

# Tecnologías agroforestales para la adaptación y mitigación al cambio climático

## Opciones y perspectivas

José Manuel Palma García  
José Antonio Torres Rivera  
Eduardo Valdés Velarde  
COORDINADORES



UNIVERSIDAD DE COLIMA

# **Tecnologías agroforestales** para la adaptación y mitigación al cambio climático

---

Opciones y perspectivas

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Dr. Christian Jorge Torres Ortiz Zermeño, Rector

Mtro. Joel Nino Jr., Secretario General

Mtra. Vianey Amezcua Barajas, Coordinadora General de Comunicación Social

Mtra. Gloria Guillermina Araiza Torres, Directora General de Publicaciones

# Tecnologías agroforestales para la adaptación y mitigación al cambio climático

---

## Opciones y perspectivas

José Manuel Palma García  
José Antonio Torres Rivera  
Eduardo Valdés Velarde

COORDINADORES



UNIVERSIDAD DE COLIMA

© UNIVERSIDAD DE COLIMA, 2022  
Avenida Universidad 333  
C.P 28040, Colima, Colima, México  
Dirección General de Publicaciones  
Teléfonos: 312 316 1081 y 312 316 1000, extensión: 35004  
Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx  
<http://www.ucol.mx>

Derechos reservados conforme a la ley  
Impreso en México / *Printed in Mexico* - Publicado en México / *Published in Mexico*

ISBN eBook: 978-607-8814-24-4  
DOI: 10.53897/LI.2022.0011.UCOL



Este libro está bajo la licencia de Creative Commons, Atribución – NoComercial - CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

Usted es libre de: Compartir: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar: remezclar, transformar y construir a partir del material bajo los siguientes términos: Atribución: Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. NoComercial: Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. CompartirIgual: Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

You are free to: Share: copy and redistribute the material in any medium or format. Adapt: remix, transform, and build upon the material under the following terms: Attribution: You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use. NonCommercial: You may not use the material for commercial purposes. ShareAlike: If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.

Portada

Dueño de la obra: Colegio Mexicano de Agroforestería Pecuaria  
Terrisoicaro | Víctor M. Rodríguez | 2008  
Técnica: Litoespátula | 50 x 70 cm

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005  
Dictaminación y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED  
Registro: LI-004-21  
Recibido: Junio de 2021  
Publicado: Septiembre de 2022

# Índice

Prólogo .....	11
I. Agroforestería en la adaptación y mitigación .....	13
I.1. La función de la agroforestería en la mitigación y adaptación al cambio climático en México .....	15
<i>Alejandro Ismael Monterroso-Rivas</i>	
<i>Leticia Citlaly López-Teloxa</i>	
II. Adaptación-tecnologías agrosilvopastoriles .....	33
II.1. Adaptabilidad de ganaderos de Chiapas, México, frente a cambios socioambientales: perspectivas para la implementación de tecnologías agroforestales .....	35
<i>José Roberto Aguilar-Jiménez</i>	
<i>Francisco Guevara-Hernández</i>	
<i>José Nahed-Toral</i>	
<i>Carlos Ernesto Aguilar-Jiménez</i>	
<i>Lucio Alberto Pat-Fernández</i>	
<i>Ingrid Abril Valdivieso-Pérez</i>	
<i>Romeo Josué Trujillo-Vázquez</i>	
<i>Manuel Roberto Parra-Vázquez</i>	
II.2. Módulos integrales con sistemas silvopastoriles y especies ganaderas menores como estrategia de adaptación al cambio climático .....	53
<i>Carolina Flota-Bañuelos</i>	
<i>Bernardino Candelaria-Martínez</i>	
<i>Víctor Daniel Cuervo-Osorio</i>	
<i>Juan Antonio Rivera-Lorca</i>	

II.3. El meteplante asociado con ganado y árboles: tecnología agrosilvopastoril para mejorar la lechería familiar .....	67
<i>Daniel Hernández Archundia</i>	
<i>Julio Baca del Moral</i>	
<i>Venancio Cuevas Reyes</i>	
<i>Francisco Javier Hernández Archundia</i>	
<i>Jorge Vargas Monter</i>	
<i>Diana Ayala Montejo</i>	
<i>Carlos Montes de Oca Sanchez</i>	
II.4. Transición de una producción de monocultivo a un sistema agrosilvopastoril con enfoque de economía circular .....	81
<i>Gabriela Rodríguez Licea</i>	
<i>Eric Amaro Peralta</i>	
<i>José Manuel Palma García</i>	
<i>Francisco Ernesto Martínez Castañeda</i>	
III. Adaptación-tecnologías silvopastoriles .....	95
III.1. Elementos para el diseño de paisajes silvopastoriles sustentables en el trópico seco .....	97
<i>Rosa Sánchez Romero</i>	
<i>Carlos E. González Esquivel</i>	
III.2. Tecnologías agroforestales (TAF) en ganadería: estrategia de adaptación al cambio climático en territorios costeros .....	111
<i>Alma Liz Vargas de la Mora</i>	
<i>Vera Camacho Valdéz</i>	
<i>Timothy O. Randhir</i>	
<i>María del Carmen Hernández Moreno</i>	
<i>Manuel Jesús Cach Pérez</i>	



III.3. Hoja de <i>Ricinus communis</i> L., forraje no convencional de tipo proteico-energético para el desarrollo de tecnologías silvopastoriles .....	133
<i>José Manuel Palma García</i>	
<i>José Manuel Zorrilla Ríos</i>	
<i>Alejandra del Viento Camacho</i>	
<i>Cesar Lara González</i>	
<i>Luis Antonio Ramírez Navarro</i>	
<i>Jacqueline Zamora Beltrán</i>	
IV. Mitigación-tecnologías silvopastoriles .....	151
IV.1. Uso de vainas de fabáceas arbóreas tropicales en la mitigación de metano entérico .....	153
<i>Diego Felipe Portela-Díaz</i>	
<i>Nicolás Torres-Salado</i>	
<i>Marco Antonio Ayala-Monter</i>	
<i>Jerónimo Herrera-Pérez</i>	
<i>Paulino Sánchez-Santillán</i>	
IV.2. Beneficios de la <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles utilizado por ganado vacuno y su efecto en la emisión del óxido nitroso .....	165
<i>Francisca Avilés Nova</i>	
<i>Tania Guadalupe Osorio Montor</i>	
<i>Octavio A. Castelán Ortega</i>	
<i>Francisco Salazar Sperberg</i>	
V. Adaptación y mitigación-tecnologías agrosilvopastoriles .....	183
V.1. Tecnología agrosilvopastoril basada en cocotero <i>Cocos nucifera</i> L + <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit + <i>Cenchrus purpureus</i> Cuba 115 en pastoreo con bovinos .....	185
<i>José Manuel Palma García</i>	
<i>José María Anguiano Cárdenas</i>	
<i>Wilberth Chan Cupul</i>	



VI. Adaptación y mitigación-tecnologías silvopastoriles .....	205
VI.1. Una visión holística del sistema agroforestal cítricos-ovinos: posibilidades de adaptación y mitigación frente al cambio climático .....	207
<i>José Antonio Torres Rivera</i>	
<i>Juan Guillermo Cruz Castillo</i>	
<i>Sergio Alberto Curti Díaz</i>	
VI.2. Experiencias del uso de tecnologías agroforestales en sistemas ganaderos de Chiapas, México, como estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático .....	223
<i>Deb Raj Aryal</i>	
<i>René Pinto Ruiz</i>	
<i>Francisco Guevara Hernández</i>	
<i>Adalberto Hernández López</i>	
<i>Francisco J. Medina Jonapá</i>	
<i>Mariela B. Reyes Sosa</i>	
<i>José A. Venegas Venegas</i>	
<i>Luz María Macías Morales</i>	
VI.3. Escarabajos estercoleros: adaptación y mitigación al cambio climático en sistemas agroforestales pecuarios .....	237
<i>Lucrecia Arellano</i>	
<i>David Douterlungne</i>	
<i>José Antonio Torres Rivera</i>	
<i>Alfredo Ramírez Hernández</i>	
<i>Felipe Barragán Torres</i>	
VI.4. Importancia de accesiones nativas de <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit para la adaptación y mitigación al cambio climático .....	261
<i>Claudio Vite Cristóbal</i>	
<i>José Manuel Palma García</i>	
<i>Enrique Cortés Díaz</i>	
<i>Pedro Arturo Martínez Hernández</i>	
<i>Ponciano Pérez Hernández</i>	

Abreviaturas, siglas, unidades de medida, unidades y sus equivalencias, y elementos y compuestos químicos .....	279
Epílogo .....	283
Autores .....	291

## II.4. Transición de una producción de monocultivo a un sistema agrosilvopastoril con enfoque de economía circular

Gabriela Rodríguez Licea<sup>1\*</sup>

Eric Amaro Peralta<sup>1</sup>

José Manuel Palma García<sup>2</sup>

Francisco Ernesto Martínez Castañeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima.

\*Autor de correspondencia: gabyrl1972@hotmail.com

### Introducción

El monocultivo es una práctica agrícola en la que la superficie territorial disponible se utiliza para la siembra de una sola especie vegetal sin rotación de cultivo: no obstante, a pesar del incremento que se pudiera generar en la producción a gran escala, esta actividad deriva en afectaciones negativas medioambientales, socioeconómicas y culturales. Los sistemas diversificados de producción por su parte, que permitan la rotación de las especies, resultan en alternativas que protegen la biodiversidad, el suelo y el agua.

El presente trabajo tiene por objetivo identificar el impacto técnico-productivo y económico generado por un sistema agrosilvopastoril que fue introducido en una unidad productiva de monocultivo como estrategia de adaptación, ubicada en Atlautla, Estado de México. La identificación de los componentes agrícolas, forestales, pecuarios y piscícolas se dio a través de información primaria obtenida de recorridos realizados en campo y de la aplicación de encuestas y de entrevistas al productor, así como de la toma de fotografías. A través de la información recopilada se identificaron las tecnologías implementadas asociadas al sistema agrosilvopastoril y se determinó la relación que éste tiene con la transición de una economía lineal a una economía circular. Se estimó la función de producción y el óptimo técnico de la unidad analizada.

Para cumplir con el objetivo planteado, el trabajo comprende diez secciones organizadas de la siguiente manera: modelo de economía lineal; modelo de economía circular; sistemas agrosilvopastoriles; contexto regional; descripción de la unidad de producción; óptimo técnico-económico en la producción de ovinos; análisis diferencial estructural en el sistema agrosilvopastoril; hallazgos de tecnología agrosilvopastoril; aspectos productivos y reflexiones finales.

### Modelo de economía lineal

De acuerdo con Monchón y Beker (2008), el modelo económico lineal se basa en prácticas empresariales que buscan la productividad. Se basa en el ciclo extraer-producir-desechar y en la innovación tecnológica. La cultura del consumo propició que el ser humano adqui-

riera constantemente bienes a fin de reemplazar los desactualizados y obsoletos por otros nuevos y destinara los anteriores a la basura, dando pauta esto al ciclo, extraer-producir-comprar-utilizar-desechar, el cual se repite ininterrumpidamente y forma parte fundamental en un crecimiento económico permanente y a un consiguiente deterioro medioambiental.

Al estar la economía centrada en un sistema económico capitalista lineal y consumo desenfrenado, no se da pausa a que los productos se reutilicen, reaprovechen o reciclen, por lo que se convierten en basura o desechos que terminan en vertederos sanitarios o incineradores, limitando esto la posibilidad de ser devueltos al proceso productivo. Ante esta ineficiencia (2018) refieren que, de continuar las empresas operando bajo este modelo, para el año 2050 no sólo los costos sociales y ambientales serán insostenibles, sino que se necesitarán tres veces más de materiales, 70% más de alimentos y las necesidades de agua y energía se incrementarán en un 40%.

La Organización Internacional para la Conservación de la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés), 2018, registró una reducción en 60% de la población global de invertebrados entre 1970 y 2014, la desaparición del 20% de la Amazonía en sólo 50 años, pérdida de la mitad de los corales en los últimos 30 años, reducción del 83% de las poblaciones de agua dulce desde 1970, presencia de fragmentos de plástico en el estómago de aves marinas, la disminución del 89% de poblaciones de especies en Centro y Sudamérica en relación con 1970 y del 22% entre 1970 y 2010 del hábitat de los mamíferos. La “Huella Ecológica” utilizada por la WWF, identifica la relación entre el número de habitantes y su consumo de recursos naturales, así como la cantidad de dióxido de carbono que generan; además, a partir de la “Biocapacidad” mide la capacidad que tiene un ecosistema para regenerar lo que la población toma de los recursos naturales.

El modelo económico lineal basado en la estructura tomar-hacer-tirar ya es no sostenible, tal y como lo refieren Steffen *et al.* (2015) al plantear que, ante el fácil acceso de materiales y energía, y la disponibilidad de medios baratos para deshacerse de lo que ya no les interesa se alcanzaron los límites físicos. La economía circular representa una alternativa atractiva y viable para que las empresas reparen, reciclen, reaprovechen y reutilicen los residuos y, en consecuencia, los conviertan en recursos, generando con ello procesos productivos eficientes y sustentables.

## Modelo de economía circular

La EEA (2016) refiere que la economía circular es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva e incrementa el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, gestionando *stocks* finitos y flujos renovables. Los tres principios en los que se basa este modelo, son: preservar y aumentar el capital natural controlando los *stocks* finitos y equilibrando los flujos de recursos renovables; optimizar el rendimiento de los recursos circulando siempre productos, componentes y materiales en su nivel más alto de utilidad en los ciclos técnico y biológico; promover la efectividad del sistema a través de la generación de patentes y de eliminación de externalidades negativas.

Este modelo plantea como objetivos: reducir los insumos, el uso de recursos naturales, la dependencia de importaciones de recursos naturales, las emisiones y las pérdidas de materiales y residuos; compartir en mayor medida la energía y los recursos renovables

y reciclable; mantener el valor de los productos, componentes y materias en la economía. El cumplimiento de estos objetivos se puede dar a través de modelos innovadores de negocios y el eco-diseño y diseño para sostenibilidad.

Desde el punto de vista económico, el modelo de economía circular implica crear valor, operar bajo comercio justo, participar en las cadenas de valor, prolongar la vida útil de los productos y reestructurar estrategias de marketing. Lacy y Rutqvist (2015) refieren que prolongar la vida útil implica fabricar para durar, acondicionamiento-renovación, mercados de segunda mano, actualización, repuesto, reparación; mientras que, los tres roles asociados a los modelos de negocios, involucran: *reducir*, minimizar el input de energía primaria, materias primas y residuos a través de la eco-eficiencia (Ghisellini *et al.*, 2016); *reutilización*, operación en la cual productos no sean residuos, *reciclado*, los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias.

Webster (2015) refiere que para materiales biológicos la esencia de creación de valor está en la oportunidad de extraer valor adicional de los productos y materiales haciendo que vayan en cascada a través de otras aplicaciones. Como resultado de lo anterior, los beneficios al implementar el modelo de economía circular, son: reutilización y disminución de residuos, incremento de la rentabilidad como resultado de un mejor aprovechamiento de los materiales, compromiso empresarial con el medioambiente, generación de ventajas competitivas.

Es importante referir que desde el punto de vista de la producción sostenible la economía circular se basa en tres principios: preservar y mejorar el capital natural, controlando existencias finitas y equilibrando los flujos de los recursos renovables; optimizar el uso de los recursos, rotando productos, componentes y materiales con la máxima utilidad en todo momento, tanto en los ciclos técnico como en los biológicos; fomentar la eficacia del sistema, revelando y eliminando externalidades negativas (EMF, 2017). El objetivo de estos principios es incrementar la producción con la misma materia prima generando valor agregado y reduciendo el daño que afecta a las personas: suelo, agua, aire y cambio climático.

La figura 1 presenta la estructura de una economía circular, la cual se basa en la generación de valor, en la reducción de recursos a partir del uso de energías limpias que permitan la regeneración del ecosistema, la reutilización, redistribución y aprovechamiento de residuos que permitan la sustitución de materiales vírgenes usados como materia prima, hasta la creación de nuevos productos a partir de estos desechos. Es común encontrar prácticas ganaderas que utilizan una gran cantidad de derivados y desechos agroindustriales que, en el mercado, tienen valor de desecho y carga ambiental positiva, sin embargo, al ser utilizados como insumos en la producción animal este valor mercantil cambia y su carga ambiental es incorporada a un nuevo ciclo. Desafortunadamente, este tipo de prácticas son poco documentadas o tratadas como parte de un sistema de economía circular, por lo que los costos y las cargas ambientales pueden ser sobre estimadas.

El ecodiseño también es importante en la integración de aspectos ambientales y del concepto y desarrollo de los productos. Sanz (2014) refiere que debe enfocarse en el rediseño de productos existentes en busca de mejoras y en el diseño de productos que sean eficientes y sostenibles, derivándose esto en la ecosustentabilidad y conservación

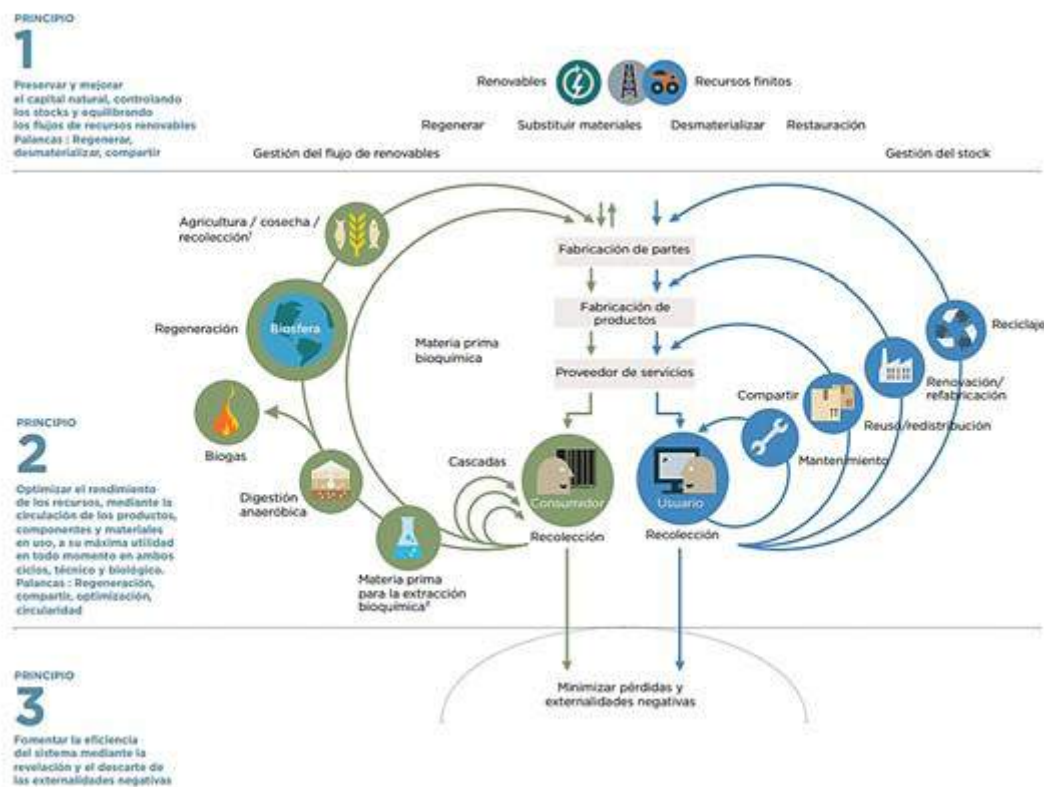
del medioambiente. Por otra parte, Luttopp y Lagerstedt (2006) describen que un producto que integra el ecodiseño debe estar libre de materiales tóxicos, optimizar y reutilizar el material de tal forma que no haya desperdicio y que genera energías limpias, que reduzca la contaminación por su desecho o si lo hay se pueda reutilizar a través de su previa elaboración ecosostenible.

## Sistemas agrosilvopastoriles

Los sistemas agrosilvopastoriles (SASP) derivan de los sistemas agroforestales y tienen por objetivo incrementar la productividad, diversificar la producción, generar ventajas para el bienestar animal y la prestación de servicios ambientales.

Son una opción de producción que favorecen la preservación de la biodiversidad y se ajustan a las estrategias de los programas de reducción de emisiones de deforestación y degradación de los bosques, dado que permiten ampliar la cobertura forestal, producir madera y contribuir a la disminución de emisiones.

Figura 1  
Representación estructural de una economía circular



Fuente: Ellen MacArthur Foundation, SUN, y McKinsey Centro para negocios y medio ambiente. Dibujo de Braungart y McDonough, Cradle to Cradle (C2C). (MacArthur, 2015).

De acuerdo con Iglesias *et al.* (2011) los SSP representan una oportunidad desde el punto de vista *económico* al diversificar la producción que posibilita obtener ingresos a corto, mediano y largo plazo, atenuar las fluctuaciones de precios y del mercado de productos, y generar ingresos adicionales por la producción de madera y derivados, *pro-*



*ductivo* al generar insumos como pasturas y sombra para el abrigo y resguardo de los animales, *social* al incrementar la calidad de vida y resiliencia de los que co-habitan el sistema y *ambiental* al conservar la flora y la fauna nativa de la región, propiciar el retorno de aves silvestre como las garzas y evitar la erosión del suelo.

La agroforestería combina espacial y temporalmente el componente arbóreo con el pecuario a fin de maximizar el uso de la tierra, aunque en algunos casos no es necesario que el componente leñoso esté en el mismo sitio que el animal, dado que el forraje puede ser trasladado de bancos forrajeros o cercas vivas, las cuales son podadas y el forraje producto de la poda es suministrado a los animales estabulados. La integración y dinámica de estos sistemas produce cuatro efectos: de los árboles sobre el suelo, del dosel sobre pasturas y animales, del suelo sobre pasturas y animales, del manejo o gestión del SASP.

Es importante referir que los aspectos que involucran a la agroforestería están asociados con los siete pilares de la economía circular, dado que en ambos casos los materiales se reciclan con un alto valor continuo, la energía está basada en fuentes renovables, el agua se extrae a un ritmo sostenible y la recuperación se maximiza, la biodiversidad es estructuralmente apoyada y mejorada, la sociedad y la cultura humana se preservan, la salud y el bienestar de los humanos y de otras especies se respaldan estructuralmente, y las actividades humanas generan valor, aspectos que pueden integrarse desde el punto de equidad, resiliencia y transparencia.

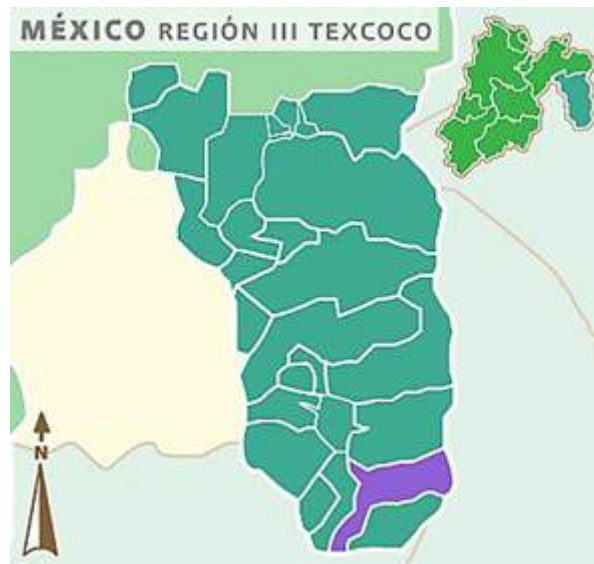
## Contexto regional

La palabra *Atlautla* es de origen náhuatl, proviene de dos vocablos; *atlautli*, *barranca* y *tla*, *partícula de abundancia*, lo que se traduce como “lugar donde abundan las barrancas”.

Se ubica en la Región III-Texcoco, del Estado de México; sus colindancias, son: norte, Amecameca; este, Puebla y Morelos; sur, Ozumba y Tepetlixpa (figura 2). La superficie es de 162.06 km<sup>2</sup>, con altura de 5 438 msnm (cerros Tesanto, Olotepec, Yoloxóchitl, Techalotepece, Ventorrillo, Hualcintepatl, Tlapizatepetl, Tepeixtle) y diferentes afluentes de agua (ríos Nexpayantla, Tecamacapa, Cuauhxolo, Huiclasioc, Camautitla, Tequixquiala, Huixilac y Tecuancalco, y los manantiales Apitza, Amalacaxco, Hueyatla y Acaltitla).



Figura 2  
Municipio de Atlautla



Fuente: Tomado de la *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones del Estado de México*.

Se registra una temperatura media de 14.1 °C, precipitación pluvial 133.6 mm, evaporación 950 partes por millón; éstas son favorables para pinos, oyameles, cedro, encinos, madroños, plantas medicinales, zacatón y pastizales, los cuales son el hábitat de coyotes, gato montés, tejón, venado, zorra, tlacuache, teporingo, puma, armadillo y aves. Otros recursos naturales son arenas y ceniza arrastradas desde las faldas del volcán, lipilli y piedra pómez. Del suelo municipal, más del 50% se destina a la silvicultura y menos del 0.5% a actividades pecuarias (figura 3). Por otro lado, de PEA, 57% se emplea en el sector primario, dentro del que destacan la producción bovina y ovina (figura 4).

En la agricultura sobresalen aguacate, alfalfa, avena forrajera, calabacita, capulín, ciruela, durazno, ebo, frijol, haba, limón, maguey, maíz, nabo forrajero, nuez, tejocote, tomate rojo y verde, trigo grano (SIAP, 2019).

### Descripción de la unidad de producción

La unidad productiva (UP), objeto de estudio, se ubica en el municipio de Atlautla, tiene una superficie de 500 m<sup>2</sup> y se adquirió en 2007. Desde el punto de vista técnico-productivo la UP trabajaba únicamente al 50% de su capacidad operativa bajo sistema agrícola tradicional de monocultivo enfocado a la producción de maíz. Se identificaron árboles como fresnos, encinos y algunos aguacates de variedades criollas (*Persea americana var. Drymofilia*), que no tenían un enfoque de negocios. La producción de la UP se destinaba para autoabasto familiar.

Figura 3  
Atlautla: Uso de suelo

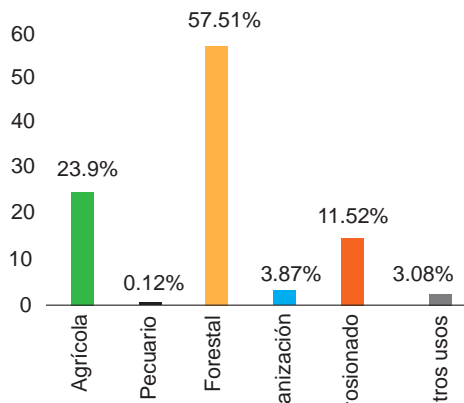
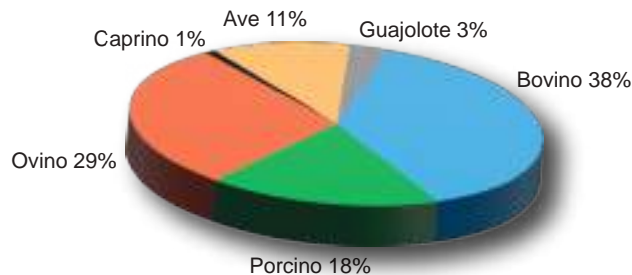


Figura 4  
Atlautla: PEA por sector productivo



Fuente: Elaboración propia a partir de información reportada por la *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones del Estado de México* y por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2020.

La UP se transformó hacia un sistema agrosilvopastoril (SASP). Inicialmente se introdujo un sistema de cultivos mixtos donde destacaban el maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris*), calabaza italiana (*Cucurbita pepo*), tomate verde (*Physalis philadelphica*) y chícharo (*Pisum sativum*). En el 2011 se iniciaron con prácticas de agricultura orgánica y siembra de aguacate Hass (*Persea americana*). Para resolver el problema de escasez de agua,<sup>1</sup> en 2016 se construyó un estanque para la captación de agua pluvial, la cual se utiliza para el sistema de riego introducido para la siembra de calabacita y para el riego de aguacate y pastos de corte, específicamente maralfalfa (*Cenchrus sp.*) durante la temporada de sequía; en dicho estanque se produce carpa koi (*Cyprinus carpio*).

En 2019, se introdujo un rebaño de ovinos (*Ovis aries*) de la raza Dorper con 15/16 de pureza y aves de corral como guajolotes criollos (*Meleagris gallopavo*), gallos (*Gallus gallus domesticus*) miniatura y gallinas de postura Rhode Island. Para alimentar el rebaño y la parvada se introdujo la siembra de avena forrajera (*Avena sativa*) y se elaboró ensilaje con base de maíz grano de la cosecha del ciclo agrícola anterior.

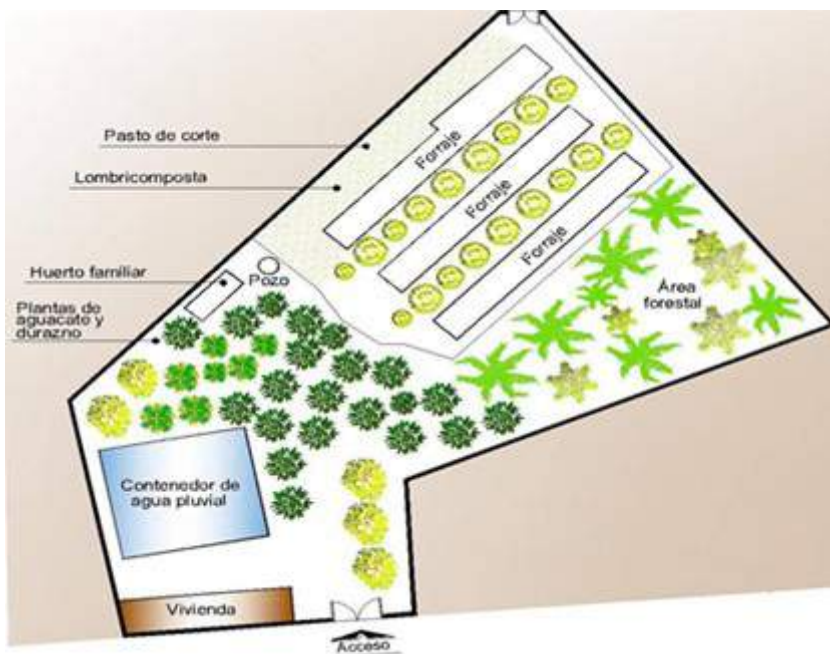
Finalmente, se introdujo un huerto familiar para la producción de jitomate saladel (*Solanum lycopersicum*), pepino (*Cucumis sativus*), chile poblano (*Capsicum annuum var. Annum 'Poblano'*), ejote (*Phaseolus vulgaris*), cilantro (*Coriandrum sativum*), fresa (*Fragaria mexicana*); así como árboles frutales: durazno (*Prunus persica*), plátano (*Musa paradisiaca*), guayaba (*Psidium guajava*), chirimoya (*Annona cherimola*), níspero (*Eriobotrya japonica*), granada roja (*Punica granatum*), granadilla (*Passiflora ligularis*), papaya (*Carica papaya*), limón (*Citrus limon*), lima (*Citrus limetta*), zapote blanco (*Casimiroa edulis*) y manzana (*Malus domestica*). Con la finalidad de aprovechar todos los cultivos y

<sup>1</sup> De acuerdo con información reportada por la *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones del Estado de México*, la disponibilidad de agua no alcanza para cubrir las necesidades de la población de Atlautla, por lo que el municipio tiene la necesidad de llevar agua de los pozos de Tenango del Aire.

frutos que no están en su punto de corte o que rebasaron su grado de maduración, se introdujo la lombricomposta.

El SASP comprende las siguientes actividades económicas: forestería, fruticultura, agricultura, ovinocultura, piscicultura y lombricultura, cuya distribución espacial se presenta en la figura 5.

Figura 5  
Distribución espacial del sistema agrosilvopastoril, 2020



Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en campo, 2020.

### Óptimo técnico-económico en la producción de ovinos

Para identificar el impacto bioeconómico que se generó como resultado de la implementación de la transición a un SASP se planteó una función de producción a través de la cual se estimaron el óptimo-técnico y el óptimo-económico de un rebaño de ovinos adquiridos al destete de dos meses de edad y un peso vivo de 20 kilogramos (kg) hasta su venta.

La función de producción expresó la relación entre el producto obtenido y la combinación de los factores que se utilizaron en su obtención; se obtuvo el producto medio (PMe) que representa la producción que se obtiene por unidad de factor empleado (Nicholson, 2007); el producto marginal (PMg) o tasa de variación del producto total ante la variación en la cantidad de un factor variable; y el producto total (PT) obtenido a partir de diferentes factores de producción. De acuerdo con Lafranco y Helguera (2006), en el punto en el que la función de producción alcanza su máximo en términos de producción se le conoce como óptimo-técnico, y el óptimo-económico hace referencia al nivel de producción donde se maximizan los beneficios relacionados a costos e ingresos.

El análisis temporal correspondió a un periodo de engorda realizado en 2020 durante tres meses, el cual cubrió por mes las etapas de crecimiento, desarrollo, y finalización. Las principales variables de análisis fueron para el óptimo-técnico, consumo de alimen-

to, conversión alimenticia (cantidad de alimento que consume un ovino para transformarlo en un kg de peso vivo) y ganancia diaria de peso; y, para el óptimo-económico se consideraron consumo de alimento, precio del alimento, peso vivo al mercado, precio de venta.

La estructura del modelo de regresión para determinar los óptimos-técnico y económico se estimó mediante el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), se basa en Gujarati (2007). Matemáticamente el modelo se expresa como:

$$W = \alpha + \beta_1 A_{i1} + \beta_2 A_{i2} + \beta_3 A_{i3} + \varepsilon_i \quad (1)$$

donde W representó el peso vivo del ovino para cada etapa, expresado en kg;  $\alpha$  el intercepto de la función;  $\beta_i$  los parámetros a estimar para  $i = 1, 2, 3$ ;  $A_{ij}^n$  la variable independiente representada por la cantidad total de alimento consumido, expresado en kg para  $i$  y  $j = 1, 2, 3$ ;  $\varepsilon_i$  término del error estadístico con distribución normal estándar, varianza  $\sigma^2$  y  $\sigma_{ij} = 0$  para todo  $i \neq j$ ; n indica el periodo de engorda expresado en semanas. La ecuación debe cumplir con las características de la función de producción a fin de poder derivar a partir de ésta los óptimos-técnico y económico, tal como se expresa en las siguientes expresiones matemáticas:

$$\text{Óptimo técnico} = \text{PMg} = \frac{\delta y}{\delta x} = 0 \quad (2)$$

$$\text{Óptimo económico} = \frac{\delta y}{\delta x} = \frac{P_x}{P_y} \quad (3)$$

expresados en \$/kg. Para la estimación de los modelos se utilizó el software estadístico E-views Vers 7. A través de los resultados se identificó si la alimentación que está recibiendo el rebaño cubre los requerimientos nutricionales, y si la reducción del estrés calórico por efecto de la sombra de los árboles frutales favoreció la conversión alimenticia validada por la ganancia de peso.

### Análisis diferencial estructural en el sistema agrosilvopastoril

El cuadro 1 presenta un análisis diferencial estructural del modelo de economía lineal y del modelo de economía circular; se presentan los aspectos asociados al agua y alimentación, energía y combustibles, productos manufacturados, madera, pasta, metales y plástico.

**Cuadro 1**  
**Sistema agrosilvopastoril: análisis diferencial estructural**

Aporte	Residuo	
	Economía lineal	Economía circular
Agua y alimentación	No se tenía captación de agua de lluvia, únicamente se contaba con un pozo de agua.	Para fines de captar agua de lluvia se construyó un estanque en el que no sólo se almacena el agua, sino que también sirve para la producción de carpa koi. El impacto positivo relacionado con la conservación del ambiente es el regreso de aves como garzas y patos, lo que embellece el paisaje
Energía y combustibles	Emisiones a la atmósfera: a través de la quema de pastizales y de la aplicación de fertilizantes químicos, así como de la implementación de un sistema agrícola de monocultivo para la producción de maíz se emitían gases derivados de la quema y de los aerosoles, lo que contaminaba el ambiente y erosionaba el suelo	Se emplean extractos naturales para control de plagas y de enfermedad, así como diferentes ecotecnologías que favorecen la fertilidad del suelo y se evita la quema, asimismo se propone la obtención de biocarbón con favorable impacto ambiental
Productos manufacturados	Desechos de herramientas y embalajes: no se reutilizaron productos manufacturados	Reutilización y reciclaje: para el riego se implementó un sistema en el que se le da reuso a garrafones de agua para beber y riego por goteo, la lombricomposta se realiza a partir de todos los frutos que alcanzan el grado de madurez, de esta actividad se obtienen lombrices las cuales proporcionalmente se destinan a la alimentación de la parvada, de las carpas koi y para la producción de composta.
Madera, pasta, metales y plásticos	Residuos sólidos: nunca se les dio uso a los árboles maderables.	Sistemas de abono y biogás; el estiércol que se obtiene de la producción ovina se destina para las actividades agrícolas. La hojarasca y ramas se quedan en el suelo para el recubrimiento, se va directamente a la pata del árbol.

Fuente: Elaborado por los autores.



## Hallazgos de la tecnología agrosilvopastoril

En la figura 6 se presentan diferentes imágenes de las actividades de campo realizadas en el SASP.

Entre los principales hallazgos que se encontraron al transitar la actividad agrícola de monocultivo al policultivo y la implementación a un SASP se destacó la aportación de materia orgánica de los árboles al suelo a través de hojas, flores, frutos, ramas y raíces muertas que se desprenden y que se depositan en la superficie. Esto redujo y/o atenuó la competencia por nutrientes, agua, luz y espacio entre los componentes del sistema.

Se generó sombra para los animales, lo que disminuyó el efecto adverso de la temperatura en su comportamiento fisiológico y productivo. La carga animal no perjudicó el crecimiento y la cobertura herbácea, ni dio origen a la erosión del suelo, se favoreció la diseminación y escarificación de semillas y con ello la germinación. Dichos comportamientos coinciden con lo reportado por Ibrahim (2011).

La integración de la agricultura, la actividad forestal, la ganadería y la piscicultura, así como la introducción de tecnologías innovadoras locales como agricultura de riego, lombricomposta, ensilaje y captación de agua de lluvia, coadyuvieron a la conservación del medioambiente de la UP a la producción de materia prima natural y de productos agrícolas (frutas, hortalizas, granos), pecuarios (aves de corral y ovinos en pie, huevo) y piscícolas (carpas koi).

Desde el punto de vista económico, la transición lineal a circular de la unidad productiva favoreció la generación de empleos directos e indirectos y de ingresos por concepto de la comercialización en mercados locales de los productos que no son destinados al autoabasto y que anteriormente no se generaban en la UP. Los productos agrícolas no comercializados se destinaron a la lombricomposta o como alimento para las aves.

La producción de carpas koi permitió reutilizar el desperdicio de panadería y tortilla que se genera en la UP, se destinó al autoabasto y los restos de los peces se utilizaron para la elaboración artesanal de harina de pescado, la cual fue incluida como insumo alimenticio en la dieta de los ovinos.

Actualmente la superficie de siembra se destina para cultivo de frijol, maíz o forraje (avena y alfalfa), con un rendimiento de media t/ha en el caso de los dos primeros, estos cultivos se producen bajos sistemas productivos que se asocian con aguacate y durazno. Toda la producción que se obtiene se destina para el consumo animal, dado que a través del ensilaje se le suministra al rebaño y el abono de éste se aprovecha en el campo como abono para la producción agrícola.

### Aspectos productivos

El rebaño ovino Dorper 15/16 de pureza fue engordado bajo el SASP, con una alimentación basada en forraje, ebo y avena principalmente, así como ensilaje de maíz, todos producidos en la UP. El periodo de engorda fue de tres meses, con tres etapas fisiológicas: I, crecimiento; II, desarrollo, y III, finalización. El peso inicial del rebaño fue de 20 kg y el peso final de crecimiento fue de 32.5 kg, de 46.2 en desarrollo y 49.2 kg en finalización.

Estos hallazgos técnicos y productivos permiten proponer un estudio posterior en el cual se determinen las cargas ambientales del subsistema ovino y el valor económico y ambiental de la utilización, reutilización y generación de recursos naturales propios.

Durante el periodo de engorda se encontró evidencia de que durante el crecimiento la ganancia de peso como resultado de la conversión alimenticia registró una tendencia creciente (figura 7), es decir, que el  $PMg > PMe$ . Esto significa que el animal fue el más eficiente en el uso y transformación de los recursos naturales utilizados. Durante la fase de desarrollo se alcanzó la eficiencia u óptimo-técnico al llegar al punto en el que el  $PMe = PMg$ , es decir, que los rendimientos marginales fueron constantes, dado que al adicionar un insumo variable que puede ser el alimento, el ovino incrementa su peso en la misma proporción. En la etapa de finalización durante las tres primeras semanas se registró un rendimiento relativamente creciente, sin embargo, a partir de la cuarta o última semana de esta etapa el  $PMg \leq 0$ , por lo tanto, al ingerir alimento el animal no incrementará su peso vivo. Como resultado de lo anterior se deduce que sí se alcanzó la eficiencia técnica dado que durante 90 días el rebaño alcanzó un peso de 49.2 kg.

Figura 6

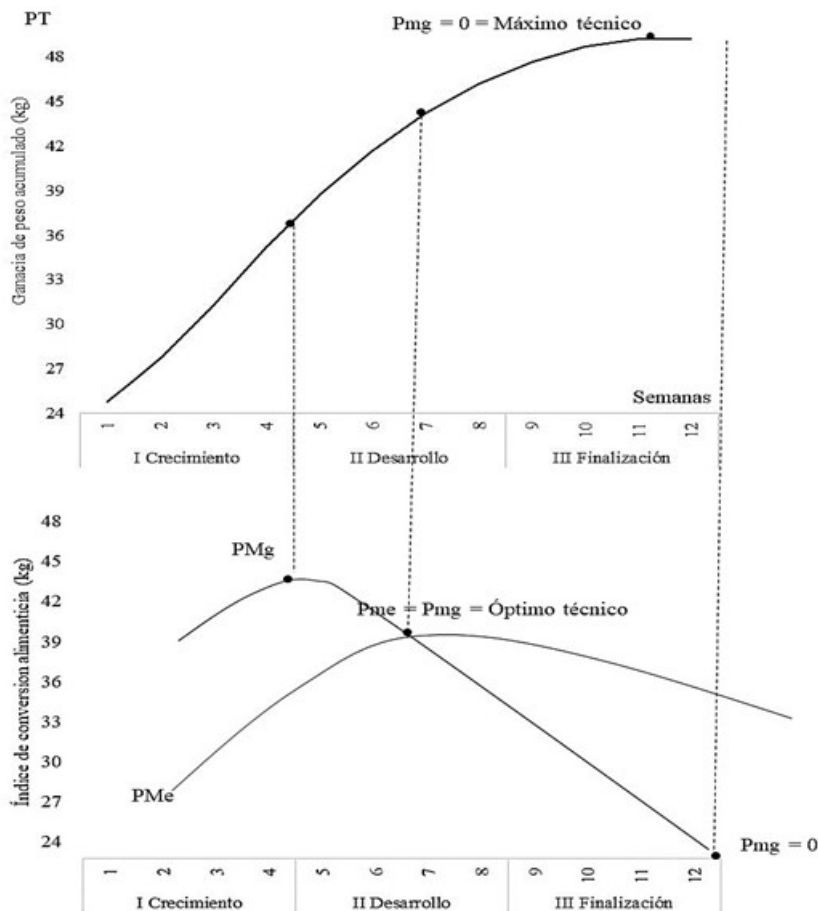
Sistema silvopastoril: tecnologías agrícolas, maderables, pecuarias y piscícolas



Fuente. Elaboración propia a partir de información recopilada en campo.



Figura 7  
Sistema silvopastoril ovino: Producto total, producto medio y producto marginal



Fuente: Elaborada por los autores.

## Reflexiones finales

Actualmente la implementación de actividades agrícolas basadas en monocultivos y de procesos productivos que se enfocan en la economía lineal generan un gran impacto medioambiental, por tal motivo, se planteó una alternativa basada en la introducción de un modelo de sistema agrosilvopastoril con enfoque de economía circular.

Las actividades agrícolas mixtas y orgánicas disminuyeron el uso y la dependencia de productos químicos.

La presencia de aves de corral funcionó además como un elemento de control biológico de insectos y ácaros en la UP.

Las actividades forestales aportaron productos para la venta en los mercados locales y produjeron sombra y bienestar a los animales.

El subsistema piscícola permitió captar agua de lluvia, utilizarla para riego y producir proteína animal de alto contenido proteínico.

Es necesario, sin embargo, evaluar el efecto económico en su conjunto y las cargas ambientales de todo el SASP, ya que el presente trabajo aportó evidencia económica del subsistema ovino como parte integral de todo el SASP.

## Aspectos destacados

1. Aplicación de conocimientos para la transición de una producción de monocultivo a un sistema agrosilvopastoril a partir de un enfoque de economía circular.
2. Eliminación de la agricultura tradicional y de productos químicos e introducción de agricultura mixta orgánica.
3. Aprovechamiento de productos y subproductos piscícolas para la elaboración de harina de pescado y su uso para la alimentación del rebaño ovino.

## Literatura citada

- INAFED. (2020). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones del Estado de México, Atlautla. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15015a.html>. (Consultado 12 septiembre 2020).
- EEA. (2016). Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP / EEA. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016> (Consultado 07 enero 2021)
- EMF (Ellen MacArthur Foundation). (2017). Principios de economía circular <https://ellenmacarthurfoundation.org/> (Consultado 6 julio 2021).
- Ghisellini, P.; Cialani, C. y Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*. 114(15): 11-32.
- Gujarati, D. (2007). *Econometría*. Cuarta edición. Ed. Mc Graw Hill. México, Distrito Federal. 67 p.
- Iglesias, J.M.; Funes-Monzote, F.; Toral, O.C. y Milera, M. (2011) Diseños agrosilvopastoriles en el contexto de desarrollo de una ganadería sustentable. Apuntes para el conocimiento. *Pastos y Forrajes*. 34(3): 241-258 [citado 2020-12-14]. Disponible en <[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942011000300001&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942011000300001&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0864-0394
- Lacy, P. y Rutqvist, J. (2015). *Waste to Wealth: The Circular Economy Advantage*. Ed. Palgrave MacMillan. 264 p. ISBN-13: 978-1137530684.
- Lafranco, C.B. y Helguera, L. (2006), Óptimo técnico y económico. Diversificación, costos ocultos y los estímulos para mejorar los procesos en la ganadería nacional. *Revista INIA*. 8: 2-5.
- Luttopp C. y Lagerstedt, J. (2006). EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environment aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*. 14(5): 1396-1408.
- Macarthur, F.E. (2013). *Hacia una economía circular: Motivos económicos para una transición acelerada*. Fundación Ellen MacArthur, 01, 21. Recuperado a partir de [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive\\_summary\\_SP.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf) (Consultado 14 diciembre 2020).
- Monchón F. y Beker, V.A. (2008). *Economía, principios y aplicaciones*. Ed. Mc-GrawHill Interamericana (4ª ed.). Ciudad de México, México. 619 p.
- Nicholson, W. (2007). *Teoría microeconómica. Principios básicos y aplicaciones* (9ª ed.). Editorial Thompson. Editores S.A. de C.V. 671 p.
- Sanz, F.J. (2019). Políticas europeas sobre economía circular en Economía circular-espiral: transición hacia un metabolismo económico cerrado. Compiladores Jiménez L. M. y E. Pérez. Ecobook-Editorial del Economista p.p 131-166. <https://books.google.com.mx/books?id=yALJDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (Consultado 6 julio 2021).
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Información estadística sobre la producción agrícola y ganadera en el municipio de Atlautla, Estado de México. <https://www.gob.mx/siap>. (Consultado 13 mayo 2020).
- Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S.E.; Fetzer, I.; Bennett, E.M.; Biggs, R.; Carpenter, S.R.; de Vries, W.; Wit, C.A.; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G.M.; Persson, L.M.; Ramathanathan, V.; Reyers, B. y Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. 347:6219.
- Webster, K. (2015). *La economía circular, una riqueza de flujos*. Isla de Wight: Fundación Ellen MacArthur.
- WWF (2018). Informe Planeta Vivo - 2018: Apuntando más alto. Grooten, M. y Almond, R.E.A. Ed. WWF. Gland, Suiza. 75 p.

*Tecnologías agroforestales para la adaptación y mitigación al cambio climático. Opciones y perspectivas*, coordinado por José Manuel Palma García, José Antonio Torres Rivera y Eduardo Valdés Velarde, fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, [www.ucol.mx](http://www.ucol.mx). La edición digital se terminó en septiembre de 2022. En la composición tipográfica se utilizó la familia Arial. El tamaño del libro es de 28 cm de alto por 21.5 cm de ancho. Programa Editorial: Eréndira Cortés Ventura. Gestión administrativa: Inés Sandoval Venegas Diseño de interiores: José Augusto Estrella. Diseño de portada: Guillermo Campanur. Editor responsable: José Augusto Estrella.

El trabajo colectivo es el sello que hemos impuesto en la publicación de los últimos tres libros que coordinamos y en esta cuarta propuesta no puede ser la excepción. Además, por el tema elegido que combina las tecnologías de tipo agroforestal como herramienta para enfrentar el cambio climático, en México, resulta de vital importancia mantener ese enfoque. Esto permitió que participaran 66 autores adscritos a 19 instituciones de diferentes regiones o estados del territorio mexicano. El enfoque desarrollado implicó la propuesta de tecnologías silvopastoriles o agrosilvopastoriles que evidenciaran mecanismos de adaptación, mitigación o ambas opciones para enfrentar el cambio climático. Al respecto, el primer capítulo es introductorio para entender a la agroforestería y su aportación a la adaptación y mitigación al cambio climático, en México. El resto de los capítulos se dividen de la siguiente manera: siete sobre adaptación, en donde cuatro son de tipo agrosilvopastoriles y tres silvopastoril; en relación a la mitigación sólo se presentaron dos que corresponden a tecnologías silvopastoriles y, finalmente, con la combinación de adaptación y mitigación se lograron conjuntar cinco tecnologías, una de tipo agrosilvopastoril y cuatro silvopastoril. Por lo tanto, este libro es una muestra de lo que existe en México sobre el tema y esperamos que sirva de incentivo para que otros colegas e instituciones aborden este tipo de propuesta y muestren sus aportes en tecnologías agroforestales.



UNIVERSIDAD  
DE COLIMA



Universidad Autónoma Chapingo