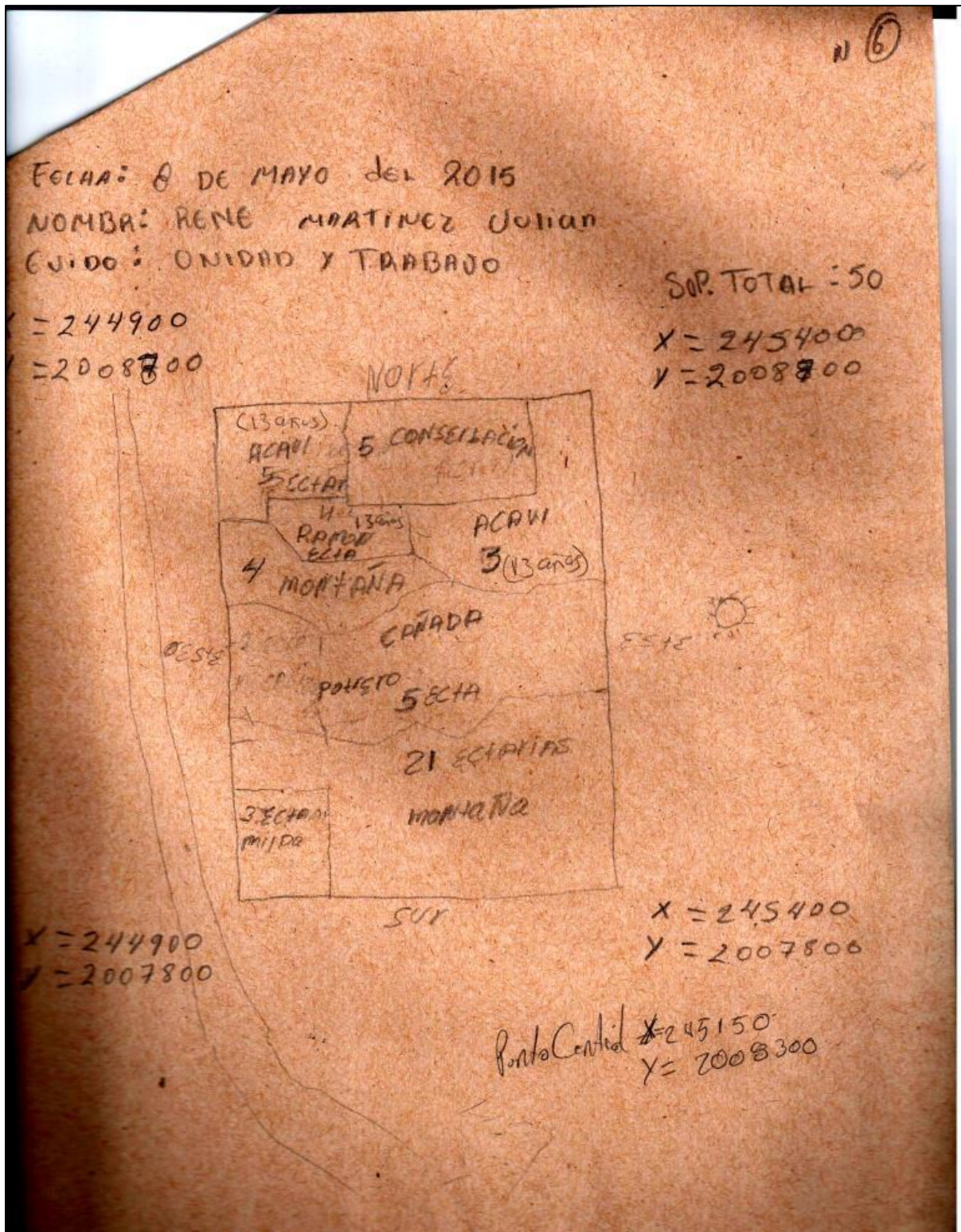
Anexo 6. Ejemplo de propuesta de manejo territorial elaborada por productor del ejido El Carmen basándose en la metodología del Estándar Plan Vivo.



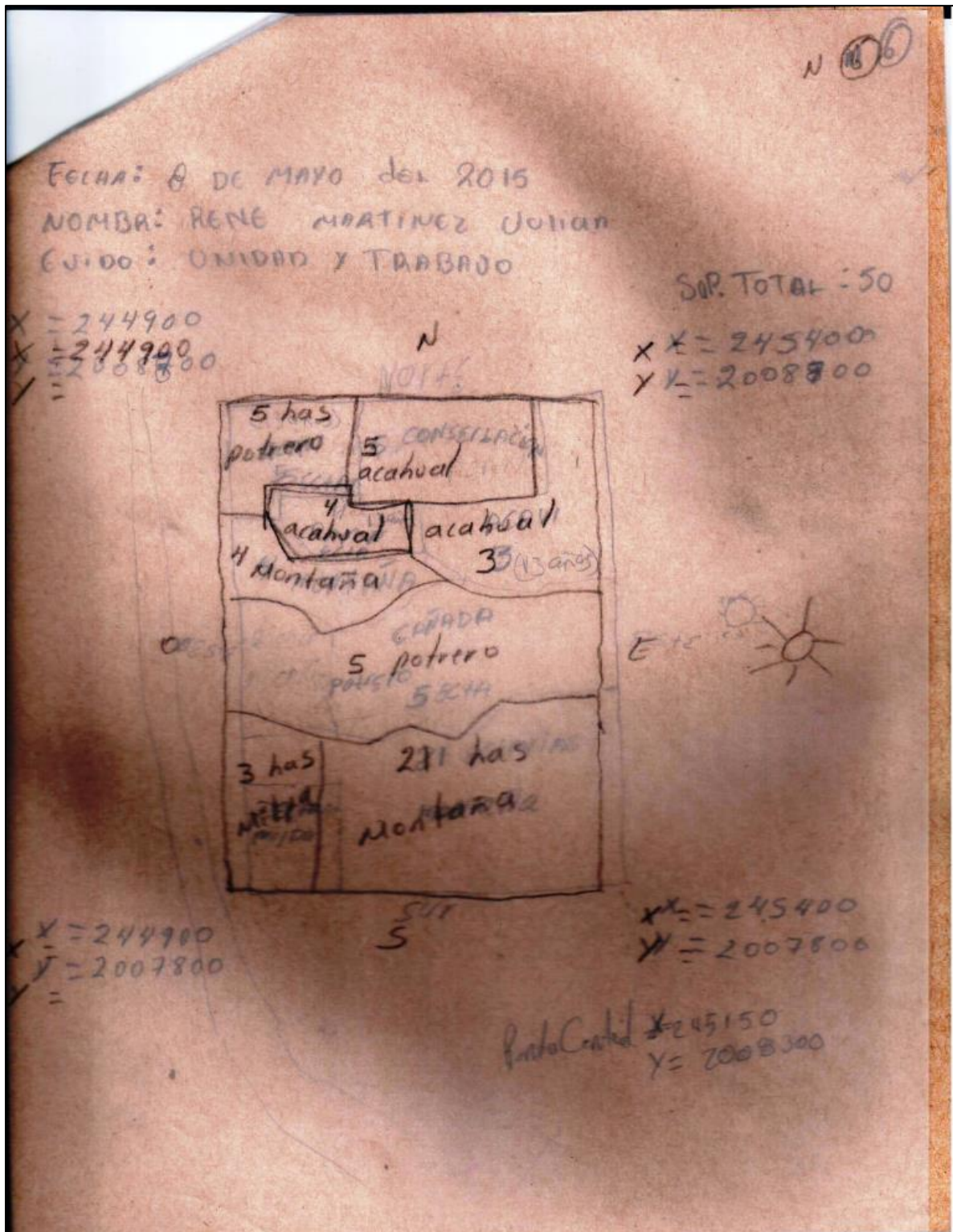
Anexo 7. Ejemplo de propuesta de manejo territorial considerando la aplicación de un sistema agroforestal elaborada por productor del ejido El Carmen basándose en la metodología del Estándar Plan Vivo.



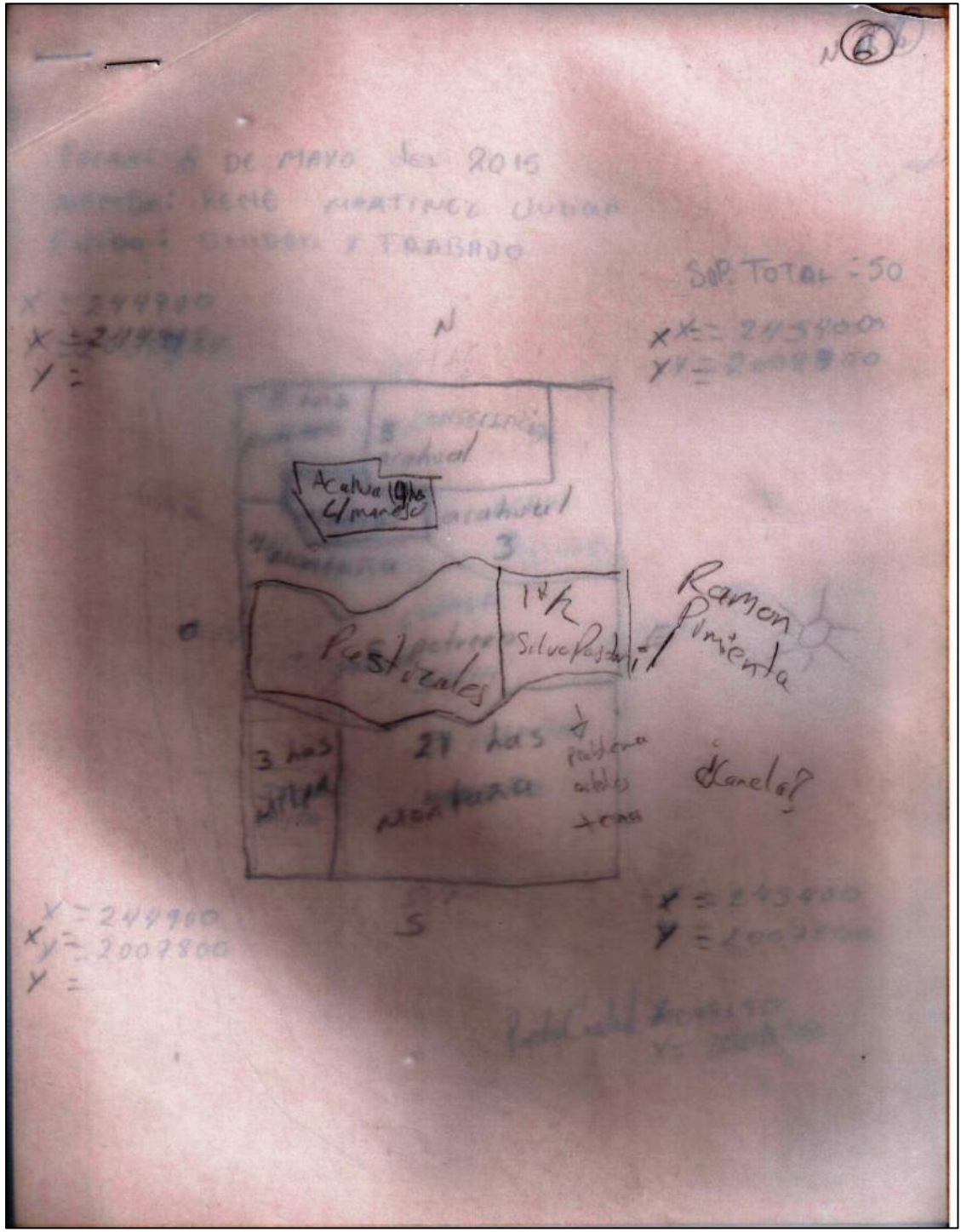
Anexo 8. Ejemplo de croquis del año 2015 de parcela de productor del ejido Unidad y Trabajo.



Anexo 9. Ejemplo de propuesta de manejo territorial elaborada por productor del ejido El Carmen basándose en la metodología del Estándar Plan Vivo.



Anexo 10. Ejemplo de propuesta de manejo territorial considerando la aplicación de un sistema agroforestal elaborada por productor del ejido El Carmen basándose en la metodología del Estándar Plan Vivo.



Anexo 11. Matriz de cambio general obtenida de las propuestas de manejo territorial 2015-2020 del ejido El Carmen.

Sup. Total (has)	1802	2015																		1802	
# Ejidatarios	32 de 60	Agricultura	Agricultura Mecanizada	Potrero	Acahual (0-5)	Acahual (5-10)	Acahual (10-20)	Acahual (20-30)	Acahual (>30)	Acahual c/manejo (0-5)	Acahual c/manejo (5-10)	Acahual c/manejo (10-20)	Acahual c/manejo (20-30)	Acahual c/manejo (>30)	Frutales	Taungya	Enriq. Acahual	Silvopastoril	Selva	1802	
2020	Agricultura	46	0	0	30	29	61	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	181.5
	Agricultura Mecanizada	6	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	Potrero	0	0	38	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5	66.5
	Acahual (0-5)	18.5	0	0	29.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
	Acahual (5-10)	0	0	0	41	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
	Acahual (10-20)	0	0	0	0	16	319.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	335.5
	Acahual (20-30)	0	0	0	0	0	0	78.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78.5
	Acahual (>30)	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42
	Acahual c/manejo (0-5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Acahual c/manejo (5-10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Acahual c/manejo (10-20)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Acahual c/manejo (20-30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	Acahual c/manejo (>30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	Frutales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	Taungya	18	0	0	3	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
	Enriq. Acahual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Silvopastoril	4	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	17
	Selva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	901	901
	1802		92.5	9	39	106.5	116	385.5	80	42	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	926.5

Anexo 12. Matriz de cambio general de las propuestas de manejo territorial 2015-2020 del ejido Unidad y Trabajo.

Sup. Total (has)	987	2015																		987		
# Ejidatarios	20 de 37	Agricultura	Agricultura Mecanizada	Potrero	Acahual (0-5)	Acahual (5-10)	Acahual (10-20)	Acahual (20-30)	Acahual (>30)	Acahual c/manejo (0-5)	Acahual c/manejo (5-10)	Acahual c/manejo (10-20)	Acahual c/manejo (20-30)	Acahual c/manejo (>30)	Frutales	Taungya	Enriq. Acahual	Silvopastoril	Selva	987		
2020	Agricultura	44.5	0	0	0	0	43	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92.5	
	Agricultura Mecanizada	3	8.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	
	Potrero	2	0	115.5	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	139.5
	Acahual (0-5)	4	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
	Acahual (5-10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Acahual (10-20)	0	0	0	0	0	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177	
	Acahual (20-35)	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	
	Acahual (>35)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Acahual c/manejo (0-5)	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
	Acahual c/manejo (5-10)	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	
	Acahual c/manejo (10-20)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Acahual c/manejo (20-30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
	Acahual c/manejo (>30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	
	Frutales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	1.5	
	Taungya	10	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
	Enriq. Acahual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Silvopastoril	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	
	Selva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	454.5	454.5
	987		63.5	8.5	127	0	0	258	40	0	5	7	10	0	4	1.5	0	0	0	0	462.5	987