



# Elementos para Políticas Públicas

Volumen 1 • Número 2 • Mayo - Agosto de 2017



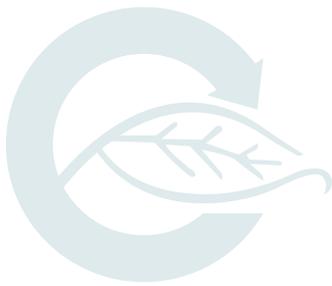
## Ciclo del Carbono y sus Interacciones



Programa Mexicano del Carbono

RED TEMÁTICA DEL **CONACYT**





# Elementos para **Políticas Públicas**

Volumen 1 • Número 2 • Mayo - Agosto de 2017

Ciclo del Carbono  
y sus Interacciones



Programa Mexicano del Carbono

---

RED TEMÁTICA DEL **CONACYT**

ELEMENTOS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS. No. 2, mayo-agosto 2017. Es una publicación cuatrimestral editada por el Programa Mexicano del Carbono, A.C. (PMC), Calle Chiconautla No. 8 Interior A, Colonia Lomas de Cristo, C.P. 56225 Texcoco, Estado de México, México. Tel. +52 (595) 951•2182, [www.pmc carbono.org](http://www.pmc carbono.org), [coordinacion\\_general@pmc carbono.org](mailto:coordinacion_general@pmc carbono.org). Editor responsable: Alma S. Velázquez Rodríguez. RESERVAS DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO No. 04-2015-120910081700-203, ISSN 2448-5578. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número: Alma S. Velázquez Rodríguez, Calle Chiconautla No. 8 Interior A, Colonia Lomas de Cristo, C.P. 56225 Texcoco, Estado de México, México, fecha de última modificación, diciembre de 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Programa Mexicano del Carbono, A.C.



# Elementos para **Políticas Públicas**

## Comité Editorial

**Dra. Alma Velázquez Rodríguez**

EDITORA EN JEFE

**Dr. Fernando Paz Pellat**

CO-EDITOR

**Biol. Ruth Torres Alamilla**

EDITOR DE ESTILO

**C.G. Oscar Velázquez Rodríguez**

EDITOR DE MAQUETACIÓN

## Coordinación Editorial

**Alma Velázquez**

COORDINADOR DEL PROCESO DE ARBITRAJE

**Ruth Torres**

COORDINADOR DE EDICIÓN

**Oscar Velázquez**

COORDINADOR DE DISEÑO

**Antoine Libert**

CORRECCIÓN DE TEXTOS EN INGLÉS

**Cristopher Escalera**

WEB MASTER Y SOPORTE TÉCNICO

# Consejo Editorial

---

Dr. Ben de Jong

El Colegio de la Frontera Sur, México.

Dr. Felipe García Oliva

Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Dra. Georgina C. Sandoval Fabián

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño  
del Estado de Jalisco, A.C., México.

Dr. Guillermo Jiménez Ferrer

El Colegio de la Frontera Sur, México.

Dr. J. Martín Hernández Ayón

Universidad Autónoma de Baja California, México.

Dr. Jaime Garatuza Payán

Instituto Tecnológico de Sonora, México.

Dr. Jorge D. Etchevers Barra

Colegio de Postgraduados, México.

Dr. Jorge Herrera Silveira

Instituto Politécnico Nacional, México.

Dra. Leticia Merino Pérez

Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Dra. Mariela Fuentes Ponce

Universidad Autónoma Metropolitana, México.

# Consejo Editorial

---

Dr. Mario G. Manzano Camarillo

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.

Dr. Omar R. Masera Cerutti

Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Dr. Oscar L. Briones Villarreal

Instituto de Ecología, A.C., México.

Dr. Ramón Sosa Ávalos

Universidad de Colima, México.

Dr. Tulio Arredondo Moreno

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., México.

Dr. Christian Prat

Institut de Recherche pour le Développement, Francia.

Dr. Juan F. Gallardo Lancho

Consejo Superior de Investigación Científica, España.

Dr. Rodrigo Vargas

University of Delaware, U.S.A.

Dr. Werner Kurz

Canadian Forest Service, Canadá.

# Índice de Autores

---

**Alma S. Velázquez Rodríguez**

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México.  
Toluca, Estado de México, México.

**Andrea Camacho Rico**

CINVESTAV, Unidad Mérida, Instituto Politécnico Nacional.  
Mérida, Yucatán, México.

**Arturo Balderas Torres**

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México,  
*campus* Morelia. Morelia, Michoacán.

**Bertha Patricia Zamora Morales**

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas  
Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CDMX, México.

**Claudia Teutli Hernández**

CINVESTAV, Unidad Mérida, Instituto Politécnico Nacional.  
Mérida, Yucatán, México.

**Elizabeth González Montiel**

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.  
CDMX, México.

**Fabiola Rojas García**

Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México, México.

# Índice de Autores

---

Fernando Paz Pellat

GRENASER, Colegio de Postgraduados, *campus* Montecillo.  
Texcoco, Estado de México, México.

Giovanni H. Santoyo Gómez

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX, México.

Jorge Alfredo Herrera Silveira

CINVESTAV, Unidad Mérida, Instituto Politécnico Nacional.  
Mérida, Yucatán, México.

José Ignacio Pulido Ponce

Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México, México.

Marcos Casiano Domínguez

Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México, México.

Margaret Skutsch

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México,  
*campus* Morelia. Morelia, Michoacán.

Mayra Mendoza Cariño

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México.  
CDMX, México.

Mayra Patricia Guerrero Ibarra

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.  
CDMX, México.



Este segundo número de la revista Elementos para Políticas Públicas asociadas al Ciclo del Carbono y sus Interacciones, abarca dos aspectos fundamentales para México. El primero de ellos, se refiere al controversial tema de los beneficios y limitaciones del mecanismo de incentivos financieros REDD+, creado con la finalidad de que los países en vías de desarrollo protejan sus recursos forestales, como una forma de mitigación al cambio climático, mediante el incremento de la captura de CO<sub>2</sub> y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, causados por deforestación y degradación de los bosques. A través de cuatro de los artículos de este número, es posible analizar la respuesta que han tenido las comunidades y ejidos mexicanos ante este mecanismo, las implicaciones de que sólo esté dirigido a los recursos forestales, así como la cuestionable acción de los organismos gubernamentales ante la distribución de beneficios y la carencia de políticas públicas encaminadas a la regulación de REDD+. Resulta por demás interesante, el planteamiento de RETUS —Reducción de Emisiones de Todos los Usos del Suelo— como un mecanismo no sólo complementario a REDD, sino como un concepto holístico de territorio-paisaje, que privilegia el pago por resultados y que permite subsanar las carencias de REDD+ e incluir otros ecosistemas terrestres fundamentales en la captura de carbono, cuya conservación y restauración debe ser objeto de incentivos financieros, como el caso de los humedales.

El segundo tema constituye uno de los primeros esfuerzos de la comunidad científica y uno de los grandes logros del Programa Mexicano del Carbono: lanzar la iniciativa de documentar compilaciones de bases de datos y realizar revisiones y síntesis de literatura, en relación con las componentes de los almacenes y flujos de carbono de los ecosistemas terrestres y acuáticos del país. El problema de contar con los elementos necesarios para la realización de procesos de síntesis del ciclo del carbono y sus interacciones en México, plantea grandes retos en la coordinación de esfuerzos, pasados y actuales, orientados a metas comunes que contribuyan a avanzar en el conocimiento. Mucha de esta información se encuentra dispersa en documentos no reconocidos o almacenada en las bibliotecas de las instituciones gubernamentales públicas y privadas, en categoría de literatura gris, que pasa inadvertida pese a que es en ella en la que se encuentra la mayoría de los datos tomados en campo a lo largo de largos períodos, como resultado de investigaciones con objetivos variados. En este contexto, dos de los artículos que se presentan en este número, sintetizan trabajos encaminados a la meta planteada de llenar los vacíos de información, al recopilar dicha información y poner en forma abierta en la página del PMC, las bases de datos e información cartográfica, para su consulta y uso por la comunidad científica-académica, sociedad civil e instituciones gubernamentales, con la finalidad de facilitar el avance en el conocimiento colectivo sobre las temáticas de interés de los almacenes y flujos de los ecosistemas mexicanos.



# Contenido

Benefit sharing under REDD+ in Mexico <i>Margaret Skutsch, Arturo Balderas Torres</i>	15
Propuesta de escenarios de intervención para RED+ y RETUS a nivel regional en el estado de Chiapas, México <i>Sara Covaleda Ocón, Alejandro Ranero Puig, Fernando Paz Pellat</i>	25
Estructura anidada para la estimación de costos de oportunidad para REDD+ y RETUS <i>Marcos Casiano Domínguez, Fernando Paz Pellat</i>	41
Coastal tidal wetlands of Mexico: potential carbon sequestration of mangroves and public policies <i>Jorge Alfredo Herrera Silveira, Claudia Teutli Hernández, Andrea Camacho Rico</i>	63
La ciencia del suelo en el ciclo del carbono de México <i>Fabiola Rojas García, Giovanni H. Santoyo Gómez, Elizabeth González Montiel, Alma S. Velázquez Rodríguez, José I. Pulido Ponce</i>	69
Tecnologías del INIFAP con relación a la mitigación del cambio climático y la captura de carbono en el suelo <i>Bertha Patricia Zamora Morales, Mayra Mendoza Cariño, Mayra Patricia Guerrero Ibarra</i>	97



# BENEFIT SHARING UNDER REDD+ IN MEXICO

## DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS BAJO REDD+ EN MÉXICO

Margaret Skutsch<sup>1†</sup> y Arturo Balderas-Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, *campus* Morelia. Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, CP 58190, Morelia, Michoacán.

<sup>†</sup>Autor para correspondencia: mskutsch@ciga.unam.mx

### ABSTRACT

In its national REDD+ strategy, Mexico has adopted an internal benefit sharing system based on input payments for territorial low emissions development investments and related activities at the level of communities (*ejidos* and *comunidades indígenas*) and other forest owners, rather than on output based payments for carbon performance. Finance for this will come both from internal sources and from revenues from the Forest Carbon Partnership Facility of the World Bank, which will be based on carbon performance at national level in terms of reductions in deforestation. However, communities and other forest owners who are able to achieve and certify increases in carbon stocks using approved methodologies are in principle free to market credits related to these in national or international voluntary carbon markets; but there are as yet no policy signals on how such voluntary markets will be stimulated. The paper explains the pros and cons of input versus output payments and the differences inherent in payment for avoided emissions from deforestation and forest enhancement from increased stocks, and explains why Mexico has selected this dual policy for benefit sharing between stakeholders.

**Index words:** *output payments/payment by results; input payments; equity; avoided deforestation; forest enhancement.*

### RESUMEN

En su estrategia nacional de REDD+, México ha adoptado un sistema interno de distribución de beneficios basado en inversiones iniciales en un contexto de planeación territorial para el desarrollo rural sostenible bajo en carbono para financiar actividades a nivel local en comunidades y ejidos; este esquema surge en contraposición a los pagos por resultados basados en carbono. El financiamiento de estas actividades vendrá tanto de fuentes domésticas, así como del Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) del Banco Mundial, que se basa en el desempeño medido en la reducción de emisiones de carbono por deforestación. Además, las comunidades y propietarios de los bosques que logren generar y certificar los aumentos en las existencias de carbono en sus bosques son libres para comercializar éstos en los mercados nacionales o internacionales voluntarios de carbono; pero hasta ahora no hay señales de política pública sobre cómo se estimularán los mercados de carbono ya sean voluntarios o de cumplimiento. Este trabajo describe los pros y contras de la distribución de beneficios vía el pago de inversiones iniciales y aquel basado en pagos por resultados; además se discuten las diferencias inherentes en el pago de las emisiones evitadas por la deforestación y aquel asociado al aumento de los acervos de carbono en bosques, finalmente se explica por qué México ha seleccionado esta política de distribución de beneficios entre los diferentes actores.

**Palabras clave:** *pago por resultados; pago por insumos; equidad; deforestación evitada; aumento de acervos de carbono.*

## INTRODUCTION

A range of benefits is anticipated in Mexico from the application of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) policy on Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). It is hoped that better management of forests will result not just in reduced carbon emissions but in a better level of environmental services in general, many of which could benefit local people. The national REDD+ strategy (CONAFOR, 2015a) will also require considerable capacity building that may have positive spillover effects to other aspects of rural livelihoods. However, many observers feel that the primary benefits to be expected lie in the financial rewards or incentives that are associated with REDD+, in the context of international payments for performance. This paper outlines a number of different systems by which these funds could be distributed among stakeholders within the country and the advantages and disadvantages of these. It then explains the two choices that the Mexican government has made in this respect.

### International distribution of benefits

To participate in REDD+, countries must propose to the UNFCCC a baseline known either as a national Reference Emission Level (REL) or a national Reference Level (RL). A REL is a prediction of what would happen as regards loss of carbon stock over the whole country in the absence of implementation of REDD+, *i.e.* the business as usual scenario. An RL is similar, but would include estimates of any increases of stock that might be expected. These baselines are constructed on the basis of an analysis of past national<sup>1</sup> trends in forest losses and gains, which may be modified to take into account 'national circumstances', *i.e.* causal factors which might plausibly be argued to affect simple straight-line or curvilinear projection made from changes in land cover in the past. Already planned highways across previously inaccessible forest terrain for example would be likely to increase deforestation rates over those of the past, for example, and can be factored into the REL/RL. For instance, the

---

<sup>1</sup>Under certain circumstances UNFCCC compliant REDD+ may be assessed at a sub-national level, for example by province or state, but usually only when exceptional circumstances prevail, for example if one part of the country is not fully under the control of the national government as a result of insurgency, for example.

recent discovery of mineral deposits, or opening of new trade treaties might also lead to higher expected deforestation rates.

After REDD+ is implemented, the performance of the country in reducing carbon stock losses or increasing forests carbon stocks compared to the scenario presented in the REL or RL would be assessed at regular intervals and would be rewarded through international funds, or possibly carbon markets. In principle, any improvements compared to these baselines should be compensated on a per ton carbon basis, although prices may vary from fund to fund.

### Distribution of benefits within countries

Since the policy is directed at whole countries and performance is assessed and paid on the basis of national performance, a system is first needed to transfer the funds vertically downwards to the lower level jurisdictions responsible for managing REDD+ activities. Secondly, a process is required to distribute the benefits horizontally to the stakeholders at local level – communities, farmers, forest owners etc – who are actually implementing the activities that result in carbon savings, such that these funds may operate as incentives or rewards to stimulate such activities (Buss *et al.*, 2013); how this will be done is not decided by UNFCCC at all, but by each country itself. Though it may sound simple in principle, in practice there are many technical and legal hurdles to be overcome. To understand these, it is important to distinguish first between two fundamentally different payment principles: payment by outputs (*i.e.* by performance in terms of carbon, representing a reward for achievements) and payment by input (which is an incentive to implement certain activities thought to reduce carbon loss, but not tied to performance measured in terms of carbon) (Skutsch *et al.*, 2011; Loft *et al.*, 2014). It is also necessary to understand that there are two different ways in which carbon can be saved; through reductions in or avoidance of emissions from deforestation and degradation, and through increasing removals/sequestration through forest enhancement (Schlamadinger *et al.*, 2007). It is important to understand that even though the impact of reducing emissions by slowing down deforestation and increasing absorptions by increasing forest density and/or area are equivalent in terms of impact on CO<sub>2</sub> levels in the atmosphere, these two processes have very different characteristics and may have to be treated separately under Mexican law. The advantages and

disadvantages of designing benefit distribution around inputs versus outputs, and around emissions versus increased sequestration, are explained below.

### Output payment *versus* input payment principles

Output or performance payment requires a baseline against which the performance may be measured. Such a baseline is essentially a counterfactual estimate of what the future situation would be in the absence of any REDD+ intervention ('business as usual'). As noted, payments will be made this way at the national level, and a similar system could fairly easily be developed at the level of individual states within the country, using mapped data on past land use change and state economic plans to model future states of the forest. The funds received at national level could thus in principle be divided between participating states on the basis of their relative performance, once the activities have started and have been monitored for carbon results. However, it would be very difficult to replicate this for the case of horizontal distribution to individual communities, farmers and forest owners at the local level. For this, each would require an individual baseline, which would be a very costly overhead, and assessment of performance of each owner would require an analysis of potential leakage (spatial displacement of deforestation to other areas). It would also direct benefits chiefly towards those owners who had heavy deforestation losses in the past, provided they were able to reduce this under REDD+, but not to those who had conserved their forests in the past, since what is measured and rewarded is reductions in rate of carbon loss. A payment policy of this kind would likely be considered highly unfair to the general public (Skutsch, 2014). And finally, the benefits would be paid to the owners of forest only. While for example around 60% of all forests in Mexico are still officially communally owned within *ejidos* and *comunidades indígenas*, the reality is that by no means all people living in these agrarian nuclei belong to families with ejidatariar or communal rights. At least 30% of families support themselves by renting or borrowing land or by working as laborers for others, and these people in most cases do not have rights to profits from the forests (for example they do not necessarily share profits from community timber sales and they are not usually eligible for individual payments under Payments for Environmental Services systems (Alix *et al.*, 2012), although each community will make such decisions through its own customary procedures).

It can certainly be debated from a legal-financial point of view whether people without such rights should have access to REDD+ benefits. However, much of the literature on REDD+ benefit sharing is founded on the idea that REDD+ should be a socially progressive system aiming for 'win—win' results with poverty reduction as one of the aims (Corbera *et al.*, 2011; Essam, 2011; Hou, 2013; Balderas-Torres and Skutsch, 2014), and indeed much of the criticism of REDD+, particularly by the NGO community, has reflected concerns that REDD+ will mainly benefit the richer people (Corbera *et al.*, 2011; Peskett, 2011; Enright *et al.*, 2012; Luttrell *et al.*, 2013), although as noted above, communities may make their own decisions on such distribution. Views vary between those who strongly support an inclusive distribution of benefits to all stakeholders, to those who argue for attribution of 'carbon rights' only to the holders of formal land rights, and finally to those who would prefer attribution to all benefits to national government. All these options have their pros and cons and clearly choices in this matter should be adapted to the local political and historical contexts and needs. But aside from moral and legal issues in this regard, there are practical and pragmatic reasons why it may be advisable to ensure that at least part of the benefit flow reaches people without land rights. Their participation may be essential to ensure that measures taken are fully supported and not sabotaged by those excluded. Moreover, if payments are made solely to forest land owners on the basis of outputs, many of the drivers of deforestation, which lie outside the forest, could not be addressed. Output based payment systems are however considered by many economists to be the most cost-efficient means of reaching mitigation goals, since every dollar is paid proportionally to measured carbon effects, although the reality of this efficiency has been disputed; it is a theoretical position which ignores how real people make decisions (Brockhaus *et al.*, 2016).

Input payment systems are intended to encourage improved forest and land management and to (partially) overcome opportunity costs. They are tied to particular activities which are considered to have beneficial effects on carbon stocks, but the payment is for implementation of the activity, like a subsidy or grant, not for the carbon savings generated: thus it in no way guarantees that there will be positive carbon outcomes, when carbon levels are measured at the end of the period. Input payments are much easier to administer than output payments and payments could in principle be made for a variety of different activities

such as conservation, and to people whose activities outside the forest impinge on the forest (e.g. to cover the costs of stall feeding of cattle so that grazing in the forest is no longer necessary). However, this system of payment is often considered less efficient from an economic point of view because the direct link between payment and carbon is not made and some resources would be “wasted” or invested in less cost-efficient interventions (*i.e.* some activities may be expensive

yet yield little or no carbon saving). It should be noted that most Payment for Environmental Services (PES) systems, although defined as schemes for direct output payment for services provided (Wunder, 2005), are in practice financed on an input basis (Loft *et al.*, 2014) mainly because of the complications involved in measuring performance (flows of ecosystem services). A comparison of the characteristics of these two different approaches is presented in Table 1.

**Table 1. Comparison between output and input-based mechanisms for the distribution of benefits (Taken from: Skutsch *et al.*, 2016).**

Criteria	Output-based	Input-based
Baselines and monitoring	Carbon baselines are essential to calculate/estimate additional carbon savings, and payments which are conditional and proportional to these (for both avoided/reduced emissions and carbon sequestration/removals) ( <i>e.g.</i> Cattaneo <i>et al.</i> , 2010; Luttrell <i>et al.</i> , 2013). Monitoring is required at local level to demonstrate results and channel resources locally and horizontally.	Baselines are not required for defining payment levels; it is simply assumed that REDD+ activities will produce carbon benefits. Monitoring takes place at national or sub-national level to demonstrate results and to access international finance.
Payment levels	In market mechanisms, payments are determined by demand and supply; however flat rate payments are commonly offered. In theory payment offered would have to cover implementation, transaction and opportunity costs in order to be an effective incentive (Balderas-Torres <i>et al.</i> , 2010) but it could be based on opportunity costs only (Cattaneo <i>et al.</i> , 2010). Total payments are uncertain since they depend not only on the payment/price level but also on the actual carbon achievements, which are known only ex-post.	Usually it includes only implementation costs; however, if benefits from implementation do not cover opportunity costs, participation could be low. Lower monitoring requirements reduce transaction costs. Payment levels are known ex-ante.

Continuation Table 1...

Criteria	Output-based	Input-based
Eligible activities	There is flexibility, but participants (the local actors) will clearly want to select activities that have maximum carbon impacts and for which approved accounting methodologies are available. Specific safeguard standards can be established.	Specific activities need to be proposed by the government (funding agency) and thoroughly evaluated to ensure they will produce carbon impacts, and to define the required levels of finance. Usually the selection of activities is not made by local actors, although they may be consulted.
Timing of payments	Payments on delivery are ex-post; this reduces their present value. Higher risks and uncertainty on initial investment.	Ex-ante payments, increasing present value of the money. The only risk appears if local actors fail to implement the activities.
Source of finance	Private or intergovernmental resources via full or quasi carbon markets. In practice, resources may also be channelled through the government.	Typically provided by, or channelled through, the government; the scheme is similar to programs of Payments for Environmental Services (PES), and other existing subsidy programs.
Incentives to reduce emissions	Very difficult to link incentives to performance at local level due to technical and legal barriers and lack of baselines (see main text).	Selection of and finance for activities that are assumed to reduce emissions from deforestation and degradation.
Incentives to promote carbon enhancements	Resources channelled to local level via national or international carbon markets.	Selection of and finance for activities that are assumed to increase carbon stocks.
Pro-poor potential	Lower potential to engage vulnerable groups (landless) since performance is linked to carbon-achievements which are associated with land tenure ( <i>i.e.</i> market mechanisms for carbon sequestration/removals), independently of land tenure.	Higher potential to be pro-poor. Activities can be identified to target specific vulnerable groups and pay them for activities implemented. In this case, systematic exclusion of landless and poorer people would not be so marked.

## Reduced emissions *versus* carbon removals

The fundamental difference between reduced or avoided emissions and increased stocks as a result of sequestration is that the former is counterfactual, *i.e.* can only be estimated against a baseline which considers historical patterns and estimates of future trends, while the latter can be physically measured before and after, since the carbon growth will be proportional to increases in biomass in a given plot or parcel of land. The baseline is the carbon level at the starting date. This means there is a lot more certainty as regards sequestration, and this is one of the main reasons that under the Kyoto Protocol, the Clean Development Mechanism only permitted reforestation and afforestation projects (Boyd *et al.*, 2008), with the baseline being zero since these projects are only permitted on areas which were not forest when the project started. It can be argued however that any regrowth of forest (*i.e.* also natural regeneration within forests which are currently degraded) is measurable and also that it is less likely to result in leakage than activities that reduce emissions. It is also questionable whether landowners may have exclusive rights to reductions in emissions assessed against a baseline on their property. The Mexican General Law on Sustainable Management of Forests states that 'owners and legal possessors'<sup>2</sup> of forests have the right to benefits from the environmental services generated by them, but stops short of saying that reductions in emissions *belong* to them, which is a crucial difference. Recent legal reviews (Skutsch *et al.*, 2016) have indicated that under Mexican law this kind of 'saving' in carbon emissions has no legal existence as such, since it refers to something that never happened/never existed and therefore cannot be owned. Moreover, in Mexico deforestation is illegal without a land use change permit, and although this principle is widely abused, directly paying people not to deforest would be tantamount to paying them for not committing a crime. For these reasons, the Mexican government will claim title itself for all international credits generated by reduction/avoidance of emissions, although it has in principle committed itself to using all the revenues so generated as investments to stimulate better territorial management by land owners (CONAFOR, 2016a).

On the other hand, the law does recognize that the trees on land are the property of the owners of the land.

The legal framework (article 27 of the Constitution, and particularly 5°, 7° and 134 Bis of the General Law on Sustainable Forest Management) states that the owners of the land (private individuals, *ejidos* and *comunidades*) are the owners of any forest resources on that land. It could be concluded that the carbon, which is a chemical component of the trees, belongs to the owner of the land and the trees, a point which is echoed also in the ENAREDD+ (CONAFOR, 2015a), and the IRE (CONAFOR, 2016a). This right of property involves also a number of subsidiary rights such as use and the right to receive benefits from this property. It could therefore be deduced that any carbon accumulation within the trees can be attributed to them, on the basis of the principle of 'fruits of labour'; rights over this form of carbon definitely rest with the owners of the resource (CONAFOR, 2016a). If they are able to monitor and measure any growth in stocks, then they would be entitled to trade credits for this in national or international voluntary carbon markets as long as they comply with the requirements of the applicable and approved methodology (CONAFOR, 2015a).

However, although it is quite possible to measure stock change at the level of individual plots to calculate the accumulation rate, Mexico has until recently not had sufficient data on stocks over the whole country to assess the dynamics of carbon (losses and gains) and for that reason, has developed and submitted to UNFCCC a national REL which takes into account only losses due to deforestation, not accumulation of stock or enhancement (CONAFOR, 2015b).

## Strategy for distribution of benefits of Mexico

The ENAREDD+ is the defining policy document for REDD+ in Mexico and (CONAFOR, 2015a), and was prepared largely through a participatory process under the CTC over a five-year period. The Initiative for Reduced Emissions (IRE) (CONAFOR, 2014; 2016a) is a proposal to the Carbon Fund of the FCPF of the World Bank. Both documents take into account the points that have been explained above, and also the popular wish as expressed in the CTC that REDD+ should not just be about carbon but should aim for sustainable environmental development in a much broader sense to include social and economic development of poor communities in rural areas. This desire is strongly expressed in an appendix to the IRE (CONAFOR, 2016b), entitled 'methodology for guiding the process of participatory construction of the rules for distribution of benefits at the local level

---

<sup>2</sup>Dueños y poseedores legales.

in the context of the IRE<sup>3</sup>. This document notes that the ENAREDD+ identified as beneficiaries the owners or possessors of land who undertake activities to reduce deforestation and degradation, but points out that many people are not formally owners, citing *e.g.* the case of women, and stating that ‘it is necessary to guarantee equitable access’ and to promote equality between men and women. It specifically identifies owners and possessors of land, villages and indigenous communities with forest land, legal users with usufruct rights, other users of forest lands and people or groups without land whose activities may impinge on forest (p9) as potentially eligible for REDD+ benefits. It then outlines procedures for participatory processes by which the rules and norms for distribution of benefits are to be discussed at the local level. Though clearly very well intentioned, it is not clear exactly what the legal status of these rules is, since the decision-making body at the local level is the Assembly, and although this may be influenced or persuaded by programme directives of this kind, the fact remains that control of resources is largely in the hands of the legal members of these communities (*i.e.* just the *ejidatarios* or *comuneros*). It is difficult to say what would happen if the Assembly did not agree to sharing the REDD+ resources with *e.g.* women or the landless people within the community. As noted above, distribution within communities has long been regulated by community customs and norms which are rooted in tradition, and these may be different from those of modern democratic ideals. In fact, some *ejidatarios* are female and they at least should have full rights (Almeida, 2009).

The REDD+ resources will in the long run be revenues generated as a result of performance against the REL, which will in turn be distributed among participating states on the basis of their individual contribution to the national achievement (against state level baselines), transferred through state level trust funds (*fideicomisos*) to ensure transparency and to uphold fiscal propriety. However, distribution of these benefits to the stakeholders and participants within states will follow a different logic and will be input-based.

In a number of national Early Action Areas (the three states of the Yucatán Peninsula, Jalisco, Chiapas) a pilot program is being undertaken (CONAFOR, 2015c). The approach is territorial, that is to say,

the basic decision making units would be *ejidos* and *comunidades indígenas*, and the basic areas over which their decisions would be made would include all the land area within their territories, through a planning process somewhat akin to what are known as *ordenamientos territoriales*. Investment Programs (IPs), which will include estimated budgets for REDD+ activities to be carried out, are being prepared with the assistance of organizations known as Public Agents for Territorial Development<sup>4,5</sup>, which are semi-governmental in nature (examples are the *Juntas Intermunicipales* of Jalisco). These will take the lead in approaching *ejidos* and *comunidades indígenas* and helping them to draw up IPs that will stimulate and improve more holistic management of natural resources within community boundaries. These investments will come in the first instance (*i.e.* before performance-related revenues can be generated at national level) from existing regular government programmes and subsidies, from different ministries, although coordinating these to promote carbon savings may be difficult. The role of the Public Agencies will be partly to help communities access these more efficiently but also very much to streamline these flows such that coherent rather than counterproductive investments are made (in other words, to prevent situations in which one ministry is paying for forest clearance for pasture while another is paying for PES), although the final choice of activities should strongly reflect the priorities of the *ejidos* and *comunidades*. A Public Agency could be engaged to assist a group of *ejidos/comunidades* within a given geographical area, but participation is always voluntary. After two years of implementation, performance (reduction in emissions due to deforestation, since it is on this that the national REL is based) will be assessed not at the local but at the regional level), and if positive, funds from the Carbon Fund would be made available via the state to support further ‘additional’ investments in the area. The government has made clear however that international funds will not be sufficient to cover the total investment needed; even though it has pledged to use 100% of these funds as investments at local level, and has been suggested indeed that four times as much needs to be brought in from internal sources to support the programme in the long run (Sergio Graf, *personal communication*). For instance, according to an early

<sup>4</sup>Agencias Públicas para el Desarrollo Territorial.

<sup>3</sup>Metodología para guiar el proceso de construcción participativa de los arreglos de distribución de beneficios a nivel local en el contexto de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México.

<sup>5</sup>They can be found as Programas de Inversión in the following link: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/iniciativa-de-reduccion-de-emisiones/>.

but undated draft of the proposal to the World Bank (ER-PIN, CONAFOR, *n.d.*) the FCPF will contribute up to \$60 US million dollars over five years for the implementation of the IRE, this represents around 14% of the \$7900 million pesos required to implement the IRE as suggested by the investment programmes.

The policy choice for a system of investments as incentives or input payments to support efforts to reduce emissions is both politically expedient and socially necessary. As pointed out above, payment by performance is difficult and costly to administer at the local level and could easily result in a system which rewards those with an already greater share of the resources and those who have in the past been profligate in their management of resources. In the system Mexico has selected, the government will have some say, through the Public Agencies, over what kinds of activities can be considered eligible for REDD+, although by no means all activities will have direct measurable impacts in terms of carbon. For example, it is widely considered that alternative employment activities for poor people should be supported under REDD+ to reduce pressure on forests (for example, diverting people from charcoal production or firewood sales, by providing them with training for other activities). It is necessary for the strategy to be as socially inclusive as possible to ensure widespread public approval, even if this means that some investments are not very efficient in terms of greenhouse gases mitigation.

As regards growth in carbon stock at the local level (forest enhancement), this is considered by the ENAREDD+ (CONAFOR, 2015a) and the IRE (CONAFOR, 2016a) to be property which is at the full disposal of each owner, and should *ejidos/comunidades* wish, they may in principle register any such removals with carbon credits and sell these on voluntary markets, either international or national. To this end the government has created as set of Mexican Norms (Secretaría de Economía, 2015) to standardize the eligibility conditions for projects and make crediting easier. Moreover, the law now allows Mexican parastatal companies to offset part of their energy tax bills by buying certified carbon credits from these kinds of projects (up to now, from projects which comply with standards set by the Clean Development Mechanism). There have been a number of other local level carbon projects in the past in Mexico (*e.g.* ScolelTé, under the Plan Vivo system in Chiapas) which have been credited under other standards and have sold

credits to international voluntary carbon markets, but no agrarian nuclei in the early action areas have started to engage with the market sector as a result of the new REDD+ opportunities: time will tell whether it is worth their while (there are usually heavy administrative procedures and costs involved, and if the forests are relatively small, the annual increases of carbon stock may not justify the overheads involved).

## CONCLUSIONS

Mexico has found a way to resolve the highly-charged issue of carbon rights, which is still much under debate in other parts of the world, by using this dual system of carbon accounting, sometimes known as 'two can tango' (Balderas-Torres and Skutsch, 2012). By using input payments as investments in a broad range of environmental and social activities, and claiming rights to all the related reductions in emissions, the state can ensure that at least some of the benefits will come the way of poorer people in agrarian nuclei. However, this disconnects the money paid from the carbon savings gained, and does not guarantee any particular level of performance. By allowing communities to sell carbon credits for removals (*i.e.* for increases in carbon stock within their territory), for which performance measurement would be required, it allows a certain level of freedom for forest owners to manage their own affairs and profit directly from such activities, while contributing to national aims even though these gains are not covered by the national REL. What remains to be seen therefore is (1) how effective the government investments are in terms of greenhouse gases mitigation; detailed studies will be needed at the local level to assess this, probably with local monitoring of carbon stock changes to assess the impacts of the interventions and investments; (2) whether agrarian nuclei will feel it worthwhile to enter their increased carbon stocks into newly developing markets (there have been not moves towards this yet). The question of how benefits will be re-distributed remains a concern. It will be some time before the participatory process encouraged by government regarding the formation of local rules for benefit distribution can be evaluated. It will be important to monitor this to determine to what extent it succeeds in producing social progressive outcomes in terms of who participates in REDD+ activities and who, within the communities, receives benefits.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to the Programa Mexicano del Carbono for the invitation to contribute this paper and to the International Union for the Conservation of Nature (IUCN) for funding the research that is summarized here.

## REFERENCES

- Alix, G. J. M., E. N. Shapiro and K. R. E. Sims. 2012. Forest conservation and slippage: evidence from Mexico's national payments for ecosystem services program. *Land Economics* 88:613-638.
- Almeida, E. 2009. Ejidatarias, posesionarias, vecindadas. Mujeres frente a sus derechos de propiedad en tierras ejidales de México. *Revista Estudios Agrarios*. [http://www.pa.gob.mx/publica/rev\\_52/analisis/ejidatarias\\_posesionarias\\_vecindadas.pdf](http://www.pa.gob.mx/publica/rev_52/analisis/ejidatarias_posesionarias_vecindadas.pdf)
- Balderas-Torres, A. and M. Skutsch. 2012. Splitting the difference; a proposal for benefit sharing in reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD+). *Forests* 3(1):137-154.
- Balderas-Torres, A. and M. Skutsch. 2014. Challenges for pro-poor benefit sharing schemes in the implementation of REDD+ in Mexico. *Technical Series Forest Governance and Economics* 2. IUCN, Costa Rica. 51 p.
- Balderas-Torres, A., R. Marchant, J. C. Lovett, J. C. R. Smart and R. Tipper. 2010. Analysis of the carbon sequestration costs of afforestation and reforestation agroforestry practices and the use of cost curves to evaluate their potential for implementation of climate change mitigation. *Ecological Economics* 69(3):469-477.
- Boyd, E., E. Corbera and M. Estrada. 2008. UNFCCC negotiations (pre-Kyoto to COP-9): what the process says about the politics of CDM-sinks. *International Environmental Agreements* 8:95-112.
- Brockhaus, M., K. Korhonen, J. Sehring and M. di Gregorio. 2016. REDD+, transformational change and the promise of performance-based payments: a qualitative comparative analysis. *Climate Policy*. <http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2016.1169392>.
- Buss, C., B. Chandrasekharan and G. S. Pandey. 2013. Scoping dialogue on REDD+ benefit sharing. *The Forests Dialogue* 23-24. Washington, D. C.
- Cattaneo, A., R. Lubowski, J. Busch, A. Creed, B. Strassburg, F. Boltz and R. Ashton. 2010. On international equity in reducing emissions from deforestation. *Environmental Science and Policy* 13:742-753.
- CONAFOR. 2014. Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) Carbon Fund: Emissions Reduction Program Idea Note (ERPIN), México.
- CONAFOR. 2015a. Estrategia Nacional para REDD+. Draft for consultation. Comisión Nacional Forestal, México.
- CONAFOR. 2015b. Mexico's proposed reference emission level (revised). Submitted to UNFCCC.
- CONAFOR. 2015c. Modelo de intervención en las áreas de acción temprana REDD+. Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México.
- CONAFOR. 2016a. Documento de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRA), Draft for consultation.
- CONAFOR. 2016b. Metodología para guiar el proceso de construcción participativa de los arreglos de distribución de beneficios a nivel local en el contexto de la Iniciativa de Reducción de Emisiones (IRE) de México. Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México.
- CONAFOR. n.d. FCPF Documento de iniciativa de reducción de emisiones. Borrador. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/6908Borrador%20de%201a%20Iniciativa%20de%20Reducci%C3%B3n%20de%20Emisiones.pdf> (Consulta: septiembre 10, 2017).
- Corbera, E. M. Estrada, P. May, G. Navaro and P. Pacheco. 2011. Rights to land, forest and carbon in REDD+; insights from Mexico, Brazil and Costa Rica. *Forests* 2:301-342.
- Enright, A., R. McNally and T. Sikor. 2012. An approach to designing pro-poor local REDD+ benefit systems: Lessons from Vietnam. SNV/NORAD.
- Essam, Y. M. 2011. Pro-poor benefit distribution in REDD+. IIED, London.
- Hou, X. 2013. Background paper for REDD+ benefit sharing dialogue. *The Forests Dialogue*. Washington, D. C., U. S. A.
- Loft, L., P. T. and C. Luttrell. 2014. Lessons from payment for environmental service payments for REDD+ benefit sharing mechanisms. *CIFOR InfoBrief* 68.
- Luttrell, C., L. Loft, M. F. Gerbara, D. Kweka, M. Brockhaus, A. Angelson and W. D. Sunderlin. 2013. Who should benefit from REDD+? Rationales and realities. *Ecology and Society* 18(4):52.
- Peskett, L. 2011. Benefit sharing in REDD+. Exploring the implications for poor and vulnerable people. *REDD-net/World Bank*. pp. 1-34.
- Schlamadinger, B., N. Bird, T. Johns, S. Brown, J. Candell, L. Ciccarese, M. Dutschke, J. Fiedler, A. Fischlin, P. Fearnside, C. Forner, A. Freibauer, P. Frumhoff, N. Hoehle, M. Kirschbaum, A. Labat, G. Marland, A. Michaelowa, L. Montanarella, P. Mouthino, D. Murdiyarsa, N. Pena, K. Pingoud, Z. Rakonczay, E. Rametsteiner, J. Rock, M. Sana, U. Schneider, A. Shvidenko, M. Skutsch, P. Smith, Z. Somogyi,

- E. Trines, W. Ward and Y. Yamagata. 2007. A synopsis of land use, land-use change and forestry (LULUCF) under the Kyoto Protocol and Marrakech Accords. *Environmental Science and Policy* 10(4):271-282.
- Secretaría de Economía. 2015. Norma Mexicana para el registro de proyectos forestales de carbono y certificación del incremento en el acervo de carbono. NMX-AA-173-SCFI-2015.
- Skutsch, M., B. Vickers, Y. Georgiadou and M. McCall. 2011. Alternative models for carbon payments to communities under REDD+: a comparison using the policy model of actor inducements. *Environmental Science and Policy* 14(2):140-151.
- Skutsch, M. 2014 Perceived justice versus social equity in benefit distribution systems under REDD+. *Investigación Ambiental* 6(2):77-88.
- Skutsch, M., A. Balderas T. and J. C. Carrillo F. 2016. Policy for pro-poor distribution of REDD+ benefits in Mexico: how the legal and technical challenges are being addressed. Submitted to *Forest Policy and Economics*.
- Wunder, S. 2005. Payments for Environmental Services: some nuts and bolts. CIFOR Occasional Paper 42, Bogor, Indonesia.

# PROPUESTA DE ESCENARIOS DE INTERVENCIÓN PARA REDD+ Y RETUS A NIVEL REGIONAL EN EL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO

## PROPOSAL OF INTERVENTION SCENARIOS FOR REDD+ AND REALU AT THE REGIONAL LEVEL IN THE CHIAPAS STATE, MEXICO

Sara Covaleda<sup>1†</sup>, Fernando Paz<sup>1,2</sup> y Alejandro Ranero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kibeltik Clima y Medio Ambiente A.C. Calle Ejército Nacional No. 31, Colonia Guadalupe, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

<sup>2</sup>GRENASER, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230, Montecillo, Estado de México, México.

<sup>†</sup>Autor para correspondencia: scovaleda@gmail.com

### RESUMEN

La generación de escenarios de intervención para la mitigación de emisiones es una herramienta básica al alcance de los gobiernos para desarrollar políticas encaminadas a la Reducción de Emisiones en Todos los Usos del Suelo (RETUS), ya que a partir de éstos es posible establecer metas de mitigación y estrategias de actuación. En Chiapas, a partir de modelos de estados y transiciones (METs) y el análisis económico-financiero de las actividades de intervención, se generaron escenarios de mitigación para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal (REDD+) y actividades agropecuarias (AP) con enfoque de desarrollo rural bajo en emisiones. En su conjunto, los escenarios REDD+ y AP constituyen el escenario RETUS para Chiapas. El escenario REDD+ planteado abarca un total de 190 Mt CO<sub>2</sub> y casi 2.4 millones de hectáreas, mientras que el escenario AP, en su conjunto supone un incremento de casi 48 Mt CO<sub>2</sub> en una superficie de 1.7 millones de hectáreas (considerando los almacenes de biomasa viva y 30 cm superiores de suelo). Para el escenario REDD+ planteado la región que presenta un mayor potencial de mitigación es la Selva Maya, seguida de la región Altos y Sierra Madre. En el escenario AP, las regiones con mayor potencial para incrementar los almacenes de carbono a través de prácticas agrícolas y pecuarias mejoradas serían la Sierra Madre, Selva Maya y Selva Zoque. Considerando un precio del bono de carbono de 10 US\$/tCO<sub>2</sub> los valores ascienden a US\$ 1902 millones para el caso del escenario REDD+ y US\$ 476 millones para el escenario AP. El escenario AP presenta costos de oportunidad negativos. Los costos totales fueron estimados en 1.0-4.4 US\$/tCO<sub>2</sub>, aunque en economías de escala podrían reducirse.

**Palabras clave:** desarrollo rural sustentable bajo en emisiones; modelos de estados y transiciones; costos de oportunidad; bonos de carbono.

### ABSTRACT

The generation of mitigation scenarios is one of the basic tools that governments should use to develop policies related with the Reduction of Emissions in All Land Uses (REALU) because they allow to establish mitigation goals and strategies. In Chiapas, mitigation scenarios for REDD+ (Reduction of Emissions from Deforestation and forest Degradation) and low emission agricultural activities (AP) were generated using States and Transitions Models and information from the economical-financial analysis of the selected activities. The REDD+ and AP scenarios constitute the REALU scenario for Chiapas. The proposed REDD+ scenario encompasses 190 Mt CO<sub>2</sub> and nearly 2.4 million hectares, while the AP scenario represents an increase of nearly 48 Mt CO<sub>2</sub> in an area of 1.7 million hectares (considering living biomass and soil -30 cm- carbon stocks). The Selva Maya region presents the highest REDD+ potential for the proposed scenario, followed by Los Altos and Sierra Madre regions. In the AP

scenario, the regions with the highest potential to increase carbon stocks through the implementation of improved agricultural and cattle ranching activities are Sierra Madre, Selva Maya and Selva Zoque. Considering a carbon credit price of 10 US\$/tCO<sub>2</sub>, the market value of the REDD+ scenario is about US\$ 1902 millions and US\$ 476 millions for the AP scenario. The AP scenario has negative opportunity costs. Total costs were estimated by 1.0-4.4 US\$/tCO<sub>2</sub>, but they can be reduced using economies of scale.

**Key words:** *low emission rural development; state and transition models; opportunity costs; carbon credits.*

## INTRODUCCIÓN

El estado de Chiapas, situado en el sur de México, cuenta con extensas superficies forestales que abarcan el 57.1% de su territorio (SEMARNAT-CONAFOR, 2014). De esta superficie el 34% se considera vegetación primaria, incluyendo importantes reservas de ecosistemas prioritarios a nivel nacional como las selvas altas perennifolias (633 503 ha), los bosques mesófilos de montaña (231 777 ha) y el manglar (43 602 ha). Estudios específicos desarrollados en Chiapas encontraron que las selvas altas de la Selva Lacandona albergaban en su biomasa aérea más de 200 Mg C ha<sup>-1</sup> (de Jong *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2009) y en el suelo 143.2 Mg C ha<sup>-1</sup>, como promedio para todo el estado (Paz *et al.*, 2010a). Los bosques mesófilos, considerados como uno de los ecosistemas forestales más amenazados del país, pueden acumular también grandes cantidades de carbono en su biomasa aérea (220 Mg C ha<sup>-1</sup>; Rendón, 2008) y suelo (219.1 Mg C ha<sup>-1</sup>; Paz *et al.*, 2010a). A su vez, se encontró que los manglares de la reserva de la biósfera La Encrucijada pueden almacenar entre 132.1 y 440.0 Mg C ha<sup>-1</sup> en su biomasa viva y entre 174.8 y 732.2 Mg C ha<sup>-1</sup> en el suelo (todo el perfil del suelo; Adame *et al.*, 2015).

Según el Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero (IEGEl) en Chiapas (de Jong *et al.*, 2010), el sector Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSyS) contribuyó en 2007 con el 59% de las emisiones totales de GEI (16 447 Gg CO<sub>2</sub>), siendo la principal fuente de emisiones, seguido del sector agropecuario con el 19%; por lo que, conjuntamente, las actividades desarrolladas en el sector rural suponen un 78% del total de emisiones, correspondiendo el 22% restante a los sectores de energía, residuos y procesos industriales (PACCCH, 2011). En este contexto, es crítico que Chiapas genere políticas públicas efectivas para abordar la Reducción de Emisiones en Todos los Usos del Suelo (RETUS).

La deforestación y la degradación forestal son dinámicas activas en el estado. Según los análisis efectuados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), mediante el uso de información cartográfica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI; Series II a V del Mapa de Uso del Suelo y Vegetación de México) en Chiapas se deforestaron 991 776 ha entre 1993 y 2011 y, en el mismo periodo, se degradaron 599 576 ha de bosques primarios (CONAFOR, 2016). Otros estudios llevados a cabo con imágenes satelitales LANDSAT detectaron la pérdida de 176 438 ha de bosques en el periodo 1990-2006 (Vaca *et al.*, 2012) y una degradación forestal (definida como el paso de bosques conservados o con cobertura >30% a bosques degradados o con cobertura entre 10-30%) para el periodo 1990-2009 de 769 295 ha (Paz *et al.*, 2010c).

El estado actual de la vegetación en Chiapas presenta un elevado potencial para realizar actividades REDD+, que permitan mantener las coberturas de los bosques primarios existentes y disminuir las tasas de deforestación y degradación forestal. El éxito de estas actividades depende, en buena parte, de la identificación y comprensión de los *drivers* o motores de la deforestación y degradación forestal en el estado, para poder actuar sobre ellos a través de la elaboración de políticas públicas efectivas. Sobre este tema se han realizado varios estudios en la entidad (Paz *et al.*, 2012; Gaia, 2013; López, 2013; Covaleda *et al.*, 2014). Estas condiciones han favorecido que el estado haya sido seleccionado para participar en distintas iniciativas nacionales (Áreas de Acción Temprana e Iniciativa de Reducción de Emisiones de la CONAFOR) e internacionales para llevar a cabo actividades de preparación e implementación del mecanismo REDD+. A su vez, desde 2010, el gobierno del Estado de Chiapas ha sido muy activo en la incorporación de la materia de cambio climático y medio ambiente en su agenda política, sumándose al grupo internacional del GCF

(*Governor's Climate and Forest Task Force*), firmando la Declaración de Río Branco, en la que los estados firmantes se comprometen a reducir la deforestación en un 80% para el año 2020. Adicionalmente, el estado ha firmado el Memorándum de Entendimiento en Materia de Liderazgo Mundial ante el Cambio Climático (Under2MOU, 2015), el cual identifica acciones a ser realizadas por jurisdicciones alrededor del mundo y promueve el llevar a cabo acciones ambiciosas en materia de cambio climático.

De manera general, la planificación de políticas públicas debe basarse en la mejor información estadística y científica disponible, la cual puede ser utilizada y organizada para plantear escenarios futuros. En función de las preguntas que se trate de responder es posible plantear distintos tipos de escenarios (Mckenzie *et al.*, 2012) y, entre ellos, los escenarios de intervención tratan de identificar acciones efectivas y equitativas para alcanzar las metas planteadas, lo que los hace especialmente adecuados para el planteamiento de políticas públicas.

En el estado de Chiapas se han planteado escenarios de mitigación potenciales y algunos ejemplos de escenarios de intervención, a nivel de proyecto, utilizando los modelos de estados y transiciones (METs) elaborados a nivel regional (Covaleda *et al.*, 2012a y b, 2016; Paz *et al.*, 2012 y 2015). Estos modelos constituyen una herramienta sencilla que permite seleccionar las acciones más adecuadas a implementar en función de los fines buscados.

El objetivo de este trabajo fue mostrar la potencialidad de utilizar el planteamiento de escenarios de intervención como parte del proceso de planeación de políticas públicas centradas en la reducción de emisiones en el sector AFOUS (Agricultura, Forestería y Otros Usos del Suelo), para ello, se generaron escenarios RETUS (incluyendo REDD+) a nivel regional en el estado de Chiapas, ya que a partir de éstos es posible establecer metas de mitigación y estrategias de actuación regionales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estado de Chiapas se encuentra situado en el sureste de la República Mexicana, entre los 17° 59' 09'' y 14° 31' 44'' de latitud N y los 90° 22' 15'' y 94° 08' 20'' de longitud O. La extensión territorial del estado es de 73 611 km<sup>2</sup>, lo que constituye el 3.7% de la superficie nacional.

En el estado se han identificado seis tipos de climas, la topografía es accidentada y el intervalo altitudinal amplio (0 – 4060 m), lo que explica que posea una de las más grandes riquezas biológicas de México y grandes extensiones de ecosistemas forestales prioritarios a nivel nacional (CONABIO, 2013).

El 50% de la población del estado es rural (INEGI, 2015). Los ejidos y comunidades indígenas y no indígenas poseen en conjunto 3.4 millones de hectáreas, por lo que son actores indispensables en la discusión, diseño e implementación de las políticas relacionadas con la deforestación, la degradación, el manejo forestal y la conservación.

Chiapas, es la entidad federativa con menor índice de desarrollo humano y según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) el 76% de la población del estado se encuentra en una situación de pobreza y el 32% en situación de pobreza extrema (CONEVAL, 2014).

En términos culturales, el estado destaca por la presencia de 12 pueblos originarios, de tal forma que el 28% de la población habla alguna lengua indígena (INEGI, 2015).

### Modelos de dinámica de cambio de uso del suelo en Chiapas

Los modelos de estados y transiciones (METs) son modelos conceptuales que se construyen a partir de tres elementos: estados, transiciones y umbrales. Cada estado representa un tipo de vegetación/estado sucesional/uso del suelo característico en el área de estudio, expresado por un conjunto específico de comunidades vegetales. Las transiciones, por su parte, se refieren a trayectorias de cambio, que tienen su origen en perturbaciones naturales o antrópicas (acciones de manejo). Por último, los umbrales señalan puntos en el espacio y tiempo que indican que se ha sobrepasado la capacidad de “auto-reparación” y, en ausencia de restauración activa, se forma un nuevo estado y también un nuevo umbral (Stringham *et al.*, 2001).

En Chiapas se han elaborado ocho modelos regionales que han sido descritos en Covaleda *et al.* (2016). Los estados de cada modelo fueron identificados a partir de los principales tipos de vegetación y usos del suelo locales en las distintas regiones. Además, se incluyeron una serie de sistemas productivos sustentables con potencial de captura de carbono y de mejorar la economía de los productores, con base en experiencias locales. Cada estado definido fue caracterizado en función de los contenidos promedio

de carbono (C) de los almacenes de biomasa viva y suelo (hasta 30 cm de profundidad) y, además, de variables económico-financieras (valor presente neto, número de jornales, monto de crédito requerido, monto de los subsidios disponibles y tasas de interés). Estos modelos permiten, además, simular la dinámica del C y variables económico-financieras en términos anuales (proyecciones a 30 años).

Los METs han sido empleados para conocer los impactos en términos de carbono y variables socioeconómicas, de pasar de un estado inicial A hacia otro B. La transición entre estados puede suponer el mejoramiento o no de los almacenes de carbono del sistema y, además, hay que evaluar los costos e impactos socioeconómicos asociados al paso de un estado a otro (Figura 1).

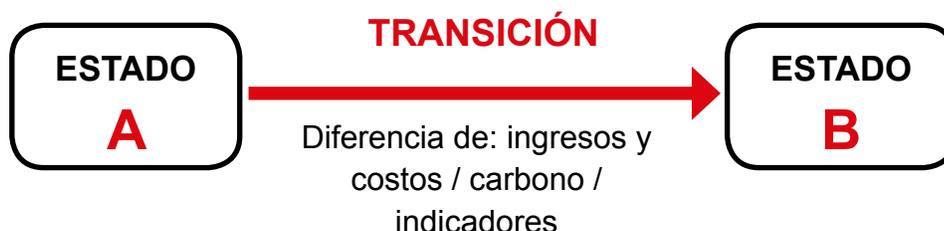


Figura 1. Transición entre estados. (Fuente: Modificado de Covalada *et al.*, 2016).

Por ejemplo, los METs pueden estimar los impactos que implica la deforestación de un bosque mesófilo (Estado A) por el establecimiento de un pastizal (Estado B), lo cual generará pérdidas de carbono o el establecimiento de una plantación forestal (Estado B) sobre una milpa abandonada (Estado A).

Covalada *et al.* (2010), donde las regiones identificadas se caracterizan por su dinámica de uso del suelo, la cual está relacionada con la dinámica del carbono.

La división regional utilizada fue revisada y adaptada a la escala municipal por Paz *et al.* (2012), de tal forma que las estimaciones realizadas al plantear escenarios regionales pudieran propagarse a los municipios (Figura 2).

### Regiones para la construcción de escenarios

La construcción de escenarios de intervención se realizó con base en la regionalización empleada en

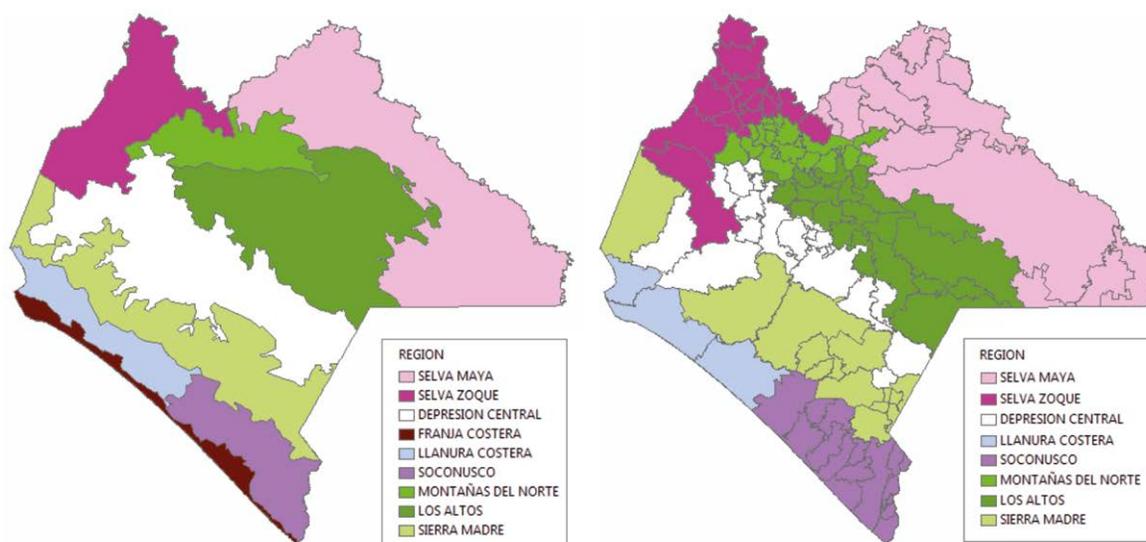


Figura 2. Regionalización propuesta de Chiapas: ecológica-fisiográfica (izquierda) y su modificación municipal (derecha). Fuente: Paz *et al.* (2012).

## Superficie municipal y regional ocupada por distintos usos del suelo y vegetación

La superficie municipal ocupada por los diferentes usos del suelo y vegetación presentes en el estado de Chiapas, se estimó a partir de cuatro fuentes principales de información: 1) Mapa de clases de cobertura del suelo en el estado de Chiapas, generado a partir de fotointerpretación de imágenes SPOT del año 2009 (con resolución de píxel de 2.5 m) (Paz *et al.*, 2010a y 2015); 2) Mapa de uso del suelo y vegetación de la Serie IV de INEGI (año base 2007); 3) Anuario estadístico de la producción agrícola en el estado de Chiapas (2010); 4) Estadísticos de la producción pecuaria de la base del Programa de Fomento Ganadero (PROGAN; beneficiarios 2009).

El mapa de clases de cobertura se empleó como elemento base para el cálculo de las superficies de los diferentes usos del suelo y vegetación en Chiapas. La Serie IV del mapa de uso del suelo y vegetación del INEGI se empleó para calcular la superficie municipal de las comunidades vegetales presentes en el estado de Chiapas; es decir, la superficie de aquellas clases ubicadas en las categorías: vegetación primaria o vegetación secundaria

La superficie agrícola se obtuvo de las bases de datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en la base correspondiente al cierre de la producción agrícola por estado en el año 2010. A partir de la información reportada en la base del PROGAN de la SAGARPA del 2009, se determinó la superficie municipal empleada en el estado, para la producción de tres tipos de ganado: bovinos, caprinos y ovinos.

Las categorías de vegetación y uso del suelo utilizadas fueron agrupadas y reclasificadas en las siguientes clases generales: a) Bosque: incluye todas las clases de bosques y selvas en estado primario; b) Bosque degradado: incluye todas las clases de bosques y selvas en estado de sucesión secundario (estrato herbáceo, arbustivo y arbóreo); c) Agrícola: incluye todas las clases de agricultura; d) Pecuario: incluye todas las clases de pastizal. Las superficies incluidas en la categoría de “Otros” (cuerpos de agua, suelo desnudo, asentamientos humanos y no determinado), no se consideraron en el cálculo de las superficies regionales.

## Planteamiento de escenarios de intervención en Chiapas

Los insumos básicos utilizados para la construcción de los escenarios de intervención regionales fueron: a) los METs regionales elaborados para Chiapas, que incorporan información sobre el contenido promedio de carbono en los principales almacenes para todos los tipos de vegetación y uso del suelo en las regiones, b) las superficies en riesgo de deforestación según el modelo elaborado por Castillo *et al.* (2010) y c) las superficies ocupadas por los distintos tipos de vegetación y usos del suelo en las regiones.

De manera concreta, se planteó un escenario RETUS para cada región, el cual está formado, a su vez, por dos elementos principales:

- **Escenario REDD+**: Busca reducir las emisiones por deforestación y degradación forestal, incrementar los almacenes de carbono forestal y promover el manejo forestal sustentable. El componente de conservación se incluyó como estrategia asociada a la deforestación y degradación evitada e incremento de los almacenes de carbono.
- **Escenario Agropecuario (AP)**: Busca incrementar los almacenes de carbono en áreas dedicadas a actividades agrícolas y pecuarias (no bosque). Las actividades productivas, a su vez, pueden ser causantes de deforestación bajo sistemas convencionales de bajo rendimiento (Covaleda *et al.*, 2016), por lo que aquellas que además de capturar carbono ofrezcan mayor rentabilidad a los productores que las actividades iniciales podrían ser alternativas a considerar. En el escenario AP (usos agropecuarios) se diferenciaron los componentes de prácticas agrícolas y prácticas ganaderas.

Para cada componente se consideró una línea base con una meta de mitigación (Cuadro 1), las cuales fueron formuladas en función de la información contenida en el Programa de Acción Ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas (PACCCH, 2011) y la información disponible de otros programas de gobierno como el Plan Estatal de Desarrollo de Chiapas, el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO) y el PROGAN. El horizonte temporal de los escenarios fue hasta el 2020 (periodo 2013-2020) para facilitar su relación con las fuentes de financiamiento existentes.

**Cuadro 1. Líneas de base y metas para los componentes de los escenarios REDD+ y AP planteados.**

Componente	Línea base	Meta	Estado final
Deforestación	Superficies en riesgo de deforestación según el modelo de deforestación elaborado por Castillo <i>et al.</i> (2010)	Evitar la deforestación en las superficies en riesgo de deforestación	Acahual herbáceo, usos agrícolas y usos pecuarios
Degradación*	Tendencia de degradación detectada en los bosques conservados en Chiapas (3% anual)	Evitar la degradación esperada en el periodo 2013-2020 en caso de continuar la tendencia actual	Bosques conservados
Manejo forestal sustentable	Superficie bajo manejo forestal en Chiapas (datos de 2010)	Incrementar en 47 000 a la superficie forestal con plan de manejo aprobada (meta del Plan de Desarrollo Sustentable de Chiapas)	Bosque de pino y bosque de pino-encino con plan de manejo forestal
Incremento de los almacenes	Superficie de bosques degradados no incluidos en los componentes de deforestación y degradación evitada	Recuperación del 50% de la superficie de bosques degradados. Incremento de los almacenes de carbono en el 50% de la superficie de bosques degradados	Producción de café con sistema mejorado y orgánico, acahual mejorado (con y sin cultivo de palma camedor asociado)
Prácticas agrícolas	Superficie apoyada por PROCAMPO en Chiapas (datos de 2011)	Implementar sistemas sustentables en toda la superficie apoyada por PROCAMPO en Chiapas	Labranza de conservación y maíz intercalado con árboles frutales (MIAF)
Prácticas ganaderas	Superficie apoyada por PROGAN en Chiapas (datos de 2009)	Establecimiento de sistemas silvopastoriles en el 80% de la superficie apoyada por PROGAN en Chiapas. Establecer plantaciones forestales comerciales en la superficie liberada por la ganadería al establecer sistemas silvopastoriles (20% de la superficie apoyada por PROGAN)	Potreros con árboles y cercos vivos, en sistemas templados y tropicales. Plantaciones comerciales de cedro (regiones tropicales) y de pino (regiones templadas)

\*Degradación: transición de bosques y selvas primarios a bosques y selvas secundarios (*sensu* INEGI).  
PROGAN: Programa de Fomento Ganadero; PROCAMPO: Programa de Apoyos Directos al Campo.

La superficie en riesgo de deforestación a nivel regional fue estimada utilizando el modelo de deforestación elaborado por Castillo *et al.* (2010), que incluye el cálculo de la probabilidad de deforestación por pixel (100 m<sup>2</sup>) en el estado de Chiapas.

Para estimar la degradación de los bosques de Chiapas en los próximos años se utilizaron los datos del IEGEI (de Jong *et al.*, 2010), donde se estima la superficie degradada para algunos tipos de bosque presentes en el estado en el periodo 2003-2008. Bajo el supuesto de que la tendencia de degradación detectada en el periodo 2003-2008 para cada tipo de bosque se mantiene constante hasta el año 2020, se proyectó la superficie potencial a degradarse de cada tipo de bosque en el periodo 2013-2020. Seguidamente, los tipos de bosque utilizados en el IEGEI fueron homologados a las clases utilizadas en el mapa de clases de cobertura del suelo para asociar las superficies a los diferentes usos del suelo. Utilizando esta información se asignaron las superficies a degradarse en el periodo 2013-2020 para los tipos de bosques del IEGEI y para los tipos de bosques faltantes (clases incluidas en el mapa de clases de cobertura del suelo, pero no en el IEGEI) se calculó el área a degradarse en función de la superficie ocupada en cada región y de la superficie total de bosques conservados a degradarse anualmente en el estado (3% según los datos del PACCCH, tomados como referencia).

La meta de incrementar en 47 000 ha la superficie forestal con plan de manejo aprobado proviene del Plan de Desarrollo Sustentable de Chiapas. En el estado se han elaborado planes de manejo, principalmente para bosques de pino y pino-encino. Por ello, el escenario se centra en los bosques de pino y pino-encino, ya que no se dispone de datos de carbono en relación al aprovechamiento forestal de zonas tropicales.

Las regiones que cuentan con una mayor superficie relativa de bosques de pino y pino-encino son la Sierra Madre, Altos y Montañas del Norte. En cada región se calculó la superficie total ocupada por estos tipos de bosque y se repartió la superficie a incorporar al manejo forestal de manera proporcional, considerando la meta de 47 000 ha.

En el componente de incremento de los almacenes de carbono se consideraron las superficies de bosques secundarios en cada región no incluidas en los componentes de deforestación y degradación evitada y las posibilidades de incremento de almacenes de

carbono identificadas en los METs. La diferenciación de dos opciones para el incremento de almacenes de carbono en el escenario planteado (ver Cuadro 1) obedece a la necesidad de diversificar la economía de los campesinos buscando sistemas productivos sustentables que, a su vez, tengan un enfoque de desarrollo sustentable en el marco de REDD+.

La elaboración del escenario AP utilizó como base el padrón de la superficie apoyada por el PROCAMPO (ahora PROAGRO) en Chiapas, para los cultivos agrícolas y, la superficie apoyada por el PROGAN, para la zona ganadera. Las prácticas agrícolas mejoradas de las que se cuenta con datos (en los METs) son la labranza de conservación y el maíz intercalado con árboles frutales (MIAF), son estas prácticas, por tanto, las que se consideraron. En el escenario ganadero se propone el establecimiento de sistemas silvopastoriles en el 80% de la superficie apoyada por el PROGAN en el estado. Los sistemas considerados fueron: potreros con árboles y cercos vivos, tanto en sistemas templados como tropicales. Bajo el supuesto de que en el 20% de la superficie apoyada por el PROGAN se lleva a cabo un proceso de reconversión productiva y se establecen plantaciones forestales comerciales de cedro en las regiones tropicales y, de pino en las regiones templadas.

#### *Estimación de los costos*

Los costos asociados a reducir la deforestación y degradación forestal y/o aumento de las reservas de carbono se clasifican en tres categorías: a) Costos de oportunidad: derivados de los costos asociados por usos alternativos del suelo a los que se renuncia al elegir una opción específica; b) Costos de implementación: costos de inversión y operación asociados a la implementación de un proyecto específico de uso del suelo; c) Costos de transacción: costos necesarios para establecer y gestionar un programa REDD+ o RETUS.

La información de costos de oportunidad es parte integral de los METs, ya que cada transición entre un estado inicial y otro final tiene asociado dos tipos de costos de oportunidad: a) sin percibir subsidio y b) percibiendo un subsidio (PROGAN o PROCAMPO). La tasa de interés utilizada fue del 12%. La codificación empleada para definir el signo de los costos de oportunidad se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Codificación de los costos de oportunidad.**

Código	dVPN	dCtot	Costo de Oportunidad
-1	< 0	< 0	positivo
0	0	0	cero
1	> 0	< 0	positivo
2	> 0	> 0	negativo
3	< 0	> 0	negativo

d = diferencial entre el estado B con relación al A; VPN: Valor Presente Neto; Ctot: Carbono total (biomasa viva y suelo).

Respecto a los otros costos de REDD+ (implementación y transacción), Boucher (2008) estimó que los costos de transacción, implementación y administrativos en conjunto se aproximan, de manera general a 1 US\$/tCO<sub>2</sub>. Por otra parte, White y Minang (2011) estimaron que los costos anuales de administración oscilan entre un mínimo de 4 US\$/ha y un máximo de 15 US\$/ha. Estas estimaciones se basaron principalmente en la escala de proyecto, por lo que es muy posible que a escalas mayores se puedan optimizar estos costos. Los costos de implementación y transacción de los escenarios planteados fueron calculados con base en las aproximaciones reportadas por los autores mencionados, lo que permitió obtener tres valores, de los cuales se consideraron sólo el mayor y menor.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Distribución del uso del suelo en las distintas regiones de Chiapas

La región que tiene una mayor superficie es la Selva Maya (donde se ubica la Selva Lacandona) con casi dos millones de hectáreas. Las regiones Sierra Madre y Altos ocupan unas superficies del 16 y 15% respectivamente, seguidas de la Depresión Central (13%), con respecto a la superficie total estatal. Las regiones con menor superficie son las cercanas a la costa (Soconusco y Llanura costera) y las Montañas del Norte (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Superficie utilizada para uso agrícola, pecuario y forestal en las diferentes regiones de Chiapas en términos absolutos (ha) y relativos (%).**

Región	Agrícola	Pecuario	Bosque	Bosque degradado
Selva Maya	289 648 14.2%	278 505 13.6%	668 027 32.7%	757 933 37.1%
Selva Zoque	54 798 7.5%	180 111 24.7%	150 920 20.7%	290 155 39.8%
Soconusco	146 519 24.9%	98 588 16.8%	142 318 24.2%	162 003 27.6%
Llanura Costera	16 697 3.8%	136 322 31.1%	49 684 11.3%	179 699 41.0%
Depresión Central	116 794 12.0%	145 610 15.0%	184 756 19.0%	466 221 47.9%
Montañas del Norte	33 014 11.3%	18 405 6.3%	59 351 20.3%	177 425 60.6%
Altos	183 156 16.6%	68 180 6.2%	311 674 28.3%	494 969 44.9%
Sierra Madre	83 617 7.3%	209 940 18.3%	244 041 21.3%	572 585 49.9%
<b>Total</b>	<b>924 242</b>	<b>1 135 662</b>	<b>1 810 771</b>	<b>3 100 990</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>12.6%</b>	<b>15.5%</b>	<b>24.8%</b>	<b>42.4%</b>

Nota: La suma de los porcentajes de las categorías de uso del suelo consideradas en el Cuadro no suman 100%, debido a que no se incluyó la categoría "Otros".

Con base en el Cuadro 3, en Chiapas, los bosques degradados alcanzan la mayor superficie (total y en términos relativos), seguidos de los bosques conservados. En tercer lugar, se encuentra la superficie ocupada por la ganadería y, por último, la agricultura.

A nivel regional, los bosques degradados ocupan la mayor extensión en todas las regiones (entre el 27.6 y el 60.6% de la superficie), en segundo lugar, se sitúan los bosques conservados en la Selva Maya, Depresión Central, Montañas del Norte, Altos y Sierra Madre. En todas las regiones las categorías de bosque y bosque degradado alcanzan, conjuntamente, valores superiores al 50% de cobertura con respecto al total de categorías de uso del suelo consideradas, destacándose las regiones Montañas del Norte, Altos, Sierra Madre y Selva Maya, en las que alcanzan o superan el 70%.

En relación a los usos productivos, en el Cuadro 2 se observa que en las regiones Soconusco, Norte y Altos predomina la actividad agrícola, mientras que, en la Selva Zoque, Llanura Costera y Sierra Madre la superficie ocupada para usos ganaderos es mayor. Las regiones Selva Maya y Depresión Central presentan grandes extensiones dedicadas a la agricultura y ganadería, en proporciones bastante similares.

Los cultivos que ocuparon mayores extensiones durante el 2010 en el estado fueron el maíz, el café y el frijol (SIAP, 2010). En conjunto estos tres cultivos abarcaban el 76% de la superficie cultivada a nivel

estatal. Salvo en la región del Soconusco, donde el café es el cultivo preponderante (21.8% de la superficie cultivada en 2010), el maíz en grano fue el principal cultivo por región. Además de en el Soconusco, el cultivo de café ocupa grandes extensiones en las regiones Sierra Madre y Selva Maya, seguido de las regiones Altos y Montañas del Norte, donde el café abarca el 30% de la superficie cultivada.

El ganado de tipo bovino es el que ocupa una mayor cantidad de superficie (superior al 90% en todos los casos), con relación a otros tipos de ganado, siendo las regiones Selva Maya, Sierra Madre y Selva Zoque las que dedican una mayor superficie a la ganadería bovina. Las regiones Depresión Central y Llanura Costera también dedican amplias superficies de territorio a la producción de ganado bovino.

#### Potencial de mitigación/incremento de almacenes de los escenarios de intervención a nivel regional

El escenario RETUS planteado en el estado de Chiapas abarca más de 4 millones de hectáreas, con un potencial de mitigación de 237 Mt CO<sub>2</sub>, de las cuales, el escenario REDD+ comprende casi 2.4 millones de hectáreas y un potencial de 190 Mt CO<sub>2</sub>, mientras que el escenario AP, supone la captura de aproximadamente 48 Mt CO<sub>2</sub> en una superficie de 1.7 millones de hectáreas (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Potencial de mitigación/incremento de almacenes y superficie regional de los escenarios REDD+ y AP planteados para el estado de Chiapas (periodo 2013-2020).**

Región	REDD+		AP	
	tCO <sub>2</sub> (miles)	Superficie	tCO <sub>2</sub> (miles)	Superficie
Selva Maya	55 456.4	677 744.1	10 201.18	329 739.23
Selva Zoque	15 517.3	246 618.5	8119.82	244 882.33
Soconusco	6572.8	92 564.5	3067.78	94 921.49
Llanura Costera	5456.1	84 654.9	4766.58	136 231.64
Depresión Central	7407.6	104 185.2	4147.55	292 370.94
Montañas del Norte	11 566.6	154 498.4	2230.23	78 498.25
Altos	44 724.1	525 537.5	4118.33	184 879.71
Sierra Madre	43 496.6	504 650.8	10 970.44	369 181.40
<b>Total</b>	<b>190 197.4</b>	<b>2 390 453.9</b>	<b>47 621.9</b>	<b>1 730 705.0</b>

Para el escenario REDD+ la región que presenta un mayor potencial de mitigación es la Selva Maya, seguida de la región Altos y Sierra Madre (Cuadro 4). En el escenario AP, las regiones con mayor potencial para incrementar los almacenes de carbono a través de prácticas agrícolas y pecuarias mejoradas son la Sierra Madre, Selva Maya y Selva Zoque (Cuadro 4).

No todos los componentes considerados contribuyen en la misma proporción a la reducción de emisiones/captura de carbono (Figura 3). Los resultados obtenidos están influenciados tanto por la superficie de actuación incluida en cada componente, como por la capacidad de captura de carbono o mitigación de emisiones de las actividades planteadas.

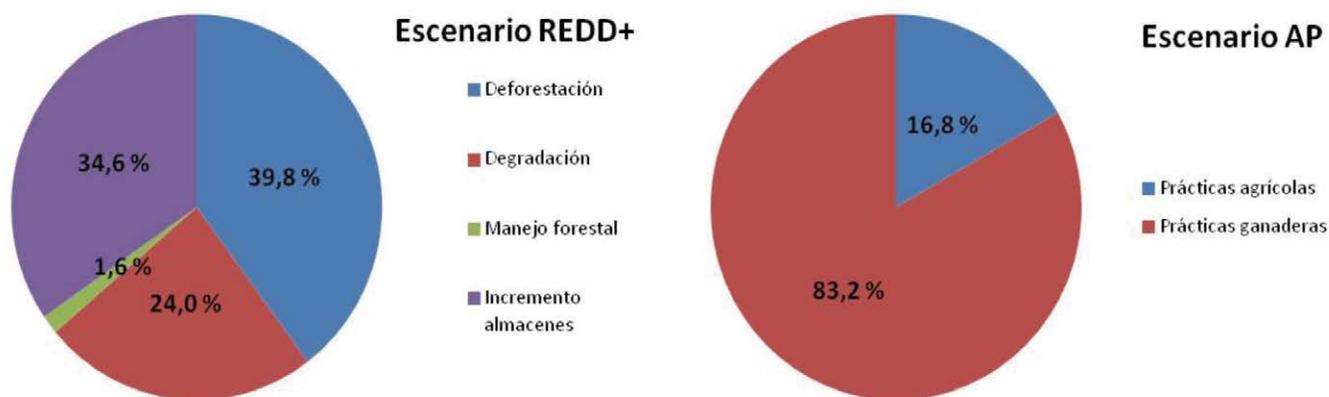


Figura 3. Aporte de los componentes de cada escenario (REDD+ y AP) al potencial de mitigación total.

El componente de reducción de emisiones por deforestación abarca casi el 40% del escenario REDD+ planteado. Del análisis del modelo de deforestación de Chiapas (Castillo *et al.*, 2010) se estimó que la superficie total en riesgo de deforestación en el estado asciende a 616 782 ha. Las regiones que presentaron una mayor superficie de bosque en riesgo de deforestación fueron la Selva Maya, Altos y Sierra Madre. En términos relativos, en función de la superficie total de bosque (bosque + bosque degradado), las regiones con una mayor proporción de superficie en riesgo de deforestación fueron el Soconusco, la Depresión Central y Los Altos.

El análisis cartográfico efectuado permitió, además, identificar los tipos de vegetación más amenazados por la deforestación. En este sentido, la vegetación secundaria de selva baja caducifolia presentó 73 956 ha en las zonas de riesgo alto de deforestación según la clasificación de la probabilidad de deforestación en Chiapas efectuada por Paz *et al.* (2012) con base en la información del modelo de deforestación de Chiapas (Castillo *et al.*, 2010). El resto de tipos de vegetación en riesgo se ubican en zonas dentro de las clases de riesgo media y baja. De éstos, los que presentan mayores superficies son la vegetación secundaria

de selva alta perennifolia (147 290 ha), vegetación secundaria de bosque de pino-encino (62 080 ha) y la vegetación secundaria de bosque mesófilo (34 637 ha). La vegetación secundaria de selva baja caducifolia también cuenta con 91 155 ha adicionales en riesgo. Además, los cultivos de café presentan elevadas extensiones con riesgo de deforestación en todas las regiones donde está presente este cultivo (132 541 ha).

Actualmente, los cafetales bajo sombra de Chiapas están en una situación de alto riesgo de deforestación ya que, desde 2012, la roya ha disminuido drásticamente la producción en amplias regiones lo que ha ocasionado fenómenos de migración y cambio de uso del suelo (Libert *et al.*, 2016). Este fenómeno podría explicar la progresiva bajada del rendimiento del cultivo en el estado entre 2011 y 2016 (de 2.16 t/ha en 2011 a 1.53 t/ha en 2016; SIAP, 2017).

Los bosques secundarios presentan mayor superficie en riesgo de deforestación con respecto a los bosques conservados, esto es debido, por una parte, a que grandes extensiones de bosques conservados se encuentran en el interior de áreas naturales protegidas y, por otra, a los ciclos de roza-tumba-quema (y sus variantes) asociados con prácticas agrícolas y la necesidad de pasto para el ganado bovino.

Adicionalmente, la apertura de áreas para establecer cultivos comerciales como la palma africana (*Elaeis guineensis*) puede aumentar el riesgo de deforestación sobre los bosques secundarios en zonas de expansión de este cultivo (principalmente vegetación secundaria de selva alta perennifolia y mediana subperennifolia; Covalada *et al.*, 2016). Estos datos ponen en relieve la necesidad de implementar estrategias que favorezcan el mantenimiento de los bosques secundarios y bosques, en general, no ubicados en áreas de reserva.

Según el escenario planteado, el componente de reducción de emisiones por degradación supone el 24% del escenario REDD+. Algunos de los tipos de bosques primarios presentes en Chiapas, son ecosistemas prioritarios a nivel nacional, como el bosque mesófilo de montaña, la selva alta perennifolia y los manglares y han sido objeto de importantes medidas para asegurar su conservación, entre las que destaca la declaración de varias Reservas de la Biósfera. Aun así, grandes áreas de bosques mesófilos de montaña han sido aclarados para el establecimiento de cafetales de sombra (desombre) conformando actualmente un cinturón entorno a este tipo de bosques en la Sierra Madre y la región de la Selva Lacandona, principalmente. Adicionalmente, existen otros tipos de bosques primarios, como los de pino y pino-encino, que están en riesgo constante de degradación debido a la extracción no regulada de madera y leña y, también, por la presencia de algunas plagas y enfermedades, como el barrenador del pino (Gobierno de Chiapas, 2012). Por otra parte, conviene resaltar que la degradación forestal, entendida como la pérdida de biomasa forestal (y, por tanto, carbono) afecta principalmente a los bosques secundarios, sin embargo, ante la falta de consenso sobre cómo incorporar este tipo de degradación, este hecho aún no es tomado en cuenta en los cálculos oficiales.

El incremento de almacenes de carbono forestal, que abarcó el 34.6% del potencial de mitigación del escenario REDD+, se asoció a dos tipos de actividades: protección de bosques degradados y establecimiento de sistemas agroforestales sustentables. En el primer caso, una opción es la implementación de estrategias encaminadas a reforzar el actual sistema de áreas naturales protegidas, que refuercen la conectividad de los ecosistemas forestales, sobre todo entre las selvas Maya y Zoque, los bosques templados hacia Centroamérica y eviten el deterioro y fragmentación de los bosques mesófilos de montaña, sobre todo en la zona de los Altos y Montañas del Norte. Para ello, existen

fórmulas como la creación de reservas comunales o privadas (Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación) o las áreas certificadas para la conservación por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), también el programa de pagos por servicios ambientales de la CONAFOR puede ser otra herramienta a considerar. En el segundo caso, conviene resaltar que los sistemas agroforestales sustentables, incrementan los almacenes de carbono de los ecosistemas en muchos casos. Específicamente en el caso del café, la producción orgánica ha demostrado que permite una mayor acumulación de carbono, especialmente en el horizonte superficial edáfico (Soto-Pinto *et al.*, 2007; Soto-Pinto y Aguirre-Dávila, 2015). Adicionalmente, el implementar este tipo de estrategias, contribuye a evitar el riesgo de degradación y deforestación a largo plazo, ya que dan valor a la conservación de la cubierta forestal.

El manejo forestal sustentable contribuye únicamente con el 1.6% al escenario REDD+, ya que la meta de superficie establecida no fue muy elevada. En el estado, entre 2007 y 2015 se autorizaron 140 planes de manejo forestal, para una superficie total de 27 525 ha; sin embargo, según el IEFyS (Inventario Estatal Forestal y de Suelos; SEMARNAT-CONAFOR, 2014) el 18% de la superficie forestal estatal estaría en la categoría de “Producción”, lo que indica que el estado tiene un área de oportunidad en cuanto a la incorporación de mayor superficie a esquemas de manejo forestal sustentable, más aun si se incluye a los bosques tropicales en esquemas de manejo forestal.

En el escenario AP, el componente ganadero abarca el 83.2% del potencial total de este escenario. En Chiapas, la ganadería extensiva ocupa amplias superficies para obtener bajos rendimientos (Jiménez-Ferrer *et al.*, 2015) además de ser la principal causa de deforestación en el estado (Covalada *et al.*, 2014). Por ello, además de la captura de carbono es importante buscar la implementación de sistemas que también mejoren la producción, como los sistemas silvopastoriles (Alayon *et al.*, 2016). Este planteamiento ha sido retomado en el Plan de Acción de Ganadería de Bajas Emisiones en Chiapas 2016-2020. En este caso, el objetivo es reducir las emisiones del sector ganadero a nivel estatal, lo que vendría a complementar el objetivo aquí planteado de incrementar los almacenes de carbono en áreas calificadas como no-bosque.

La elevada superficie dedicada a la ganadería a nivel estatal hace deseable buscar la manera de intensificar la

producción para liberar áreas para otros fines, como el establecimiento de plantaciones forestales comerciales (como se ha propuesto en este caso), plantaciones dendroenergéticas u otros tipos de sistemas que permitan incrementar los almacenes de carbono y den algún tipo de beneficio a los productores.

El componente agrícola del escenario AP (16.8% del potencial total) busca conservar y mejorar la fertilidad de los suelos, con el fin de mantener la producción de los cultivos en el tiempo. La población rural presente en el estado cultiva la milpa para obtener maíz y frijol, con fines de subsistencia y, cuando es posible, obtener algunos ingresos por la venta de parte de la cosecha. En la mayoría de los casos se practica la roza-tumba-quema de los terrenos y el cultivo manual, con escaso uso de herramientas. La presión por los recursos ocasiona que muchos cultivos se establezcan en zonas de fuertes pendientes, particularmente en las regiones montañosas. Por esta razón, sistemas como el maíz intercalado con árboles frutales (MIAF) y la labranza de conservación pueden tener efectos beneficiosos variados (captura de carbono en el suelo, evitar la pérdida de suelo por erosión y mejorar la fertilidad a largo plazo), como ha sido reportado en diversos estudios (Etchevers *et al.*, 2005; Aguillón *et al.*, 2009; Eagle *et al.*, 2011).

El obstáculo general a la hora de implementar sistemas novedosos y sustentables es la falta de conocimiento y capacitación con relación a las prácticas agropecuarias mencionadas, por lo que es necesario facilitar la asistencia técnica y trabajar de manera regionalizada, de acuerdo con las formas de producción, condiciones y usos y costumbres de cada zona.

### Beneficio/costo de REDD+ en Chiapas en función de los escenarios planteados

El precio del bono de carbono en los mercados varía de año en año, dependiendo del tipo de mercado (voluntario o de cumplimiento), el tipo de proyecto, el estándar (certificación), el volumen de transacción y la inclusión de co-beneficios (Peters-Stanley *et al.*, 2013). En los mercados voluntarios, que han prevalecido desde que finalizó el primer periodo del Protocolo de Kioto (2012), el precio promedio del bono forestal (asociado a proyectos relacionados con el manejo forestal, REDD+, prácticas agrícolas y ganaderas sustentables) ha ido en descenso desde 2011, cuando alcanzó los 9.2 US\$/tCO<sub>2</sub>e (Peters-Stanley *et al.*, 2013) hasta los 4.9 US\$/tCO<sub>2</sub>e en 2015 (Goldstein y Ruef, 2016). Aun así, el precio promedio del bono en proyectos forestales en 2015 fue superior al del precio promedio del bono de los mercados voluntarios en su conjunto (3.3 US\$/tCO<sub>2</sub>e). Los mercados de cumplimiento (*i.e.* California-Quebec, Nueva Zelanda) y esquemas regulados en general (como el de Australia, que ha probado diferentes esquemas, siendo el más reciente la creación de un Fondo de Reducción de Emisiones), están actualmente en desarrollo. En estos casos, el precio promedio de los bonos tiende a ser superior (9.7 US\$/tCO<sub>2</sub>e en California-Quebec y Australia en 2015) y los volúmenes de transacción están aumentando con los años (Goldstein y Ruef, 2016).

En vista de lo anterior, para los escenarios de mitigación planteados, se consideró un panorama conservador con un precio del bono de carbono de 3 US\$/tCO<sub>2</sub> y otro más optimista en el que se venderían los bonos a 10 US\$/tCO<sub>2</sub> (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Valor de mercado (US\$) de los escenarios REDD+ y AP a nivel regional considerando un precio del bono de carbono de 3 y 10 US\$/tCO<sub>2</sub>.**

Región	REDD+		AP	
	3 US\$/tCO <sub>2</sub>	10 US \$/tCO <sub>2</sub>	3 US\$/tCO <sub>2</sub>	10 US\$/tCO <sub>2</sub>
Selva Maya	166 369 078	554 563 594	30 603 552	102 011 839
Selva Zoque	46 551 907	155 173 024	24 359 466	81 198 219
Soconusco	19 718 378	65 727 926	9 203 335	30 677 784
Llanura Costera	16 368 164	54 560 545	14 299 738	47 665 793
Depresión Central	22 222 714	74 075 713	12 442 647	41 475 491
Montañas del Norte	34 699 701	115 665 669	6 690 689	22 302 296
Altos	134 172 354	447 241 181	12 354 987	41 183 290
Sierra Madre	130 489 841	434 966 136	32 911 322	109 704 406
<b>Total</b>	<b>570 592 137</b>	<b>1 901 973 789</b>	<b>142 865 736</b>	<b>476 219 119</b>

La información presentada en el Cuadro 5 muestra que a un precio de 3 US\$/tCO<sub>2</sub> el escenario REDD+ tiene un valor en el mercado de aproximadamente US\$ 570 millones y US\$ 143 millones el escenario AP. A un precio de 10 US\$/tCO<sub>2</sub> los valores ascienden a US\$ 1 902 millones para el caso del escenario REDD+ y US\$ 476 millones para el escenario AP.

El análisis de costos efectuado por los METs señala que el escenario REDD+ presenta costos de oportunidad positivos (Cuadro 6), mientras que en el escenario AP

los costos de oportunidad son negativos, lo que significa que la implementación de las actividades agropecuarias planteadas genera ganancias netas y no costos. Las actividades con costos de oportunidad negativos nos permiten tener una idea de las acciones de gobierno que pueden ser logradas de forma relativamente simple realizando una reorientación de programas de apoyo a productores federales y estatales, hacia actividades con impactos positivos para el clima.

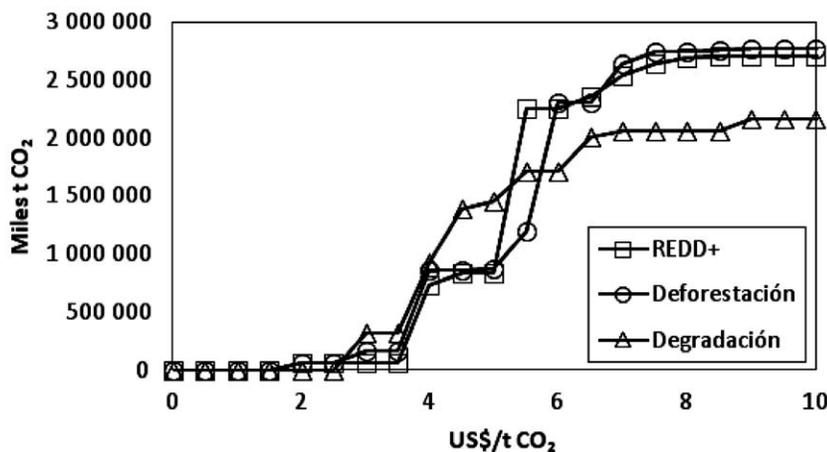
**Cuadro 6. Costos de oportunidad del escenario REDD+ (período 2013-2020).**

Región	REDD+	
	CO <sub>ss</sub> US\$	CO <sub>cs</sub> US\$
Selva Maya	23 840 370.3	25 823 276.7
Selva Zoque	6 980 405.4	7 836 913.2
Soconusco	7 014 869.2	8 003 764.6
Llanura Costera	2 718 554.9	2 921 277.6
Depresión Central	13 809 000.2	14 602 512.3
Montañas del Norte	6 332 221.6	7 105 729.3
Altos	61 293 324.0	50 428 469.4
Sierra Madre	48 167 995.3	51 466 570.0
<b>Total</b>	<b>170 156 740.8</b>	<b>168 188 513.1</b>

CO: Costos de oportunidad; ss: Sin subsidio; cs: con subsidio.

En promedio, los costos de oportunidad del escenario REDD+ son de alrededor de 0.9 US\$/tCO<sub>2</sub>, la región donde se presentaron los menores costos de oportunidad fue la Selva Maya (0.43 US\$/tCO<sub>2</sub>) y la región más cara fue la Depresión Central (1.86 US\$/tCO<sub>2</sub>). Los costos de oportunidad varían en función de las actividades planteadas, por ello, los METs permiten

también seleccionar actividades con diferentes rangos de costos de oportunidad (por ejemplo, actividades con un costo inferior a 6.0 US\$/tCO<sub>2</sub>), como se muestra en los escenarios potenciales para Chiapas desarrollados por Paz *et al.* (2012), un ejemplo de los cuales se presenta en la Figura 4, donde cada punto representa una actividad.



**Figura 4. Ejemplo de escenario de mitigación de emisiones para Chiapas para REDD+, sólo deforestación y sólo degradación forestal (Fuente: Paz *et al.*, 2012).**

Las actividades que presentaron mayores costos de oportunidad positivos fueron las relacionadas con el manejo forestal sustentable y la reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal. El incremento de almacenes de carbono, por el contrario, presenta costos de oportunidad negativos.

Para los costos de implementación y transacción se tomó la opción más barata y la más cara, con el fin de tener un panorama amplio (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Costos de implementación y transacción (OT) de los escenarios REDD+ y AP.**

Región	REDD+		AP	
	OT <sub>mínimo</sub>	OT <sub>máximo</sub>	OT <sub>mínimo</sub>	OT <sub>máximo</sub>
Selva Maya	21 687 811.3	81 329 292.3	10 201 184.0	39 568 707.4
Selva Zoque	7 891 792.3	29 594 221.0	8 119 821.9	29 385 880.0
Soconusco	2 962 064.5	11 107 741.8	3 067 778.4	11 390 578.8
Llanura Costera	2 708 956.3	10 158 586.1	4 766 579.3	16 347 796.3
Depresión Central	3 333 927.0	12 502 226.4	4 147 549.1	35 084 513.3
Montañas del Norte	4 943 949.5	18 539 810.6	2 230 229.6	9 419 790.0
Altos	16 817 199.4	63 064 497.6	4 118 329.0	22 185 565.2
Sierra Madre	16 148 825.4	60 558 095.2	10 970 440.6	44 301 768.0

Teniendo en cuenta los datos anteriores, el costo total del escenario REDD+ estaría entre 2.2 y 3.3 US\$/tCO<sub>2</sub> (Costos de oportunidad + Otros costos). Los costos del escenario AP estimados están entre 1.0 y 4.4 US\$/tCO<sub>2</sub>. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que las estimaciones de los costos de implementación y transacción se basaron principalmente en datos tomados a escala de proyecto (Boucher, 2008; White y Minang, 2011), pero es importante señalar que, bajo la consideración de economías de escala a nivel estatal, estos costos pueden reducirse fuertemente.

mejora y uso generalizado. Los METs ayudan, entre otras cosas, a visualizar qué componentes de REDD+ o del escenario RETUS son los más adecuados en términos de evitar emisiones/incrementar almacenes y, también, en términos financieros, e incluso socioeconómicos.

Por otra parte, los potenciales de mitigación obtenidos en los escenarios muestran que el estado de Chiapas tiene un gran potencial para la implementación de estrategias REDD+ y de incremento de almacenes de carbono en el sector AFOUS que permitan disminuir las emisiones de GEI relacionadas con este sector.

## CONCLUSIONES

El planteamiento de escenarios de mitigación en esquemas jurisdiccionales es fundamental para evaluar, por una parte, la posibilidad de alcanzar metas preestablecidas o para tener datos que permitan establecer metas alcanzables y, por otra parte, para conocer los costos o el balance costos/beneficios de diferentes alternativas de actuación, con el fin de poder tomar decisiones de política pública informadas y con mayores garantías de éxito.

La utilización de herramientas de planeación como los modelos de estados y transiciones para generar escenarios utilizando información local debe ser impulsada, destinando financiamiento público para su

## LITERATURA CITADA

- Adame, M. F., N. S. Santini, C. Tovilla, A. Vázquez L., L. Castro and M. Guevara. 2015. Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences* 12:3805-3818.
- Aguillón, J., M. Olguín, T. Arias, V. Berrueta, G. Colunga, J. Etchevers, C. García, A. Ghilard, R. Gosch, G. Guerrero, B. de Jong, O. Masera, M. Pareja, M. Prehn, O. Probst, E. Riegelhaupt, E. de los Ríos and J. A. Tinoco. 2009. Agriculture, forestry, and bioenergy. En: Johnson, T. M., C. Alatorre, Z. Romo y F. Liu (coord.). México: Estudio sobre la disminución de carbono. The International Bank for Reconstruction and Development - The World Bank. Washington D. C., USA. (Consulta: octubre 26, 2017).
- Alayón, J. A., G. Jiménez F., J. Nahed y G. Villanueva. 2016. Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio

- climático en sistemas ganaderos del Sur de México. *Agroproductividad* 9(9):10-15.
- Boucher, D. 2008. *Out of the Woods: A realistic role for tropical forests in curbing global warming*. Washington: Union of Concerned Scientists. [http://www.ucsusa.org/assets/documents/global\\_warming/UCS-REDD\\_Boucherreport.pdf](http://www.ucsusa.org/assets/documents/global_warming/UCS-REDD_Boucherreport.pdf).
- Castillo, M. A., B. de Jong, V. Maldonado, F. Rojas, M. Olguín, V. de la Cruz, F. Paz y G. Jiménez. 2010. Modelo de deforestación para el estado de Chiapas. Informe técnico preparado para Conservación Internacional México A. C.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2013. Estrategia para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad del estado de Chiapas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D. F., México.
- CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). 2014. Chiapas, pobreza estatal 2014. <http://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Chiapas/Paginas/pobreza-2014.aspx>.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2016. Documento de la Iniciativa de Reducción de Emisiones. <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/iniciativa-de-reduccion-de-emisiones/>.
- Covalada, S., F. Paz y B. De Jong. 2010. Modelos de estados y transiciones para los almacenes de carbono en las principales regiones de Chiapas. Reporte de estancia postdoctoral en El Colegio de la Frontera Sur y el Colegio de Postgraduados.
- Covalada, S., F. Paz y B. de Jong. 2012a. Modelo genérico de estados y transiciones para los cambios en los almacenes de carbono en ecosistemas templados de Chiapas. pp. 356-363. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y el Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-715-085-5.
- Covalada, S., F. Paz y B. de Jong. 2012b. Modelos de estados y transiciones: una herramienta para la planificación de estrategias REDD+. pp. 773-739. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y el Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-715-085-5.
- Covalada, S., S. Aguilar, A. Ranero, M. I. Marín y F. Paz. 2014. Diagnóstico sobre determinantes de deforestación en Chiapas. Informe técnico preparado para la Alianza MREDD+. <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/items/show/176>.
- Covalada, S., F. Paz y A. Ranero. 2016. Carbono edáfico en Chiapas: planteamiento de políticas públicas de mitigación de emisiones. *Terra Lationamericana* 34(1):97-112.
- de Jong, B. H. J., F. Rojas, M. Olguín, V. de la Cruz., F. Paz, G. Jiménez y M. A. Castillo. 2010. Establecimiento de una línea base de las emisiones actuales y futuras de gases de efecto invernadero provenientes de agricultura, silvicultura y otros usos del suelo. Informe final de consultoría para Conservación Internacional México A. C.
- Eagle, A. J., L. R. Henry, L. P. Olander, K. Haugen K., N. Milla and G. P. Robertson. 2011. Greenhouse gas mitigation potential of agricultural land management in the United States, a synthesis of the literature. Technical Working Group on Agricultural Greenhouse Gases (T-AGG) Report. Second Edition. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Duke University. Durham, EUA.
- Etchevers, J. D., C. M. Monreal, C. Hidalgo, M. Acosta, J. Padilla y R. M. López. 2005. Manual para la determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas. Colegio de Postgraduados. México.
- GAIA. 2013. Visión REDD+ estado de Chiapas. Construcción de una visión colectiva para la implementación de la estrategia REDD+ en el estado de Chiapas: Causas de deforestación y degradación de los bosques, puntos para la acción. Informe técnico preparado para el Gobierno del Estado.
- Gobierno de Chiapas. 2012. Quinto informe de gobierno: eje 4-gestión ambiental y desarrollo sustentable. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Goldstein, A. and F. Ruef. 2016. View from the Understory. State of Forest Carbon Finance 2016. [http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_5388.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_5388.pdf).
- Jiménez, F. G., L. Soto P., E. Pérez L., J. C. Kú V., A. Ayala B., G. Villanueva L. y A. Alayón G. 2015. Ganadería y cambio climático: avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 15(30):51-70.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Tabulados de la encuesta intercensal 2015. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=33725&s=est>.
- Libert, A., J. C. Wong y F. Paz. 2017. Impacto de la roya del café en los almacenes de carbono en la Sierra Madre de Chiapas. pp. 219-225. En: Paz, F. y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2016. Programa Mexicano del Carbono y Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.
- López, S. 2013. Informe final de los talleres regionales de consulta. Consulta e integración de la visión REDD+ y adaptación al cambio climático en el sector rural de Chiapas. Informe técnico

- preparado para el Banco Interamericano de Desarrollo y la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural de Chiapas.
- McKenzie, E., A. Rosenthal, J. Bemhardt, J. Girvetz, K. Kovacs, N. Olwero and J. Toft. 2012. Developing scenarios to assess ecosystem service tradeoffs: guidance and case studies for InVEST users. World Wildlife Fund, Washington, D. C.
- Paz, F., S. Covalada y B. de Jong. 2015. Modelos de la dinámica temporal del carbono orgánico de los suelos asociada a cambios de uso del suelo en ecosistemas forestales. pp. 363-368. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional – Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Mérida, México.
- Paz, F., S. Covalada, A. Ranero, X. Ugarte, E. Esquivel, M. I. Marín, R. Cuevas, B. H. J. de Jong y J. D. Etchevers. 2012. Estudio de factibilidad para el mecanismo REDD+ en Chiapas. Informe final preparado para Conservation International México. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Paz, F., C. Cruz y J. Argumedo. 2011. Elementos temáticos para la caracterización del carbono a escala local en Chiapas, Jalisco y la región del Cutzamala. pp. 288-295. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y el Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México.
- Paz, F., C. O. Cruz, D. E. Chapa, J. Argumedo, J. Rosales y V. M. Romero. 2010a. Procedimiento de extracción, edición y validación de datos auxiliares en la cobertura terrestre de Chiapas. Documento de trabajo GRENASER-COLPOS. Montecillo, México. 27 p.
- Paz, F., C. O. Cruz, J. Argumedo, M. I. Marín y J. Etchevers. 2010b. Documento de referencia del carbono orgánico en el suelo (COS), en el estado de Chiapas. Anexo 2 del Informe final consultoría para Conservación Internacional México A. C. 37 p.
- Paz, F., M. I. Marín, E. R. Medrano, F. Ibarra y F. Pascual. 2010c. Elaboración de mapas multitemporales de bosque, a partir de imágenes LANDSAT, TM y ETM+ y análisis de la degradación forestal y deforestación en Chiapas. Informe técnico preparado para Conservation International México A.C.
- Peters, S. M., G. González and D. Yin. 2013. Covering new ground: state of the forest carbon markets 2013. <http://www.forest-trends.org/documents/files/SOFCM-full-report.pdf>.
- PACCCH. (Programa de Acción ante el Cambio Climático del estado de Chiapas) 2011. <http://www.cambioclimaticochiapas.org/portal/descargas/paccch/paccch.pdf>.
- SEMARNAT-CONAFOR (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional Forestal). 2014. Inventario estatal forestal y de suelos - Chiapas 2013. Colección de Inventarios Estatales Forestales y de Suelos 2013-2014. México D. F., México.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Anuario estadístico de la producción agrícola. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/ientidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Anuario estadístico de la producción agrícola. [http://nube.siap.gob.mx/cierre\\_agricola/](http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/).
- Soto, P. L., B. de Jong, G. Jiménez F. and E. Esquivel B. 2007. Exploring the potential of agroforestry and tree plantations as carbon storage systems. APANews 31:10-12.
- Soto, P. L. and C. M. Aguirre D. 2015. Carbon stocks in organic coffee systems in Chiapas, Mexico. Journal of Agricultural Science 7(1) DOI:10.5539/jas.v7n1p117.
- Stringham, T. K., W. C. Krueger and P. L. Shaver. 2001. States, transitions and thresholds: further refinement for rangeland applications. Special Report 1024. Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis OR, USA.
- Under2Mou. 2015. Memorandum de entendimiento (Mou) en materia de liderazgo mundial ante el cambio climático. <http://under2mou.org/wp-content/uploads/2015/04/Under-2-MOU-Spanish.pdf>.
- Vaca, R. A., D. J. Golicher, L. Cayuela, J. Hewson and M. Steininger. 2012. Evidence of incipient forest transition in Southern Mexico. PLoS ONE 7(8):e42309 DOI:10.1371/journal.pone.0042309.
- White, D. y P. Minang. 2011. Estimación de los costos de oportunidad de REDD+ Manual de capacitación. Versión 1.3. Banco Mundial. Washington, D. C., USA.

# ESTRUCTURA ANIDADA DE ACTIVIDADES PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DE OPORTUNIDAD PARA REDD+ Y RETUS

## NESTED ACTIVITIES STRUCTURE FOR REDD+ AND REALU OPPORTUNITY COSTS ESTIMATION

Marcos Casiano Domínguez<sup>1†</sup> y Fernando Paz Pellat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa Mexicano del Carbono, Chiconautla No. 8. Col. Lomas de Cristo, CP 56230, Texcoco, Estado de México.

<sup>2</sup>GRENASER, Colegio de Postgraduados, Km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230.

<sup>†</sup>Autor para correspondencia: cadox77@gmail.com

### RESUMEN

Considerando los retos de ligar las diferentes escalas de representación de la información disponible en México, en este trabajo se propone una estructura de anidación de actividades agropecuarias y forestales que compiten con la permanencia del bosque en el Estado de México, a partir de la clasificación jerárquica de la vegetación utilizada por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su cartografía de uso de suelo y vegetación (escala 1:250 000), adaptada a la del Programa Mexicano del Carbono (escala 1:50 000), para que operen mecanismos efectivos de incentivos para reducir la emisión de gases efecto invernadero producidos por la deforestación y la degradación forestal a múltiples escalas, así como los incrementos de los almacenes de carbono y el manejo forestal. La estructura agiliza el análisis de cambio de contenidos carbono mediante modelos de estados y transiciones (METs), al tiempo que los costos de oportunidad de manera anidada permiten diseñar políticas efectivas para operar medidas de mitigación bajo esquemas REDD+ o RETUS a cualquier escala.

**Palabras clave:** jerarquía multiescala; Estado de México; actividades agropecuarias y forestales; modelo de estados y transiciones.

### ABSTRACT

Considering the challenges of linking the different scales of representation of the information available in Mexico, this paper proposes a nesting structure for agricultural and forestry activities that compete with the permanence of the forest in the State of Mexico, based on the hierarchical classification of the vegetation used by the National Institute of Statistics and Geography (INEGI) in its mapping of land use and vegetation (1: 250 000 scale), adapted to that of the Mexican Carbon Program (1:50 000 scale), for them to operate effective incentive mechanisms to reduce the emission of greenhouse gases produced by deforestation and forest degradation at multiple scales, as well as increases in carbon stocks and forest management. The structure streamlines the analysis of change of carbon content through state and transitions models (STMs), while the opportunity costs in a nested manner allow designing effective policies to operate mitigation measures under REDD + or REALU schemes at any scale.

**Index words:** multiscale hierarchy; State of Mexico; agriculture and forestry activities; states and transitions model.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), dados los almacenes y las tasas anuales de emisión, es la estabilización de la abundancia del CO<sub>2</sub> y de otros gases de efecto invernadero (GEI) para mitigar el riesgo de calentamiento global. Para lograr este objetivo se tienen que reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O al tiempo que se compensan mediante el secuestro de carbono en suelos y otros ecosistemas terrestres y acuáticos continentales (Richardson *et al.*, 2009). Una estrategia de reducción de emisiones de GEI en discusión y negociación en los últimos años es el mecanismo REDD+ (reducción de las emisiones provenientes de la deforestación y la degradación forestal, así como la consideración de la conservación, el incremento de los almacenes de carbono y el manejo forestal sustentable).

REDD+ es un término general referido a una política internacional y un mecanismo de financiamiento que posibilita asignar recursos económicos para la conservación y/o establecimiento de bosques y la adquisición y venta a gran escala de bonos de carbono de origen forestal. Debido a que los fondos para REDD+ se canalizan a través de los gobiernos nacionales, los países deben decidir cómo priorizar los programas y distribuir los beneficios; es decir, atender la contabilidad del carbono y la asignación de recursos. Por lo tanto, uno de los temas clave dentro de REDD+ es la creación de un esquema de “pagos por servicios ambientales” (PSA) o bien, la determinación de costos relacionados con las emisiones reducidas a múltiples niveles (subnacionales, nacionales e internacionales) (Angelsen, 2009).

El Enfoque Anidado (EA) de actividades, bajo el contexto de REDD+ (Cortez *et al.*, 2010) y RETUS (reducción de emisiones de todos los usos del suelo), es una propuesta que estructura mecanismos efectivos de incentivos para reducir la emisión de GEI producidos procesos que operen en múltiples escalas; es decir, que permita incentivar acciones tempranas a nivel local y, posteriormente, insertarlas en esquemas más amplios, ya sea de gobiernos estatales, o bien, directamente a una integración nacional, una vez que estos estén completamente desarrollados (Angelsen *et al.*, 2008, Cortez *et al.*, 2010).

Para poder implementar un enfoque multiescala o EA para REDD+ y RETUS, como primera aproximación, es necesario desarrollar esquemas que

vinculen la información disponible en el país, tanto en términos de carbono y emisiones de GEI, como de costos de oportunidad asociados a cambios en los usos del suelo, en una forma espacialmente explícita. La tarea es compleja, dado que la información de usos del suelo y vegetación (USyV) parte de una clasificación que en su nivel más desagregado tiene múltiples actividades productivas o de manejo a la escala local, lo que genera fuentes de incertidumbre altas (Paz, 2015).

En este artículo se presenta una propuesta de una estructura de anidación de actividades agropecuarias y forestales que compiten con la permanencia del bosque en el Estado de México, a partir de la clasificación jerárquica de la vegetación utilizada por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su cartografía de uso de suelo y vegetación (1:250 000).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El trabajo se realizó en el Estado de México como parte del proyecto RETUS con BASES (Reducción de Emisiones de Todos los Usos del Suelo con Biodiversidad Armonizada a Servicios Ecosistémicos con impacto Socioeconómico) del Programa Mexicano del Carbono (PMC). El Estado de México se ubica en la porción central de la República Mexicana, dentro de las coordenadas geográficas extremas: al norte 20° 17' y al sur 18° 25' de latitud N; al este 98° 33' y al oeste 100° 28' de longitud O, además de una altitud que varía entre los 1330 y 2800 m en los 125 municipios que lo constituyen. Presenta una colindancia al norte con Querétaro, al este con Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Ciudad de México, al sur con Morelos y Guerrero y, al oeste, con Guerrero y Michoacán.

La extensión territorial que ocupa el estado asciende a 22 499.95 km<sup>2</sup>, lo cual representa el 1.1% del territorio nacional. Está compuesto de una cobertura vegetal de 28% bosques, 6% selvas, 14% pastizales, 47% agricultura, 1% matorral y 4% otros. Con 16 187 608 habitantes es el estado más poblado, con una densidad de 655.9 habitantes/km<sup>2</sup> (INEGI, 2015).

### Estructura espacial de anidación: Niveles de anidación 1 al 4

De acuerdo con Angelsen *et al.* (2008) y Cortez *et al.* (2010); las actividades subnacionales de REDD+ podrían abarcar áreas tan grandes como biomas enteros

(e.g. Amazonía en Brasil), provincias, estados o regiones subnacionales que no correspondan a límites políticos y unidades territoriales más pequeñas bajo proyectos específicos, como territorios indígenas, áreas protegidas, concesiones forestales y áreas privadas. En este sentido, para el presente trabajo, el concepto de “anidar” actividades locales se visualizó como una “matrioska” (muñeca rusa de madera, que tiene en su interior otra muñeca igual pero más pequeña y así sucesivamente, hasta llegar a la muñeca más pequeña y sólida).

Las unidades cartográficas de uso de suelo y vegetación no atienden a límites administrativos y, en su escala más pequeña (escala 1:50 000), ofrecen la ventaja de vincularse a las actividades de producción, de tal forma que se establezca correspondencia espacial hacia una integración vertical en escalas menores y mayores; es importante tener presente que, pese a que pueden cambiar en el tiempo (cambios por deforestación o degradación forestal), siempre estarán contenidas en los límites administrativos (e.g. municipal, estatal, regional y nacional). El análisis preliminar de la estructura jerárquica de clasificación de la vegetación, que acompaña a las series cartográficas de uso del suelo y vegetación (escala 1:50 000) generados por el PMC, armonizados a las series del mapa de vegetación y uso del suelo del INEGI (escala 1:250 000) para las Series III (PMC, 2015a), IV (PMC, 2015b), V (PMC, 2015c) y VI (PMC, 2015d), mostró que el diseño conceptual de clasificación en relación a la del INEGI (2009) difiere solo entre las series II y III, por lo que para continuar, se realizó una estandarización de los conceptos de clasificación de la vegetación conforme a la *Guía para la interpretación de la cartografía uso de suelo y vegetación de la Serie III* (INEGI, 2009).

Con base en la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación (USyV) Serie VI (PMC, 2015d); en el Estado de México se reconocieron 63 agroecosistemas y tipos de vegetación, de los cuales la agricultura de temporal de ciclo anual es la que mayor superficie ocupa (~500 000 ha), seguida de la vegetación primaria de pastizal inducido (~390 000 ha). A partir de las 63 clases y de acuerdo con la guía del INEGI (2009), se establecieron cuatro niveles de anidación cuya característica principal es su factibilidad de representación cartográfica.

El nivel 1 (N1), se refiere a las “Entidades de vegetación” o “Tipo de información”. En estos conceptos se definen los grandes grupos de información de USyV, de acuerdo con sus afinidades y similitud de usos. Se agrupan en: Información ecológica-florística-

fisonómica, Información agrícola-pecuaria- forestal e Información complementaria.

El nivel 2 (N2), se refiere a los “Grandes grupos de vegetación” y se muestran como ecosistemas vegetales agrupados de acuerdo con el sistema de clasificación propuesto por Rzedowski (1978), adaptado por INEGI. La base de esta agrupación es con base en las afinidades ecológicas de los diferentes tipos de vegetación. Las agrupaciones consideradas son: Bosque de coníferas, Bosque de encino, Bosque mesófilo de montaña, Selva perennifolia y subperennifolia, Selva caducifolia y subcaducifolia, Pastizal, Matorral xerófilo, Vegetación hidrófila y Vegetación inducida.

Los diferentes tipos de vegetación (nivel 3, N3) que se presentan en esta información se encuentran agrupados en diferentes tipos de ecosistemas vegetales. Su agrupación se basa en afinidades ecológicas, florísticas y fisonómicas, considerando que éstas se agrupan en primera instancia por cuestiones climáticas, aunque en ocasiones los aspectos geológicos y topográficos adquieren especial relevancia. Otro aspecto que considera el sistema de clasificación es lo que se denomina “Desarrollo de la Vegetación” que agrupa a la vegetación por su grado de perturbación, tanto por causas naturales o antropogénicas, de tal manera que se habla de vegetación primaria o no perturbada y, secundaria, que es aquella que debido a alteraciones diversas se ha modificado y presenta un proceso de sucesión.

El nivel 4 (N4) denominado “Agroecosistemas y Tipos de vegetación”, incluye los diferentes sistemas con manipulación del hombre y está formado por una cubierta de vegetación con manejo. Se consideran las diferentes agrupaciones vegetales que se presentan en México, incluidas las áreas sin vegetación. En este grupo se encuentran las siguientes áreas: Agrícolas, que son aquellas con producción de cultivos de uso humano, ya sea nutricional, forrajero, ornamental o industrial; Pecuaria, que son lugares con explotación ganadera, intensiva o extensiva, para la obtención de productos como carne, leche, huevo, etc.; Forestal, que son aquellas dedicadas al manejo de especies forestales cultivadas *ex profeso*, o bien, manejadas para la obtención de productos como madera, aceites, entre otros.

### Niveles 5 y 6: Actividades que compiten con los bosques

Los costos de oportunidad son la base para el pago por servicios ambientales que brindan los ecosistemas,

incluido el carbono. El pago por servicios ambientales es uno de los mecanismos que generan incentivos para la conservación y su consiste en pagar al propietario por mantener su tierra con uso de suelo forestal. Para determinar el monto del pago es necesario estimar la utilidad que le generaría al propietario utilizar su tierra en actividades alternativas, como las agrícolas, pecuarias, industriales, urbanas, etc. (White y Minang, 2011). La utilidad que se obtiene en cada caso, representa el costo de oportunidad de mantener sus tierras con bosque y, el resultado de la diferencia entre ese monto y lo que obtendría el dueño de la tierra por llevar a cabo actividades económicas sustentables en áreas de uso forestal (*e.g.* ecoturismo, recolección y venta de hongos silvestres, actividades cinegéticas, etc.), es la cantidad que se abonaría como pago por el servicio ambiental: Pago por Servicio Ambiental = Costos de Oportunidad – Ingresos por Actividades Económicas del Uso Actual (Jaramillo, 2002).

El problema de fijar una cuota de pago por servicios ambientales (PSA) con base en los costos de oportunidad y la utilidad que genera una actividad de producción, radica en la heterogeneidad de los procesos de producción que reflejan distintos márgenes de utilidades, por lo que no existe un solo monto de PSA (de Jong *et al.*, 2000), además, la evaluación de recursos financieros invertidos en medidas de reducción de emisiones por degradación y deforestación forestal bajo cualquier esquema de PSA (REDD+ o RETUS), requiere informes rápidos y espacialmente explícitos que operen en múltiples escalas (Paz, 2009).

Para establecer la base del PSA (costos de oportunidad), se investigaron las actividades actuales de producción agropecuaria y forestal que compiten con la permanencia de los tipos de vegetación natural, particularmente, el bosque en el nivel municipal, en donde es posible obtener información de producción y socioeconómica. Desde esta perspectiva, se buscó que las características de actividades agropecuarias y forestales permitieran parearse con las etiquetas de la cartografía del PMC, correspondientes al nivel 4 (Agroecosistemas y Tipos de vegetación), bajo el proceso de “anidación”. A esta lista de actividades se les denominó Nivel 5 (N5) o “Sistema-Producto”.

Los Sistema-Producto agrícolas para el Estado de México se identificaron y etiquetaron de acuerdo con el codificador de actividades vigentes del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) de México (SAGARPA-SIACON, 2013).

Con base en la información agroestadística de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de México (SEDAGRO) y del SIAP, las actividades o Sistemas-Producto pecuarios (no estabuladas) que compiten con la permanencia del bosque son: bovinos de leche y carne, ovinos de carne y caprinos de carne.

El sector forestal en el Estado de México tiene una variedad de aprovechamientos que van desde los no maderables, maderables (legal e ilegal), hasta el pago por servicios ambientales (GEM, 2007). La cacería ocasional, junto con el aprovechamiento de otros Productos Forestales No Maderables (PFNM), como los hongos, forman parte de la estrategia alimentaria y de subsistencia de los productores rurales de las zonas boscosas del país (Estrada-Martínez *et al.*, 2009; Mariaca *et al.*, 2001; Villarreal-Ruiz y Pérez-Moreno, 1989). En el presente trabajo no se consideraron las actividades o productos no maderables, debido al limitado conjunto de datos, listado de productos y, estadísticas claras, sobre producción y rentabilidad financiera, así como de inventarios regionales sobre aprovechamiento, datos de comercialización y volúmenes de venta (Benítez-Badillo *et al.*, 2013).

La principal fuente de información en el país sobre la producción maderable nacional es el Anuario Estadístico de la Producción Forestal que edita la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2009), que registra cifras estrictamente relacionadas a la cosecha maderable oficial que se obtiene de los bosques y selvas del país (SEMARNAT, s.f.). Dada la integridad de los datos estadísticos de producción y comercialización, solo se incorporó el Sistema producto de aprovechamiento forestal maderable para el N5.

La estimación de costos de oportunidad requiere de los siguientes datos: (1) tipo de producto, (2) unidades de rendimiento (*e.g.* ton/ha, m<sup>3</sup>/ha, manojos/ha, etc.) y (3) precios de venta por unidad de rendimiento. Para los Sistema-Producto agropecuarios, los datos se obtuvieron de publicaciones en línea de la página electrónica de SIAP para el periodo 2000-2009. En el Sistema-Producto Madera, los precios de venta están en función de los tipos de producto: trocería, medidas comerciales, cortas dimensiones, celulósicos y leña o astilla, así como a las formas de comercialización: venta en pie, libre abordó en brecha y puesto en aserradero. Los volúmenes de producción y precios de venta de la madera comercial para el Estado de México se consultaron en línea (CONAFOR, s.f.).

La estimación de costos de oportunidad requiere datos de costos de producción por unidad de

rendimiento. La diferencia entre los volúmenes de venta por unidad de rendimiento y los costos de producción, permiten estimar las utilidades, siendo éstas los costos de oportunidad.

En el caso de las actividades agrícolas, los costos de producción no sólo están relacionados con las modalidades de régimen de humedad y su temporalidad (anuales, perennes o semiperennes), sino que presentan diferencias en el uso de equipos, instrumentación, infraestructura y otros activos complementarios, tales como soluciones de gestión y modelos de producción que, en conjunto, reciben el nombre de Paquetes Tecnológicos (PT). De esta forma, los Sistemas-Producto se reclasificaron en “Procesos de Producción” con base en el nivel tecnológico (paquetes tecnológicos).

A esta nueva clasificación se le denominó nivel 6 (N6).

Los paquetes tecnológicos de los Procesos de Producción se integraron por conceptos y rubros, por ejemplo: preparación de terreno, fertilización, siembra, control de plagas y cosecha, para el caso de las actividades agrícolas o, de pre-aprovechamiento, aprovechamiento y post-aprovechamiento, en el caso del aprovechamiento forestal maderable.

La suma total de los costos asociados a los conceptos, actividades, insumos y gastos diversos en cada rubro de producción, colocados en cada paquete tecnológico, representó el costo total de producción (Figura 1). Se consideró que el costo de total de producción es un dato “indicativo” a escala de una hectárea, omitiendo las ventajas de las economías de escala.

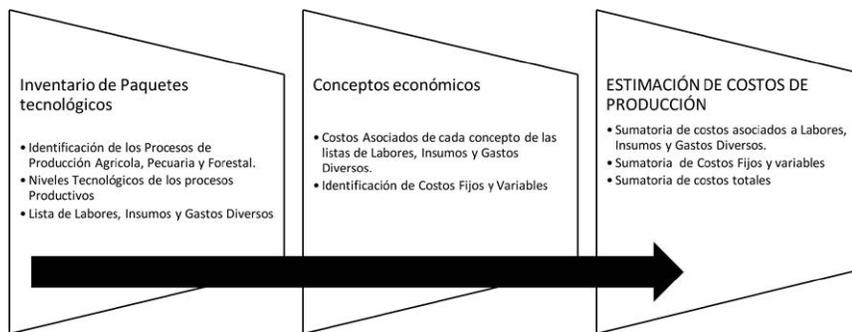


Figura 1. Proceso de estimación de los costos de producción.

Es importante aclarar que los costos de producción para el aprovechamiento forestal no se reportan por hectárea, sino en m<sup>3</sup>, en función de la posibilidad anual.

Los PT de las actividades agropecuarias se obtuvieron mediante consulta bibliográfica y electrónica de instituciones como el SIAP, de las que se obtuvieron paquetes tecnológicos para 32 actividades agrícolas, con seis tecnologías cada una. Del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y tesis de diferentes departamentos de investigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), se obtuvo información para tres Sistemas-Producto pecuarios con cuatro tecnologías; en tanto que para el Sistema-Producto madera, la principal fuente de información sobre paquetes tecnológicos fueron la Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2011) y el Colegio y Asociación de Profesionistas Forestales del Estado de México.

Los costos de producción faltantes, así como la actualización de rubros de conceptos económicos de los PT se estimaron por hectárea mediante una

encuesta adaptada del “Cuestionario para determinar los costos de producción AGRÍCOLA vía información administrativa” de SAGARPA-SNIDRUS (Ver. 05-11/03/08). El cuestionario se compone de 14 hojas y se complementa con un catálogo de labores, en donde se describe en qué consiste cada una, así como aquellas que pudieran ser agregadas. El documento está diseñado únicamente para obtener los datos que resultan imprescindibles para estimar los costos de producción. Las encuestas fueron aplicadas a 65 productores para obtener datos de ocho PT agrícolas, tres PT pecuarios y tres PT forestales.

### Proceso de anidación

Los procesos de producción caracterizados por su nivel tecnológico (N6) son una subdivisión de los Sistemas-Producto (N5), por lo que esta correspondencia se consideró como el primer nivel de anidación: el N6 contenido en el N5.

Los Sistemas-Producto, particularmente los agrícolas, cuentan con especificaciones de temporalidad

(anual, perenne y semi-perenne) y del régimen de humedad (riego, temporal y punta de riego o de humedad), estas características se aprovecharon para parrear los Sistemas-Producto con las etiquetas de agroecosistemas establecidas por INEGI y utilizadas en el N4 y, de esta forma, conseguir que el N5 quedara anidado en el N4. Los Sistemas-Producto pecuarios dados sus características de tecnología de producción extensiva o semi-extensiva (N5), se vincularon a tipos de vegetación de pastizal o praderas inducidas, matorrales y a la vegetación secundaria de bosques.

En la perspectiva forestal, el Estado de México ha alcanzado una superficie de 97 811 ha bajo manejo forestal y 307 000 ha potencialmente susceptibles de

aprovechar sustentablemente (PROBOSQUE, 2010). De acuerdo con en el Inventario Forestal Estatal del Estado de México para el 2010 (PROBOSQUE, 2010), los Sistema-Producto Madera se anidaron en las etiquetas de bosques primarios y de vegetación secundaria arbórea (N4), con lo que se consiguió anidar el N5 en el N4 únicamente en los municipios donde PROBOSQUE ha reportado actividad de aprovechamiento forestal. El N4 se anidó en el N3, denominado “Tipos de vegetación”, el cual a su vez se anidó en el nivel de “Grupos de vegetación” (N2). Finalmente, el N1, llamado “Entidades de vegetación”, que es el nivel más genérico espacialmente hablando, se anido al N1(Figura 2).

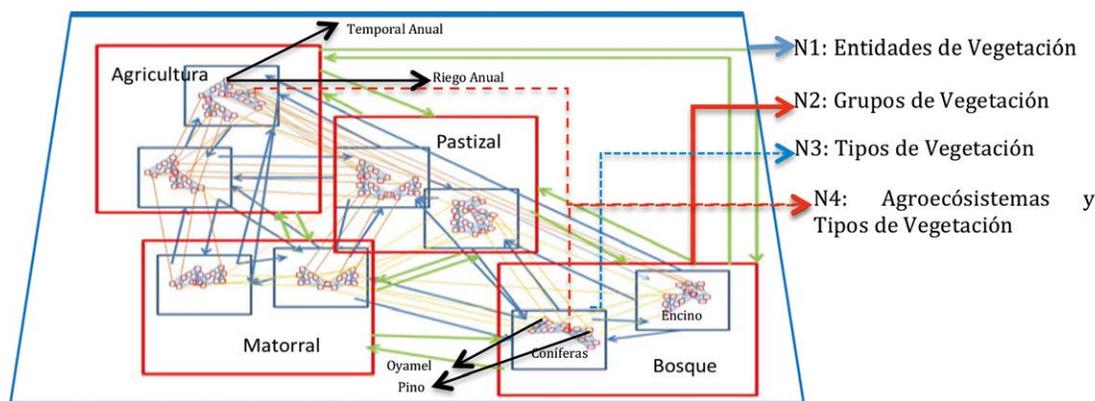


Figura 2. Niveles de anidación de clasificación jerárquica de la vegetación en la cartografía PMC-INEGI.

### Modelos de Estados y Transiciones (MET's) para el monitoreo de carbono

La implementación de mecanismos REDD+ o RETUS requieren de las estimaciones de emisiones asociada a cambios de usos del suelo, tanto bruscos (e.g. deforestación) como graduales (e.g. degradación forestal y de otro tipo de vegetación), por lo que es necesario el desarrollo de modelos de la dinámica del carbono, que reflejen las ganancias y pérdidas en el tiempo al implementar acciones de intervención a nivel local. Los modelos deben considerar tiempos de paso anuales y periodos de al menos 30 años, que es la vigencia máxima de contratos con ejidos y comunidades.

Una forma simplificada de modelos son los METs (Modelos de Estados y Transiciones) (Paz, 2009; Covalada *et al.*, 2012a y b; 2013), que capturan la dinámica temporal del carbono asociada a un cambio del Estado Inicial al Estado Final (Paz, 2012; Paz y Covalada, 2015; Paz *et al.*, 2015).

La propuesta para la generación de METs genéricos en el Estado de México, fue aprovechar las etiquetas correspondientes a cada nivel jerárquico de clasificación de la vegetación y uso del suelo que definen los estados iniciales o finales de los METs. Para el presente trabajo, los estados iniciales se establecieron conforme a las etiquetas de cada nivel jerárquico a partir de la Serie V de uso de Suelo y vegetación (PMC, 2015c), en tanto que para los estados finales se utilizaron los de la Serie VI (PMC, 2015d). Los esquemas de los METs se construyeron para cada nivel de la estructura. Los detalles para el desarrollo de los METs pueden verse en Paz (2009) (ver también Bestelmeyer *et al.*, 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El esquema general de la estructura de anidación con seis niveles se presenta en la Figura 3. Para las actividades agrícolas, las especificaciones de riego, los tipos de semilla o plantas (criollas o mejoradas) y el uso de fertilizante, determinan la tecnología con la que

se realiza el proceso productivo (N6). En éste trabajo se identificaron 12 tecnologías, de las cuales, algunas o todas pueden estar disponibles para un solo Sistema-Producto (N5); por ejemplo, para el Sistema-Producto de maíz de grano existen hasta 12 tipos de tecnologías o procesos de producción (N6) mediante los que se puede llegar a obtener el producto final (Cuadro 1), en tanto que para el Sistema-Producto amaranto solo se identificó un proceso de producción denominado TCF (Temporal, semilla criolla y con fertilizante).

Para el N5, que se refiere a Sistemas-Producto, en el Estado de México se contabilizaron 39 agrícolas,

tres pecuarios y tres forestales. La clasificación de los procesos de producción por nivel tecnológico se realizó para los 39 sistemas-producto identificados para el Estado de México (Cuadro 2). Cada proceso de producción cuenta con datos de costos de producción y de utilidad o rentabilidad (Cuadro 3). Los costos de producción y utilidades para actividades agrícolas anuales en el ciclo de producción primavera-verano que se presentan en el Cuadro 3, representan un extracto para un segmento de producción agrícola y, por razones de espacio, no se muestran los datos correspondientes a los procesos de producción pecuaria y forestal.

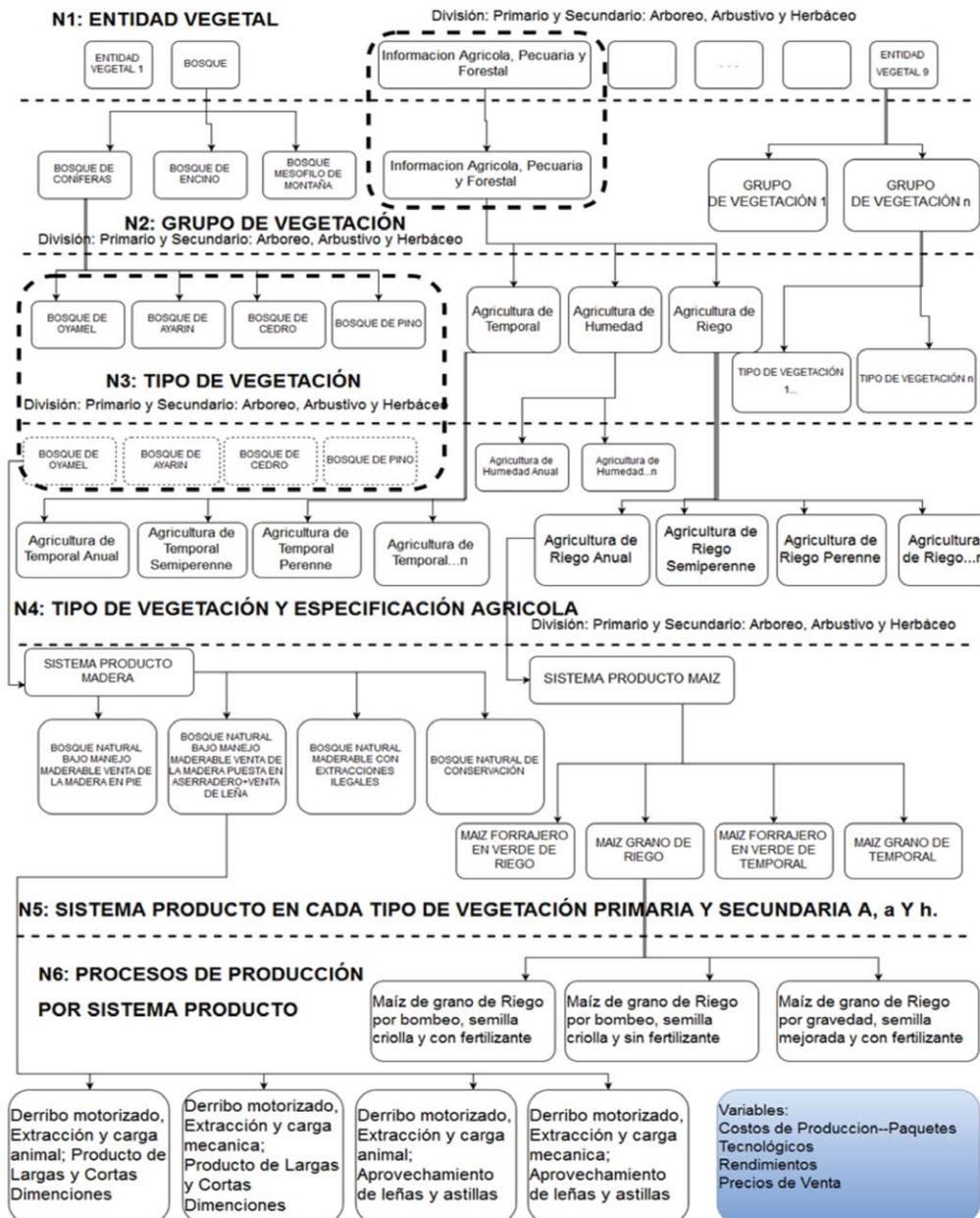


Figura 3. Proceso de estimación de los costos de producción.

**Cuadro 1. Tipos de tecnologías para la producción para maíz de grano.**

Sistema-Producto	Clave tecnológica	Tecnología	Descripción
Maíz grano riego	156	BCF	Riego por bombeo, semilla criolla y con fertilizante
	157	BCS	Riego por bombeo, semilla criolla y sin fertilizante
	146	BMF	Riego por bombeo, semilla mejorada y con fertilizante
	147	BMS	Riego por bombeo, semilla mejorada y sin fertilizante
Maíz grano riego	256	GCF	Riego por gravedad, semilla criolla y con fertilizante
	257	GCS	Riego por gravedad, semilla criolla y sin fertilizante
	246	GMF	Riego por gravedad, semilla mejorada y con fertilizante
	247	GMS	Riego por gravedad, semilla mejorada y sin fertilizante
Maíz grano temporal	356	TCF	Temporal, semilla criolla y con fertilizante
	357	TCS	Temporal, semilla criolla y sin fertilizante
	346	TMF	Temporal, semilla mejorada y con fertilizante
	347	TMS	Temporal, semilla mejorada y sin fertilizante

**Cuadro 2. Sistemas-Producto agrícola que cuentan con tecnologías de producción (N5).**

Sistemas-Producto agrícola			
Alfalfa verde	Cebada grano	Guayaba	Mango
Amaranto	Cebolla	Haba grano	Manzana
Arvejón	Chayote	Haba verde	Naranja
Avena forrajera achicalada	Chicharo	Jicama	Nopalitos
Avena forrajera en verde	Chile verde	Limón	Nuez de castilla
Avena forrajera seca	Durazno	Maguey pulquero (miles de litros)	Papa
Avena grano	Elote	Maíz forrajero en verde	Tomate rojo (jitomate)
Café cereza	Fresa	Maíz grano	Tomate verde
Calabacita	Frijol	Mamey	Trigo grano
Caña de azúcar			Tuna

**Cuadro 3. Costos de producción y utilidades de procesos de producción agrícolas tipo anuales para el ciclo Primavera-Verano en el Estado de México.**

Sistema-Producto	Tecnología	Promedio de Costo Producción (\$/ha)	Promedio de Utilidad (\$)	Desv. Est. de Utilidad (\$)
Amaranto	TCF	10 231.520	8074.313	5567.683
Arvejón	TCF	4350.680	240.093	3381.063
	TMF	6474.200	-1883.427	3381.063
Avena forrajera achicalada	TCF	3638.500	4651.553	4087.883
Avena forrajera seca	TCS	3070.000	5546.251	3753.898
Avena grano	BMF	5026.260	-711.396	1069.945
	TCF	5992.243	-1377.015	1566.761
	TMS	2468.518	2011.183	1594.482
Calabacita	BMF	15 409.000	35 598.723	22 263.019
Cebada grano	TMF	7403.427	-2619.072	1784.501
Cebolla	BMF	13 247.500	61 244.063	47 896.414
Chicharo	TCS	6500.000	11 334.212	8610.070
	TMF	7250.000	10 584.212	8610.070
Chile verde	GMF	33 316.016	584 552.007	454 838.681
Elote	BMF	7686.875	10 823.652	2462.159
	TMF	6436.955	17 996.747	7547.931
Frijol	BCF	9073.910	2979.286	2826.088
	BMF	9676.910	2376.286	2826.088
	GMF	9110.725	2942.471	2826.088
	TCF	8312.390	575.810	3648.817
	TCS	3819.980	5021.906	3684.537
	TMF	7538.300	1341.919	3650.935
Haba grano	TCS	2262.340	6563.488	3709.959
	TCF	6447.430	13 760.418	9840.498
Haba verde	TCS	10 422.830	9785.018	9840.498
	TCF	6147.110	19 839.977	10 865.398
Maíz forrajero en verde	TCS	9422.510	16 564.577	10 865.398
	BMF	16 000.600	2008.843	6148.598
	GMF	40289.000	-22 279.557	6148.598

Continuación Cuadro 3...

Sistema-Producto	Tecnología	Promedio de Costo Producción (\$/ha)	Promedio de Utilidad (\$)	Desv. Est. de Utilidad (\$)
Maíz grano	BCF	7251.875	3410.978	3053.497
	BMF	8286.875	2375.978	3053.497
	GCF	7794.140	2868.713	3053.497
	GCS	2959.590	7703.263	3053.497
	GMF	14 574.529	-3911.676	3053.497
	GMS	3080.020	7582.833	3053.497
	TCF	5401.955	1278.405	2161.912
	TCS	8209.620	-1529.260	2161.912
	TMF	6321.980	358.380	2161.912
	TMS	4812.180	1868.180	2161.912
Papa	BMF	18 121.000	72 356.109	38 572.263
	TCF	19 081.000	69 969.696	41 839.744
	TMF	18 121.000	70 906.281	41 880.129
Tomate rojo (jitomate)	BMF	57 684.044	1 946 525.150	1 547 441.814
Tomate verde	BCF	14 149.060	37 651.091	16 625.372
	BMF	13 294.603	38 505.548	16 625.372
Trigo grano	TCF	6730.380	-2577.108	1688.657

Las etiquetas de N4 establecidas para los agroecosistemas (incluida la vegetación primaria y secundaria del bosque cultivado o BC) correspondieron a 16 claves (Cuadro 4). Cada Sistema-Producto caracterizado por nivel tecnológico (N5) se unió a las etiquetas del N4, en tanto que el N4 se anidó en el N3 y así sucesivamente hasta el N1, tal como se muestra en el Cuadro 5.

**Cuadro 4. Claves de nivel 4 que se refieren a las actividades agrícolas.**

Clave	Descripción
HA	Agricultura de Humedad de Ciclo Anual
RA	Agricultura de Riego de Ciclo Anual
RAP	Agricultura de Riego de Ciclo Anual Permanente
RAS	Agricultura de Riego de Ciclo Anual Semipermanente
RP	Agricultura de Riego de Ciclo Permanente
RS	Agricultura de Riego de Ciclo Semipermanente

Continuación Cuadro 4...

Clave	Descripción
RSP	Agricultura de Riego de Ciclo Semipermanente Permanente
TA	Agricultura de Temporal de Ciclo Anual
TAP	Agricultura de Temporal de Ciclo Anual Permanente
TAS	Agricultura de Temporal de Ciclo Anual Semipermanente
TP	Agricultura de Temporal de Ciclo Permanente
TS	Agricultura de Temporal de Ciclo Semipermanente
TSP	Agricultura de Temporal de Ciclo Semipermanente Permanente
BC	Vegetación Primaria de Bosque Cultivado
VSa/BC	Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque Cultivado
VSa/BC	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque Cultivado

Cuadro 5. Ejemplo de anidación de los 6 niveles jerárquicos.

Entidad de vegetación (N1)	Grupo de vegetación (N2)	Tipo de vegetación (N3)	Agroecosistema y tipo de vegetación (N4)	Clave de asociación	Actividad de producción (N5)	Tecnología de producción (N6)	Descripción de la tecnología de producción (N6)
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	BCF	Riego por bombeo, semilla criolla y con fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	BCS	Riego por bombeo, semilla criolla y sin fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	BMF	Riego por bombeo, semilla mejorada y con fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	BMS	Riego por bombeo, semilla mejorada y sin fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	GCF	Riego por gravedad, semilla criolla y con fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	GCS	Riego por gravedad, semilla criolla y sin fertilizante

Entidad de vegetación (N1)	Grupo de vegetación (N2)	Tipo de vegetación (N3)	Agroecosistema y tipo de vegetación (N4)	Clave de asociación	Actividad de producción (N5)	Tecnología de producción (N6)	Descripción de la tecnología de producción (N6)
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	GMF	Riego por gravedad, semilla mejorada y con fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de riego	Agricultura de riego anual	RA	Maíz de grano riego	GMS	Riego por gravedad, semilla mejorada y sin fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal anual	TA	Maíz de grano temporal	TCF	Temporal, semilla criolla y con fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal anual	TA	Maíz de grano temporal	TCS	Temporal, semilla criolla y sin fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal anual	TA	Maíz de grano temporal	TMF	Temporal, semilla mejorada y con fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal anual	TA	Maíz de grano temporal	TMF	Temporal, semilla mejorada y con fertilizante
IAPF*	IAPF*	Agricultura de temporal	Agricultura de temporal anual	TA	Maíz de grano temporal	TMS	Temporal, semilla mejorada y sin fertilizante

\*Información Agrícola, Pecuaria y Forestal.

### Procesos de producción pecuaria (N6) y Sistemas producto pecuario (N5)

La finalidad zootécnica define él o los tipos de productos de una actividad pecuaria que puede ser carne

o leche, por ejemplo. Las proporciones de cada producto y la tecnología bajo la cual se produce definieron el nivel 6 (N6), para cuatro sistemas-producto: bovinos de leche, bovinos de carne y leche y, caprinos de carne, cuya descripción se realiza en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Descripción de la tecnología de producción pecuaria (N6).**

Sistema-Producto (N5)	Tecnología de producción (N6)	Descripción de la tecnología de producción(N6)
Bovinos de leche	GB1	Sistema de producción de leche al pastoreo y con suplementos. Trabajo familiar. Con manejo zootécnico.
Bovinos de carne y leche	GB2	Sistema doble propósito de producción familiar, predominantemente venta de leche (80%). Escaso manejo zootécnico.

Continuación Cuadro 6...

Sistema-Producto (N5)	Tecnología de producción (N6)	Descripción de la tecnología de producción(N6)
Bovinos de carne y leche	GB3	Sistema doble propósito de producción familiar, predominantemente venta de leche y venta de animales de desecho. Escaso manejo zootécnico.
Bovinos de carne y leche	GB4	Sistema doble propósito de producción familiar, predominantemente venta de leche (70%). Escaso manejo zootécnico.
Ovinos de Carne	GO_semi_intensiva	Sistema Engorda y finalización. La producción ovina se desarrolla en predio de 13.1 ha; de éstas, 3.7 ha las dedican a la producción de forrajes, ya sea de corte o pastoreo; mientras que 9.7 ha, en promedio, son dedicadas a la actividad agrícola. Cuentan con instalaciones rústicas. Manejo zootécnico adecuado.
Ovinos de Carne	GO_Extensivo	El sistema de producción ovina es extensivo, orientado a la producción de carne. La alimentación se realiza al pastoreo en agostadero dado la buena disponibilidad de pastos nativos con dominancia de arbustivas, herbáceas y gramíneas, así como esquilmos de temporal, provenientes de cosechas de maíz grano y asociación maíz-frijol, principalmente. Bajo manejo zootécnico.
Caprinos de Carne	GC_Extensivo	El sistema de producción caprino es extensivo bien definido y orientado a la producción de carne. La alimentación se realiza al pastoreo en agostadero dado la buena disponibilidad de pastos nativos con dominancia de arbustivas, herbáceas y gramíneas, así como esquilmos de temporal, provenientes de cosechas de maíz grano y asociación maíz-frijol, principalmente. Trabajo familiar, sin manejo zootécnico.

Las etiquetas del N4 que se asocian con actividades pecuarias en el Estado de México se presentan en el Cuadro 7. Las actividades de producción pecuaria extensiva (no estabuladas) se llevan a cabo en pastizales inducidos (PI) y mediante el aprovechamiento de pajas y rastrojo de maíz (Borja-Bravo *et al.*, 2016), por lo que la anidación de los Sistema-Producto pecuarios solo se vincularon a las etiquetas de PI del N4 (Cuadro 8).

Cuadro 7. Claves de uso de suelo y vegetación que se asociaron a proyectos pecuarios (N4).

Clave	Descripción
MC	Vegetación primaria de matorral crasicaule
PC	Pastizal cultivado
PI	Vegetación primaria de pastizal inducido
SBC	Vegetación primaria de selva baja caducifolia
VSa/SBC	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia
VSh/BJ	Vegetación secundaria herbácea de bosque de táscate
VSh/BPQ	Vegetación secundaria herbácea de bosque de pino-encino
VSh/SBC	Vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia

**Cuadro 8. Ejemplo de anidación de los 6 niveles jerárquicos para el sector pecuario.**

Entidad de vegetación (N1)	Grupo de vegetación (N2)	Tipo de vegetación (N3)	Agroecosistema y tipo de vegetación (N4)	Clave de asociación	Actividad de producción (N5)	Tecnología de producción (N6)
Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	PI	Bovinos de leche	GB1
Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	PI	Bovinos de carne y leche	GB2
Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	PI	Bovinos de carne y leche	GB3
Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	PI	Bovinos de carne y leche	GB4
Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	PI	Ovinos de Carne	GO_semi_intensiva
Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	PI	Ovinos de Carne	GO_extensivo
Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Vegetación Inducida	Pastizal Inducido	PI	Caprinos de Carne	GC_extensivo

### Actividades de producción consideradas en el N6 del sector forestal

La producción del sector forestal para el Estado de México necesitó la revisión conceptual del proyecto forestal, el análisis del proceso de producción y el contexto socioeconómico en el que se desempeña, ya que los recursos forestales del Estado de México

son mayoritariamente de propiedad comunal y ejidal, por lo tanto, de propiedad social o pública, por lo que esto último tiene influencia en la forma (Paquete Tecnológico o Tecnología) en el que se aprovecha la madera del bosque. Finalmente, el nivel tecnológico de aprovechamiento se ve reflejado en los modos de venta de la madera, lo que permitió estructurar el N6 para el sector forestal (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Descripción de la tecnología de producción de la actividad forestal en el Estado de México.**

Actividad	Tecnología	Descripción
Forestal Maderable	Venta de madera en pie	Productores que venden en pie. Productor Tipo II de CONAFOR. Son ejidos y comunidades, autorizados para el aprovechamiento de bienes y servicios en los que éste se realiza por parte de terceros mediante contrato de compra-venta, sin que el propietario o poseedor participe en alguna fase del proceso productivo.

Continuación Cuadro 9...

Actividad	Tecnología	Descripción
Forestal Maderable	Venta de madera libre abordo en brecha	Productores de materias primas forestales. Productor Tipo III de CONAFOR. Los ejidos, comunidades y propietarios de los predios autorizados para el aprovechamiento de bienes y servicios, participan directamente en el proceso de producción, comercialización de materias primas y servicios ambientales. La comercialización libre a bordo en brecha se refiere a la entrega de la madera troceada "a pie de brecha", el comprador paga a Precio Libre a Bordo* en brecha del metro cúbico rollo: corresponde al precio de la trocería en el predio puesta en la brecha para ser cargada al camión. *Precio Libre a Bordo (LAB). Sistema donde el vendedor cotiza su precio de venta en la fábrica u otro punto de producción y el comprador paga todo el precio de transporte.
Forestal Maderable	Venta de madera libre abordo en aserradero	Productores de materias primas forestales. Productor Tipo III de CONAFOR. Los ejidos, comunidades y propietarios de los predios autorizados para el aprovechamiento de bienes y servicios, participan directamente en el proceso de producción, comercialización de materias primas y servicios ambientales. Los productores forestales tienen infraestructura suficiente para transportar la madera en rollo. El comprador paga a Precio Libre a Bordo en aserradero del metro cúbico rollo: corresponde al precio de la trocería puesta en el patio del aserradero.

Los Sistema-Producto Madera se anidaron en las etiquetas de bosques primarios y de vegetación secundaria arbórea (Cuadro 10), con lo que se consiguió anidar el N5 en el N4. El proceso se realizó únicamente en los municipios donde PROBOSQUE ha reportado actividad de aprovechamiento forestal.

Cuadro 10. Vegetación sobre la que se realizan actividades forestales en el Estado de México.

Entidad de Vegetación (N1)	Grupo de Vegetación (N2)	Tipo de Vegetación (N3 y N4)	Clave PMC-INEGI	Fase ecológica	Condición
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de cedro	BB	Primaria	Intacta
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de oyamel	BA	Primaria	Intacta
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de oyamel	VSA/BA	Secundaria	Arbórea
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de oyamel	VSa/BA	Secundaria	Arbustiva
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de oyamel	VSh/BA	Secundaria	Herbácea

Entidad de Vegetación (N1)	Grupo de Vegetación (N2)	Tipo de Vegetación (N3 y N4)	Clave PMC-INEGI	Fase ecológica	Condición
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino	BP	Primaria	Intacta
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino	VSA/BP	Secundaria	Arbórea
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino	VSa/BP	Secundaria	Arbustiva
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino	VSh/BP	Secundaria	Herbácea
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino-encino	BPQ	Primaria	Intacta
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino-encino	VSA/BPQ	Secundaria	Arbórea
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino-encino	VSa/BPQ	Secundaria	Arbustiva
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de pino-encino	VSh/BPQ	Secundaria	Herbácea
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de táscate	VSA/BJ	Secundaria	Arbórea
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de táscate	VSa/BJ	Secundaria	Arbustiva
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de táscate	VSh/BJ	Secundaria	Herbácea
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino	BQ	Primaria	Intacta
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino	VSA/BQ	Secundaria	Arbórea
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino	VSa/BQ	Secundaria	Arbustiva
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino	VSh/BQ	Secundaria	Herbácea
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino-pino	BQP	Primaria	Intacta
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino-pino	VSA/BQP	Secundaria	Arbórea
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino-pino	VSa/BQP	Secundaria	Arbustiva
Bosque	Bosque de encino	Bosque de encino-pino	VSh/BQP	Secundaria	Herbácea

Continuación Cuadro 10...

Entidad de Vegetación (N1)	Grupo de Vegetación (N2)	Tipo de Vegetación (N3 y N4)	Clave PMC-INEGI	Fase ecológica	Condición
Bosque	Bosque mesófilo de montana	Bosque mesófilo de montana	BM	Primaria	Intacta
Bosque	Bosque mesófilo de montana	Bosque mesófilo de montana	VSA/BM	Secundaria	Arbórea
Bosque	Bosque mesófilo de montana	Bosque mesófilo de montana	VSa/BM	Secundaria	Arbustiva
Información agrícola-pecuaria-forestal	Información agrícola-pecuaria-forestal	Bosque cultivado	BC	No aplicable	No aplicable
Información agrícola-pecuaria-forestal	Información agrícola-pecuaria-forestal	Bosque cultivado	VSa/BC	Secundaria	Arbustiva
Vegetación hidrófila	Vegetación hidrófila	Bosque de galería	BG	Primaria	Intacta
Vegetación hidrófila	Vegetación hidrófila	Bosque de galería	VSA/BG	Secundaria	Arbórea
Vegetación hidrófila	Vegetación hidrófila	Bosque de galería	VSa/BG	Secundaria	Arbustiva

La integración de datos como costos de oportunidad, densidades de carbono y otros, incorporados (anidados) a las etiquetas de uso de suelo del N4, logran que al ser anidados en los N3, N2 y N1, la información pueda propagarse y analizarse en distintas escalas, ya que forman parte de los sistemas de información geográfica como atributos de los polígonos de USyV. Si se considera que el análisis de cambio (emisiones) requiere dos series cartográficas de uso de suelo y vegetación de épocas distintas (Serie V y Serie VI, por ejemplo, para este estudio), éste no solo permite generar los modelos esquemáticos de estados y transiciones, en cada nivel jerárquico, sino que además permite propagar la incertidumbre multiescala.

En la Figura 4, los METs elaborados para el Estado de México son esquemas en donde los rectángulos llevan inscritos los tipos de vegetación de cada nivel y representan a los estados; las transiciones se representan a través de flechas, a las cuales se les asocia el tipo de transición denotada por su color y, los umbrales, a través de líneas discontinuas (Figura 6). Los METs genéricos (Figuras 4, 5 y 6) para el Estado de México parten de un bosque de referencia o bosque sin perturbar que, a

consecuencia de varios procesos de transición, puede transformarse en otros estados.

Los usos del suelo que se generan a partir del bosque de referencia pueden, a su vez, ser objeto de nuevas transiciones, por ejemplo:

- El bosque degradado puede recuperarse si cesan los disturbios o perturbaciones.
- El terreno agrícola puede transformarse en potrero si se abandona el cultivo y, al revés, el potrero puede usarse como terreno agrícola.
- El abandono del uso agropecuario, regenerará la cobertura vegetal mediante la aparición de acahuals (estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo) que, en ausencia de disturbio, llegarán a bosques maduros o podrían entrar en el ciclo de reforestación y manejo forestal sustentable, para constituir estados transitorios para la restauración y la fertilidad edáfica (Información Agrícola-Pecuaria- Forestal pasa a Bosque de Coníferas Secundario Arbustivo, Figura 5).

- Otra posibilidad es que un terreno de agricultura se use de manera continua para este fin.
- Los terrenos sin cobertura arbórea, podrían convertirse en terrenos forestales tras la plantación sujeta a aprovechamiento (Áreas sin vegetación aparente que pasan a Bosque de Encino Secundario Arbustivo, Figura 5).
- Las tierras agrícolas y potreros también podrían transformarse en plantaciones forestales, cuando se lleve a cabo una reforestación.

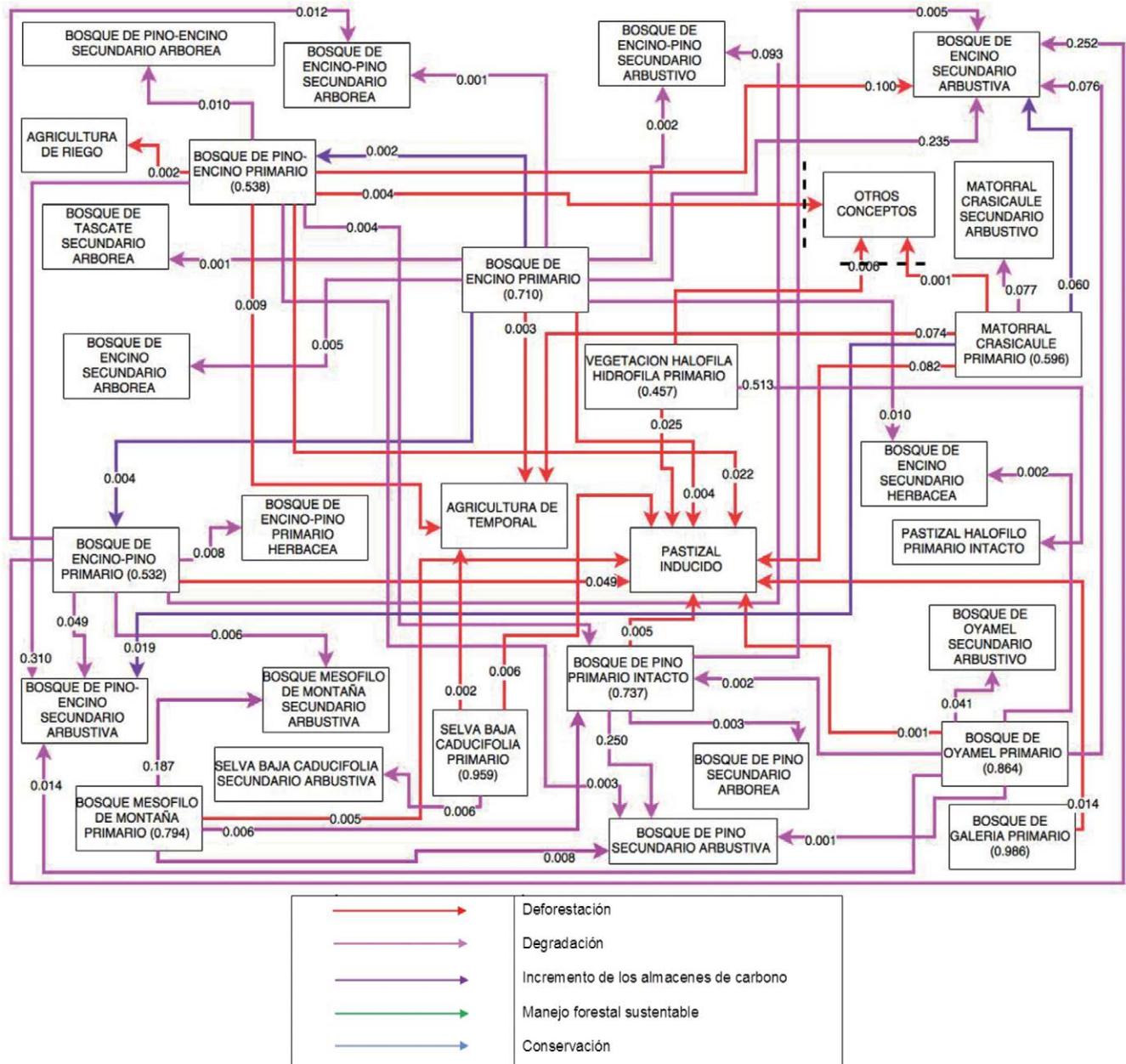


Figura 4. Modelo de Estados y Transiciones de Agroecosistemas y Tipos de vegetación (Nivel 4 y 3) para el Estado de México.

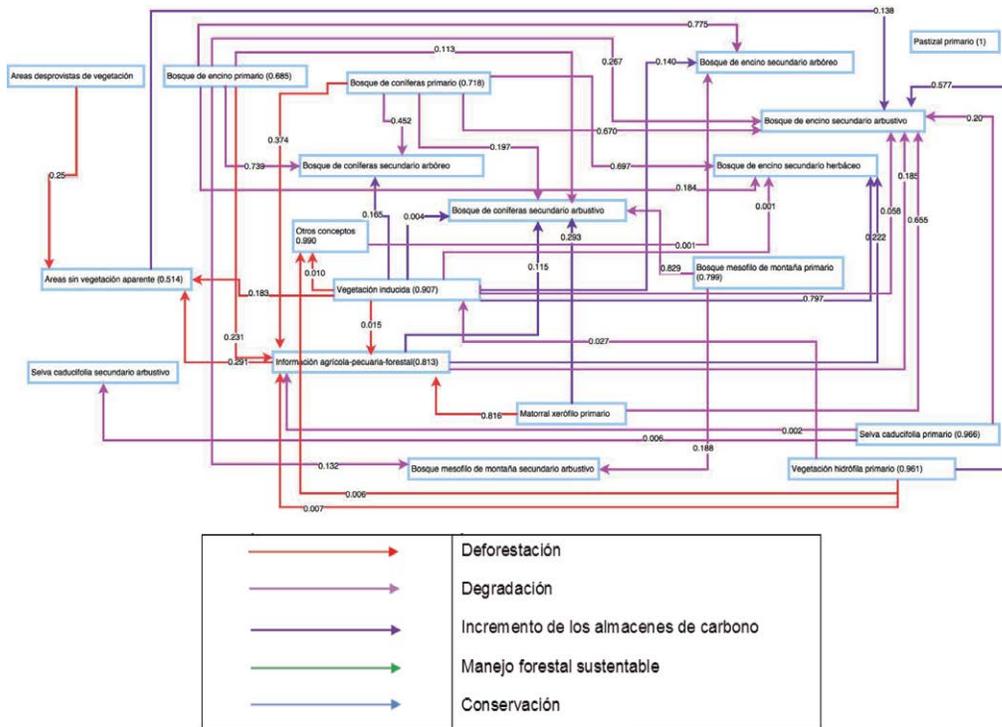


Figura 5. MET para Grupos de vegetación (N5) en el Estado de México. Los valores numéricos corresponden a probabilidades de transición (entre dos series) de un estado a otro o permanencia en el mismo.

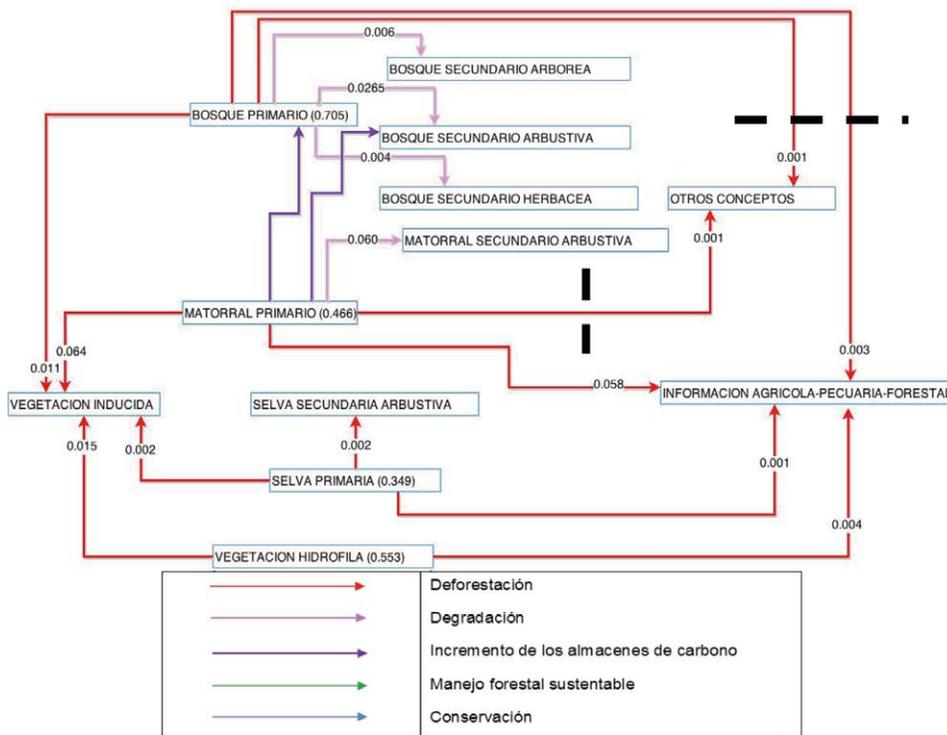


Figura 6. MET para Entidades de vegetación (N1) en el Estado de México. Los valores numéricos corresponden a probabilidades de transición (entre dos series) de un estado a otro o permanencia en el mismo.

## DISCUSIÓN

Las unidades de uso de suelo y vegetación establecidas en el nivel 4, no sólo pueden aportar datos de costos de oportunidad para la estimación más aproximada de pago por servicios ambientales, sino que, si se les agregan datos de contenidos de carbono, permiten dar seguimiento su dinámica (pérdidas y ganancias), bajo el enfoque de METs planteado por Paz (2012) y Covalada *et al.* (2012a y b), así como el acoplamiento de escala de “abajo hacia arriba” y viceversa.

Los Sistemas-Producto agropecuarios y forestales subyacentes a los tipos de vegetación y agroecosistemas localizados en el nivel 4 de estructura de anidación, son la base para estimar los costos de oportunidad y puedan propagarse a otras escalas; sin embargo, la información relativa a costos de producción agropecuaria y forestal es escasa y la existente se ha elaborado para proyectos de inversión muy localizados, en paquetes técnicos para las aseguradoras o para los bancos que ofrecen créditos y, en otros casos se han elaborado costos de

producción para modelos experimentales que tienen por objeto ver el comportamiento y reducir el costo de producción con variedades precoces (Jaramillo, 2002). En estas condiciones dicha información es insuficiente, heterogénea y con cobertura limitada.

Los datos históricos de rendimiento y precios de venta por unidad de rendimiento, junto con los costos de producción, son elementos imprescindibles para la estimación de utilidades. Los datos de rendimiento y precios de venta por unidad de rendimiento se obtienen de instituciones como SIAP y SEDAGRO, aunque solo se enfocan a monocultivos y carecen de datos de rendimiento para agroecosistemas intercalados que atienden a etiquetas de INEGI (Figura 7: Agricultura de Riego de Ciclo Anual Permanente (RAP), Agricultura de Riego de Ciclo Anual Semipermanente (RAS), Agricultura de Riego de Ciclo Semipermanente Permanente (RSP), Agricultura de Temporal de Ciclo Anual Permanente (TAP), Agricultura de Temporal de Ciclo Anual Semipermanente (TAS) o Agricultura de Temporal de Ciclo Semipermanente Permanente (TSP).



**Figura 7. Agroecosistemas combinados entre cultivos anuales y permanente o semipermanentes, que por su modalidad de riego corresponden a: RAP, RAS, RSP, TAP, TAS o TSP.**

## CONCLUSIONES

La caracterización económica de los procesos de producción agropecuaria y forestal mediante paquetes tecnológicos, representa la unidad básica para la estimación de los costos de oportunidad. La incorporación de los Sistemas-Producto a la estructura jerárquica de clasificación de la vegetación y usos del suelo de INEGI, permite estimar los costos de oportunidad a nivel municipal (disponibilidad de información de actividades productivas), retratando la

heterogeneidad de producción debido a las condiciones edafoclimáticas y de abasto de insumos, así como de las condiciones socioeconómicas en el Estado de México.

Metodológicamente, los costos de producción estimados de manera anidada permiten diseñar políticas efectivas para operar medidas de mitigación a deforestación y degradación bajo esquemas REDD+ o RETUS. Para que esto sea cada vez más efectivo, es necesario realizar mayores investigaciones para tener control localizado de las actividades (especialmente explícitas), así que se requieren investigaciones que

permitan caracterizar los paquetes tecnológicos en esquemas de producción de policultivos y de uso imbricado de la tierra entre actividades agrícolas y pecuarias, así como de los diferentes esquemas de aprovechamiento forestal, ya sea por plantaciones, reforestaciones, sistemas agroforestales, silvopastoriles o agrosilvopastoriles.

## LITERATURA CITADA

- Angelsen, A. 2009. Avancemos con REDD: problemas, opciones y consecuencias. Center for International Forestry Research (CIFOR). Bogor, Indonesia. 172 p.
- Angelsen, A., C. Streck, L. Peskett, J. Brown and C. Luttrell. 2008. What is the right scale for REDD? The implications of national, subnational and nested approaches. Brief Info No. 15. CIFOR, Bogor, Indonesia 6 p.
- Benítez-Badillo, G., G. Alvarado-Castillo, M. E. Nava-Tablada y A. Pérez-Vázquez. 2013. Análisis del marco regulatorio en el aprovechamiento de los hongos silvestres comestibles en México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19:363-374.
- Bestelmeyer, B. T., D. P. Goolsby and S. R. Archer. 2011. Spatial perspectives in state-and-transition models: a missing link to land management? *Journal of Applied Ecology* 48:746-757.
- Borja-Bravo, M., L. Reyes-Muro, J. A. Espinosa-García y A. Vélez-Izquierdo. 2016. Estructura y funcionamiento de la cadena productiva de esquilmos agrícolas como forraje en la región de El Bajío, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 20:451-463
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). s.f. Información Estadística de la Producción Nacional Forestal 2015. Comisión Nacional Forestal, México. <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/economica/estadistica-forestal-nacional>. (Consulta: Agosto 17, 2017).
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2011. Evaluación de Costos de Establecimiento y Mantenimiento de Plantaciones Forestales Comerciales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 71 p.
- Cortez, R., R. Saines, B. Griscom, M. Martin, D. de Deo, G. Fishbein, J. Kerkering and D. Marsh. 2010. A nested approach to REDD+: Structuring effective and transparent incentive mechanisms for REDD+ implementation at multiple scales. *The Nature Conservancy and Baker and McKenzie*. 46 p.
- Covaleda, S., F. Paz y B. de Jong. 2012a. Modelo genérico de estados y transiciones para los cambios en los almacenes de carbono en ecosistemas templados de Chiapas. pp. 356-363. En: Paz, F. y R. M. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011*. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México.
- Covaleda, S., F. Paz y B. de Jong. 2012b. Modelos de estados y transiciones: una herramienta para la planificación de estrategias REDD+. pp. 733-739. En: Paz, F. y R. M. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011*. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México.
- Covaleda, C., F. Paz y B. de Jong. 2013. Parametrización de modelos de estados y transiciones para el carbono y caracterización de la incertidumbre. pp. 85-91. En: F. Paz, M. Bazan y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo*. Texcoco, México.
- de Jong, B. H., R. Tipper and G. Montoya-Gómez. 2000. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico. *Ecological Economics* 33:313-327.
- Estrada-Martínez, E., G. Guzmán, T. D. Cibrián y P. R. Ortega. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos silvestres comestibles en los mercados regionales y comunidades de la sierra nevada (México). *Interciencia* 34:25-33.
- GEM (Gobierno del Estado de México). 2007. Gaceta del Gobierno. Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de México. Toluca de Lerdo, Estado de México. Gaceta del Gobierno del Estado de México 31(CLXXXIV):1-3.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación: Escala 1:250 000: Serie III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015. Estados Unidos Mexicanos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Jaramillo, L. 2002. Estimación del costo de oportunidad del uso de suelo forestal en ejidos a nivel nacional. INEC-DGIPEA Working Paper. México.
- Mariaca, M. R., P. L. C. y M. C. A. Castaños. 2001. Proceso de recolección y comercialización de hongos comestibles silvestres en el valle de Toluca, México. *Ciencia Ergo Sum* 8:30-40.
- Paz, F. 2009. Proyecto Piloto “Una REDD para Chiapas” (Bases Metodológicas y Estrategias de Implementación). Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México. [http://pmcarbono.org/pmc/biblioteca/doc\\_socios.php](http://pmcarbono.org/pmc/biblioteca/doc_socios.php) (Consulta: diciembre 03, 2017).
- Paz, F. 2012. Una visión integral de territorio y su planeación ante el cambio climático: RETUS (Reducción de Emisiones de Todos los Usos del Suelo). pp. 693-699. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo*

- del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México y el Instituto Nacional de Ecología. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-715-085-5
- Paz, F. 2015. ¿Es suficiente evaluar “datos de actividad x factores de emisión = emisiones” en mecanismos tipo REDD+ o RETUS? pp. 526-532. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional – Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Mérida, México.
- Paz, F. y S. Covalada. 2015. Modelos de estados y transiciones (METs) compuestos para la modelación anual de la dinámica del carbono. pp. 541-546. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional – Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Mérida, México.
- Paz, F., S. Covalada y B. de Jong. 2015. Modelos de la dinámica temporal del carbono orgánico de los suelos asociada a cambios de uso del suelo en ecosistemas forestales. pp. 363-368. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional – Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Mérida, México.
- PMC (Programa Mexicano del Carbono). 2015a. Cartografía de uso de suelo y vegetación del Estado de México. Escala 1:50000. Serie III. Año base 2002. Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México.
- PMC (Programa Mexicano del Carbono). 2015b. Cartografía de uso de suelo y vegetación del Estado de México. Escala 1:50000. Serie IV. Año base 2007. Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México.
- PMC (Programa Mexicano del Carbono). 2015c. Cartografía de uso de suelo y vegetación del Estado de México. Escala 1:50000. Serie V. Año base 2011. Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México.
- PMC (Programa Mexicano del Carbono). 2015d. Cartografía de uso de suelo y vegetación del Estado de México. Escala 1:50000. Serie VI. Año base 2014. Programa Mexicano del Carbono, Texcoco, Estado de México.
- PROBOSQUE (Protectora de Bosques del Estado de México). 2010. Inventario Forestal del Estado de México 2010 IFEMEX. Protectora de Bosques del Estado de México, México.
- Richardson, K., W. Steffen, H. J. Schellnhuber, J. Alcamo, T. Barker, D. M. Kammen and N. Stern. 2009. Climate change-global risks, challenges y decisions: synthesis report. Museum Tusulanum.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 432 p.
- SAGARPA-SIACON (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). 2013. Diseño Conceptual de la Generación de Información Agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- SEMARNAT (Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales). 2009. Compendio de Estadísticas Ambientales 2009. Plantaciones Forestales Comerciales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio\\_2009/compendio\\_2009/10.100.8.236\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet4485.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2009/compendio_2009/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServlet4485.html) (Consulta: noviembre 18, 2015).
- SEMARNAT (Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales). s.f. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2003. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. 146 p.
- Villarreal-Ruiz. L. y J. Pérez-Moreno, J. 1989. Los hongos comestibles silvestres de México, un enfoque integral. *Micología Neotropical Aplicada* 2:77-114
- White, D. and P. Minang. 2011. Estimación de los costos de oportunidad de REDD+. Manual de capacitación. World Bank. Washington, D. C.

# COASTAL TIDAL WETLANDS OF MEXICO: POTENTIAL CARBON SEQUESTRATION OF MANGROVES AND PUBLIC POLICIES

## HUMEDALES COSTEROS DE MAREA DE MÉXICO: POTENCIAL DE SECUESTRO DE CARBONO EN LOS MANGLARES Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Jorge A. Herrera-Silveira<sup>1†</sup>, Claudia Teutli-Hernández<sup>1</sup> and Andrea Camacho Rico<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida (CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida).

<sup>†</sup>Autor para correspondencia: jorge.herrera@cinvestav.mx

### ABSTRACT

Tidal wetlands, specially mangroves, are very important carbon stocks, mainly underground. Because of this, it is necessary to incorporate them as a critical element in mitigation and adaptations policies to climate change. This paper presents a brief analysis of the estimates of carbon stocks and fluxes in Mexico mangroves, as a first step to propose conservation and restoration policies that may have associated financial incentives.

*Index words:* stocks and fluxes; emissions; conservation and restoration policies.

### RESUMEN

Los humedales costeros de marea, especialmente los manglares, son almacenes de carbono muy importantes, principalmente por sus reservas subterráneas. Debido a lo anterior, es necesario incorporarlos como un elemento crítico en las políticas de mitigación y adaptación al cambio climático. Este trabajo presenta un análisis breve de las estimaciones de almacenes y flujos de carbono en los manglares de México, como un primer paso para proponer políticas de conservación y restauración que pueden tener asociadas incentivos financieros.

*Palabras clave:* almacenes y flujos; emisiones; políticas de conservación y restauración.

### INTRODUCTION

In Mexico, the coastal tidal wetlands with greater coverage and importance for the various environmental services offered to society are mangroves (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013). More recently mangroves have been recognized for their importance in the role they play in mitigation and adaptation to the effects of climate change (Bouillon *et al.*, 2008).

Tidal wetlands, especially mangroves, represent important contributions in carbon stocks (Bouillon *et al.*, 2008; Kristensen *et al.*, 2008). Although its surface

area is relatively small, the carbon densities are very large (Donato *et al.*, 2011), because of this is necessary to consider these stocks and fluxes, in mitigation and adaptation strategies to climate change, particularly given its dynamics of change and its role as an interface between the land and ocean (Dittmar *et al.*, 2006).

The establishment of mangrove potential carbon sequestration is a requirement for the development of financial incentive schemes, and public policies, for their conservation and restoration (Murray *et al.*, 2011; Herrera y Teutli, 2017). In this short paper the potential carbon sequestration of mangroves is analyzed.

The reduction of emissions and capture of greenhouse gases is one of the strategies that aim to contribute to the mitigation and adaptation of ecosystems to the impacts of climate change. Mexico as the 13<sup>th</sup> country in GHG emissions (UNFCCC, 2016), has committed to reducing its emissions, presenting an opportunity in the conservation and restoration of mangrove ecosystems.

### Carbon stocks and fluxes in mangroves

#### *Tidal wetlands distribution and changes*

In Mexico, the tidal wetlands with greater coverage and importance for the various environmental services offered to society are mangroves. More recently

mangroves have been recognized for their importance in the role they play in mitigation and adaptation to the effects of climate change. In Mexico mangroves cover an area of 775 555 ha and have been grouped by the Mexican National Commission on Biodiversity (CONABIO, 2013) in five regions. The regions of mangrove in Mexico and their area changes are listed in Table 1. Mangroves are present on the coasts of each of Mexico's coastal states. Within Mexico the three states of the Yucatán region hold the greatest area of mangrove, equivalent to about 53% of Mexico's total. Of the seven-mangrove species in North America, three are dominant and widespread: *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* and *Rhizophora mangle*.

**Table 1. Regional distribution and changes of mangrove area in hectares (percentage from this) in Mexico (1980-2015; Troche-Sousa *et al.*, 2016).**

Region	1970/1980 Area (% of Region)	2015 Area	Net Change Area impacted (% of Region)
Gulf of Mexico	89 650 (10.6)	87 048	2602 (2.9)
Yucatan Peninsula	453 635 (52.9)	421 926	31 709 (6.9)
Northern Pacific	197 895 (23.1)	187 383	10 512 (5.3)
Central Pacific	16 475 (1.9)	7011	9464 (57.4)
Southern Pacific	98 750 (11.5)	72 187	26 563 (26.9)
<b>Total</b>	<b>856 405</b>	<b>775 555</b>	<b>80 850 (9.5)</b>

Changes in wetlands have been documented mainly for tidal coastal wetlands (mangroves). There is very little information on freshwater wetlands (no tidal inland wetlands) due to the lack of typologies, inventories, and maps. This makes it difficult to assess the area that has been lost and its current state.

#### *Regional mangrove carbon stocks*

Mangroves in Mexico are in a wide range of environmental conditions, these include climate (very arid to very humid), hydrology (tides range,

hydroperiod, river/groundwater flow), geomorphology (seafront, coastal lagoons, river/estuaries, islands, karstic, swamps) and, different kind and magnitude of impacts, in consequence high diversity of mangrove types are observed. This diversity offers the opportunity to advance in the understanding of the processes and variables responsible of the C stocks and flows variability, as well as their relationship with other environmental services.

In Mexico, very few studies have been conducted to assess carbon stocks following standard methods recommended by the Intergovernmental Panel on

Climate Change (IPCC). However, mangrove ecology studies by Mexican academic institutions have large history with reports since 60's. The analysis and synthesis of these studies at regional scale, indicate that the mean C stock of mangroves in Mexico is  $449 \pm 182 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , with the largest total C stocks

in the Yucatan Peninsula and lowest in the Central Pacific region (Table 2). Our dataset covers the range of environmental conditions, mangrove types and regions in Mexico (Herrera-Silveira *et al.*, 2016). A gross estimate of total C stock for Mexico mangroves is 334 million Mg.

**Table 2. Regional range values of carbon stocks (Mg C ha<sup>-1</sup>), total carbon stocks (Millions Mg C), and range of emissions (Millions Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>) in Mexico's mangroves.**

Region	Above - Below ground (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Total C stock (Millions Mg C)	Emissions (Millions Mg CO <sub>2</sub> )
Gulf of Mexico	101.1 - 250.1	30.5	0.66 - 2.90
Yucatan Peninsula	183.7 - 266.4	190.0	36.20 - 57.90
Northern Pacific	58.9 - 271.7	62.0	2.50 - 11.00
Central Pacific	116.9 - 215.1	2.3	10.30 - 45.40
Southern Pacific	175.6 - 509.7	49.4	2.20 - 10.00

No factor emissions have been estimated for specific land-uses changes for Mexican mangroves, except to cattle farms (Kauffman *et al.*, 2015). The policy of the environmental and science government agencies should incorporate among their working planning, a long-term program on standardized research and monitoring carbon stocks and fluxes.

Mexico is recognized as a megadiverse country. The variability of climates, hydrology and geomorphology

favor a high diversity of mangrove ecotypes, even though only three species are dominant. These mangrove ecotypes show differences in their carbon stocks, both above and underground (Caamal-Sosa *et al.*, 2012) (Table 3). Although there is a direct relationship between above and underground carbon stocks, it is interesting to note that scrub mangroves type contains more underground carbon than could be inferred from their above ground biomass. This is a pending research topic.

**Table 3. Range and mean values of carbon stocks for different mangrove ecotypes in Mexico.**

Mangrove Ecotype	Above ground (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Below ground (Mg C ha <sup>-1</sup> )	Total C Stock (Mg C ha <sup>-1</sup> )
Scrub	1.5 - 68.0 (10.2)	88.3 - 494.8 (220.1)	230.3
Basin	1.0 - 775.0 (106.7)	43.6 - 1230.0 (273.5)	380.2
Fringe	1.9 - 578.9 (156.4)	9.8 - 893.8 (290.2)	446.6
Riverine	11.9 - 1079.0 (238.2)	100.9 - 1161.2 (465.5)	703.7
Hammock	115.3 - 256.8 (178.8)	850.3 - 872.5 (861.4)	1040.2
<b>Mean</b>	<b>150.1</b>	<b>299.5</b>	<b>449.6</b>

### *Mangrove carbon flows*

Data of carbon flows of the Mexican mangroves are scarce. Few estimations indicate that a mangrove connected with a coastal lagoon export dissolved organic carbon (DOC) at a rate of 22 942 Mg DOC  $y^{-1}$  per linear kilometer of mangrove, and from the lagoon to the coastal sea were 2411 Mg DOC  $y^{-1}$ . The litterfall range between 1.5 to 6.7 Mg C  $ha^{-1} y^{-1}$ , being higher in humid-riverine mangroves. Methane fluxes has been measured in karstic coastal lagoons influenced by groundwater dischargers, the values range from 0.012 to 31 mmol  $m^{-2} d^{-1}$  (Young *et al.*, 2005; Camacho-Rico y Herrera-Silveira, 2015; Pei-Chuan *et al.*, 2016).

### **Conservation and restoration of mangrove: potential carbon sequestration**

#### *Mangrove carbon stock conservation*

As mangroves are intertidal ecosystems, their long-term permanence requires that they be able to maintain vertical accretion rates equal to or greater than the rate of sea-level rise. If mangroves are not able to adapt to these rapid changes through sediment inputs and below-ground root production, they will become vulnerable and may release important quantities of carbon into the atmosphere. Another consequence of climate change is the more frequent occurrence of tropical storms and hurricanes, which can affect the biogeochemical conditions of mangrove soils through excess deposition of sediments. Additionally, human activities (*e.g.* construction of dams, construction of berthing docks for cargo ships, construction of gas plants in coastal lagoons and modification of hydrological conditions) may also affect the function of mangroves as carbon sinks, by interrupting the supply of sediment that enhances mangroves' capacity to maintain equilibrium with sea-level rise. New data on carbon sequestration rates during the last century have been published recently. In humid-riverine system the mangrove soils sequester 1.3 Mg C  $ha^{-1} y^{-1}$  (Adame *et al.*, 2015), while in arid-coastal lagoon system the average of carbon soil sequestration is 2.56 Mg C  $ha^{-1} y^{-1}$  (Ezcurra *et al.*, 2016).

#### *Mangrove impacts and carbon emissions*

In Mexico, the major drivers of mangrove loss have been land-use changes associated with shrimp-farming, agriculture, opening the canopy and planting grass for grazing animals, port infrastructure, tourism,

urban development, and natural impacts as hurricanes. Mexican mangrove areas are highly threatened due to high nutrient loads and low turbidity, but also many areas are highly threatened due to coastal squeeze, such as in the states of Jalisco, Colima, Oaxaca, Chiapas as a consequence of the rapid topography changes in these regions. For example, in the Cuyutlan Lagoon, Colima, the Secretariat of Communications and Transportation through the Integral Port Administration, intends to use the Vaso II of the lagoon to build docks for ships and container yards, with the consequent deforestation of the mangrove. Despite Mexican laws to protect mangroves, there are several mangrove areas that are at high risk of irreversible loss due to coastal development. Mangroves in the Gulf of Mexico region are highly threatened by oil spills, and oil and natural gas extraction. Valderrama *et al.* (2014) show that loss of mangrove areas has been predominantly due to conversion to either wetland or terrestrial vegetation types.

The Mexico mangrove areas lost from 1980 to 2015 due to the different anthropic impacts are more than 80 000 ha (Table 1), these have resulted in emissions ranging from 1.48 to 4 million Mg CO<sub>2</sub>  $ha^{-1} y^{-1}$ . This calculation was carried out according to the range emission rates (25% to 100%) reported in the literature due to anthropic changes for different land use changes in mangroves areas (Pendleton *et al.*, 2012). The highest emissions occurred in the Yucatan Peninsula and the lowest were estimated in the Gulf of Mexico. These emissions could be underestimated due to the calculation were done considering 1 m of mangrove soil, however, the soil degradation of the mangrove can reach depths below 1 m. The emission factors of these estimates come from lost carbon values compared to the original stocks due to deforestation and degradation, which range from 88% to 20% (Lovelock *et al.*, 2011; Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013; Kauffman *et al.*, 2014; Kauffman *et al.*, 2015).

#### *Mangrove restoration and carbon sequestration*

Mexico's National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO, 2013) lists 81 sites that are biologically relevant or where immediate restoration is necessary, ranging from 27 sites in the Gulf of Mexico to 10 sites in the North Pacific. The unique study on carbon sequestration in restored mangroves, shows a rate of 7.5 Mg C  $ha^{-1} y^{-1}$  for above ground biomass (Teutli-Hernández *et al.*, 2016). Due to the large mangrove area impacted in Mexico, restoration should be a priority of the management

politics. Mangrove restoration not only favors carbon sequestration as an adaptation strategy to climate change impacts, but also with this action other environmental services such as biodiversity are recovered (Arceo-Carranza *et al.*, 2016).

## RECOMMENDATIONS FOR PUBLIC POLICIES

The potential of Mexico's mangroves to contribute to mitigation and adaptation to the climate change impacts is very high according to their preliminary carbon stocks assessment. This characteristic of the mangroves of Mexico must be incorporated into public policy actions that favor conservation, restoration and reduce the vulnerability of these ecosystems. There are several alternatives for public policy instruments and lines of action that should be considered to protect coastal wetlands (marshes, mangroves, seagrasses) as a whole under the reference framework of the basin and ecological connectivity.

International agreements (Tokyo Protocol, Intergovernmental Panel on Climate Change, Conferences of the Parties, among others) and national laws and regulations (Climate Change Law could be mentioned the General Law of National Assets, General Law of Ecological Equilibrium and Protection Environment, General Wildlife Law and its regulations, General Law of Sustainable Forest Development, NOM-059, among others) have not been sufficient to reduce the destruction of these ecosystems and have not been alienated in their regulations to contribute to the protection, conservation and restoration of the Mexican coastal wetlands. Among other reasons because there are strong interests in the areas occupied for these ecosystems where activities with high economic value such as tourism, aquaculture, residential and industrial coastal development take place.

Among the available mechanisms that could be incorporated into specific public policy instruments for mangroves in Mexico are: the REDD+ program, payment for environmental services and voluntary carbon markets. However, these mechanisms have not been implemented in coastal ecosystems because they have particularities both as an ecosystem and in land tenure, which implies more uncertainty to invest in them. An alternative for its application in the blue carbon ecosystems is through a Mexican standard for coastal ecosystems that consider their peculiarities. Coastal areas (blue carbon) could be included in a

Nationally Appropriate Mitigation Action (NAMA) aimed at reducing the country's emissions with actions to conserve the heritage of coastal wetlands. In addition, must be considered the sustainable use of the co-benefits associated with the protection of mangrove ecosystems and restoration as a short-term process reducing emissions and capturing GHGs, and in long-term reducing vulnerability to the increase in mean sea level.

Some of the lines of action that need to be promoted in order to give robustness to public policy instruments include: institutional arrangements to make the strategies of conservation, restoration and exploitation of co-benefits operational, making necessary not only the agreements among the federal, state and municipal governments, but also incorporate an intersectoral strategy that stimulates private and public investment committed to the reduction of GHG emissions and its respective report.

The effectiveness of any public policy and lines of action around mangrove carbon stock should be supported by an effective monitoring, reporting and verification (MRV) program. The main challenge to implement this system is the homologation of methods among those that are recognized by the international community and the official methods of the National Forestry Commission (CONAFOR). The latter do not recognize the particularities of mangroves as tree densities and forms of the trunks variability, therefore there is high mangrove ecotypes diversity which is related to the variability of climates, geomorphology and hydrology, for which the participation of researchers is fundamental due to the independence of academic groups regarding the governmental and private sectors.

## REFERENCES

- Adame, M. F., N. S. Santini, C. Tovilla, A. Vázquez-Lule and L. Castro. 2015. Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences* 12:3805–3818.
- Arceo-Carranza, D., E. Gamboa, C. Teutli-Hernández, M. Badillo-Alemán y J. A. Herrera-Silveira. 2016. Los peces como indicador de restauración de áreas de manglar en la costa norte de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(2):489-496.
- Bouillon, S., A. V. Borges, E. Castañeda-Moya, T. Diele, T. Dittmar, N. C. Duke, E. Kristensen, S. Y. Lee, C. Marchand, J. J. Middelburg, V. H. Rivera-Monroy, T. J. Smith III and R. R. Twilley. 2008. Mangrove production and carbon sinks: A revision of global Budget estimates. *Global Biogeochemical Cycles* 22:GB2013 DOI:10.1029/2007GB003052.

- Caamal-Sosa, J. P., A. Zaldívar, F. Adame-Vivanco, C. Teutli, M. T. Andueza, R. Pérez y J. A. Herrera-Silveira. 2012. Almacenes de carbono en diferentes tipos ecológicos de manglares en un escenario cárstico. pp. 478-484. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Texcoco, Estado de México, México. ISBN 978-607-715-085-5.
- Camacho-Rico, A. y J. A. Herrera-Silveira 2015. Dinámica de hojarasca y variación espacio temporal de carbono en un escenario cárstico como laguna de Celestún, Yucatán. pp. 350-357. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Texcoco, Estado de México, México. ISBN: 978-607-96490-2-9.
- CONABIO (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2013. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/sitios.html> (Consulta: octubre 12, 2017).
- Dittmar, T., N. Hertkorn, G. Kattner and R. J. Lara. 2006. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles* 20:GB1012 DOI:10.1029/2005GB002570.
- Donato, D. C., J. B. Kauffman and D. Murdiarso. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Natural Geoscience* 4:293-97.
- Ezcurra, P., E. Ezcurra, P. P. Garcillán, M. T. Costa and O. Aburto-Oropeza. 2016. Coastal landforms and accumulation of mangrove peat increase carbon sequestration and storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(16):4404-4409 DOI:10.1073/pnas.1519774113.
- Herrera, J. A. y C. Teutli. 2017. Carbono azul, manglares y política pública. *Elementos para Políticas Públicas* 1:43-52
- Herrera-Silveira, J. A., A. Camacho, E. Pech, M. Pech, J. Ramírez y C. Teutli. 2016. Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana* 34:61-72.
- Kauffman, J. B., C. Heider, J. Norfolk and F. Payton. 2014. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications* 24(3):518-527.
- Kauffman, J. B., H. Hernandez-Trejo, M. del C. Jesus-Garcia, C. Heider and W. Contreras. 2015. Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the Pantanos de Centla, Mexico. *Wetlands Ecology and Management* 24(2):203-216 DOI:10.1007/s11273-015-9453-z.
- Kristensen, E., S. Bouillon, T. Dittmar and C. Marchand. 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aquatic Botany* 89:2001-2019.
- Lovelock, C. E., R. W. Ruess and I. C. Feller. 2011. CO<sub>2</sub> efflux from cleared mangrove peat. *PLoS One* 6:e21279.
- Murray, B. C., L. Pendleton, W. A. Jenkins and S. Sifleet. 2011. Green payments for blue carbon: Economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Report NI R 11-04, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University, Durham.
- Pei-Chuan, C., M. B. Young, A. W. Dale, L. G. Miller, J. A. Herrera-Silveira and A. Paytan. 2016. Methane and sulfate dynamics in sediments from mangrove-dominated tropical coastal lagoons, Yucatán, Mexico. *Biogeosciences* 13:2981-3001.
- Pendleton, L., D. C. Donato, B. C. Murray, W. S. Cooks, A. Jenkins, S. Sifleet, C. Craft, J. W. Fourqurean, J. B. Kauffmann, N. Marba, P. Megonigal, E. Pidgeon, D. Herr, D. Gordon and A. Balderas. 2012. Estimating “Blue Carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS One* 7:1-7.e43542
- Rodríguez-Zúñiga, M. T., C. Troche-Souza, A. D. Vázquez-Lule, J. D. Márquez-Mendoza, B. Vázquez-Balderas, L. Valderrama-Landeros, S. Velázquez-Salazar, M. I. Cruz-López, R. Ressler, A. Uribe-Martínez, S. Cerdeira-Estrada, J. Acosta-Velázquez, J. Díaz-Gallegos, R. Jiménez-Rosenberg, L. Fueyo-MacDonald y C. Galindo-Leal. 2013. Manglares de México/ Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. D. F., México. 128 p.
- Teutli-Hernández, C., M. Menéndez, F. A. Comín and J. A. Herrera-Silveira. 2016. Captura de carbono aéreo en una zona de manglar restaurado. En: VII Simposio Internacional del Carbono en México. Memorias De Resúmenes Cortos.
- Troche-Souza, C., M. T. Rodríguez-Zúñiga, S. Velázquez-Salazar, L. Valderrama-Landeros, E. Villeda-Chávez, A. Alcántara-Maya, B. Vázquez-Balderas, M. I. Cruz-López y R. Ressler. 2016. Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo (1970/1980 - 2015). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. D. F., México.
- UNFCCC (United Nations Framework Commission on Climate Change). 2016. Intended Nationally Determined Contributions. Mexico.
- Valderrama, L., C. Troche, M. T. Rodríguez, D. Márquez, B. Vázquez, S. Velázquez, A. Vázquez, M. I. Cruz and R. Ressler. 2014. Evaluation of mangrove cover changes in Mexico during the 1970-2005 period. *Wetlands* 34:747-758.
- Young, M., M. E. Gonneea, J. A. Herrera-Silveira and A. Paytan. 2005. Export of dissolved and particulate carbon and nitrogen from a mangrove-dominated lagoon, Yucatan Peninsula, Mexico. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 31:189-202.

# LA CIENCIA DEL SUELO EN EL CICLO DEL CARBONO DE MÉXICO

## SOIL SCIENCE IN CARBON CYCLE OF MEXICO

Fabiola Rojas-García<sup>1‡</sup>, Giovanni H. Santoyo-Gómez<sup>2</sup>, Elizabeth González-Montiel<sup>3</sup>, Alma Velázquez-Rodríguez<sup>4</sup> y José I. Pulido-Ponce<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Programa Mexicano del Carbono. Chiconautla No. 8 interior A, Col. Lomas de Cristo, CP 56230, Texcoco, Estado de México, México. (Ahora en Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados).

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, CP 04510, Coyoacán, Distrito Federal, México.

<sup>3</sup>Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Col. Ejército de Oriente. Iztapalapa, Distrito Federal, México.

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo. CP 50200 Toluca, Estado de México, México.

<sup>5</sup>Programa Mexicano del Carbono. Chiconautla No. 8 interior A, Col. Lomas de Cristo, CP 56230, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>‡</sup>Autor para correspondencia: fabiosxt01981@gmail.com

### RESUMEN

La ciencia del suelo ha contribuido al conocimiento de los almacenes y flujos de carbono orgánico en los suelos; aunque muchas de las contribuciones para México han sido publicadas en literatura gris (tesis, informes y resúmenes extensos publicados como resultado de reuniones científicas). El carbono orgánico de los suelos (COS) es uno de los principales almacenes de carbono, por lo que es necesario conocer su dinámica en los ecosistemas terrestres. Se presenta un análisis y síntesis de los datos del COS en los ambientes terrestres de México, tanto de la literatura convencional (artículos científicos y libros indizados revisados por pares), como de literatura gris. Los resultados obtenidos permitieron detectar vacíos y oportunidades para la coordinación de esfuerzos colectivos y presentar recomendaciones en esa dirección.

**Palabras clave:** *almacén de carbono; carbono orgánico del suelo; flujo de carbono; materia orgánica del suelo.*

### ABSTRACT

Soil science has contributed to the knowledge of organic carbon stocks and flows in soils; although many of the contributions for Mexico have been published in gray literature (theses, reports and extensive summaries published as a result of scientific meetings). The soil organic carbon (SOC) is one of the main carbon stocks, so it is necessary to know its dynamic in terrestrial ecosystems. An analysis and synthesis of the SOC data is presented in the terrestrial environments of Mexico, both in the conventional literature (scientific articles and indexed books reviewed by peers), and in gray literature. The results obtained allowed us to detect gaps and opportunities for the coordination of collective efforts and present recommendations in that direction.

**Index words:** *carbon storage; carbon flux; soil organic carbon; soil organic matter.*

### INTRODUCCIÓN

La alteración ocasionada por las actividades humanas en la composición de la atmósfera se debe al incremento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI). Entre los GEI se encuentra el vapor de agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano,

los óxidos de nitrógeno, clorofluorocarburos, entre otros. El CO<sub>2</sub> y el vapor de agua están regulados por los ciclos globales del carbono (C) y el ciclo hidrológico, respectivamente.

La dinámica de los ecosistemas terrestres depende de las interacciones entre el ciclo del C, los ciclos de nutrientes y el ciclo hidrológico, todos los cuales

pueden resultar modificados por las actividades humanas. Los sistemas ecológicos de la Tierra por medio de los cuales el carbono queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo, desempeñan un papel importante en el ciclo global de carbono (IPCC, 2007).

En el ciclo del carbono se establece un balance entre flujos y almacenes. La circulación del carbono comienza en la reserva atmosférica. Las plantas adquieren el CO<sub>2</sub> atmosférico por medio de la fotosíntesis, pero una parte del CO<sub>2</sub> regresa a la atmósfera. El flujo de CO<sub>2</sub> en los ecosistemas terrestres está regulado principalmente por el suelo (Rosenzweig y Hillel, 2000), ya que en éste se mineralizan constantemente residuos de plantas, animales y materiales orgánicos. Este proceso es dinámico e influye determinantemente en las condiciones climáticas del planeta.

El almacenamiento en los ecosistemas terrestres está limitado principalmente a la madera de los árboles y a la materia orgánica de los suelos, que juntas representan una reserva de carbono, que es alrededor de tres veces la reserva de carbono del CO<sub>2</sub> atmosférico (Saugier y Pontailier, 2006). Se ha estimado que la reserva de carbono en los suelos del mundo es más del doble que la que se encuentra en la atmósfera y en toda la vegetación del planeta (Swift, 2001).

El estudio del carbono en el suelo es un tema que requiere especial atención en el marco la investigación científica que se realiza sobre cambio climático global, porque éste es uno de los componentes principales del ciclo del carbono (Stevenson y Cole, 1999). Es por lo anterior que el objetivo de este trabajo es efectuar un análisis de los datos y sintetizar los esfuerzos de investigación relacionados con los flujos y almacenes del carbono orgánico en los suelos de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuó una extensa revisión de literatura para localizar publicaciones con información relacionada con almacenes y flujos de carbono en ecosistemas terrestres de México. En el caso de publicaciones convencionales (artículos científicos, capítulos de libro y libros indizados y revisados por pares), se utilizaron motores de búsqueda públicos disponibles como Science Direct, Google Académico, Redalyc, Researchgate y Scopus.

Adicionalmente, se realizó una exhaustiva búsqueda para localizar las llamadas “publicaciones grises”, tales como tesis de licenciatura y posgrado,

informes y resúmenes en extenso publicados como resultado de reuniones científicas. Para localizar la literatura gris se llevaron a cabo visitas físicas o virtuales a instituciones académicas (universidades, institutos de investigación y tecnológicos, escuelas superiores y centros CONACyT).

Se utilizó en ambos casos una serie de palabras clave con operadores lógicos para seleccionar la literatura relevante: carbono orgánico, materia orgánica, densidad aparente, propiedades físicas y químicas del suelo, fertilidad y caracterización de suelos.

Los documentos que resultaron de la búsqueda fueron analizados y se elaboró una base de datos para sintetizar y sistematizar la información de cada documento. Inicialmente se describe el año de la publicación y el tipo de documento (artículo indizado, libro indizado, capítulo de libro indizado, tesis de licenciatura, tesis de posgrado, tesina, informe técnico de proyecto, memoria de reunión científica, folleto de divulgación y borrador). Posteriormente, se categorizó cada documento en cuatro niveles de utilidad, en donde cada nivel correspondió a la calidad y tipo de información contenida en el documento. Los documentos del nivel 3 fueron aquellas investigaciones que presentaron alta cantidad de información y completa, en términos de información georreferenciada, datos precisos de la zona y base de datos asociadas a inventarios de suelos (mantillo, materia muerta y suelo a diferentes profundidades).

El nivel 2 incluyó trabajos con información georreferenciada, con datos generales o precisos de la zona y resultados resumidos, pero sin base de datos asociada y pudiendo faltar información sobre la ubicación de las parcelas. El nivel 1 incluyó los trabajos o proyectos de investigación que representaron áreas de importancia para las instituciones locales, ubicados a escala de comunidad vegetal y, en donde se contó únicamente con información general. El nivel 0 incluyó trabajos cuyas variables medidas no se pudieron verter en las bases de datos, tales como de proyectos relacionados con modelación de carbono en suelos, métodos de medición o protocolos de muestreo.

Además, para cada documento se registró si el objetivo correspondió a una caracterización o mejoramiento de suelos, una discusión o metodología; o bien, a la descripción de un componente del ciclo del carbono. De acuerdo a lo anterior se pudieron describir tanto los almacenes, como los flujos de carbono o ambos. También se registró si en el documento se contempló la medición de otros almacenes de carbono,

como biomasa aérea, biomasa muerta sobre el suelo, mantillo y raíces.

Se encontraron estudios sobre los almacenes y flujos de carbono que presentaron mediciones y colectas de carbono del suelo varias veces al año para captar las variaciones temporales o estacionales, así como otros en donde se tomaron registros de carbono en diferentes años.

La descripción del sitio de estudio incluyó la entidad o entidades, localización, tipo de vegetación o uso de suelo, prácticas de manejo, clima, tipos de suelo. Se señaló también si el estudio contempló la descripción de horizonte del suelo, profundidad (cm), pH, porcentaje de materia orgánica y método de medición, valores de densidad aparente y real, porosidad, porcentajes de grava arena, limo y arcilla y los valores porcentuales de carbono orgánico y carbono inorgánico y sus métodos de obtención. Por último, se efectuó una caracterización del documento por tipo de vegetación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La acumulación de carbono orgánico en el suelo (COS) es un proceso importante para mitigar los efectos del cambio climático, debido a que el suelo, además de ser un sumidero, es un reservorio estable de carbono (Etchevers, 2006). Los suelos de México tienen en promedio 1.8% de carbono orgánico (CO) (3.1% de materia orgánica), lo que representa un contenido total de 10.5 Pg de CO (Segura-Castruita *et al.*, 2005); aunque no se considera la corrección por la fracción de fragmentos gruesos (> 2 mm) en esta estimación (Paz *et al.*, 2016).

La investigación del ciclo del carbono en México ha estado asociada principalmente a la biomasa aérea, pero poco se conoce sobre la dinámica de acumulación de CO. El desarrollo de este conocimiento puede contribuir al mejor entendimiento de la dinámica de carbono por cambios en el uso de suelo y de los impactos de la reforestación como servicio ambiental.

La revisión arrojó un total de 713 documentos que tuvieron relación con los procesos de almacenamiento o flujos de COS. De este universo, únicamente 435 se consideraron de utilidad para la ciencia del suelo con respecto al ciclo del carbono.

La revisión incluyó literatura convencional y gris de acuerdo con la distribución que se presenta en la Figura 1. La mayor producción científica (198) se concentró en trabajos de tesis de licenciatura, maestría y doctorado (ver Literatura gris), seguida de los artículos científicos (129) en revistas indizadas (Figura 1).

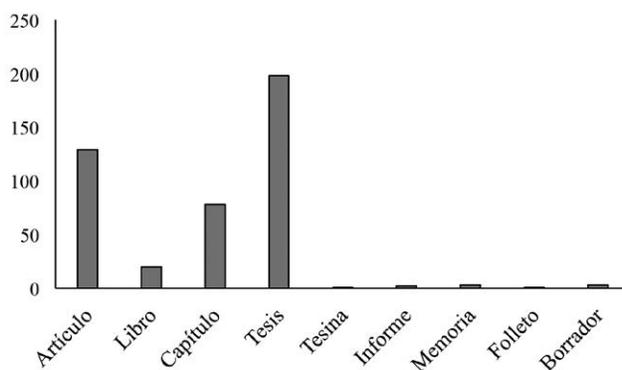


Figura 1. Número de estudios realizados en México sobre carbono orgánico del suelo, de acuerdo con el tipo de documento.

Los documentos en donde se describió el porcentaje de materia orgánica o COS previos al año 2000 tuvieron como objetivo la caracterización de los suelos (Reyes-Gómez *et al.*, 1996; Uribe-Gómez *et al.*, 2000; Castro-Servín *et al.*, 2006), Figura 2. Posteriormente, la producción científica se enfocó al mejoramiento de los suelos (Astier *et al.*, 2002; Astier *et al.*, 2006; Gamboa *et al.*, 2010), Figura 2.

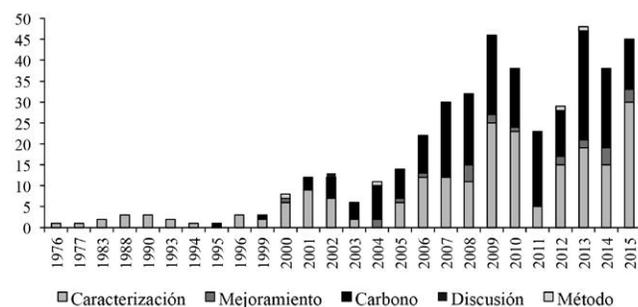


Figura 2. Documentos con datos relacionados con carbono orgánico del suelo, de acuerdo con el objetivo (caracterización del tipo de suelo, mejoramiento del suelo, concentración de carbono, discusión y metodológico) y año de publicación en el periodo 1976-2105.

Los estudios dirigidos a la medición de la concentración de carbono en el suelo datan desde 1995 (Flores y Benavides, 1995) en esta revisión y mostraron un incremento importante en los últimos quince años (Sustaita-Rivera *et al.*, 2000; López-Martínez *et al.*, 2001; Báez-Pérez *et al.*, 2002; Gómez-Tagle-Chávez *et al.*, 2003; Angoa-Pérez *et al.*, 2004; Monreal *et al.*, 2005; Vergara-Sánchez y Etchevers-Barra, 2006; Herrera-Arreola *et al.*, 2007; Roncal-García *et al.*, 2008; Vargas *et al.*, 2009; Geoghegan *et al.*, 2010; Valdés-Velarde *et al.*, 2010).

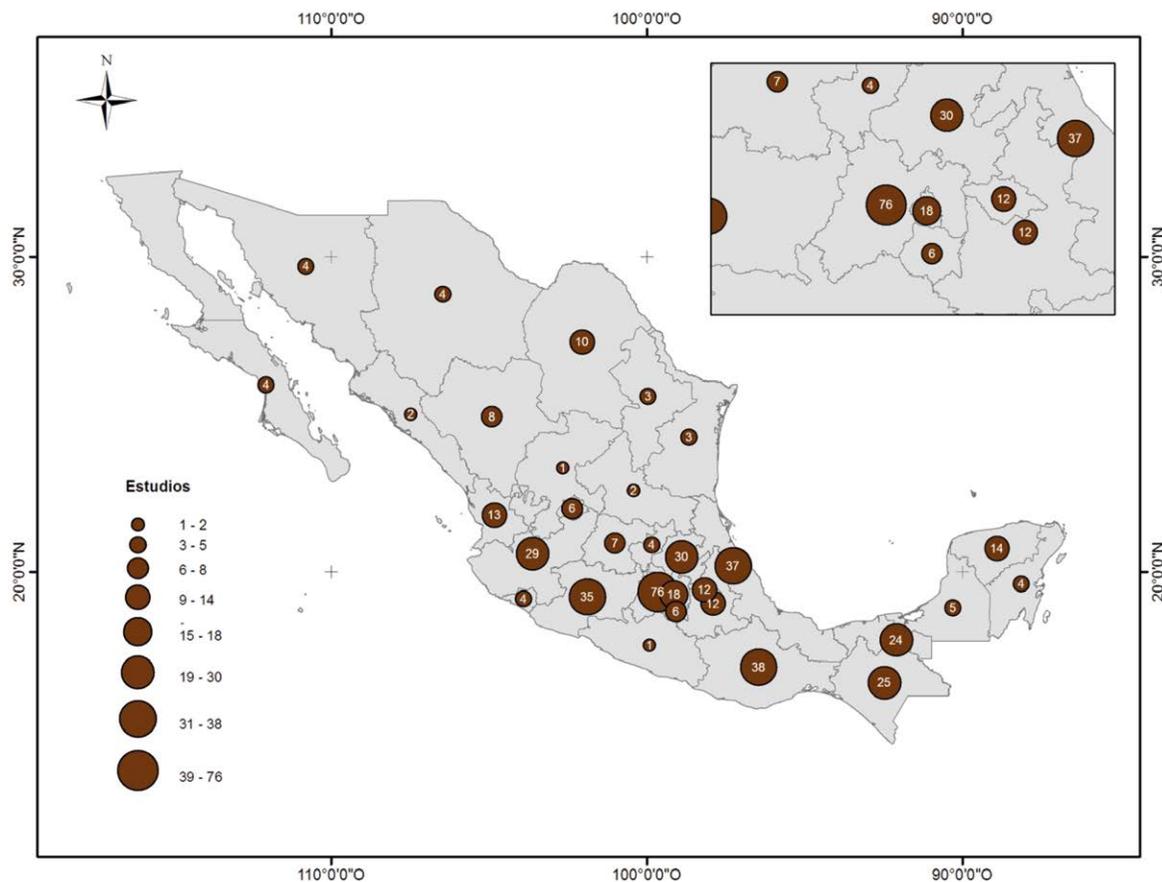
*al.*, 2011; Murray-Núñez *et al.*, 2012; Sánchez *et al.*, 2013; Valera-Pérez *et al.*, 2014; Quintero *et al.*, 2015).

El 86.1% de los trabajos involucraron la cuantificación de almacenes de carbono del suelo (Vergara-Sánchez *et al.*, 2004; Avilés-Hernández *et al.*, 2005; Sánchez-Hernández *et al.*, 2011; Espinoza-Domínguez *et al.*, 2012; Orihuela-Belmonte *et al.*, 2013; Serrato-Cuevas *et al.*, 2014; Cristóbal-Acevedo *et al.*, 2015).

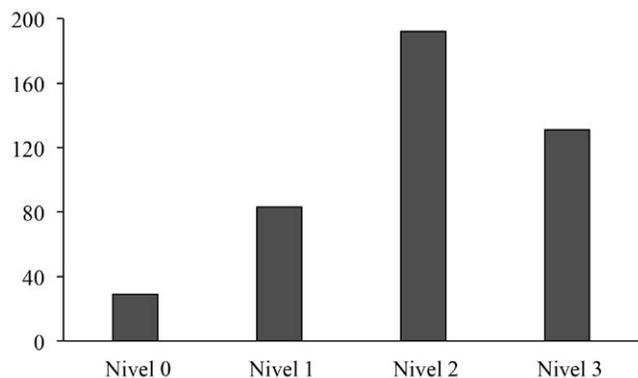
El 8.4% incluyó la medición de flujos carbono (Álvarez-Solís *et al.*, 2000; Galicia *et al.*, 2002; Álvarez-Solís *et al.*, 2004; Ikkonen *et al.*, 2004). El 5.7% restante incluyó estudios de dinámica de carbono al interior del suelo (almacenes y flujos) (Saynes *et al.*, 2005; Báez-Pérez *et al.*, 2010; Chávez-Vergara *et al.*, 2014).

La distribución espacial de los documentos permitió conocer que 404 investigaciones se desarrollaron en un solo estado (Figura 3). El Estado de México presentó la mayor cantidad de trabajos (76) (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2003; Báez-Pérez *et al.*, 2007; Fuentes *et al.*, 2009; Sotelo-Ruiz *et al.*, 2010; Pérez-Ramírez *et al.*, 2013),

mientras Oaxaca registró 38 estudios (Bautista-Cruz *et al.*, 2005; Vergara-Sánchez *et al.*, 2005; González-Molina *et al.*, 2008; Álvarez-Arteaga *et al.*, 2013). En el estado de Veracruz se localizaron 37 investigaciones (Campos *et al.*, 2007; Ávila-Bello y Zamora-Moreno, 2010; Marín-Muñiz *et al.*, 2011), 35 estudios en Michoacán (Luis-Mejía *et al.*, 2007; Rojas-García *et al.*, 2013) y 30 en Hidalgo (Fuentes-Andrade *et al.*, 2014). Por otro lado, se localizaron seis estudios que involucraron todo el territorio nacional (Etchevers *et al.*, 2006; Balbontín *et al.*, 2009; Cruz-Gaistardo *et al.*, 2013; Vargas *et al.*, 2013; Cruz-Gaistardo y Paz-Pellat, 2014; Tiscareño-Ruelas *et al.*, 2014), mientras que el estudio de Cruz-Flores y Etchevers-Barra (2011) presentaron datos de bosques de pino de siete estados González-Molina *et al.* (2014) modelaron la respuesta del COS ante el cambio de uso de suelo en cuatro entidades y los trabajos de Paz *et al.* (2013), Guerra-Hernández y Cruz-Flores (2015) y Martínez-Cohetero *et al.* (2015) incluyen mediciones en tres estados.



Los estudios se clasificaron en cuatro niveles: el nivel tres corresponde a estudios con georreferenciación y bases de datos asociadas abiertas, el nivel dos involucra estudios en los que los datos se presentan en forma resumida o con estadística descriptiva. Los niveles uno y cero corresponden a estudios más generales, o que implican otros ámbitos (Figura 4).



**Figura 4. Estudios de carbono orgánico en el suelo realizados en México clasificados en cuatro niveles de información. El Nivel 3 son estudios georreferenciados y con bases de datos completas y abiertas y el Nivel 2 involucra estudios con datos resumidos y/o con estadística descriptiva. El Nivel 1 y 0 corresponde a estudios generales.**

El 65% de los documentos presentaron datos de COS y el 28% restante mostró datos de materia orgánica del suelo. La materia orgánica del suelo se evaluó en un 70% de los casos por el método de Walkley y Black (1947). En los suelos de México se utilizó el factor 0.58 (1/1.724) para convertir MOS a COS (SEMARNAT, 2002). Esta conversión permitió homogeneizar los valores de los todos estudios en la presente revisión.

Se han realizado diferentes esfuerzos de síntesis del COS a nivel nacional. Segura-Castruita *et al.* (2005) evaluaron la degradación de suelos analizando 4 583 muestras de suelo colectadas en 2012, para un proyecto de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Colegio de Postgraduados. Los contenidos de COS variaron de 0.006 a 16.40% en el horizonte superficial (0 a 20 cm de profundidad). Los autores reportaron sus resultados por entidad y región ecológica mayor en unidades de superficie (Mgha<sup>-1</sup>). La comparación entre los datos obtenidos en la presente revisión y el estudio antes mencionado muestra una diferencia significativa en los estados de la península de Yucatán (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Porcentaje de carbono orgánico en el suelo por entidad federativa de acuerdo con Segura *et al.* (2005) y los datos del presente estudio.**

Entidad	Promedio (Segura-Castruita <i>et al.</i> , 2005)	Promedio (Este estudio)	Desviación estándar (Este estudio)
Aguascalientes	0.769	0.814	0.032
Baja California	0.582	s.d.	s.d.
Baja California Sur	0.525	0.344	0.128
Campeche	0.964	11.393	7.374
Chiapas	1.570	2.077	0.358
Chihuahua	1.150	0.847	0.214
Coahuila	0.688	3.164	1.750
Colima	1.098	1.271	0.122
Distrito Federal	1.161	5.914	3.361
Durango	0.954	1.127	0.123
Estado de México	1.008	1.766	0.536
Guanajuato	0.875	5.053	2.955
Guerrero	1.050	0.638	0.292
Hidalgo	1.392	4.549	2.233

Entidad	Promedio (Segura-Castruita <i>et al.</i> , 2005)	Promedio (Este estudio)	Desviación estándar (Este estudio)
Jalisco	1.036	7.639	4.669
Michoacán	1.145	4.224	2.177
Morelos	1.070	3.655	1.828
Nayarit	0.890	1.890	0.707
Nuevo León	0.801	0.864	0.045
Oaxaca	1.001	7.400	4.525
Puebla	0.952	5.532	3.238
Querétaro	1.787	1.978	0.136
Quintana Roo	2.779	13.955	7.902
San Luis Potosí	1.358	1.265	0.066
Sinaloa	0.741	0.642	0.071
Sonora	0.685	0.939	0.180
Tabasco	1.160	8.211	4.986
Tamaulipas	1.153	1.229	0.053
Tlaxcala	0.704	2.009	0.922
Veracruz	1.360	3.677	1.638
Yucatán	3.035	11.517	5.997
Zacatecas	0.801	1.100	0.212

Fuente: Documentos enlistados como literatura convencional y literatura gris en la última sección de este trabajo. s.d. = sin dato.

Balbontín *et al.* (2009) reportaron valores promedio de COS y densidad aparente del suelo por provincia fisiográfica, grupo climático y ecorregión en un proyecto del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Colegio de Postgraduados. Las revisiones de Segura *et al.* (2005) y Balbontín *et al.* (2009) permitieron definir las bases de los resultados del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009 (INFyS) (CONAFOR, 2012). Paz *et al.* (2016) presentaron un ejercicio de ampliación de las estimaciones usadas en distintos inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y los informes de evaluación de los recursos forestales mundiales, bajo la consideración de que la dinámica temporal del COS puede caracterizarse por los cambios en las clases de uso del suelo y vegetación.

México cuenta con numerosos esfuerzos de clasificación de la vegetación, ya que debido a su complejidad climática, orográfica e hídrica, cuenta con casi todos los tipos de vegetación del planeta. Con el

fin de homogeneizar la información del COS para la vegetación de México, se reclasificó el tipo de vegetación descritos en cada estudio a fin de homologarlo con el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (Cuadro 2).

El uso de suelo con mayor número de mediciones de COS es Agricultura seguido de Pastizal y, el tipo de vegetación con mayor número de mediciones es el Bosque de Encino, seguido del Bosque de pino-encino. Los tipos de vegetación con mayor porcentaje de COS son Manglar y Bosque mesófilo de montaña.

La presente revisión es una herramienta que permite comparar los datos publicados de forma convencional y no convencional con los medidos en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos y los que se obtengan en futuros estudios. Así mismo, este trabajo permite apreciar los esfuerzos de investigación que han permanecido como literatura gris, producto de una reunión científica o tesis de grado, revisados por pares en el caso de las reuniones o por un comité de evaluación en el caso de la tesis.

**Cuadro 2. Porcentaje de carbono orgánico en el suelo por tipo de vegetación o uso de suelo en México**

Tipo de vegetación o uso de suelo	Carbono orgánico en el suelo (%)	
	Promedio	Desviación estándar
Agricultura	2.529	5.821
Bosque de cedro	1.486	0.585
Bosque de encino	2.095	5.128
Bosque de encino-pino	1.865	0.846
Bosque de galería	1.979	2.240
Bosque de oyamel	3.555	4.866
Bosque de pino	4.629	5.971
Bosque de pino-encino	2.883	3.707
Bosque de táscate	1.350	1.051
Bosque mesófilo de montaña	6.341	12.858
Manglar	7.936	14.059
Matorral xerófito	2.896	4.352
Pastizal	1.379	1.296
Pastizal de alta montaña	3.467	0.836
Plantaciones forestales	3.243	2.674
Plantaciones frutales	2.456	4.821
Selva alta perennifolia	3.838	5.222
Selva baja caducifolia	5.517	8.116
Selva mediana caducifolia	6.335	5.428
Selva mediana perennifolia	2.133	0.896
Sin vegetación aparente	1.230	0.669
Vegetación halófila hidrófila	2.513	2.523

Fuente: Documentos enlistados como literatura convencional y literatura gris.

### RECOMENDACIONES FINALES

La síntesis del estado del arte del carbono orgánico de los suelos (COS) de México permite observar que es necesario dirigir los esfuerzos de investigación a los flujos y la dinámica del carbono en este importante reservorio terrestre, debido a que la mayoría de los trabajos describen los almacenes al momento de la realización de la evaluación.

La revisión realizada detectó que en el estado de Baja California no se ha efectuado ninguna investigación sobre el COS, aunque es muy probable que existan trabajos no detectados en esta revisión. Las entidades en las que deben incentivar las investigaciones sobre el COS son Guerrero, Zacatecas y San Luis Potosí.

La información generada en este estudio puede ser considerada para encaminar los estudios hacia regiones del país con escaso conocimiento sobre la ciencia del suelo por los organismos financiadores (*i.e.* CONACyT) y las universidades estatales, de tal manera que esta área de oportunidad se traduzca en un mayor conocimiento del COS y contribuya a los planes estatales ante el cambio climático; sobre todo en las entidades en las que se presentan tipos de vegetación de distribución restringida y vulnerables al cambio climático entre ellas Manglar, Bosque mesófilo de montaña y la Selva mediana caducifolia.

Es conveniente que las futuras investigaciones de COS en México se apeguen al esquema de medición, reporte y verificación de conformidad con los criterios

de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, tales como transparencia, consistencia, comparabilidad, integridad y precisión (IPCC, 2003). Para ello es necesario incluir en la publicación la caracterización física del sitio de estudio, la georreferenciación de las parcelas o perfiles de muestreo, la descripción de la condición del tipo de vegetación, las prácticas de manejo y un análisis de la incertidumbre de los resultados presentados.

La base de datos presentada en esta revisión está disponible en: <http://pmcarbono.org/pmc/Bases Datos/Suelos.php>, como parte de la estrategia del Programa Mexicano de poner a disposición de la comunidad científica estos esfuerzos de compilación, como un elemento crítico hacia la síntesis del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres de México.

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa Mexicano del Carbono por el financiamiento para la revisión y a Verónica Aguilar Zamora por la elaboración del mapa.

## LITERATURA CONVENCIONAL (Artículos científicos y libros indizados revisados por pares)

- Acevedo-Sandoval, O., L. Ortiz-Hernández, D. Flores-Román, A. Velázquez-Rodríguez y K. Flores-Castro. 2003. Caracterización física y química de horizontes endurecidos (tepetates) en suelos de origen volcánico del Estado de México. *Agrociencia* 37:435-449.
- Acevedo-Sandoval, O., M. Valera-Pérez y F. Prieto-García. 2010. Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlan, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 6(2):137-150.
- Acosta-Mireles, M., J. D. Benavides-Solorio y F. Carrillo-Anzures. 2012. Estimación del carbono en el suelo, hierbas y arbustos en una plantación experimental de cuatro especies tropicales, en la Huerta, Jalisco. pp. 139-144. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Alcalá de Jesús, M., C. Hidalgo-Moreno y M. Gutiérrez-Castorena. 2009. Mineralogía y retención de fosfatos en andosoles. *Terra Latinoamericana* 27(4):275-286.
- Álvarez-Arteaga, G., N. García-Calderón, P. Krasilnikov y F. García-Oliva. 2013. Almacenes de carbono en bosques montanos de niebla de la Sierra Norte de Oaxaca. *Agrociencia* 47:171-180.
- Álvarez-Arteaga, G., P. Mireles-Lezama, A. Ibáñez-Huerta, B. García-Fajardo y M. E. Orozco-Hernández. 2015. Cambios de uso de suelo y servicios ambientales en un bosque templado del Estado de México. pp. 129-35. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Álvarez-Solís, J. y M. Anzuelo-Martínez. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en Los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 38:13-22.
- Álvarez-Solís, J., R. Ferrera-Cerrato y J. Etchevers. 2000. Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34:523-532.
- Angoa-Pérez, M., J. González-Castañeda, J. Frias-Hernández, O. Franco-Hernández, O. Van Cleemput, L. Dendooven y V. Olalde. 2004. Trace gas emissions from soil of the central highlands of Mexico as affected by natural vegetation: a laboratory study. *Biology and Fertility of Soils* 40:252-259.
- Aryal-Deb, R., B. H. J. De Jong, S. Ochoa-Gaona, J. Mendoza-Vega and L. Esparza-Olguín. 2015. Seasonal and successional patterns of litterfall in a semi-evergreen tropical forest of Calakmul, Campeche. pp. 32-37. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Astier, M., J. M. Maass, J. Etchevers-Barra, J. J. Peña y F. de León González. 2006. Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. *Soil and Tillage Research* 88:153-159.
- Astier, M., J. M. Maass y J. Etchevers-Barra. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36:605-620.
- Ávila-Bello C. y P. Zamora-Moreno. 2010. Producción de hojarasca y materia orgánica en agroecosistemas cafetaleros marginales de Ocotital Chico, Veracruz, México. *Polibotánica* 30:69-87.
- Avilés-Hernández, V., A. Velázquez-Martínez, G. Ángeles-Pérez, J. Etchevers-Barra, H. De los Santos-Posadas y T. Llanderal. 2005. Variación en almacenes de carbono en suelos de una toposecuencia. *Agrociencia* 43:457-464.
- Avilés-Marín, M., A. Galvis-Spinola, T. Hernández-Mendoza y G. Arévalo-Galarza. 2007. Relación de la textura y superficie específica con la materia orgánica del suelo en selvas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(2):109-113.
- Ayala-Niño, F., Y. Maya-Delgado y E. Troyo-Diéguez. 2015. Secuestro de carbono en suelos con déficit hídrico en la cuenca de la Paz, Baja California Sur, noroeste de México. pp. 154-161. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*

- Báez-Pérez, A., J. Etchevers-Barra, C. Hidalgo-Moreno, C. Prat, V. Ordaz-Chaparro y R. Núñez-Escobar. 2002. C orgánico y P Olsen en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36:643-653.
- Báez-Pérez, A., J. Etchevers-Barra, C. Prat y C. Hidalgo-Moreno. 2007. Formation of aggregates and carbon sequestration in ameliorated tepetates in the Río Texcoco basin, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(3):487-497.
- Báez-Pérez, A., J. D. Etchevers-Barra, M. Haulon, G. Werner, G. Flores y C. I. Hidalgo Moreno. 2009. Pérdida de Carbono por erosión hídrica y emisiones de CO<sub>2</sub> en tepetates habilitados para la agricultura. pp. 25-48. En: Gallardo-Lancho, J. F. Emisiones de gases con efecto invernadero en ecosistemas iberoamericanos. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental.
- Báez-Pérez, A., M. C. Ángeles González-Chávez, J. D. Etchevers-Barra, C. Prat y C. Hidalgo Moreno. 2010. Glomalina y secuestro de en tepetates cultivados. *Agrociencia* 44:517-529.
- Báez-Pérez, A., C. Tinoco-Páramo, J. Villegas-García, A. Bautista-Cruz y L. González-Molina. 2014. Dinámica de acumulación de C orgánico en suelos vertisoles cultivados en labranza de conservación. 2014. pp. 265-270. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Balbotín, C., C. Cruz, F. Paz and J. D. Etchevers. 2009. Soil Carbon Sequestration in Different Ecoregions of Mexico. *In: Lal, R. and R. Follet. Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect, 2<sup>nd</sup> edition. SSSA Special Publication 57. Madison, USA.*
- Barajas-Guzmán, M. 2015. Descomposición, respiración del suelo y macrofauna edáfica en la cuenca del Río Magdalena, México, D. F. pp. 93-100. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Barrales, E., J. D. Etchevers, C. Hidalgo, J. Padilla, V. Saynes y M. Carrasco. 2013. Emisión de carbono por mantillo y horizontes de fermentación de un bosque de pino-encino sometido a manejo forestal. pp. 15-20. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Barrales-Brito E., J. D. Etchevers-Barra, C. Hidalgo-Moreno, F. Paz-Pellat y V. Saynes-Santillán. 2014. Emisión de CO<sub>2</sub> de mantillo y horizontes de fermentación utilizando un respirómetro. pp. 102-108. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Barrales-Brito, E., P. Guerrero-Ortiz, I. Estrada-Herrera, F. Hernández-López y S. G. Benedicto-Valdés. 2015. Dinámica de carbono en un suelo con la adición de diferentes tipos de materia orgánica. pp. 277-282. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Bautista-Cruz, A., M. Gutiérrez-Castorena, R. Castillo-Sánchez y J. Etchevers-Barra. 2005. Cronosecuencia de un suelo y su clasificación en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña. *Terra Latinoamericana* 23(2):147-157.
- Bautista, F. y M. A. Gallegos-Tavera. 2013. El software carbon-stock para la estimación de carbono orgánico del suelo. pp. 21-24. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Bautista, F., E. García y A. Gallegos. 2015. The App SOC+ a tool to estimate or/and calculate organic carbon in the soil profile. pp. 229-235. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Bazán, M., R. Cuevas, I. Marín, V. Saynes, J. Wong y F. Paz. 2013. Propuesta para el establecimiento de un sistema nacional de monitoreo de la dinámica del carbono en ecosistemas forestales de México orientado a la calibración y validación de modelos. pp. 154-164. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Bolaños-González, Y., M. Bolaños-González, F. Paz-Pellat, J. Wong-González y E. Barrales-Brito. 2015. Estimación de carbono almacenado en dos bosques de referencia del Monte Tláloc en Texcoco, Estado de México. pp. 341-346. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Bolio-López, G., S. Salgado-García, D. Palma-López, L. Lagunes-Espinoza, M. Castelán-Estrada y J. Etchevers-Barra. 2008. Dinámica del potasio en vertisoles y fluvisoles cultivados con caña de azúcar. *Terra Latinoamericana* 26(3):253-263.
- Borges-Gómez, L., M. Soria-Fregoso, V. Casanova-Villarreal, E. Villanueva-Cohuo y G. Pereyra-Pérez. 2008. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia* 42:21-27.
- Calderón-Calderón, J., E. López-Alcocer, J. A. Lama-Lozas, M. E. Magaña-Virgen y M. D. Ocegueda-Reyes. 2007. Evaluación física y química del suelo en sitios con incendios y sin incendios en el Bosque de la Primavera, Jalisco. pp. 15. En: VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales (Morelia, Michoacán, México).

- Campos, A., K. Oleschko, J. Etchevers y C. Hidalgo. 2007. Exploring the effect of changes in land use on soil quality on the eastern slope of Cofre de Perote Volcano (Mexico). *Forest Ecology and Management* 248:174-182.
- Campos-Cascaredo, A., K. Oleschko, L. Cruz-Huerta, J. Etchevers y C. Hidalgo. 2001. Estimación de alófono y su relación con otros parámetros químicos en andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. *Terra Latinoamericana* 19:105-116.
- Capulín-Grande, J. L. Mohedano-Caballero y R. Razo-Zarate. 2009. Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana* 28:79-87.
- Carrasco, M., C. Hidalgo, J. D. Etchevers y F. Paz. 2013. Uso de la señal espectral del suelo en la región del infrarrojo cercano como criterio de selección en la estimación de carbono. pp. 40-44. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Casas, N. y M. G. Manzano. 2012. Evaluación del efecto del rodillo aireador en el contenido de carbono en tierras del pastoreo del noreste de México. pp. 209-214. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Castillo-Pacheco, L. A., I. Bojórquez-Serrano, A. Hernández-Jiménez y R. Murray-Núñez. 2014. Reservas de carbono orgánico en suelos de la subcuenca del río Mololoa, Nayarit. pp. 145-151. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Castillo-Granada, L., I. Chavarría-Sánchez, L. A. Pompa-Arenas, I. Castillo-Chaires y M. Arteaga-Mejía. 2015. Captura de Carbono en suelo, capa de fermentación y mantillo en Mazatlán Villa de Flores, Oaxaca: estudio de la materia orgánica por FTIR. pp. 244-250. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Castro-Servín, J., B. Pérez-Rodríguez, A. González-López, E. Pérez-Salgado, S. Cortez-Vázquez y L. Olivares-López. 2006. Caracterización edafológica de los sitios de plantación del Parque Tezozómoc, Distrito Federal. *Ciencia Forestal en México* 31(100):43-67
- Ceccon, E., I. Olmsted y J. Campo-Alves. 2002. Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos de diferente estado regeneracional en Yucatán. *Agrociencia* 35(5):621-631.
- Chávez-Vergara, B., A. Merino, G. Vázquez-Marrufo y F. García-Oliva. 2014. Organic matter dynamics and microbial activity during decomposition of forest floor under two native neotropical oak species in a temperate deciduous forest in Mexico. *Geoderma* 235:133-145.
- Claro-Cortés, P., R. Núñez-Escobar, J. Etchevers-Barra, P. Sánchez-García y J. Alvarado López. 2002. Respuesta, en invernadero, del maíz al azufre en dos suelos del estado de Puebla, México. *Agrociencia* 36:633-642.
- Colli-Cortés, P. M., X. de Lucas-Vázquez, R. Gen-Laguna, G. Cruz-Flores y E. Guerra-Hernández. 2015. Carbono del complejo suelo-mantillo bajo bosques de especies perennifolias y caducifolias en sistemas ribereños de montaña. pp. 256-261. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe de Resultados 2004-2009. Coordinación General de Planeación e Información-Gerencia de Inventario Forestal y Geomática de la Comisión Nacional Forestal. Jalisco, México. <http://www.cnf.gob.mx> (Consulta: noviembre 07, 2012).
- Cortés-Jiménez, J. M., J. Garatuza-Payán, J. Macías-Cervantes, E. G. Zazueta, T. Ruiz-Vega y A. A. Ortiz-Avalos. 2012. Variabilidad espacial y línea de base del contenido de carbono orgánico, de un suelo representativo del Valle del Yaqui, Sonora, México. pp. 84-92. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Covalada, S., S. Pajares, J. F. Gallardo y J. D. Etchevers. 2006. Short-term changes in C and N distribution in soil particle-size fractions induced by agricultural practices in a cultivated volcanic soil from Mexico. *Organic geochemistry* 37(12):1943-1948.
- Covalada, S., S. Pajares, M. Haulon, A. Báez, J. F. Gallardo, J. D. Etchevers, G. Werner y S. Marinari. 2007. Secuestro de C en tepetates rehabilitados para uso agrícola en el estado de Tlaxcala (México). pp. 123-147. En: Gallardo-Lancho, J. F. (ed.). *La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. Sociedad Iberoamericana de física y química ambiental Salamanca. España.*
- Covalada, S., S. Pajares, J. F. Gallardo, J. Padilla, A. Báez y J. D. Etchevers. 2009. Effect of different agricultural management systems on chemical fertility in cultivated tepetates of the Mexican transvolcanic belt. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129:422-427.
- Covalada, S., C. Prat, F. García-Oliva, J. D. Etchevers, J. F. Gallardo y F. Paz. 2009. Flujos de CO<sub>2</sub> edáfico en un transecto de bosques de pino-encino afectados por actividad antrópica en la microcuenca de Atécuaro (Michoacán, México). pp. 123-147. En: Gallardo-Lancho, J. F. (ed.). *Emisiones de gases con efecto invernadero*

- en ecosistemas Iberoamericanos. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca, España.
- Covaleda, S., J. F. Gallardo, F. García-Oliva, H. Kirchmann, C. Prat, M. Bravo and J. D. Etchevers. 2011. Land-use effects on the distribution of soil organic carbon within particle-size fractions of volcanic soils in the Transmexican Volcanic Belt (Mexico). *Soil Use and Management* 27:186–194.
- Covaleda, S., F. Paz y B. de Jong. 2013. Parametrización de modelos de estados y transiciones para el carbono y caracterización de la incertidumbre. pp. 29-35. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Cristóbal-Acevedo, D., E. Hernández-Acosta, R. Maldonado-Torres y M. E. Álvarez-Sánchez. 2015. Variabilidad espacial del carbono en un suelo después de 10 años de retiro e incorporación de residuos de cosecha. *Terra Latinoamericana* 33:199-208.
- Cruz-Flores, G. y J. D. Etchevers-Barra. 2011. Contenidos de carbono orgánico de suelos someros en pinares y abetales de áreas protegidas de México. *Agrociencia* 45:849-862.
- Cruz-Gaistardo, C., L. Montanarella, A. Jones y C. Gardi. 2013. Atlas de suelos de Latinoamérica y el Caribe: un instrumento de comunicación entre sociedad, ciencia y gobierno sobre la importancia del suelo y su relación con el cambio climático. pp. 200-206. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Cruz-Gaistardo, C. O. 2014. Retos y avances en la medición y monitoreo de carbono orgánico del suelo en México. pp. 170-176. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Cruz-Gaistardo, C., V. Díaz-Núñez, J. A. Martínez-de Anda y V. Díaz-Núñez. 2014. Mapa de uso de suelo y vegetación de Aguascalientes, escala 1:50 000. pp. 183-186. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Cruz-Gaistardo, C. y F. Paz-Pellat. 2014. Mapa de carbono orgánico de los suelos de la República Mexicana. pp. 187-191. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Cuevas-Trejo, S., M. López-Velasco, E. Valdés-Velarde, V. Ordaz-Chaparro, J. Ayala-Arreola, L. Krishnamurthy, E. Salcedo-Pérez, J. Gallardo-Lancho y J. Valdez-Hernández. 2015. Contenido de Carbono en sistemas agroforestales de café en tres municipios de la región de “Las Montañas” (Veracruz, México). pp. 71-77. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- De León-González, F., E. Celada-Tornel, C. I. Hidalgo-Moreno, J. D. Etchevers-Barra, M. C. Gutiérrez-Castorena and A. Flores-Macías. 2006. Root-soil adhesion as affected by crop species in a volcanic sandy soil of Mexico. *Soil and Tillage* 90:77-83.
- De León-González, F., M. M. Hernández-Serrano, J. D. Etchevers, F. Payán-Zelaya and V. Ordaz-Chaparro. 2000. Short-term compost effect on macroaggregation in a sandy soil under low rainfall in the valley of Mexico. *Soil and Tillage Research* 56:213-217.
- De León-González, F., M. Fuentes-Ponce, M. Bautista-Cruz, T. Leyva-Pablo, H. Castillo-Juárez, L. M. Rodríguez-Sánchez y G. Miranda-García. 2015. Medición de emisiones de CO<sub>2</sub> del suelo en bosque de pino-encino, en maíz y nopal en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. pp. 62-68. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Delgado-Caballero, C., A. Gómez-Guerrero, J. R. Valdez-Lazalde, H. De los Santos-Posadas, A. M. Fierros-González y W. R. Horwath. 2009. Índice de sitio y propiedades del suelo en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en el sureste de México. *Agrociencia* 43:61-72.
- Díaz-Núñez, V., C. Cruz-Gaistardo, J. A. Martínez-de Anda y D. Chapa. 2014. Inventario estatal forestal y de suelos de Aguascalientes. 2012. pp. 177-183. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Espinoza-Domínguez, W., L. Krishnamurthy, A. Vázquez-Alarcón y A. Torres-Rivera. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(1):57-70.
- Etchevers-Barra, J. D. 2000. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos.
- Etchevers-Barra, J. D., R. Núñez-Escobar, A. Báez-Pérez, C. Hidalgo-Moreno, C. Prat y V. Ordaz-Chaparro. 2002. C orgánico y p-olsen en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36(6):643-653.
- Etchevers, J. D., O. Masera, C. Balbontín, D. Gómez, A. Monterroso, R. Martínez, M. Acosta, M. Martínez y C. Ortiz. 2006. Soil carbon sequestration in Mexico and Central America (Biome A). pp. 119-146. *In: Lal, R., C. Cerri, M. Bernoux, J. Etchevers and E. Cerri (eds.). Carbon Sequestration in Soils of Latin America.*

- Etchevers, J. D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo y M. Martínez. 2006. Influence of land use on carbon sequestration and erosion in Mexico, a review. *Agronomie* 26:1-9.
- Etchevers, J. D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo y M. Martínez. 2009. Influence of land use on carbon sequestration and erosion in Mexico: A Review. pp 21-28. *In: Lichtfouse, E. et al. (eds.). Sustainable Agriculture.*
- Etchevers, J. D. 2013. Estado actual de la investigación de los almacenes de Carbono en México. pp. 35-39. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Flores-Garnica, J. y J. Benavides-Solorio. 1995. Efecto de las quemas prescritas sobre algunas características del suelo en un rodal de pino. *Rev. Ciencia Forestal en México* 20(77):113-128.
- Fuentes, M., B. Govaerts, C. Hidalgo, J. Etchevers, I. González-Martín, J. M. Hernández-Hierro, K. D. Sayre and L. Dendooven. 2010. Organic carbon and stable <sup>13</sup>C isotope in conservation agriculture and conventional systems. *Soil Biology and Biochemistry* 42:551-557.
- Fuentes, M., B. Govaerts, F. De León, C. Hidalgo, L. Dendooven, Ken D. Sayre and J. Etchevers. 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *European Journal Agronomy* 30:228-237.
- Fuentes, M., L. Denoten, F. De León, J. Etchevers and C. Hidalgo, B. Govaerts. 2012. Distribución del carbono orgánico en agregados del suelo y emisiones de CO<sub>2</sub> en diferentes agrosistemas del Valle de México. pp. 201-208. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Fuentes-Ponce, M. H., J. D. Etchevers-Barra y O. Briones. 2013. El papel del programa mexicano del carbono en México en relación a los suelos. pp. 45-50. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Fuentes, M., F. Paz, C. Hidalgo y J. Etchevers. 2013. Modelación y síntesis de la dinámica del carbono en agregados asociada a prácticas de conservación en cultivos agrícolas. pp. 51-57. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Fuentes-Andrade, M. del S., O. A. Acevedo-Sandoval, E. Cruz-Chávez, E. M. Otazo-Sánchez y A. D. Román-Gutiérrez. 2014. Cambios en las propiedades edafológicas en el tiempo en un bosque templado del estado de Hidalgo, México. *European Scientific Journal* 10(6):399-410.
- Galicía, L., F. García-Oliva, R. Murillo y M. Oliva. 2002. Flujos de C, N y P al suelo de dos especies de árboles remanentes en una pradera tropical estacional. *Acta Botánica Mexicana* 61:41-57.
- Gallegos, A. and F. Bautista. 2015. Soil and environment un software para calcular el carbono orgánico del suelo y para escenarios de erosión y pérdida de carbono orgánico. pp. 236-243. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Gamboa, A. M., C. Hidalgo, F. De León, J. D. Etchevers, J. F. Gallardo and J. Campo. 2010. Nutrient addition differentially affects soil carbon sequestration in secondary tropical dry forests: early-versus late-succession stages. *Restoration Ecology* 18:252-260.
- García-Cruz, A., D. Flores-Román, N.E. García-Calderón, R. Ferrera-Cerrato y A. S. Velázquez-Rodríguez. 2007. Habilitación de un tepetate por efecto de mejoradores biológicos. *Agrociencia* 41:723-731.
- García-Fajardo, B., G. Álvarez-Arteaga, P. Mireles-Lezama, M. E. Orozco-Hernández y M. A. Reyes-Zuazo. 2015. Estimación del carbono orgánico del suelo y su relación con prácticas locales de manejo en sistemas agrícolas. pp. 136-143. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- García-Oliva, F. and O. Masera. 2004. Assessment and measurement issues related to soil carbon sequestration in land-use, land-use change, and forestry (LULUCF) projects under the Kyoto Protocol. *Climatic Change* 65:347-364.
- Geoghegan, J., D. Lawrence, L. C. Schneider and K. Tully. 2010. Accounting for carbon stocks in models of land-use change: an application to Southern Yucatan. *Regional Environmental Change* 10(3):247-260.
- Gómez-Díaz, J. D., A. I. Monterrosos-Rivas, J. A. Tinoco-Rueda y J. D. Etchevers-Barra. 2012. Almacenes de carbono en el piso forestal de dos tipos de bosque. *Terra Latinoamericana* 30:177-187.
- Gómez-Tagle-Chávez, A., Y. Chávez-Huerta, L. M. Morales-Manilla, E. Díaz-Fernández, A. F. Gómez-Tagle-Rojas y H. Zepeda-Castro. 2003. Predicción espacial de carbono orgánico edáfico superficial en zonas forestales mediante análisis digital de terreno y SIG: uso de la radiación solar potencial. *Foresta Veracruzana* 5(2):49-55.
- González-Molina, L., J. D. Etchevers-Barra y C. Hidalgo-Moreno. 2008. Carbono en suelos de ladera: Factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia* 42:741-751.
- González-Molina, L., A. Báez-Pérez y M. Acosta-Mireles. 2013. Cambios de carbono orgánico del suelo en sistemas con higuera (*Ricinus communis* L.). pp. 58-62. En: Paz, F., M.

- Bazan y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- González-Molina, L., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, A. Báez-Pérez y J.M. González-Camacho. 2014. Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(7):1275-1285.
- González-Molina, L. y A. Báez-Pérez. 2014. Estimación de los cambios de carbono orgánico del suelo en sistemas con higuerilla (*Ricinus communis* L.). pp. 236-241. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- González-Molina, L., M. Acosta-Mireles y F. Carrillo-Anzures. 2015. Aporte de carbono orgánico al suelo por cuatro especies tropicales en la huerta Jalisco. pp. 90-94. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- González-Molina, L., M. Acosta-Mireles y F. Carrillo-Anzures. 2015. Cambios de carbono orgánico del suelo en sistemas con especies arbóreas tropicales en la Huerta Jalisco. pp. 40-45. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- González-Velasco, A. R., J. J. Almaraz-Suárez, C. Heredia-Acuña y E. Ignacio-Jerónimo. 2015. Cambio de uso de la tierra y flujos de CO<sub>2</sub> en el Monte Tláloc. pp. 200-203. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Guerra-Hernández, E. y G. Cruz-Flores. 2015. Carbono orgánico del suelo e infiltración en la Reserva de la Biósfera Los Volcanes. pp. 283-291. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Gueye, K., C. Siebe y M. Skutsch. 2012. Potencial de captura de carbono en suelos de ladera en la subcuenca del Río Piricua en Tuxpan, Michoacán. pp. 150-157. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Hernández, F. J., J. D. Etchevers, C. Hidalgo, J. Padilla, V. Saynes y J. I. Cortés. 2013. Línea base de carbono en un suelo establecido con el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF). pp. 69-73. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Hernández-Alarcón, M. y C. Córdova. 2014. Comparación del almacenamiento de carbono y la emisión de gases de efecto invernadero en suelos de bosque mesófilo de montaña y en suelos transformados a cultivos y potreros. pp. 214-220. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Hernández-Gómez, M. A., M. Pando-Moreno, R. Mata-González y J. Jiménez-Pérez. 2014. Captura de carbono en ecosistemas de pastizales semiáridos del Altiplano del norte de México. pp. 90-97. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Herrera-Arreola, G., Y. Herrera, B. G. Reyes-Reyes y L. Dendooven. 2007. Mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw) DC.), huisache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) and catclaw (*Mimosa biuncifera* Benth.) and their effect on dynamics of carbon and nitrogen in soils of the semi-arid highlands of Durango Mexico. *Journal of Arid Environments* 69:583-598.
- Hidalgo, C., F. Paz y J. Etchevers. 2013. Efecto de las energías de dispersión en la distribución del carbono orgánico por fracciones físicas del suelo. pp. 74-80. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Hughes, F. R., J. Boone-Kauffman y V. J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of México. *Ecology* 80(6):1892-1907.
- Ikkonen, E., E. Ángeles-Cervantes y N. E. García-Calderón. 2004. Producción de CO<sub>2</sub> en andosoles afectados por incendios forestales en el parque nacional El chico, Hidalgo. *Terra Latinoamericana* 22:425-431.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner (Eds). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Hayama, Japan.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del PICC. M. Parry, L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C. E. Hanson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Isaza-Arias, G. C., M. A. Pérez-Méndez, J. R. Laines-Canepa y G. Castañón-Nájera. 2009. Comparación de dos técnicas de

- aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y Ciencia* 25(3):233-243.
- Jiménez, D. E., V. Saynes, C. Hidalgo y J. D. Etchevers. 2013. Protocolo de operación para medición de carbono en suelo. pp. 81-86. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Joaquín-Sánchez, A., S. Salgado-García, J. Palma-López, W. Camacho-Chiu y A. Guerrero-Peña. 2011. Análisis de nitrógeno total en suelos tropicales por espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) y quimiometría. *Agrociencia* 45:653-662.
- Jurado-Guerra, P., R. Saucedo-Terán, C. Morales-Nieto y M. Martínez-Salvador. 2014. Carbono orgánico del suelo y su relación con la condición en pastizales y matorrales de Chihuahua. pp. 62-69. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Leal-Soto, S. D., A. I. Valenzuela-Quintanar, M. de L. Gutiérrez Coronado, M. del C. Bermúdez-Almada, J. García-Hernández, M. L. Aldana-Madrid, P. Grajeda-Cota, M. I. Silveira-Gramont, M. M. Meza-Montenegro, S. A. Palma-Durán, G. N. Leyva-García, B. O. Camarena-Gómez y C. P. Valenzuela-Navarro. 2014. Residuos de plaguicidas organoclorados en suelos agrícolas. *Terra Latinoamericana* 32:1-11.
- León-Nájera, J. A., R. Gómez-Álvarez, S. Hernández-Dumás, J. D. Álvarez-Solis y D. J. Palma-López. 2006. Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los Altos de Chiapas, México. *Universidad y Ciencia* 22(2):163-174
- Leyva-Pablo, T., A. Bautista-Cruz, R. Zornoza-Belmonte, F. de León-González, V. Martínez-Gallegos, M. Fuentes-Ponce y L. M. Rodríguez-Sánchez. 2015. Dinámica del carbono y actividades enzimáticas en bosque, maíz y nopal en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. pp. 117-124. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Linares-Fleites, G., M. A. Valera-Pérez y M. Castillo-Morales. 2014. Modelación espacial de los contenidos de carbono orgánico en suelos volcánicos de Teziutlán, Puebla, México. *Ciencia en la frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ* 12:55-63.
- López-Martínez, J. D., A. Díaz-Estrada, E. Martínez-Rubín y R. D. Valdéz-Cepeda. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana* 19:293-299.
- López-Santiago, J. G., F. Casanova-Lugo, G. Villanueva-López, V. M. Interian-Ku y J. J. Hernández-Solis. 2015. Almacenamiento de carbono en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum*, en Michoacán, México. pp. 179-185. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- López-Teloxa, L. C., R. Castelán-Vega, A. Cruz-Montalvo y J. V. Tamariz-Flores. 2015. Comportamiento del carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el sitio Ramsar "Presa Manuel Ávila Camacho", Puebla. pp. 74-79. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Luis-Mejía, S., A. Gómez-Guerrero, J. D. Etchevers-Barra, G. Ángeles-Pérez, M. A. López-López y W. R. Horwath. 2007. Acumulación de carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de *Pinus michoacana*. *Agrociencia* 41:711-721.
- Maldonado, R., J. D. Etchevers, G. Alcántara, J. Rodríguez y M. T. Colinas L. 2001. Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimorficos. *Terra Latinoamericana* 19:163-174.
- Maldonado, V., J. Etchevers, F. Paz y J. Wong. 2013. Estimación de la densidad del material leñoso muerto en ecosistemas forestales mexicanos: datos preliminares de la primera fase. pp. 172-175. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Marín-Muñiz, J. L., M. E. Hernández-Alarcón y P. Moreno-Casasola-Barceló. 2011. Secuestro de carbono en suelos de humedales costeros de agua dulce en Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13:365-372.
- Martínez-Campos, A. R., G. Avilés-Valdés, I. Vargas-Millán, T. Arteaga-Reyes y S. Franco-Maass. 2014. Validación del modelo de cámara dinámica para la evaluación de la mineralización de carbono en suelos. pp. 84-89. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Martínez-Cohetero, J. F., C. Hidalgo-Moreno, J. Etchevers-Barra, J. Sandoval-Aparicio, E. Guerra-Hernández y G. Cruz-Flores. 2015. Contenidos de carbono en suelos forestales de ribera de dos cuencas de la Reserva de la Biósfera los Volcanes. pp. 262-268. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Martínez-Cruz, A., M. G. Carcaño-Montiel y L. López-Reyes. 2002. Actividad biológica en un transepto altitudinal de suelos de La Malinche, Tlaxcala. *Terra Latinoamericana* 20:141-146.
- Martínez-Montoya, J. F., G. Olmos-Oropeza, J. Palacio-Núñez y V. M. Ruiz-Vera. 2014. Estimación del carbono orgánico en suelos de zonas áridas y semiáridas. pp. 109-115. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en*

- México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Martínez-Rojas, V., E. Hernández-Acosta, A. Vázquez-Alarcón, A. I. Monterroso-Rivas y J. J. Almaraz-Suarez. 2014. Carbono almacenado en tres usos de suelo del monte Tláloc. pp. 195-201. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Martínez-Trinidad, S., H. Cotler, J. D. Etchevers-Barra, V. M. Ordaz-Chaparro y F. de León-González. 2008. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana* 26:299-307.
- Masuhara, A., E. Valdés-Velarde, J. Pérez-Nieto, D. Martínez-Pérez, J. C. Vázquez-Rodríguez, E. Salcedo-Pérez, L. Krishnamurthy y D. Gutiérrez-del Pozo. 2015. Contenido de carbono en sistemas agroforestales de café en Huatusco, Veracruz, México. pp. 62-70. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). 2015. Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Maycotte-Morales, C. C., A. Velázquez-Martínez, J. J. Vargas-Hernández, A. Trinidad-Santos, M. A. Musálem-Santiago y G. Vera-Castillo. 2002. Radiación fotosintéticamente activa y propiedades físico-químicas en suelos forestales con y sin incendio. *Madera y Bosques* 8(2):39-55.
- Medina-Méndez, J., V. H. Volke-Haller, J. González-Ríos, A. Galvis-Spínola, M. J. Santiago-Cruz and J. L. Cortés-Flores. 2006. Changes in time in the physical properties of the soil in rain-fed maize and irrigated mango systems in Luvisols in the state of Campeche. *Universidad y Ciencia* 22(2):175-189
- Medina-Orozco, L., N. E. García-Calderón, F. García-Oliva y E. Ikkonen. 2014. Suelos de humedal del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5(5):111-124.
- Medina-Orozco, L. E., A. Cabrera-González, J. Ayala-Gómez, A. Ramos-Ramírez, A. López-González y M. Saucedo-Cárdenas. 2015. Almacén de carbono en los suelos de la zona de influencia del meandro de La Piedad Michoacán. pp. 131-137. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Meraz-Jiménez, A. J., J. L. Galarza-Mendoza, F. Rojas-García, J. A. Torres-González, J. Romo-Durán, J. J. Luna-Ruiz y A. Ponce-Montoya. 2014. Estimación del almacenamiento de carbono en suelo y árboles de guayaba aplicando ecuaciones alométricas en Calvillo, Aguascalientes. pp. 271-276. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Miranda-García, G., M. Fuentes-Ponce y L. M. Rodríguez-Sánchez. 2014. Manejos orgánicos: ¿potencialmente viables para captura de carbono?. pp. 163-169. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Monreal, C. M., J. D. Etchevers, M. Acosta, C. Hidalgo, J. Padilla, R. M. López, L. Jiménez and A. Velázquez. 2005. A method for measuring above-and belowground C stocks in hillside landscapes. *Canadian Journal of Soil Science* 85:523-530.
- Montaño-Arias, N. M., R. García-Sánchez, G. Ochoa-de la Rosa y A. Monroy-Ata. 2005. Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Latinoamericana* 24:193-205.
- Moran-Salazar, R., N. Marino-Marmolejo, G. Dávila-Vázquez, M. Luna-Guido, L. Dendooven y S. M. Contreras-Ramos. 2015. Efecto de la aplicación de vinazas tequileras en la emisión de gases efecto invernadero (GEI) como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> en un suelo agrícola. pp. 138-149. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Moreno-Cáliz, E., A. Guerrero-Peña, M. del C. Gutiérrez-Castorena, C. A. Ortiz-Solorio y D. J. Palma-López. 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques* Número especial:115-128.
- Moreno-Espíndola, I. P., M. J. Ferrara-Guerrero, F. de León-González, F. Rivera-Becerril, G. Vela-Correa, F. Borderas-Tordesillas y L. Mayorga-Reyes. 2012. Indicadores de calidad biológica e identificación de bacterias cultivadas en la rizosfera en un suelo arenoso en México. pp. 116-123. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Murray, R. M., M. G. Orozco, A. Hernández, C. Lemus y O. Nájera. 2014. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 18(1):23-31.
- Murray-Núñez, R. M., J. L. Bojórquez-Serrano, A. Hernández-Jiménez, J. D. García Paredes, A. Madueño-Molina, R. Bugarín-Montoya y M. G. Orozco Benítez. 2012. Pérdida de carbono en suelos de la llanura costera de Nayarit, México. *Revista Biociencias* 1(4):38-46.
- Murray-Núñez, R. M., M. G. Orozco-Benítez, G. González-Rodríguez y L. González-Castellón. 2014. La materia orgánica restaura las propiedades físicas de los suelos transportados para nivelar una superficie agrícola. *Revista Educateciencia* 4(5):155-162.

- Navarrete-Segueda, A., C. Siebe-Grabach, G. Ibarra-Manríquez, M. Martínez-Ramos y L. Vázquez-Selem. 2015. Calidad de sitio y su efecto sobre los almacenes de carbono en el bosque tropical perennifolio, Chiapas, sureste de México. pp. 112-120. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Navarro-Bravo, A., B. Figueroa-Sandoval, D. M. Sangerman-Jarquín y E. S. Osuna-Ceja. 2012. Propiedades físicas y químicas de suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Publicación especial 4:690-697.
- Negrete-Yankelevich, S., C. Fragoso, A. C. Newton y O. W. Heal. 2007. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging. *Applied Soil Ecology* 35:340-355.
- Nevescanin-Moreno, A. L., R. Bórquez, E. A. Yépez, J. Garatuza-Payan y J. L. Minjares. 2015. Cuantificación del carbono orgánico del suelo en el Distrito de Riego 018, Colonias Yaquis, en el Sur de Sonora. pp. 320-325. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Noguez, A. M., A. E. Escalante, L. J. Forney, M. Nava-Mendoza, I. Rosas, V. Souza and F. García-Oliva. 2008. Soil aggregates in a tropical deciduous forest: effects on C and N dynamics, and microbial communities as determined by t-RFLPs. *Biogeochemistry* 89:209-220.
- Ordóñez, J. A. B., B. H. J. de Jong, F. García-Oliva, F. L. Aviña, J. V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez y O. Mesera. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacán, México. *Forest Ecology and Management* 255:2074-2084.
- Ordóñez, J. A., B. H. J. de Jong y O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus*. *Madera y Bosques* 7(2):27-47.
- Orihuela-Belmonte, D. E., J. Mendoza-Vega y H. J. de Jong. 2012. Profundidad del suelo y su relevancia en las estimaciones de carbono en la Selva “El Ocote”, en Chiapas. pp. 44-52. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Orihuela-Belmonte, D. E., B. H. J. de Jong, J. Mendoza-Vega, J. Van der Wal, F. Paz-Pellat, L. Soto-Pinto and A. Flamenco-Sandoval. 2013. Carbon stocks and accumulation rates in tropical secondary forests at the scale of community, landscape and forest type. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 171:72-84.
- Orihuela-Belmonte, E., J. Mendoza-Vega, B. de Jong y F. Paz-Pellat. 2013. Carbono orgánico del suelo asociado a cronosecuencias de la reserva de la biosfera “Selva El Ocote”. pp. 87-92. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Ortiz-Pilar, L., V. Espinosa-Hernández, R. Quintero-Lizaola, G. S. Benedicto-Valdés y P. Díaz-Vargas. 2013. Mineralización del bióxido de carbono en mejoradores orgánicos elaborados con base a residuos de *Lupinus montanus* Kunth. pp. 63-68. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Osuna-Ceja, E. S., B. Figueroa-Sandoval, K. Oleschko, M. de L. Flores-Delgadillo, M. R. Martínez-Menes y F. V. González-Cossío. 2006. Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *Agrociencia* 40:27-38.
- Padilla, J., J. D. Etchevers-Barra, R. C. Gomora-Becerril, C. I. Hidalgo-Moreno, M. Carrasco-Fuentes y V. Saynes-Santillán. 2012. Relación entre los métodos TOC, LOI, Walkley-Black y NIR para determinar carbono en suelos. pp. 187-194. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Pajares, S., J. F. Gallardo, G. Masciandro, B. Ceccanti, S. Marinari y J. D. Etchevers. 2009. Biochemical indicator of carbon dynamic in an Acrisol cultivated under different management practices in the central Mexican highlands. *Soil and Tillage Research* 105:156-163.
- Pajares-Moreno, S., J. F. Gallardo-Lancho y J. D. Etchevers-Barra. 2010. Indicadores bioquímicos en suelos de un transecto altitudinal en el eje neovolcánico mexicano. *Agrociencia* 44:261-274.
- Palma-López, J. D., S. Salgado-García, G. Martínez-Sebastián, J. Zavala-Cruz y L. del C. Lagunes-Espinoza. 2015. Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de eucalipto de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2(5):1663-172.
- Paz-Pellat, F., C. Balbontín-Nesvara, J. Etchevers-Barra, M. Martínez-Menez y C. Ortiz-Solorio. 2009. Análisis multifractal del carbono en los suelos 2. Divergencia de momentos estadísticos. *Terra Latinoamericana* 27:257-264.
- Paz-Pellat, F., C. Balbontín-Nesvara, J. Etchevers-Barra, M. Martínez-Menez y C. Ortiz-Solorio. 2008. Análisis multifractal del carbono en los suelos 1. Función universal de escalamiento. *Terra Latinoamericana* 26:183-191.
- Paz, F., C. Cruz y B. de Jong. 2012. Piloto REDD+ en Chiapas usando estrategias integrales y de bajo costo de inventarios de carbono en ecosistemas terrestres. pp. 60-68. En: Paz, F. y R. Cuevas (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.

- Paz, F. 2013. ¿Dinámicas diferentes o saturación del carbono orgánico en los suelos?. pp. 181-187. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012*. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Paz, F. 2016. Distribución espacial y temporal del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres de México. *Terra Latinoamericana* 34:289-310
- Paz, F., C. Hidalgo, J. Etchevers y M. Fuentes. 2013. Equivalencia ambiental y modelación de la dinámica del carbono en los agregados de los suelos. pp. 100-107. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012*. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Paz, F., S. Covalada, C. Hidalgo y J. Etchevers. 2013. Modelación de la distribución del carbono orgánico en las fracciones físicas de los suelos usando solo el carbono orgánico total. pp. 93-99. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012*. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Paz-Pellat, F., S. Covalada y J. Etchevers. 2014. Distribución del carbono orgánico en los diferentes tamaños de partículas del suelo: Modelo simple de cinética lineal. *Terra Latinoamericana* 32:127-142.
- Pérez-Nieto, J., E. Valdés-Velarde, M. E. Hernández-San Román y V. Ordaz-Chaparro. 2005. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Agrociencia* 39:409-418.
- Pérez-Ramírez, S., M. I. Ramírez, P. F. Jaramillo-López y F. Bautista. 2013. Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(1):157-173.
- Pérez-Romero, L., R. López-Cervantes, L. L. De León-González, M. Bolívar-Duarte, I. Hernández-Javalera y J. Dueñez-Alanis. 2015. Restauración del suelo y la captura de carbono como servicio ecosistémico de los pastizales áridos. pp. 300-305. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Pérez, G., C. Hidalgo, J. Etchevers y E. Riegelhaupt. 2013. Elaboración y caracterización de biocarbones (biochar) de residuos de aserrín y caña de azúcar. pp. 108-113. En: Paz, F., M. Bazán y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012*. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.
- Pérez-Zamora, O. y M. R. Cigales-Rivero. 2001. Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón cantaloupe. *Agrociencia* 35:479-488.
- Pérez-Zamora, O., M. R. Cigales-Rivero, M. Orozco-Santos y K. G. Pérez-Castro. 2004. Tensión de humedad del suelo y fertilización nitrogenada en melón cantaloupe: Segunda parte. *Agrociencia* 38:261-272.
- Pool-Novelo, L., A. Trinidad-Santos, J. D. Etchevers-Barra, J. Pérez-Moreno y A. Martínez-Garza. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 34:251-259.
- Prado, B., C. Duwig, C. Hidalgo, D. Gómez, H. Yee, C. Prat, M. Esteves y J. D. Etchevers. 2007. Characterization, functioning and classification of two volcanic soil profiles under different land uses in Central Mexico. *Geoderma* 139:300-313.
- Prado, B., C. Duwig, J. Márquez, P. Delmas, P. Morales, J. James and J. Etchevers. 2009. Image processing-based study of soil porosity and its effect on water movement through Andosol intact columns. *Agricultural Water Management* 96:1377-1386.
- Prieto-García, F., C. A. Lucho-Constantino, H. Poggi-Valardo, M. Álvarez-Suárez y E. Barrado-Esteban. 2007. Caracterización fisicoquímica y extracción secuencial de metales y elementos trazas en suelos de la región Actopan-Ixmiquilpan del distrito de riego 03, Valle de Mezquital, Hidalgo, México. *Ciencia Ergo Sum* 14(1):69-80.
- Prieto-Méndez, J., F. Prieto-García, O. A. Acevedo-Sandoval y M. A. Méndez-Marzo. 2013. Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana* 24(1):83-91.
- Prieto-Méndez, J., F. Prieto-García y O. A. Acevedo-Sandoval. 2014. Variabilidad espacial de la materia orgánica en un suelo dedicado al cultivo de cebada maltera (*Hordeum distichum* L.). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* 71:141-152.
- Quintero-Gradilla, S., F. García-Oliva, R. Cuevas-Guzmán, E. J. Jardel-Peláez and A. Martínez-Yrizar. 2015. Soil carbon and nutrient recovery after high-severity wildfire in Mexico. *Fire Ecology* 11(3):45-61.
- Ramos-Bello, R., L. J. Cajuste, D. Flores-Román y A. E. García-Calderón. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia* 35:385-395.
- Reyes-Gómez, V. M., O. Grünberger y J. L. Jancau. 1996. Hidrodinámica en el suelo de un pastizal en una zona árida del norte de México. *Terra Latinoamericana* 14(2):129-136.
- Robles-Zazueta, C., A. Yépez-Enrico, C. Rodríguez Julio, J. Garatuzza-Payán y J. Watts Christopher. 2015. Estimación de la respiración de suelo mediante el método del gradiente en un matorral subtropical de Sonora. pp. 55-61. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Rojas-García, F., G. Ramírez-Ojeda, A. Santiago-Romero y R. Arreola-Ramos. 2013. Almacenes de carbono y cambio de uso de suelo en el ejido las jaras, Michoacán. pp. 114-118. En: Paz,

- F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Romero-Cervantes, J. C. y M. L. Pérez-Rea. 2008. Análisis de la pérdida de resistencia por remoldeo de suelos arenosos de la zona estuarina de Nayarit. *Enlace Químico* 2(2):1-8.
- Romero-Lima, M. del R., A. Trinidad-Santos, R. García-Espinosa y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34:261-269.
- Romero-López, C. A., G. Cruz-Flores y E. Guerra-Hernández. 2015. Evolución de CO<sub>2</sub> y carbono de biomasa microbiana (CBM) de suelos ribereños en ecosistemas de montaña. pp. 269-276. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Roncal-García, S., L. Soto-Pinto, J. Castellanos-Albores, N. Ramírez-Marcial y B. de Jong. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia* 33(3):200-206.
- Rosenzweig, C. y D. Hillel. 2000. Soil and global climate change: Challenges and opportunities. *Soil Science* 165:47-56.
- Salinas-Melgoza M. Á., M. Skutsch y J. C. Lovett. 2015. La roza tumba y quema en el contexto de REDD+. pp. 292-299. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Sánchez-González, A., M. Chapela-Lara, E. Germán-Venegas, R. Fuentes-García, F. del Río-Portilla y C. Siebe. 2013. Cambios en el almacén de carbono del suelo y su calidad a través de la historia de uso en el Valle del Mezquital. pp. 119-124. En: Paz, F., M. Bazan y V. Saynes (eds.). *Dinámica del Carbono en el Suelo 2012. Serie Avances Temáticos del Ciclo del Carbono y sus Interacciones. Programa Mexicano del Carbono.*
- Sánchez, A., O. González-Yajimovich, E. Balart, B. E. López-Ortiz, S. Aguiñiga-García y M. C. Ortiz-Hernández. 2013. Acumulación de carbono orgánico total y carbonato de calcio en la zona de oxígeno mínimo del Pacífico nororiental mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30(1):222-232.
- Sánchez-Hernández, R., R. Ramos-Reyes, V. Geissen, J. de D. Mendoza-Palacios, E. de la Cruz-Lázaro, E. Salcedo-Pérez y D. J. Palma-López. 2011. Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. *Terra Latinoamericana* 29:211-219.
- Sánchez-Hernández, R., L. C. Cámara-Cabrales, E. Valdés-Velarde, J. D. Mendoza-Palacios y U. López-Noverola. 2015. Contribución del sistema agroforestal cacao en el almacenamiento del carbono en el sureste de México. pp. 422-427. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Saugier, B. y J. Y. Pontauiller. 2006. El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano boliviano. *Ecología en Bolivia* 41(3):71-85.
- Saynes, V., C. Hidalgo, J. D. Etchevers and J. E. Campo. 2005. Soil C and N dynamics in primary and secondary seasonally dry tropical forest in Mexico. *Applied Soil Ecology* 29:282-289.
- Saynes-Santillán, V., A. M. Gamboa-Cáceres, J. D. Etchevers, J. Campo y L. Galicia. 2009. Consecuencias del manejo forestal y el cambio de uso de suelo sobre las emisiones potenciales de CO<sub>2</sub> edáfico en dos regiones de bosques templados de México. pp. 235-254. En: Gallardo-Lancho, J. F. (ed.) *Emisiones de gases con efecto invernadero en ecosistemas Iberoamericanos. Sociedad Iberoamericana de física y química ambiental Salamanca. España.*
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado el 31 de diciembre de 2002 en el Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección, México.
- Segura-Castruita, M. A., P. Sánchez-Guzmán, C. A. Ortiz-Solorio y M. del C. Gutiérrez-Castorena. 2005. Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana* 23(1):21-28.
- Sepúlveda-Lozada, A., V. Geissen, S. Ochoa-Gaona, A. Jarquín-Sánchez, S. Hernández de la Cruz, E. Capetillo y L. F. Zamora-Cornelio. 2009. Influencia de tres tipos de vegetación ribereña en el control de la erosión fluvial en Pantanos de Centla, México. *Revista de Biología Tropical* 57(4):1153-1163.
- Serrato-Cuevas, R., S. Adame-Martínez, J. López-García y D. Flores-Román. 2014. Carbono orgánico de la hojarasca en los bosques de la reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, caso santuario sierra Chincua, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 5(1):29-45.
- Serrato-Sánchez, R., C. M. Valencia-Castro y F. del Río-Olague. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. *Terra Latinoamericana* 17(1):27-34.
- Shang, C. y H. Tiessen. 2003. Soil organic C sequestration and stabilization in karstic soil of Yucatan. *Biogeochemistry* 62:177-196.
- Solís-Hernández, A., J. A. Nájera-Luna, J. Méndez-González, B. Vargas-Larreta y M. Álvarez-Gallegos. 2014. Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia* 22(63):5-11.
- Sotelo-Ruiz, E., A. González-Hernández, G. Cruz-Bello, F. Moreno-Sánchez y S. Ochoa-Estrada. 2010. La clasificación

- FAO-WRB y los suelos del Estado de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Zinacantepec, México.
- Soto-Pinto, L., M. Anzueto, J. Mendoza, G. Jiménez-Ferrer and B. de Jong. 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforest Syst* 78:39-51.
- Soto-Pinto, L., C. Aguirre-Dávila y M. J. Anzueto-Martínez. 2015. Almacenes de carbono en cafetales con distintos manejos en el Norte de Chiapas, México. pp. 313-319. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Sustaita-Rivera, F., V. Ordaz-Chaparro, C. Ortiz-Solorio y F. de León-González. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia* 34:379-386.
- Stevenson, F. y M. Cole. 1999. Cycles of soil, second edition. Edit. John Wiley and Sons. CRC. Inc. Boca Raton, Florida, USA.
- Swift, R. S. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science* 166:858-871.
- Tetumo-García, J., I. Nikolskii-Gavrilov, C. A. Ortiz-Solorio, L. Tijerina-Chávez y R. Arteaga-Ramírez. 2001. Evaluación del impacto del riego sobre algunas propiedades de suelos a través del índice hidrotérmico. *Agrociencia* 35:137-147.
- Tiscareño-Ruelas, M., N. Cruz-Rodríguez, I. Aguilera-Miralles, H. Sánchez-Villanueva y C. O. Cruz-Gaistardo. 2014. Preparación y análisis físicos de las muestras obtenidas en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2009-2012. pp. 192-195. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Torres-García, A., E. Orozco-Hernández, P. Mireles-Lezama y G. Álvarez-Arteaga. 2014. Estimación de captura de carbono en suelos, bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el Municipio de Zacazonapan, Estado de México. pp. 122-125. En: Paz, F., J. Wong, M. Bazán y V. Saynes (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Torres-Rivera, J. A., W. Espinoza-Domínguez, L. Reddiar-Krishnamurthy y A. Vázquez-Alarcón. 2011. Secuestro de carbono en potreros arbolados, potreros sin árboles y bosque caducifolio de Huatusco. Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13:543-549.
- Travieso-Bello, A. C., P. Moreno-Casasola y A. Campos. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *Interciencia* 30(1):12-18.
- Uribe-Gómez, S., M. del C. Gutiérrez-Castorena, C. Tavares-Espinosa y A. Turrent-Fernández. 2000. Caracterización y clasificación de suelos de ladera manejados con terrazas de muro vivo en los Tuxtlas, Veracruz. *Agrociencia* 34:403-412.
- Valdés-Velarde, E., J. I. Valdez-Hernández, V. M. Ordaz-Chaparro, J. F. Gallardo-Lancho, J. Pérez-Nieto y C. Ayala-Sánchez. 2011. Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(8):47-58.
- Valdés-Velarde, E., L. Rojas-Pérez, J. Vázquez-Rodríguez, V. M. Ordaz-Chaparro, J. Ayala-Arreola, J. F. Gallardo-Lancho, E. Salcedo-Pérez y L. Krishnamurthy. 2015. Carbono capturado en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) en Chocarán Veracruz, México. pp. 85-92. En: Paz, F. y J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Valdés-Velarde, E., L. P. Vázquez-Domínguez, V. M. Ordaz-Chaparro, J. Pérez-Nieto, J. C. Vázquez-Rodríguez, M. J. Juárez-Hernández, D. Gutiérrez-del-Pozo y A. Merino. 2015. Estudio del carbono en sistemas agroforestales de una región cafetalera de Veracruz. pp. 78-84. En: Paz y F., J. Wong (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.
- Valera-Pérez, M. A., G. Linares-Fleites, M. G. Tenorio-Arvide, X. Ayala-Roldán, M. L. Sampedro-Rosas, E. M. Otazo-Sánchez y S. E. Silva-Gómez. 2014. Análisis geoestadístico del carbono almacenado en suelos forestales de origen volcánico. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 5(9):14-28.
- Vargas, R., E. B. Allen y M. F. Allen. 2009. Effects of vegetation thinning on above- and belowground carbon in a seasonally dry tropical forest in Mexico. *Biotropica* 41(3):302-311.
- Vargas, R., F. Paz y B. de Jong. 2013. Quantification of forest degradation and belowground carbon dynamics: ongoing challenges for monitoring, reporting and verification activities for REDD+. *Carbon Management* 4(6):579-582.
- Vargas, R., M. F. Allen y E. B. Allen. 2008. Biomass and carbon accumulation in a fire chronosequence of a seasonally dry tropical forest. *Global Change Biology* 14:109-124.
- Vázquez-Luna, D., M. del C. Cuevas-Díaz, T. de J. Perera-Escamilla, A. H. Hernández-Romero y A. Retureta-Aponte. 2014. Secuestro de carbono en suelo cafetalero con alta pendiente en la Sierra de Santa Marta. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan* 2(4):798-806.
- Vega-Oregel, J. y L. Medina-Orozco. 2015. Efecto de plaguicidas sobre la respiración de suelos cultivados con aguacate del Estado de Michoacán, México. pp. 251-255. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.

- Vela-Correa, G., J. López-Blanco y M. Rodríguez-Gamiño. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas* 77:18-30.
- Vela-Correa, G., B. E. Vázquez-Martínez, M. L. Rodríguez-Gamiño e I. V. Domínguez-Rubio. 2007. Caracterización edáfica de sitios con regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb. en el volcán La Malinche, México. *Agrociencia* 41:371-383.
- Velázquez, R. A. S., F. Paz, D. Flores, J. Etchevers y C. Hidalgo. 2015. Hacia la modelación temporal de la descomposición de los cementantes orgánicos e inorgánicos en la formación de unidades estructurales y carbono orgánico asociado, en suelos a partir de tepetates. pp. 414-421. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Velázquez, R. A. S., F. Paz, D. Flores, J. Etchevers y C. Hidalgo. 2015. Interpretación estructural y química de espacios meta-paramétricos asociados a la síntesis estructural-temporal de la habilitación de tepetates con plantas y enmiendas. pp. 390-395. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Vergara-Sánchez, M. y J. Etchevers-Barra. 2006. Relación entre el uso de la tierra y su fertilidad en las laderas de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 40:557-567.
- Vergara-Sánchez, M., J. Etchevers-Barra y J. Padilla-Cuevas. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera en la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39:259-266.
- Vergara-Sánchez, M., J. Etchevers-Barra y M. Vargas-Hernández. 2004. Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera al Sureste de México. *Terra Latinoamericana* 22(3):359-367.
- Villanueva-López, G., P. Martínez-Zurimendi, F. Casanova-Lugo, L. Ramírez-Avilés y P. I. Montañez-Escalante. 2015. Almacenamiento de carbono en Sistemas Ganaderos con Cercas Vivas de *Gliricidia sepium* en Tacotalpa, Tabasco, México. pp. 306-312. En: Paz, F., J. Wong y R. Torres (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2015. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono.*
- Walkey, A. y I. A. Black. 1947. An examination of the degthareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.

## LITERATURA GRIS

(Tesis, informes y resúmenes extensos publicados como resultado de reuniones científicas)

- Acevedo-Sandoval, O. 2007. Aluminio, un indicador de calidad ambiental en suelos de carga variable. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.
- Acosta-Mireles, M. y J. Etchevers. 2004. Capítulo VII Los sumideros de carbono, una alternativa para el cobro de servicios ambientales. Foro sobre recursos naturales del Posgrado de Economía de la ENEP Aragón, UNAM. Distrito Federal, México.
- Acosta-Álvarez, M. 2007. Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, México.
- Aguilar-Argüello, V. 2007. Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y silvopastoriles, en dos comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Aguirre-Dávila, C. 2006. Servicios ambientales: Captura de carbono en sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Aguirre-García, O. 2011. El pastoreo como factor de cambio en el uso de suelo y su impacto en el contenido de nitrógeno y carbono del pastizal semiárido. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Aguirre-Paleo, S. 2008. Evaluación de materia orgánica y de microorganismos en suelos de huertos de aguacate *Persea americana* Mill. en Uruapan Mich. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, México.
- Alba-Pazos, F. 2008. Indicadores de la calidad agronómica de los suelos hortícolas del Ejido de Mixquic, D. F. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Alcalá de Jesús, M., C. Prat, A. Ramos-Ramírez, C. Hidalgo-Moreno, A. Cabrera-González y V. Garduño-Monroy. 2012. Contribuciones para el desarrollo sostenible de la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. Procesos de formación en suelos al sureste de la subcuenca de Cointzio, Michoacán. México.
- Alcántara-Zavala, A. 2009. Producción de CO<sub>2</sub> microbiano en suelos de bosques templados de Oaxaca: una comparación de sitios húmedos y secos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Alejandro-Hernández, M. 2007. Estimación del carbono almacenado en la porción aérea de la vegetación establecida posterior a un incendio en un sitio de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla con apoyo de imágenes satelitales. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México.

- Alejo-Santiago, G. 2007. El carbono soluble como indicador de calidad química de materia orgánica. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Almanza-Celis, C. 2008. Efecto de la profundidad del suelo sobre la estructura de una comunidad de hierbas en una zona semiárida de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Álvarez-Arteaga, G. 2005. Evaluación de la estabilidad del carbono en suelos de un sistema agroforestal de la sierra sur de Oaxaca, Municipio Santos Reyes Nopala. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Álvarez-Arteaga, G. 2010. Evaluación de la captura y estabilidad de carbono en un ecosistema de bosque mesófilo de montaña a lo largo del gradiente altitudinal, en la sierra Norte de Oaxaca. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Amador-Alfaro, L. 2013. Captura de carbono y capacidad de carga animal de un sistema silvopastoril en un bosque tropical caducifolio. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Arenas-Arcia, J. 2013. Estimación de carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Arévalo-Madriral, R. 2015. Estimación de almacenamiento de Carbono Orgánico en el suelo, entre rodales de un bosque de *Pinus rudis* en la Sierra el Coahuilón, Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Armida-Alcudia, L. 2002. La biomasa microbiana y las reservas orgánicas nitrogenadas edáficas como índices de calidad de un suelo cañero en la Chontalpa, Tabasco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Arres-Morales, C. 2011. El papel de una plantación de *Pinus cembroides* subs. *orizabensis* D. K. Bailey en el pH, materia orgánica, retención de agua y protección de suelo a 18 años de su establecimiento en el ejido Los Molinos, Perote, Ver. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, México.
- Ávila-Márquez, L. 2011. Estructura espacial de la red de sitios de investigación forestal y de suelos en la comunidad indígena San Bernardino de Milpillás, P. N., Durango. Tesis Profesional. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México.
- Avilés-Hernández, G. 2005. Reservas de carbono en una toposecuencia en el bosque de *Fagus grandifolia* subsp. mexicana. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Aviña-Cervantes, F. 2007. Estimación del contenido de carbono en el suelo de diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo en la región Purépecha, Michoacán, México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Báez-Pérez, A. 2008. Formación de agregados y captura de carbono en materiales de origen volcánico de México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Báez-Pérez, A., S. Pajares, J. Etchevers-Barra y J. Gallardo. 2006. Emisión de CO<sub>2</sub> en sustratos volcánicos del Estado de México y Tlaxcala. Inédito.
- Balan-Hernández, L. 2009. El uso de reemplazamiento para evaluar la asociación *Zea mays* y *Lupinus montanus* en un ejido de Tláhuac, DF. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Baltazar-Arenas, M. 2009. Actividad arilsulfataza y azufre en suelo y tejido foliar en cuatro especies de coníferas en bosque templado. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Bautista-Escobedo, C. 2009. Rotación de cultivos forrajeros de clima templado y calidad de la materia orgánica del suelo. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Becerril-Piña, R. 2007. Estimación del contenido y captura de carbono en zonas semiáridas microcuenca “El Carmen”, Guanajuato. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Beteta-Beteta, O. 2012. Caracterización y dinámicas de carbono y nitrógeno en suelos forestales, en Santa María Yavesía, Oaxaca. Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, México.
- Bravo-Garza, M. 1999. Distribución de la materia orgánica del suelo en ecosistemas naturales e inducidos en el estado de Nuevo León, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México.
- Buendía-Cárdenas, R. 2011. Estimación de los almacenes de carbono en el suelo, de cuatro especies tropicales en una plantación forestal en La Huerta, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Caballero-González, M. 2012. Validación de la modificación a la técnica usada para el cálculo de la tasa neta potencial de mineralización de carbono en suelo y mantillo en cuatro sistemas forestales. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, México.
- Can-Yam, S. 2012. Comparación del contenido de materia orgánica en áreas naturales y áreas impactadas por las distintas obras realizadas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Cardona-Valadez, L. M. 2013. Respuesta de las propiedades del suelo de parcelas ganaderas de Chamela, Jalisco, a tratamientos de sombra y adición de materia orgánica con fines de recuperación de algunas funciones ecosistémicas del suelo. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán. México.

- Castillo-Espinosa, J. A. 2008. Efecto de la relación suelo-solución surfactante en el lavado de suelos contaminados por hidrocarburos en un tanque agitado. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Castro-Tapia, A. 2008. Estimación del secuestro de carbono en pastizales áridos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Cayetano-Salazar, M. 2010. Cambio en las propiedades del suelo en un periodo de 20 años en una parcela regada con agua residual del Valle del Mezquital. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Chan-Poot, V. 2003. Productividad del sistema silvopastoril, su aportación a la producción agropecuaria y al secuestro de carbono. Tesis de Maestría. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. Conkal, México.
- Chávez-Torres, F. 1976. Estudio edafológico en la costa de Jalisco y su relación con la vegetación. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Chávez-Vergara, B. 2010. Efecto de dos especies del género *Quercus* sobre la dinámica de C, N y P en un fragmento forestal de la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México.
- Chávez-Vergara, B. 2015. Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada a dos especies del género *Quercus* sobre la descomposición del mantillo en un bosque templado decíduo. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, México.
- Coira-Vega, I. G. 2002. Efecto de gramíneas forrajeras, en la recuperación de suelos marginados por salinidad en la manzana 1517 del valle del Yaqui, Sonora. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico de Sonora. Ciudad Obregón, Sonora. México
- Córdoba-Rodríguez, D. 2010. Crecimiento y estructura de la raíz en plantas de *Pinus pinceana* sometidas a dos condiciones de humedad del suelo. Tesis de Maestría. Colegio de postgraduados. Texcoco, Estado de México. México.
- Corona-Ramos, A. 2007. Actividad ureasa del suelo y dinámica de C y N en bosques templados de México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Cortés-Guerrero, A. y K. Vega-Martínez. 2013. Variaciones de carbono, nitrógeno y fósforo en sitios con distinto uso de suelo en dos sistemas ribereños del río Amecameca. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Crespo-González, M. 1983. Propiedades físicas y químicas de los suelos forestales de Mazamitla, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Cruz-Ruiz, E. 2009. Respuesta de la mineralización en suelos del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) a la adición de biocidas y fertilizantes. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Cuali-Álvarez, I. 2002. Caracterización microbiológica de suelos naturales y degradados en un ecosistema de mezquite y huizache. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Cuevas-Corona, R. M. 2010. Dinámica de la fracción activa de la materia orgánica del suelo en bosques tropicales estacionalmente secos a lo largo de un régimen de humedad. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Cuevas-Trejo, S. y M. López-Velasco. 2014. Carbono en sistemas agroforestales de café en tres municipios de la región de “Las montañas”, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- De Dios-León, E. 2012. Producción de biomasa y valor nutritivo del pasto cuba ct-115 (*Pennisetum purpureum*) en un suelo cambisol. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco. México.
- Delgadillo-Duran, E. 2011. Productividad primaria neta de los bosques templados de la Cuenca del Río Magdalena. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Delgadillo-Ramírez, M. 2007. Inventario de carbono y caracterización de tres sistemas agroforestales en localidades de los municipios Salto de agua, Chilón y Comitán del estado de Chiapas, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Delgado-Caballero, C. 2007. Zonificación de aptitud y productividad de suelos para plantaciones de eucalipto en Oaxaca y Veracruz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Díaz-Lavariaga, M. 2006. Determinación de la cantidad de carbono en bosques de *Pinus patula* Schl. Et Cham., en la región de Tlaxco, Tlaxcala. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Díaz-Quiroz, D. 2009. Caracterización fisicoquímica de suelos del Parque Nacional Nevado de Toluca enmendados con lodos residuales vermicomposteados: estudio de laboratorio. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Dorantes-Avelino, R. 2010. Estudio comparativo de tres épocas del año en características químicas, plantas y organismos del suelo contaminado con petróleo en la Venta, Tabasco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, México.
- Duarte-Zaragoza, V. 2013. Origen y distribución espacial de metales pesados en suelos de Zimapán, Hidalgo. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Durán-Álvarez, J. 2009. Cuantificación de doce contaminantes emergentes, provenientes del agua residual empleada para riego,

- en suelos del Distrito de Riego 03 “Tula”, Hidalgo. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Escamilla-Hernández, N. 2009. Características del suelo en un borde selva-potrero en los Tuxtlas, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Escoppinichi, R. 1990. Evaluación de la degradación de los suelos de la colonia agrícola Cuitláhuac, Valle de Santo Domingo, B. C. S. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México.
- Espinoza-Domínguez, W. 2009. Secuestro de carbono en sistemas agroforestales en la región cafetalera de Chocamán-Totutla-Huatusco, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Espinoza-Zaragoza, M. y J. Rivera-Vergara. 2013. Estimación de carbono en suelos de selva baja caducifolia en el municipio de Zacazonapan, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Esquivel-Bazan, E. 2005. Uso de suelo y almacenamiento de carbono en dos comunidades del municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Distrito Federal, México.
- Estrada-Herrera, I. 2003. Carbono del suelo acumulado en sistemas agrícolas en tres microcuencas del estado de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Estrada-Herrera, I. 2007. Carbono en biomasa aérea, en suelo y su relación con la fracción fina de este reservorio. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Estrada-Salvador, A. L. y J. Nívar. 2009. Flujos de carbono por deforestación en la selva baja caducifolia del estado de Morelos, México. pp. 1-9. En: XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina.
- Etchevers, J., M. Acosta, C. Monreal, K. Quednow y L. Jiménez. 2001. Los Stocks de carbono en diferentes compartimentos de la parte aérea y subterránea en sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. pp. 1-19. En: Simposio Internacional Medición y monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile.
- Etchevers, J. D., A. Báez, C. Hidalgo, J. F. Gallardo, S. Covaleda, S. Pajares, J. Padilla y C. Prat. 2006. Distribución de carbono en agregados recientemente formados en tepetates habilitados para la agricultura.
- Etchevers-Barra, J. D., J. A. Tinoco-Rueda, J. D. Gómez-Díaz y A. I. Monterroso-Rivas. 2010. Estimación de contenido de carbono orgánico en el suelo de las tierras agrícolas de México. México.
- Flores-Cuevas, N. 2008. Estudio de la recuperación de un suelo contaminado con hidrocarburos por diferentes estrategias de biorremediación a nivel microcosmos. Tesis Profesional. Universidad de Quintana Roo. Chetumal, México.
- Gallardo-Moreno, A. 2009. Contaminación de metales pesados en parques del Distrito Federal y área conurbada (zona este). Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Gamboa-Cáceres, A. M. 2005. Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo sobre la materia orgánica del suelo: implicaciones para la restauración del bosque tropical seco de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Gamboa-Cáceres, A. M. 2011. Dinámica del carbono edáfico en ecosistemas templados y bajo diferentes sistemas de uso de suelo, Cofre de Perote (Veracruz). Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Gamboa-Zúñiga, J. P. 2013. Demanda nutrimental en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus pellita* F. Muell en acrisoles de la sabana de Huimanguillo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco. México.
- García-Chávez, P. 1990. Clasificación de suelos de Valle de Zapopan, Jalisco en base a su fertilidad. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- García-Favela, B. 2007. Redistribución del carbono orgánico en diferentes manejos agrícolas y su efecto en la estructura del suelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- García-Hernández, C. A. 2011. Degradación de la materia orgánica en un suelo vertisol a través de la medición de la producción de CO<sub>2</sub> por los microorganismos del suelo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Germán-Venegas, E. 2014. Análisis de la productividad vegetal aérea y subterránea de diferentes coberturas en el Valle Del Mezquital y sus implicaciones en el contenido de carbono orgánico del suelo. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Girón-Ríos, Y. 2009. Análisis multiescalar de la reflectancia de los suelos salinos en el ex lago de Texcoco. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Gómez-Díaz J. D. 2008. Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la reserva de la biosfera “Sierra de Huautla”, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- González-Arteaga, X. C. 2006. Relación de la biomasa microbiana y los niveles de micronutrientes biodisponibles en suelos agrícolas del valle de Zapotitlán, Tehuacán. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- González-del Ángel, J. A. 2010. Génesis y distribución de suelos del humedal de la reserva ecológica el Edén, Quintana Roo. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.



- González-Montiel, E. 2013. Manejo forestal y servicios ambientales en Mineral del Monte, Estado de Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- González-Moreno, B. E. 2008. Evaluación de reforestación en el Parque Nacional Malinche, Tlaxcala, México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- González-Peralta, J. 1988. Fertilidad química del Campo Agrícola Experimental de la UABCS. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México.
- González-Ruiz, T. 2001. Efecto de la humedad del suelo en la biomasa microbiana de un ecosistema tropical estacional. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Los Reyes Iztacala, Estado de México. México.
- Guadalupe-Trejo, J. 2009. Monitoreo del suelo superficial en matorral y pastizal del sitio LTER-Mapimi, México. Tesis Profesional. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México.
- Guerrero-Cortes, A. 2006. Dinámicas de carbono y nitrógeno en suelos bajo labranza de conservación y labranza convencional en Tolcayuca, Hidalgo. Tesis Profesional. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Pachuca, México.
- Guerrero-de la Cruz, J. J. 1988. Clasificación de suelos en el ejido de Cofradía de la luz, Municipio de Cocula, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Guerrero-Fragoso, D. 2011. Captura de carbono en cafetales de la Cuenca Alta del Río Pijijiapan, Chiapas. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Guerrero-Ortiz, P. 2012. La incorporación de materia orgánica a través de *Lupinus* para la fertilidad del suelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Guevara-Ortiz, A. 1983. Geomorfología y suelos del Valle de La Huerta y Casimiro Castillo, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Gueye-Sandoval, K. 2008. Almacén y dinámica del carbono en suelos de ladera en un gradiente microclimático en Tuxpan, Michoacán. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Gutiérrez-Barajas, R. 1993. Muestro de suelos para la elaboración del mapa de fertilidad del Municipio de Amealco, Querétaro. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- Gutiérrez-Ramos, P. 2009. Propuesta de parcela de conservación de suelo. Tesina Profesional. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Hernández-Cortés, I. 2014. Materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno en sistemas agroforestal, monocultivo y bosque. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. México.
- Hernández-Cruz, E. 2013. Carbono acumulado en dos sistemas agroforestales y en un sistema de bosque de niebla. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Hernández-Hernández, T. 2007. Efecto de la labranza convencional en el flujo de bióxido de carbono y la conservación de humedad del suelo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Hernández-Hernández, M. 2008. Secuestro de carbono en pastizales: Efecto del sobrepastoreo en la heterogeneidad del suelo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Hernández-López, F. 2014. Línea base de carbono en suelos con el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) y biomasa aérea. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Hernández-Pérez, V. 2001. Influencia del suelo en el crecimiento de cuatro especies arbóreas a lo largo de un gradiente sucesional del bosque mesófilo de montaña, sierra norte, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Tlalnepantla, Estado de México. México.
- Hernández-Velásquez, G. A. y U. Lozada-Maldonado. 2012. Estudio edafoclimático de especies del género *Annona* en la zona centro del Estado de Veracruz. Trabajo de experiencia recepcional. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México.
- Herrera-de la Vega, F. y A. Lucatero-Birrueta. 2003. Inventario de carbono capturado actual en el ejido Las Casitas municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Hernández-Vital, D. A. 2007. Efecto del fuego sobre algunas características nutrimentales en el suelo de un bosque de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.
- Herrera-Contreras, T. 2011. Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos y sedimentos del río Mololoa. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, México.
- Herrera-Tello, Y. 2008. Concentración de carbono del suelo en dos ecosistemas costeros del Estado de Yucatán. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.
- Ibáñez-Huerta, A. 2010. Diversidad de suelos y sus propiedades en las zonas montañosas subtropicales, sierra sur de Oaxaca, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Jaime-Muñoz, S. 2010. Composición de las sustancias húmicas como indicadores de pedogénesis natural e impacto humano en los suelos kársticos de las tierras bajas mayas. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Jesús-García, M. del C. y H. Hernández-Trejo. 2013. Patrones de la biomasa y producción subterránea en bosque de manglar. En: IV

- Congreso Mexicano de Ecología, Conocimiento Ecológico para la Solución de Problemas Ambientales. Villahermosa, México.
- Jiménez-de Santiago, D. 2012. Protocolo estándar de operación para determinación de carbono orgánico y emisión de carbono en suelo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Jiménez-de Santiago, D. 2015. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*): efecto de composta y biocarbon. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Jiménez-Guillén, R. 2010. Capacidad productiva de praderas monoespecífica, asociada y silvopastoril en un ambiente tropical seco. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Jurado-Guerra, P., R. A. Saucedo-Terán, C. R. Morales-Nieto y M. Martínez-Salvador. 2013. Almacén y captura de carbono en pastizales y matorrales de Chihuahua. Folleto Técnico 38, ISBN: 978-607-37-0232-4. Centro de Investigación Regional Norte Centro Sitio Experimental La Campana. Chihuahua, México.
- Koyoc-Ramírez, L. G. 2011. Influencia de la perturbación antropogénica, en la vegetación y suelo de petenes de selva de la reserva de La Biósfera Los Petenes. Tesis de Maestría. El colegio de la Frontera Sur. Campeche, México.
- Lasso-Trinidad, A. 2010. Estabilidad de agregados y materia orgánica en suelos de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra Norte de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- León-Maciel, H. 2007. Estimación del contenido de C en suelos de bosques templados y su relación con la calidad del suelo. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Leyva-López, J. C. 2010. Evaluación de la regeneración natural en rodales mezclados de pinos en San Pedro el Alto Zimatlán, Oaxaca. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Leyva-Pablo, T. 2012. La calidad de los suelos del municipio minero La Natividad, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad de la Sierra. Ixtlán de Juárez, México.
- Lopera-Gasca, A. C. 2005. Efecto de un incremento de la temperatura sobre la mineralización del carbono y la liberación de metales pesados en suelos del Valle del Mezquital. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- López-Álvarez, M. del C. 2010. Determinación de carbono orgánico soluble en muestras de suelos tropicales mediante espectrometría infrarrojo cercano. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. México.
- López-Estrella, J. 1977. Formación, fertilidad y manejo de los diferentes tipos de suelo en el municipio de Tonalá, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.
- López-García, J. L. 2013. Identificación de zonas aptas para la recuperación del bosque de alta montaña del Estado de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- López-Gervancio, M. A. 2009. Composición de la materia orgánica en una toposecuencia de la Reserva Ecológica El Edén Quintana Roo y su relación con los factores ambientales. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- López-Pineda, G. 2013. Análisis de regresión para la estimación del secuestro de carbono orgánico en suelos. Tesis Profesional. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- López-Rivera, K. y A. Sánchez-Juárez. 2009. Impacto que provocan en las propiedades químicas del suelo con la aplicación de diferentes métodos de labranza. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- López-Zepeda, Y. A. 2007. Clasificación y diagnóstico del recurso suelo en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Lorenzana-Fernández, A. 2008. Caracterización de micro hábitats de hongos comestibles ectomicorrízicos en bosques de pino, oyamel y encino en los Parques Nacionales Izta-Popo y Zoquiapán. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Luis-Mejía, S. 2006. Potencial de acumulación de carbono del componente edáfico, en reforestaciones de diversas especies de pino. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Luna-Chávez, Z. 2014. Restauración de espacios degradados con mallas orgánicas en el predio denominado Sintege, Jocotitlan, Estado de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Maldonado-Montero, V. 2013. Fracción activa de la materia orgánica del suelo en bosques tropicales estacionalmente secos: variación sucesional y edafoclimática. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Martínez-Cohetero, J. F. 2009. Contenido foliar de N, P, Ca, Mg y K en especies arbóreas de bosques templados y calidad del suelo en la sierra de Manantlán y la Sierra Juárez. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Martínez-Mateos, A. 2001. Regeneración natural después de un disturbio por fuego en dos microambientes contrastantes de la reserva ecológica El Pedregal de San Ángel. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Martínez-Nava, N. 2009. Relación suelo-planta de tres especies del género *Manfreda* Salisb. (Agavaceae) en México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.

- Martínez-Rojas, V. 2010. Almacenamiento de carbono en los sistemas forestales y agrícolas de la falda oeste del cerro Tláloc. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Martínez-Rueda, C. G. 2008. Eficiencia de la selección y discriminación isotópica de carbono en trigo, bajo condiciones limitantes y no limitantes de humedad. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Martínez-Trinidad, S. 2007. La agregación del suelo como indicador de calidad en un ecosistema tropical seco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Miguel-Jiménez, J. D. 2013. Cobertura vegetal, materia orgánica y pH en suelo y su relación con el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Montaño-Arias, N. M. 2008. Efecto del carbono orgánico sobre la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en el suelo de un ecosistema tropical estacional. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Mora-Ardila, F. 2015. Cambios temporales y espaciales en la estructura y diversidad de la vegetación y en los almacenes de carbono de bosques tropicales secos secundarios en la región de Chamela, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Mora-Herrera, S. 1996. Evaluación de algunos elementos potencialmente tóxico (Cd, Cu, Ni y Zn) en suelos con alto contenido de materia orgánica (>20%) bajo cultivo en el curso alto de la cuenca alta del Río Lerma, Estado de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Morales-Coutiño, T. A., 2010. Carbono en sistemas ganaderos en un paisaje de conservación REBIMA Chiapas, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, México.
- Morales-Jiménez, M. A. 2012. Restauración del suelo en pastizales degradados y su potencial en el secuestro de carbono. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Murillo de la Rosa, A. 2010. La materia orgánica del suelo en seis agroecosistemas de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, México.
- Murray-Núñez, R. M. 2011. Pérdidas en las reservas de carbono de los suelos de la llanura costera norte de Nayarit y cambios en sus propiedades físicas e hidrofísicas. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México.
- Navarro-Bravo, A. 2010. Indicadores físicos de un suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Olivares-Alegria, J. A. 2009. Caracterización espectroscópica de materia orgánica procedente de suelo de San Rafael, Estado de México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Ordóñez, J. A. B. 2008. Emisiones y captura de carbono derivadas de la dinámica de cambio en el uso del suelo en los bosques de la región Purépecha. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Orona-Roblero, N. M. 2011. Efecto del manejo orgánico y convencional, sobre la densidad aparente, porosidad y captura de carbono en el suelo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Orozco-Bojórquez, J. G. 2010. Reservas de carbono orgánico en los suelos de Nayarit. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México.
- Pajares, S., J. F. Gallardo y J. D. Etchevers. 2008. Actividades enzimáticas de una toposecuencia de suelos ubicada en el eje neovolcánico mexicano. pp. 336-341. En: Las fronteras de la Física y Química Ambiental en Ibero América del V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental.
- Pajares, S., S. Covalada, J. F. Gallardo, J. D. Etchevers y C. Prat. 2010. Calidad edáfica en dos toposecuencias del Eje Neovolcánico Mexicano.
- Pascual-Córdova, G. 2013. Evaluación del agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp) a través de indicadores de calidad del suelo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, México.
- Pérez-Camacho, P. 2009. Fertilización NPK y demanda nutricional de cuatro especies forestales en fases temprana de crecimiento. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, México.
- Pérez-González, G. 2009. Caracterización y determinación del índice de sitio en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, México.
- Pérez-Martínez, R. V. 2011. Contenido de carbono en ecosistemas del cerro Tláloc, Texcoco, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Pérez-Sandoval, R. 2010. Características edafológicas y potencial productivo de *Eucalyptus urophylla* y *E. grandis* en Huimanguillo, Tabasco. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Perroni-Ventura, Y. 2007. Islas de fertilidad en un ecosistema semiárido: Nutrientes en el suelo y su relación con la diversidad vegetal. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, México.
- Polile-Agustine, M. 2008. Agregación y propiedades asociadas al suelo influenciado por *Lupinus uncinatus* bajo varios manejos agrícolas. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Rajagopal, I. 2004. Estimación del secuestro de carbono en sistemas agroforestales a base de cítricos en el trópico

- húmedo mexicano. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Ramírez-Murillo, P. E. 1993. Influencia del cultivar, edad y textura del suelo sobre el desarrollo radical de porta injertos de mango (*Magnifera indica* L.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México.
- Ramírez-Téllez, J. L. 2010. Análisis de la fertilidad de los suelos cultivados con amaranto. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ixtacuixtla, México.
- Ramos-Bello, R. 2006. Contaminación por metales pesados, salinidad y sodicidad en suelos de chinampa de Xochimilco, San Luis Tlaxialtemalco, Tláhuac y Mixquic, D. F. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Rangel-Maldonado, B. s.d. Evaluación de la captura de carbono en sistemas agrícolas en producción, abandonados y reforestados de áreas afectadas por ceniza volcánica del Parícutín, Michoacán, México. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Reséndiz-Paz, M. L. 2012. Impacto de las prácticas antrópicas en los suelos del distrito de riego “Los Insurgentes”, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Reyes-Reyes, B. G. 2004. Dinámica de carbono y nitrógeno en una zona semiárida dominada por mezquite (*Prosopis laevigata*). Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Distrito Federal, México.
- Reyes-Yurame, M. 2011. Propiedades del suelo, captura de carbono y rendimiento de maíz bajo tres sistemas de labranza en el décimo año de tratamiento. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Ríos-Estudillo, J. 2008. Dinámica de los flujos de bióxido de carbono y de energía sobre un pastizal árido del noreste de México. Tesis de Maestría. Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Rivera-Casillas, A. 1988. Efecto de la quema sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, bajo cultivos de coamil en el estado de Nayarit. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México.
- Rivera-Vargas, G. 2010. Relación suelo-planta en tres coberturas vegetales del municipio de Putla Villa de Guerrero, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Roa-Fuentes, L. 2009. Leguminosas como herramienta para la restauración de procesos biogeoquímicos del suelo: Evidencias en la región de los Tuxtlas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Rodríguez-Flores, F. de J. 2005. Almacenes y flujo de carbono en plantaciones forestales del norte de México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México.
- Rodríguez-Lara, J. 2010. Propiedades y captura de carbono por el suelo bajo tres sistemas de labranza en el décimo primer año de tratamiento. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Rojas-Pérez, L. 2014. Evaluación de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) en Chocamán, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Romero-Duque, L. P. 2008. Diversidad y almacenes de carbono y nitrógeno en bosques tropicales caducifolios secundarios de la región de Chamela, Jalisco, con diferentes historias de uso. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Romero-Figueroa, J. C. 2013. Relación carbono nitrógeno en el proceso de lombricompostaje y su potencial nutrimental en jitomate y menta. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Rosas-Barrera, M. D. 2000. Estructura y distribución de *Cordia elaeagnoides* en un paisaje de bosque tropical deciduo en Chamela, Jalisco, México. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Ruiz-López, A. 2012. Cambios del uso del suelo y su efecto en el contenido químico de M. O., C/N Y C/P, en el ejido “El Conejo”, Perote, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, México.
- Ruiz-Novelo, J. M. 1990. Contribución de la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos de la serie Ya’ax-hom café de la península de Yucatán. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.
- Sachman-Ruiz, B. 2001. Dinámica de nitrógeno y carbono en la restauración de un sitio perturbado de selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Sánchez-Espinoza, J. F. 1994. Evaluación de los suelos en la microcuenca hidrológica Capula, municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.
- Sánchez-González, A. 2008. Cambios en la calidad de la materia orgánica disuelta en suelos regados con agua residual. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Sánchez-Soto, B. H. 2012. Estructura y riqueza vegetal de las islas de la costa de Sinaloa, México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Sandoval-Pérez, A. L. 2011. Efecto de *Mimosa luisana* (Leguminosae) y de las costras biológicas sobre la dinámica del carbono y del nitrógeno en el suelo de un ecosistema semiárido en México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa, México.
- Sauceda-Álvarez, E. 2011. Estudio longitudinal de la materia orgánica en la margen derecha del río Tamazula en Culiacán, Sinaloa. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, México.

- Saynes-Santillán, V. 2012. Secuestro de carbono en el suelo de bosques con aprovechamiento forestal en condiciones contrastantes de lluvia. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Schott-Martínez, D. 2004. Determinación de los almacenes de carbono en sistemas de vegetación permanentes (forestal, café y acahual) en la Sierra Norte de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Serrato-Cuevas, R. 2010. Morfogénesis y taxonomía de los suelos del ejido de San Cristóbal Tecolít, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Solís-Sangrador, A. 2006. Determinación de materia orgánica en suelos de las Delegaciones Xochimilco y Tláhuac, D. F. Trabajo de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa, México.
- Sotelo-Gallardo, H. 2002. Comparación de la densidad aparente y la materia orgánica del suelo entre un sistema agroforestal pastoril-silvícola y uno convencional en el noreste de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México.
- Tapia-Torres, Y. 2010. Efecto del tipo de vegetación en la dinámica de nutrientes y en la estructura de las comunidades bacterianas del suelo en el Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Tinal-Ortiz, S. 2008. Suelos de la Llanura aluvial del río Carrizal en La Ranchería Emiliano Zapata, municipio Centro, Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México.
- Tobón-Niedfeldt, W. 2009. Reforestación de potreros abandonados en los Tuxtlas: efectos en el suelo a corto plazo. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Torres-García, A. 2013. Estimación de captura de carbono en suelos, bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el municipio de Zacazonapan, Estado de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Trejo-Domínguez, Y. 2009. Estudio fisicoquímico y determinación del poder catalítico de un suelo originario de Ciudad Delicias, Chihuahua. Una contribución al acervo de la Química Verde. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México, México.
- Trujillo-Anaya, L. Z. 2008. Lixiviados del ensilaje de maíz y sus efectos sobre las propiedades del suelo. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Durango, México.
- Uriostegui-Delgado, Y. 2006. Efecto del carbono orgánico y la textura del suelo sobre la estabilidad de los agregados en suelos de una zona cafetalera de la Sierra Sur de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Vaca-Paulin, R. 1996. Determinación de metales pesados en dos tipos de suelo bajo bosque y cultivo en el Alto Lerma, Estado de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Valdés-Velarde, E. 2010. Evaluación del carbono y nutrientes edáficos por clase de geoforma y tipo de manglar en Marismas Nacionales, Nayarit. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Valdéz-Arenas, L. C. 2008. Caracterización de los agregados y su relación con la materia orgánica en suelos de La Finca Monte Carlo, Municipio de Santa María Huatulco, Sierra Sur de Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Valdivieso-Pérez, I. 2011. De maizales a potreros: cambio en la calidad del suelo en Los Ángeles, Villaflores, Chiapas, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, México.
- Vargas-Martínez, I. 2007. Efecto de la labranza vertical en el flujo de bióxido de carbono y la conservación de humedad del suelo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.
- Vásquez-Bautista, N. 2009. Importancia ecosistémica de los aportes de materia orgánica al suelo en comunidades vegetales secundarias en laderas de Teapa, Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Teapa, México.
- Vásquez-Méndez, R. 2010. Sistema suelo-planta-atmósfera en parches de vegetación de una zona semiárida. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Vázquez-Domínguez, L. 2013. Carbono en una región cafetalera del estado de Veracruz, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Vela-Correa, G., J. López-Blanco, M. Rodríguez-Gamiño, A. Chimal, A. Navarrete, J. Cruz-Chona y V. Bello-Tellez. 2009. Vulnerabilidad del Suelo de Conservación del Distrito Federal ante el cambio climático y posibles medidas de adaptación. Estimación de carbono orgánico total en los edafosistemas del Suelo de Conservación del Distrito Federal. Informe Técnico. Centro Virtual de Cambio Climático Ciudad de México. México.
- Venegas-Sandoval, A. 2013. Efecto del manejo forestal en el contenido de carbono en vegetación y suelo de acahuales de Calakmul, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Campeche, México.
- Villafaña-Arroyo, T. 2009. Efecto de la labranza sobre la microbiomasa y mineralización en un suelo de los Valles Altos de Toluca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Zarazúa-Villaseñor, P. 2005. Variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo en terrenos de uso agrícola. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. Zapopan, México.

# TECNOLOGÍAS DEL INIFAP CON RELACIÓN A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO

## INIFAP TECHNOLOGIES WITH REGARD TO THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE AND THE CAPTURE OF CARBON IN THE SOIL

Bertha Patricia Zamora-Morales<sup>1†</sup>, Mayra Mendoza-Cariño<sup>2</sup> y Mayra Patricia Guerrero-Ibarra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Av. Progreso Núm. 5, CP 04110, Coyoacán, Ciudad de México.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Batalla 5 de mayo S/N, esquina Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, CP 09230, Iztapalapa, Ciudad de México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Metropolitana. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, CP 04960, Ciudad de México

†Autor para correspondencia: zamora.patricia@inifap.gob.mx

### RESUMEN

El tema del secuestro del carbono en el suelo y su relación con la mitigación de los efectos del cambio climático ha cobrado interés en México en los últimos años, aun cuando a nivel nacional e internacional desde hace varias décadas diversas instituciones de investigación científica han generado importantes contribuciones al conocimiento en esta materia para los subsectores agropecuario y forestal; una de estas instituciones es el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El objetivo del presente trabajo fue conocer la tendencia de la investigación científica en materia de captura de carbono orgánico en suelo y mitigación del cambio climático para el periodo 1964-2015 en el INIFAP, tomando como base el acervo general de tecnologías y componentes tecnológicos documentados por la institución. Los resultados obtenidos constituyen una herramienta que permite identificar áreas de oportunidad, líneas de estudio presentes y futuras, además de contribuir a una mayor comprensión del tema por subsector.

**Palabras clave:** *almacenes de carbono; carbono orgánico del suelo; fertilidad; labranza mínima; materia orgánica.*

### ABSTRACT

The topic of carbon sequestration in the soil and its relationship with the mitigation of the effects of climate change, has gained interest in Mexico in recent years, even though at national and international levels several scientific research institutions have generated important contributions to knowledge in this matter for the agricultural and forestry subsectors, one of these institutions is the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP). The objective of the present work was to know the trend of scientific research in the matter of organic carbon capture in soil and mitigation of climate change for the period 1964-2015 in the INIFAP based on the general stock of technologies and technological components documented by the instituted. The results obtained constitute a tool that allows identifying information gaps, current and future study lines, as well as contributing to a greater understanding of the subject by sub-sector.

**Index words:** *carbon stocks; soil organic carbon; fertility; minimal tillage; organic matter.*

## INTRODUCCIÓN

La reserva de carbono orgánico almacenada en los suelos de todo el mundo se estima en 1500 Pg<sup>1</sup> en el primer metro de profundidad (FAO, 2002); entre 1500 y 2000 Pg<sup>1</sup>, según Janzen (2004) y cerca de 2456 Pg, a dos metros de profundidad (FAO, 2002). Lo anterior implica un contenido 2.1 y 2.7 veces mayor en comparación con los de la atmósfera y de la reserva biótica, respectivamente (Neill *et al.*, 1998).

Como parte del ciclo global natural, hay un balance en el flujo de entrada y de salida de carbono en el suelo. Existe una dinámica que regula la cantidad que ingresa a través de la materia orgánica (45 y 55%) (Galicía *et al.*, 2016) y la que se emite a la atmósfera en forma de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Al respecto, se considera captura o secuestro de carbono cuando éste permanece en el suelo y, se interpreta como pérdida, si fluye al ambiente.

El carbono orgánico del suelo se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, ya que influye en la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo las que, a su vez, definen su fertilidad y capacidad productiva (Sánchez *et al.*, 2004). El desarrollo de las actividades agropecuarias y forestales bajo inadecuadas prácticas de manejo ha llevado a los suelos mexicanos, a distintos grados de deterioro. Entre ellos, la disminución del potencial productivo y el incremento de las emisiones del carbono edáfico a la atmósfera, en forma de CO<sub>2</sub>. Lo anterior, preocupa a la comunidad científica, y a la sociedad en general, debido a sus repercusiones en los ámbitos de la productividad agroalimentaria y forestal por su vinculación con el cambio climático.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en cumplimiento a su misión de contribuir al desarrollo rural sustentable, mejorando la competitividad y manteniendo la base de los recursos naturales, ha promovido el desarrollo del conocimiento científico y ha generado tecnologías y componentes tecnológicos para los subsectores forestal, agrícola y pecuario. Por lo que el objetivo de este trabajo fue conocer la tendencia de la investigación científica del INIFAP en materia de captura de carbono orgánico en suelo y sus efectos en la mitigación del cambio climático durante el periodo 1964-2015 como una acción encaminada para contribuir con las metas de las iniciativas públicas y acuerdos nacionales e

internacionales en torno a la generación y desarrollo de sinergias para el secuestro de carbono en el suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología consistió en la revisión, análisis y diagnóstico sistemático de los acervos físico y digital generados en los Centros Regionales y Nacionales de Investigación del INIFAP durante el periodo de 1964 a 2015, los cuales concentran más de 2500 documentos de acceso abierto e incluyen diversos tipos publicaciones: boletines de divulgación y técnicos; catálogos; libros científicos, informativos y técnicos; notas informativas y técnicas; publicaciones especiales, técnicas y científicas; tesis; fichas técnicas; paquetes tecnológicos; folletos científicos, informativos y técnicos; agendas técnicas; desplegables informativos y para productores; memorias científicas y técnicas; revistas.

Para identificar los documentos que se relacionaron con el tema del secuestro de carbono en el suelo, se emplearon operadores lógicos (en español e inglés) y sus combinaciones como carbono orgánico; suelo; sistemas de labranza: labranza convencional, labranza tradicional, labranza reducida, labranza de conservación, entre otras variantes; rotación de cultivos; manejo de residuos; materia orgánica; aplicación de fertilizantes; biomasa microbiana; biomasa de raíces; por nombre de técnicas analíticas y autores; entre otras. El material seleccionado se analizó, organizó y sistematizó en una base datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la revisión documental se identificaron 105 publicaciones que se relacionaron específicamente con el tema de la captura de carbono orgánico en suelo y el cambio climático. Los años con los mayores números de publicaciones fueron 2011, seguido de 2013 y 2007; con un notable incremento a partir del año 2000 (Figura 1). Esto se atribuyó a que el tema de calentamiento global es relativamente nuevo, ya que la información que se generó en el INIFAP en el año 2013 mostró mayor claridad sobre el cambio climático generado por el ser humano, por lo que los estudios se incrementaron. La reflexión anterior coincide con la publicación del Quinto Informe de Evaluación del Intergovernmental Panel Climate Change, IPCC, que se centró en la ciencia del cambio climático (IPCC, 2013).

<sup>1</sup> Pg (pentagramos) = 10<sup>15</sup> g = Gt = 10<sup>9</sup> toneladas métricas.

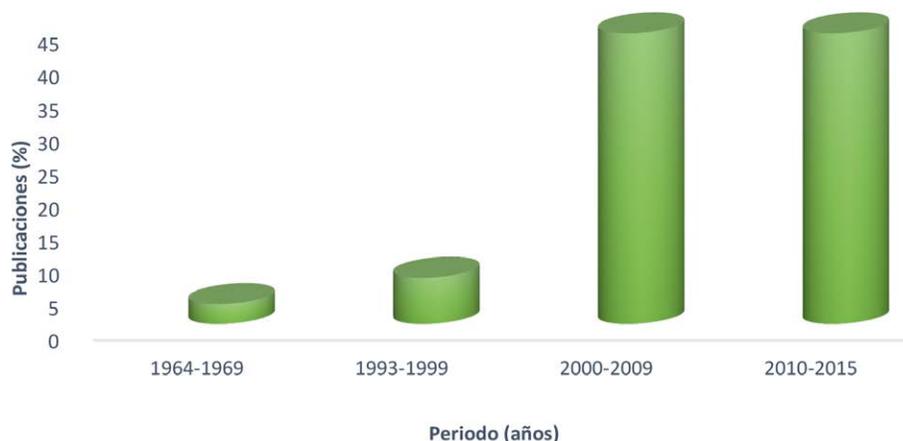


Figura 1. Porcentaje de publicaciones del INIFAP relacionadas con la captura de carbono en suelos y la mitigación de los efectos del cambio climático.

La revisión documental evidenció que los folletos (32.7%) y las fichas tecnológicas (30.9%) son el tipo de publicaciones más comunes en el acervo documental<sup>2</sup> del INIFAP (Figura 2).

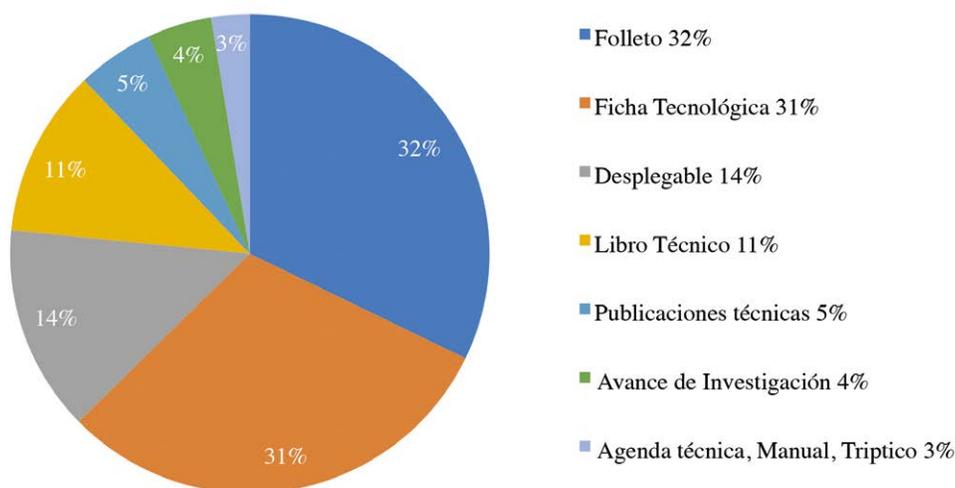


Figura 2. Tipo de publicación del acervo documental del INIFAP relacionado con la captura de carbono en suelos y la mitigación de los efectos del cambio climático.

<sup>2</sup> **Folletos:** en el INIFAP se publican distintos tipos de folletos de acuerdo con el sector al que se dirigen: folletos técnicos, folletos para productores y folletos informativos.

**Libro técnico:** describe de manera detallada una especie, disciplina o una fase de la producción. Esta serie documental difunde información sobre temas de las ciencias forestales, agrícolas y pecuarias en forma descriptiva o analítica y su contenido puede ser de cobertura nacional o de algún área o región. Un libro técnico constituye una obra didáctica de consulta para investigadores, profesores y estudiantes.

**Desplegable:** el contenido es similar al de los folletos, pero es más breve y también se clasifica de acuerdo con el sector al que se dirige.

**Publicación especial:** su contenido se produce para mantener memoria

de hechos especiales, como aniversarios relacionados con actividades internas o externas del INIFAP. La información puede ofrecer orientaciones agrícolas, pecuarias o forestales en forma precisa y directa.

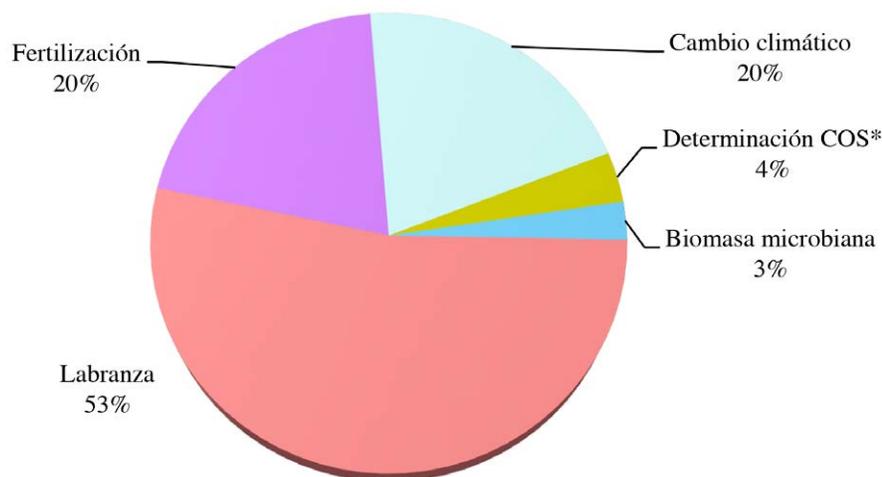
**Fichas tecnológicas:** describen en forma breve, pero completa y con apoyo gráfico, el problema objeto de estudio, el resultado de la investigación, la descripción de la tecnología, su ámbito de aplicación y el impacto esperado por efecto del uso de la innovación.

**Componentes tecnológicos:** es un conjunto de procesos y productos que proporcionan un bien al producto final. Este distingue una amplia gama de tecnologías que pueden ser validadas, transferidas y adoptadas; y en el caso particular del INIFAP se presentan como fichas tecnológicas.

Las investigaciones del INIFAP, centraron sus esfuerzos en distintos micro-campos del conocimiento, donde la labranza tradicional y de conservación fueron las más estudiadas (53%), seguidas por los tipos de fertilización (20%) (Figura 3).

Se identificaron 23 componentes tecnológicos que fueron objeto de estudio (Cuadro 1): la labranza

de conservación (37.5%) y la biofertilización (14.3%) tuvieron mejor representación; entre los de menor grado, se encontraron Estrategias de adaptación al cambio climático, Estrategias de conservación de agua y suelo, Agroforestería, Pastoreo con ajuste de carga animal entre otros (0.8% cada uno).



\*COS: carbono orgánico del suelo.

Figura 3. Porcentaje de la temática abordada en las publicaciones del INIFAP.

Cuadro 1. Componentes tecnológicos en relación con los temas de captura de carbono orgánico en suelo y mitigación del cambio climático incluidos en las publicaciones del INIFAP (1964-2015).

Componente tecnológico	(%)	Componente tecnológico*
Labranza de conservación	35.7	Enfoque de microcuencia
Biofertilización	14.3	Estrategias de adaptación al cambio climático
Fertilización	12.7	Estrategias de conservación de agua y suelo
Sistemas de labranza	7.9	Agroforestería
Generación de conocimiento	4.0	Modelo de producción de cultivo
Modelos de evaluación de carbono	3.2	Modelos económicos
Preparación de suelo	3.2	Pastoreo con ajuste de carga animal
Caracterización de patrones ambientales	2.4	Software
Barreras físicas	1.6	Manejo de residuos de cosecha
Rotación de cultivos	1.6	Barreras vivas
Manejo sustentable de recursos maderables	1.6	
Generación de software	1.6	

\*Componente tecnológico, con una frecuencia de aparición menor al 1% en cada caso.

La mayoría de las investigaciones se concentraron en el sector agrícola, seguido del forestal y, en menor grado el pecuario.

## CONCLUSIONES

Los resultados expuestos permiten documentar que el INIFAP ha contribuido en el país a la generación del conocimiento a fin de conseguir un mayor entendimiento sobre la importancia de conservar e incrementar el carbono en el suelo (Cuadro 2, Anexo I). Lo que adquiere especial importancia, debido a que gran parte de la información y del desarrollo tecnológico generado involucran procesos y técnicas que se asocian al secuestro del carbono en el suelo, así como su promoción para favorecer la adaptación y la mitigación de los efectos del cambio climático. Sin embargo, queda claro que los estudios en materia de captura de carbono orgánico, con relación a las prácticas de manejo del suelo en los sectores agropecuario y forestal de México, están en proceso de desarrollo. Aun cuando diversas instituciones académicas y de investigación del país estudian sobre el tema, los esfuerzos son aislados y en la mayoría de los casos, sin seguimiento.

Lo anterior, refleja la necesidad de conformar equipos interdisciplinarios que colaboren a escalas local, regional y nacional, a fin de determinar las condiciones actuales que, sobre el particular, se presentan en el país. Así como para identificar los aspectos que se tienen que reforzar, y aquellos en los que hay vacíos de conocimiento, con el objetivo de conformar un esquema de investigación congruente y jerarquizado que permita concretar metas a corto, mediano y largo plazo.

## RECOMENDACIONES FINALES

A fin de tener un panorama más claro sobre la evolución del conocimiento y del desarrollo de tecnologías, tema de sobrado interés en México, es necesario difundir los resultados de los estudios que se generan en las instituciones académicas y de investigación. Lo anterior permitiría favorecer la visibilidad de los acervos físicos y acrecentar significativamente su impacto en la plataforma del saber, con lo que también aumentaría su potencial utilidad.

La creación de bases de datos y su análisis, permitiría identificar las áreas de oportunidad y establecer en forma oportuna y programada, líneas de investigación específicas que contribuirían a un mayor entendimiento

sobre la importancia de la conservación e incremento del carbono en el suelo; entre ellas:

- Estimaciones del potencial de captura de carbono de los suelos agrícolas, pecuarios y forestales y sus emisiones de bióxido de carbono, así como el monitoreo, registro y verificación de datos.
- Elaboración de indicadores de captura de carbono orgánico, como de emisiones de bióxido de carbono, por práctica de manejo en el uso del suelo y por sector.
- Inventarios completos y en constante actualización de las reservas de carbono orgánico en el suelo para cada sector productivo.
- Bases de datos para diversos usos del suelo y opciones de manejo.
- Diseño de tecnologías para la captura de carbono y beneficios colaterales.
- Identificación de políticas públicas nacionales (SAGARPA y SEMARNAT, entre otras) y la creación de un instrumento de política pública para adoptar prácticas que favorezcan el secuestro y conservación de C en el suelo, así como su relación con convenios internacionales, como el de la iniciativa 4 x 1000.

Finalmente, asegurar la buena gobernanza y el empoderamiento regional de los productores que garanticen buenas prácticas de manejo para la conservación e incremento de los reservorios de carbono.

## LITERATURA CITADA

- Galicia, L., A. M. Gamboa C., S. Cram, B. Chávez V., V. Peña R., V. Saynes S. y C. Siebe. 2016. Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana* 34:1-29.
- Janzen, H. H. 2004. Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104:399-417.
- IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change). 2013. Synthesis Report. *In: Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.).

- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 32 p. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf).
- Neill, Ch., C. Cerri, J. M. Melillo, B. J. Feigl, P. A. Steudler, J. F. L. Moraes and M. C. Piccolo. 1998. Stocks and dynamics of soils Carbon following deforestation for pasture in Rondonia. pp. 9-28. *In*: Lal, R., J. M. Kimble, R. F. Follet and B. A. Stewart (eds.). Soil processes and the carbon cycle. OH, USA.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Roma, Italia. 64 p.
- Sánchez, J. E., R. Harwood, T. C. Willson, K. Kizilkaya, J. Smeenk, E. Parker, E. A. Paul, B. D. Knezek and G. P. Robertson. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agronomy Journal* 96:769-775.

## ANEXO I

**Cuadro 2. Catálogo de publicaciones de las investigaciones que el INIFAP ha desarrollado en materia de captura de carbono orgánico en el suelo y cambio climático (1964-2015).**

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Barreras biofísicas, sistemas de labranza	Agenda técnica	Bravo, E. M. Sin año. Barreras y sistemas de labranza para reducir la erosión y conservar el agua en las cuencas de Pátzcuaro y Zirahuén, Michoacán. INIFAP. Agenda técnica. México.
Barreras biofísicas, sistemas de labranza	Publicación técnica	Bravo, E. M. y J. Ruiz V. Sin año. Evaluación de barreras biofísicas y sistemas de labranza en la agricultura de ladera en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán. Publicación técnica.
Barreras vivas	Ficha tecnológica	Cruz, C. E. 2010. Barreras vivas para la retención de suelos en terrenos de ladera en regiones templadas de Oaxaca. INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, CIRPAS. Ficha tecnológica. Oaxaca, México. 91 p.
Biofertilizantes	Desplegable para productores	Garza, M. B. I. 2001. Uso de biofertilizantes en cultivos anuales del Distrito Federal. INIFAP, Campo Experimental Valle de México, CIRCE. Desplegable para productores Núm. 1. México. 6 p.
Biofertilizantes	Ficha tecnológica	Aguirre, M. J. F. 2007. Biofertilizantes microbianos: Tecnología para incrementar la productividad del maíz. INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa, CIRPAS. Ficha tecnológica. México. 222 p.
Biofertilizantes	Avance de investigación	Aguirre, M. J. F. 2007. Biofertilizantes microbianos y productividad de diversos cultivos anuales y perennes en México. INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa, CIRPAS. Avance de investigación. México. 34 p.
Biofertilizantes	Ficha tecnológica	Gómez, R. S. y J. Becerra B. 2008. Producción de abonos orgánicos por medio de lombricomposta con excretas animales. INIFAP, CENID-FISIOLOGÍA. Ficha tecnológica. México. 167 p.
Biofertilizantes	Ficha tecnológica	García, S. R. 2008. Elaboración artesanal y activa de composta a base de residuos orgánicos de pequeñas fincas agropecuarias. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Ficha tecnológica. México. 173 p.
Biofertilizantes	Ficha tecnológica	Caballero, H. F. y A. Mellado V. 2009. Evaluación de biofertilizantes en la floración del limón mexicano. INIFAP, Campo Experimental Valle de Apatzingán, CIRPAC. Ficha tecnológica. México. 145 p.

Continuación Cuadro 2...

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Biofertilizantes	Ficha tecnológica	Aguado, S. G. A. y B. Moreno G. 2011. Empleo del biofertilizante INI2709 en el cultivo de sandía. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Ficha tecnológica. México. 147 p.
Biofertilizantes	Ficha tecnológica	Aguado, S. G. A., B. Moreno G. y R. A. Dorantes G. 2011. Biofertilizante INI2709 en cultivo de brócoli. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Ficha tecnológica. México. 173 p.
Biofertilizantes	Ficha tecnológica	Mata, V. H., E. Garza U. y J. Patistán P. 2013. Alternativa biotecnológica para la nutrición del chile serrano. INIFAP, Campo Experimental Las Huastecas, CIRNE. Ficha tecnológica. México. 100 p.
Biofertilizantes	Desplegable para productores	Grageda, C. O. A. y A. Díaz F. 2014. Potencial de los Biofertilizantes y abonos orgánicos en la horticultura. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Desplegable para productores Núm. 40. México.
Biofertilizantes	Desplegable para productores	Grageda, C. O. A., S. S. González F. y A. Díaz F. 2015. Uso de compostas y biofertilizantes en la agricultura. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Desplegable para productores Núm. 41. Guanajuato, México. 2 p.
Biofertilizantes	Libro técnico	Aguirre, M. J. F. 2006. Biofertilizantes Microbianos: Experiencias agronómicas del Programa Nacional del INIFAP en México (maíz, frijol, soya, vivero, chayote, <i>Leucaena</i> ). INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa, CIRPAS. Libro técnico. México. 228 p.
Biofertilizantes	Folleto técnico	Aguirre, M. J. F. 2006. Biofertilizantes microbianos; su aplicación en la agricultura (micorrizas). INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa, CIRPAS. Folleto técnico. México. 228 p.
Biofertilizantes	Sin datos	Santacruz, G. A. 2012. Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la Agricultura. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. México.
Caracterización de patrones ambientales	Publicación especial	López, L. A., A. M. Báez G., J. A. Ruiz C. y G. Medina G. 2009. Caracterización climática y edáfica del área de abastecimiento del Ingenio Pujiltic, Chiapas. INIFAP, Campo Experimental Centro Chiapas, CIRPAS. Publicación Especial, Núm. 1. México. 60 p.
Desarrollo de cartografía	Folleto técnico	Loredo, O. C. 2008. Evaluación de riesgo a la erosión para el manejo de microcuencas. INIFAP, Campo Experimental San Luis, CIRNE. Folleto técnico. México. 2 p.
Desarrollo de modelos matemáticos	Ficha tecnológica	Benavides, S. J., A. Rueda S., E. A. Rubio C., M. Acosta M. y J. Villanueva D. 2011. Ecuaciones alométricas de biomasa y carbono para plantaciones de rosa morada ( <i>Tabebuia rosea</i> ) en el occidente de México. INIFAP, Campo Experimental Altos de Jalisco, CIRPAC. Ficha tecnológica. México.
Enfoque de microcuenca	Folleto técnico	Villar, S. B. y J. López M. 2003. Sistema integrado de manejo para la conservación del suelo y agua a nivel de cuenca hidrográfica en el trópico mexicano. INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS. Folleto técnico agrícola Núm. 1. México.
Estrategias de adaptación al cambio climático	Desplegable informativa	López, B. W., I. Castro M., R. Camas G. y J. Estrada Á. 2014. Propuesta integrada de adaptación al cambio climático en la sierra madre de Chiapas, México. INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS. Desplegable informativo Núm. 10. México. 2 p.

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Estrategias de conservación de agua y suelo	Libro técnico	Villar, S. B., J. López M., J. M. Cena V. y B. F. Solís G. 2011. Protocolo para la toma de decisiones sobre conservación del suelo y agua y producción agrícola en cuencas. INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas. CIRPAS. Libro técnico Núm. 6. México.
Fertilización en cultivo de arroz	Libro técnico	Mukaigawara, M. 1993. Mejoramiento de la fertilización del cultivo de arroz en Morelos. INIFAP, Campo Experimental Zacatepec, CIRCE. Folleto técnico Núm. 12. México. 31 p.
Fertilización en cultivo de garbanzo	Desplegable para productores	Navejas, J. J. y E. Gutiérrez P. 2013. La fertilización en garbanzo. INIFAP, Campo Experimental Todos los Santos, CIRNO. Desplegable para productores Núm. 24. México.
Fertilización en cultivo de litchi	Ficha tecnológica	Garza, N. A. 2008. Efecto de la fertilización en la producción de Litchi. INIFAP, Campo Experimental Huichihuayán, CIRNE, Ficha tecnológica. México.
Fertilización en cultivo de maíz	Libro técnico	Rodríguez, G. J. H. y L. Reggie J. 1965. Fertilización de maíz de temporal en regiones de Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SAG. Folleto técnico Núm. 50. México. 69 p.
Fertilización en cultivo de nogal pecanero	Desplegable para productores	Maldonado, N. L. A. 2013. Fertilización de Nogal Pecanero. INIFAP, Campo Experimental Costa de Hermosillo, CIRNO. Desplegable para productores Núm. 8. México.
Fertilización en cultivo de papa	Libro técnico	Laird, R. J. y R. Ramírez. 1964. La fertilización del cultivo de la papa en la región de León, Gto. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SAG. Folleto técnico Núm. 46. México. 51 p.
Fertilización en cultivo de trigo	Libro técnico	Torres, B. M. y E. Ortega T. 1969. Fertilización del trigo en el Valle de Mayo. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SAG. Folleto técnico Núm. 54. México. 62 p.
Fertilización para cultivo de durazno	Folleto científico	Zegbe, D. J. A. y A. F. Rumayor R. 1994. Influencia de la maleza y la fertilización en el rendimiento del duraznero criollo bajo riego. INIFAP, Campo Experimental Calera, CIRNOC. Folleto científico Núm. 1. México. 35 p.
Fertilización para cultivo de sorgo	Desplegable para productores	Valadéz, G. J. 1999. Fertilización para sorgo de temporal en el sur de Tamaulipas. INIFAP, Campo Experimental Sur de Tamaulipas. CIRNE. Desplegable para productores Núm. 8. México.
Generación de información	Folleto técnico	Jurado, G. P., R. A. Saucedo T., C. R. Morales N. y M. Martínez S. 2013. Almacén y captura de carbono en pastizales y matorrales de Chihuahua. INIFAP, Campo Experimental La Campana, CIRNOC. Folleto técnico Núm. 38. México. 39 p.
Generación de información climática	Ficha tecnológica	Romero, S. M. E. y F. Moreno S. 2011. Método para el establecimiento de una red óptima de monitoreo climático en el estado de Coahuila. INIFAP, CENID-COMEF. Ficha tecnológica. México. 109 p.
Generación de información climática	Publicación especial	Bravo, M. E., G. Medina G., J. A. Ruíz C., A. D. Báez G. y V. Mariles F. 2012. Cambio climático y su impacto potencial en el sistema producto caña de azúcar en el área de abasto del Ingenio Adolfo López Mateos. INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, CIRPAS. Publicación Especial Núm. 11. México.

Continuación Cuadro 2...

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Generación de información con enfoque de cuenca	Ficha tecnológica	López, M. J. 2012. Metodología para identificar áreas deforestadas con enfoque de cuenca. INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS. Ficha tecnológica. México. 149 p.
Generación de información, plataforma web	Ficha tecnológica	López, B. W. 2011. Sistema de información en línea sobre manejo de cuencas en Chiapas. INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS. Ficha tecnológica. México. 235 p.
Labranza de conservación	Desplegable para productores	Salinas, G. J. R. y F. O. Rulfo V. 1999. Agricultura moderna con labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, CIRNE. Desplegable para productores Núm. 2. México. 5 p.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Martínez, G. M. Á. 2002. Método alternativo de labranza de conservación en módulos forrajeros de temporal en el altiplano potosino. INIFAP, Campo Experimental Palma de la Cruz, CIRNE. Folleto técnico Núm. 19. México. 14 p.
Labranza de conservación	Folleto para productores	Martínez, G. M. Á. 2002. Labranza de conservación en una rotación maíz-avena forrajera de riego en el altiplano potosino. INIFAP, Campo Experimental Palma de la Cruz, CIRNE. Folleto para productores Núm. 30. México. 11 p.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Martínez, G. M. Á. 2002. Alternativas de preparación del suelo para cultivos de riego en la zona media potosina (labranza de conservación). INIFAP, Campo Experimental Palma de la Cruz, CIRNE. Folleto técnico Núm. 17. México. 12 p.
Labranza de conservación	Folleto para productores	Martínez, G. M. Á. 2002. Labranza de conservación en una rotación maíz-frijol-avena forrajera de riego en la zona media potosina. INIFAP, Campo Experimental Palma de la Cruz, CIRNE. Folleto de para productores Núm. 20. México. 20 p.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Martínez, G. M. Á. 2002. Labranza de conservación en condiciones de riego en el altiplano potosino. INIFAP, Campo Experimental Palma de la Cruz, CIRNE. Folleto técnico Núm. 18. México. 14 p.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Campos, M. S. G., S. M. Jacome M., J. A. Cruz. B. y M. A. Reynolds C. 2004. Sistema de monitoreo de siembra en labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, CIRGOC. Ficha tecnológica 2004. México.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Escobedo, R. J. S. 2005. Labranza mínima en maíz y frijol, en Zacatecas. INIFAP, Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC. Ficha tecnológica 2005. México. 107 p.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Córtés, J. J. M. 2007. Uso de labranza reducida para la siembra de trigo en surco. INIFAP, Campo Experimental Valle del Yaqui, CIRNO. Ficha tecnológica. México.
Labranza de conservación	Avance de investigación	Martínez, G. M. A. 2007. Modelo de transferencia de labranza de conservación en sistemas de producción agrícola en San Luis Potosí. INIFAP, Campo Experimental San Luis, CIRNE. Avance de investigación. México. 38 p.
Labranza de conservación	Avance de investigación	Muñoz, V. A. 2007. Transferencia de tecnología sobre agricultura de conservación en laderas. INIFAP, Campo Experimental Uruapan, CIRPAC. Avance de investigación. México. 42 p.

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Escobedo, R. J. S. 2008. Suelo: Producción sustentable de cultivos básicos con labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC. Ficha tecnológica. México.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Salinas, G. J. R. 2008. Sorgo: Labranza de conservación en sorgo. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, CIRNE. Ficha tecnológica. México.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Rosales, N. C. A., J. Urrutia M., H. Gámez V. y S. Beltrán L. 2008. Establecimiento de módulos forrajeros con labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Palma de la Cruz, CIRNE. Ficha tecnológica. México.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Velázquez, G. J. J., F. Bahena J., A. Báez P. y L. E. Fregoso T. 2011. La labranza de conservación y los indicadores de calidad de suelo en el valle Morelia-Queréndaro, Michoacán. INIFAP, Campo Experimental Uruapan. CIRPAC. Folleto técnico Núm. 29. México.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Amador, R. M. D. y R. Velázquez V. 2011. Labranza mínima: un sistema alternativo para la producción sustentable de chile seco. INIFAP, Campo Experimental Zacatecas, CIRNOC. Ficha tecnológica. México. 139 p.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Báez, P. A. 2011. Potencial de carbono en suelos vertisoles bajo labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Ficha tecnológica. México. 177 p.
Labranza de conservación	Ficha tecnológica	Aguirre, A. E. y R. Loredo P. 2012. Cultivo de la soya en condiciones de agricultura de conservación y riego por goteo. INIFAP, Campo Experimental Las Huastecas, CIRNE. Ficha tecnológica. México. 173 p.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Báez, P. A., F. Bahena J., J. J. Velázquez G., A. Loza P. y E. Huerta M. 2012. Efecto de las micorrizas en la producción de trigo bajo labranza de conservación en El Bajío. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Folleto técnico Núm. 12. México. 47 p.
Labranza de conservación	Folleto para productores	Alvarado, P. J. I., M. Camarillo P. y E. Ávila C. 2012. Producción de trigo con labranza de conservación en los Valles de Mexicali, B. C. y San Luis Río Colorado, Son. INIFAP, Campo Experimental Valle de Mexicali, CIRNO. Folleto para productores Núm. 58. México. 27 p.
Labranza de conservación	Folleto para productores	Contreras, H. J. R., L. Osorio A., H. Espinosa P. y N. Montes G. 2013. Producción de sorgo de temporal con labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, CIRPAS. Folleto para productores Núm. 12. México. 40 p.
Labranza de conservación	Desplegable	Cepeda, V. M., E. Venegas y B. Gómez L. Sin año. Respuesta del maíz de temporal a la aplicación de azúcar bajo labranza de conservación. INIFAP. Desplegable. México.
Labranza de conservación	Desplegable	Martínez, J. G. Sin año. Resultados de labranza de conservación en el Valle de Santo Domingo, B. C. S. INIFAP. Desplegable. México.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Rosales, R. E., T. Medina C., E. Contreras D. C., L. Tamayo E. y V. Esqueda E. Sin año. Manejo de maleza en maíz, sorgo y trigo bajo labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, CIRNE. Folleto técnico. México.

Continuación Cuadro 2...

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Labranza de conservación	Folleto técnico	Díaz, M. P., H. Ramírez Vega y P. Alemán R. Sin año. La labranza de conservación en maíz de temporal en los altos de Jalisco. INIFAP, Campo Experimental Altos de Jalisco, CIRPAC. Folleto técnico. México.
Labranza de conservación	Folleto misceláneo	Mendoza, R. J. y J. Macías C. J. Sin año. Producción de granos mediante labranza reducida y de conservación en condiciones de riego en el estado de Sinaloa. INIFAP, Campo Experimental Valle del Fuerte, CIRNO. Folleto misceláneo. México.
Labranza de conservación	Desplegable	Ramos, S. A., G. Loaeza, R. Zarate R. y C. Arredondo V. 1997. Uso de la labranza de conservación en el sistema de producción de maíz en la Sierra Juárez de Oaxaca. Información del ciclo primavera-verano 1996. INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, CIRPAS. Desplegable. México.
Labranza de conservación	Tríptico	Ramos, S. A., N. Ortiz M., G. Loaeza R., R. Zarate R. y C. Arredondo V. 1997. Uso de la labranza de conservación en el sistema de producción de maíz en la Sierra Juárez de Oaxaca. Información ciclo otoño-invierno 1996/1997. INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, CIRPAS. Tríptico. México.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Velázquez, V. M., M. Tiscareño L., R. Claveran A. y M. Gallardo V. 1997. Erosión y productividad bajo labranza de conservación I. Avances de investigación en suelos de Ando de Michoacán. INIFAP. Folleto técnico. México.
Labranza de conservación	Folleto para productores	Martínez, A. C. y J. Guzmán R. Sin año. Labranza de conservación del suelo para maíz y sorgo de temporal en el sur de Sinaloa. INIFAP, CIRNO. Folleto para productores. México.
Labranza de conservación	Desplegable	Almeyda, L. I., F. Tucuch C. y J. Estrada V. 1993. Maíz de labranza de conservación en Campeche. INIFAP, Campo Experimental Edzna. CIRSE. Desplegable. México.
Labranza de conservación	Manual	Baena, J. F., M. Santos C., R. Claverán A., A. Muñoz V., M. Nájera R., E. Rosales R., J. Salinas G., C. Sánchez B. y J. Velázquez G. Sin año. Manual para labranza de conservación. INIFAP. Manual. México.
Labranza de conservación	Publicación técnica	Fregoso, T. L., J. R. Salinas G., J. M. Cabrera S., A. Flores., J. E. Morrison y W. Lepori. 2002. Efecto de sistemas de labranza sobre la calidad de vertisoles en El Bajío. Publicación Técnica. CENAPROS-INIFAP-SAGARPA. Michoacán, México.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Velázquez, G. J., J. Salinas G., M. Gallardo V., F. Caballero H. Sin año. Manejo de residuos de maíz de temporal en labranza de conservación en el estado de Michoacán. INIFAP. Folleto técnico. México.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Serrano, A. V., M. Ovando C. Sin año. Cultivo de maíz de temporal bajo labranza de conservación con leguminosas de cobertura en la costa de Oaxaca. INIFAP. Folleto técnico. México.
Labranza de conservación	Folleto científico	González, C. G., I. Orona C., E. Chávez R. M. Rivera G. y J. Gutiérrez C. Sin año. Labranza mínima: una alternativa para el ahorro de agua en huertos de nogal pecanero. INIFAP. Folleto científico. México.
Labranza de conservación	Folleto para productores	Grajales, S. M. 2007. Cultivo del maíz bajo sistema de labranza de conservación en la Costa de Chiapas. INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa, CIRPAS. Folleto para productores. México.

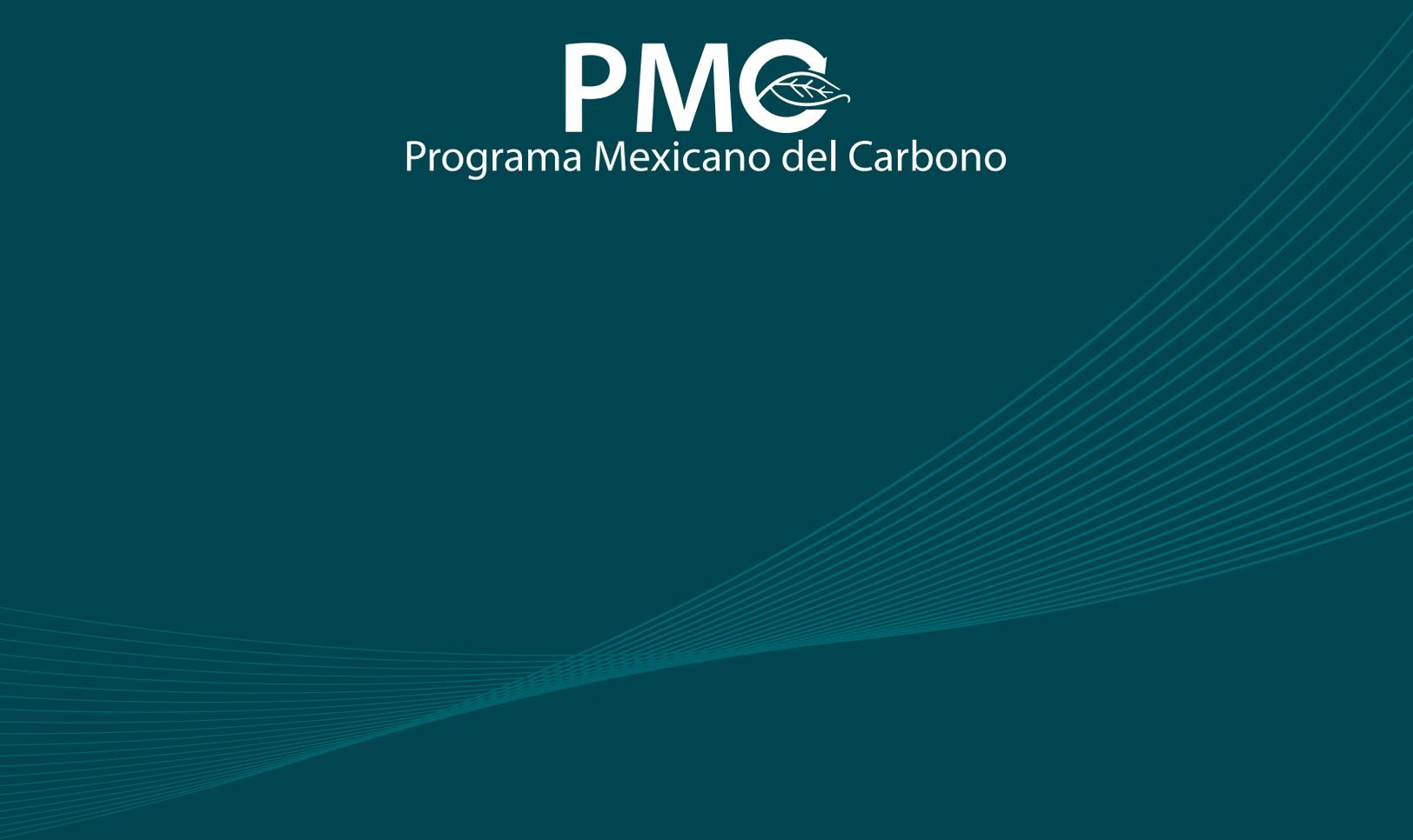
Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Labranza de conservación	Folleto técnico	Rojas, M. I. 2007. Labranza de conservación: un sistema sustentable para producir maíz de temporal en Tlaxcala. INIFAP, Sitio Experimental Tlaxcala. CIRCE. Folleto técnico. México.
Labranza de conservación	Desplegable	Ortega, C. A., M. J. Guerrero H., O. Cota A. y R. A. Armenta C. 2007. Producción de maíz de verano H.431, en labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Valle del Yaqui, CIRNO. Desplegable. México.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Gómez, L. B. L. y M. A. Cepeda V. 2010. Ácido salicílico: inductor de resistencia a sequía en canola de riego bajo labranza reducida. INIFAP, Campo Experimental Uruapan, CIRPAC. Folleto técnico. México. 48 p.
Labranza de conservación	Folleto técnico	Báez, P. A., E. Solís M., Á. Loza P., F. Bahena J., E. Huerta M. y J. M. Arreola T. 2012. Comportamiento de variedades de trigo bajo labranza de conservación en el Valle de Morelia-Queréndaro. INIFAP, Campo Experimental Bajío. CIRCE. Folleto técnico. México.
Labranza de conservación, manejo agroecológico de plagas	Ficha tecnológica	Velázquez, G. J. J. y F. Bahena J. 2011. Agricultura de conservación para la producción de maíz de punta de riego. INIFAP, Campo Experimental Uruapan, CIRPAC. Ficha tecnológica. México. 115 p.
Labranza de conservación, fertilización, biofertilizantes, manejo agroecológico de plagas, rotación de cultivos.	Ficha tecnológica	Velázquez, G. J. J. y F. Bahena J. 2011. Agricultura de conservación para la producción de trigo de riego. INIFAP, Campo Experimental Uruapan, CIRPAC. Ficha tecnológica. México. 117 p.
Labranza de conservación, fertilización, biofertilizantes.	Libro técnico	Mandujano, B. A., R. Paredes M., F. Rodríguez M., J. F. Buenrostro R. y C. Zamora T. 2014. Guía para la producción de cultivos alternativos en Guanajuato (Labranza de conservación, riego superficial, por goteo, por aspersión, captación de agua, fertilización, biofertilización, daños directos e indirectos control químico, canola, cártamo, garbanzo, girasol, linaza, soya.) INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Libro técnico. México.
Manejo sustentable de recursos maderables	Ficha tecnológica	Acosta, M. M. y F. Carrillo A. 2009. Estimación de biomasa y carbono en <i>Pinus montezumae</i> Lamb. INIFAP, Campo Experimental Valle de México, CIRCE. Ficha tecnológica. México. 65 p.
Manejo sustentable de recursos maderables	Folleto técnico	Martínez, B. O. U., A. González H., F. Morenos S., J. A. Ruíz C. y K. Trinidad L. 2014. Distribución potencial de especies no maderables de zonas áridas bajo diferentes escenarios climáticos en México. INIFAP, Campo Experimental Saltillo, CIRNE. Folleto técnico Núm. MX-0-310699-52-03-15-09-62. México. 64 p.
Modelo de producción de cultivo	Libro técnico	Chávez, L. G., L. M. Tapia V., M. Bravo E., T. Sáenz., H. J. Muñoz F., I. Vidales F., A. Larios G., J. B. Rentería Á., F. J. Villaseñor R., J. L. Sánchez P., J. J. Alcántar R. y M. Mendoza C. 2012. Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate. INIFAP, Campo Experimental Uruapan, CIRPAC. Libro técnico Núm. 13. México.

Continuación Cuadro 2...

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Modelos de evaluación de carbono en bosques	Libro técnico	Castellanos, B. J. F., M. Gómez C., J. R. Contreras H. y R. González C. 2013. Metodologías para cuantificar biomasa y carbono en bosques. INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, CIRPAS. Libro técnico Núm. 19. México. 113 p.
Modelos de evaluación de carbono en bosques	Desplegable	Acosta, M. M., F. Carrillo A. y E. Flores A. 2014. Método para medir biomasa y carbono aéreo en especies arbóreas. INIFAP, Campo Experimental Valle de México, CIRCE. Desplegable. México.
Modelos económicos	Ficha tecnológica	Mallén, R. C., B. Larqué S., A. L. Pérez., G. Moctezuma., F. Becerra L. y V. Guerra D. C. 2013. Método Comparativo de los Beneficios Económicos entre la Producción Primaria y la Conservación en Suelos Forestales. INIFAP, CENID-COMEF; Campo Experimental Valle de México, CIRCE; Campo Experimental Cotaxtla, CIRGOC; Sitio Experimental Pachuca y Tlaxcala, CIRCE. Ficha tecnológica. México.
Modelos matemáticos	Ficha tecnológica	Acosta, M. M. y F. Carrillo A. 2006. Ecuación alométrica para estimar biomasa y carbono en <i>Pinus patula</i> Schl. Et Cham. INIFAP, Campo Experimental Valle de México, CIRCE. Ficha tecnológica. México. 113 p.
Pastoreo con ajuste de carga animal	Ficha tecnológica	González, G. D. 2013. Pastoreo moderado en pastizales amacollados para incrementar el almacén de carbono en suelo. INIFAP, Campo Experimental Valle de Culiacán, CIRNO. Ficha tecnológica. México. 194 p.
Labranza de conservación, agroforestería, fertilización.	Folleto para productores	Zúñiga, G. J. L., M. A. Zambada, N. F. Nicolás, S. Uribe G., A. Turrent F., R. Camacho C., J. L. Zúñiga G. y J. I. Ortiz J. 2006. Guía de conservación del suelo y agua en laderas tropicales. INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, CIRGOC. Folleto para Productores Núm. 12. Veracruz. México. 62 p.
Preparación de suelo	Libro técnico	Martínez, G. M. Á., C. Loredo O., E. J. Ventura R., A. Amante O. y S. Beltrán L. 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP, Campo Experimental San Luis, CIRNE. Libro técnico Núm. 1. México. 185 p.
Preparación de suelo	Libro técnico	Loredo, O. C., M. Á. Martínez G., E. J. Ventura R., A. Amante O. y S. Beltrán L. 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP, Campo Experimental San Luis, CIRNE. Libro técnico Núm. 1. México. 185 p.
Presas filtrantes	Ficha tecnológica	López, M. J. 2011. Esquema de ordenamiento espacial de presas filtrantes para el control de la erosión en cuencas hidrográficas. INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas, CIRPAS. Ficha tecnológica. México. 233 p.
Presas filtrantes	Folleto para productores	Olivera, D. A. y M. Grajales S. 2013. Presas filtrantes vegetativas: Práctica eficiente para la rehabilitación de suelos de laderas. INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa, CIRPAS. Folleto para productores Núm. 25. México. 18 p.
Sistemas de labranza	Folleto para productores	Jiménez, G. C. A., L. H. Maciel P. y J. M. Espinoza C. 2003. Labranza y métodos para la conservación de suelo y agua en agricultura de temporal, en Aguascalientes. INIFAP, Campo Experimental Pabellón, CIRNOC. Desplegable para productores Núm. 37. México.

Componente tecnológico	Tipo de documento	Fuente
Sistemas de labranza	Folleto para productores	Camarillo, P. M., S. D. Guzmán R., A. Martínez B. y F. López L. 2003. Guía para producir trigo con labranza mínima, cero y de conservación en el Valle de Mexicali B. C. INIFAP, Campo Experimental Valle de Mexicali, CIRNOC. Folleto para productores. México. 23 p.
Sistemas de labranza	Avance de investigación	Aguirre, A. E. 2007. Agricultura de conservación en suelos vertisoles de la planicie Huasteca Potosina. INIFAP, Sitio Experimental Ébano, CIRNE. Innovación tecnológica. México. 32 p.
Sistemas de labranza	Ficha tecnológica	Silva, C. F. Javier. 2011. Reducción de costos en la producción de granos de forrajes con labranza de conservación. INIFAP, Campo Experimental Anáhuac N. L., CIRNE. Ficha tecnológica. México.
Sistemas de labranza	Ficha tecnológica	Báez, P. A. 2013. Ajuste de dosis de nitrógeno para la producción de trigo y maíz en sistemas de agricultura de conservación. INIFAP, Campo Experimental Bajío, CIRCE. Ficha tecnológica. México. 158 p.
Sistemas de labranza	Folleto técnico	Cortés, J. J. M. 2010. Investigación y Transferencia de Tecnología con labranza primaria en el cultivo de trigo. INIFAP, Campo Experimental Norman E. Bourlaug. CIRNO. Folleto técnico Núm. 76. México.
Sistemas de labranza	Folleto para productores	Gómez, M. R., M. Zamora D. y J. M. Arreola T. 2006. El sistema de labranza de conservación en el cultivo de cebada de temporal en el estado de Hidalgo. INIFAP, CIRCE. Folleto para productores. México.
Sistemas de labranza, manejo de residuos de cosecha	Folleto científico	Fregoso, T. L. E. 2005. Efecto de sistemas de labranza y manejo de residuos sobre indicadores de calidad de un vertisol (Vertisoles bajo labranza convencional-quema de residuos más aradura y/o múltiples pasos de rastra. INIFAP. Folleto científico. México.
Software	Ficha tecnológica	Martínez, B. O. U. 2006. El SIGAMM, herramienta para la planeación del manejo de microcuencas en la región sureste de Coahuila. INIFAP, Campo Experimental Saltillo, CIRNE. Ficha tecnológica. México. 111 p.





**PMC**  
Programa Mexicano del Carbono