

*Artículo de Revisión*

# Efectos del cambio climático en la gestión sostenible del recurso suelo

Effects of climate change on the sustainable management of soil resource

Erik Orlando Luna Robles<sup>1\*</sup>, Israel Cantú Silva<sup>1</sup> y Silvia Janeth Bejar Pulido<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. C. P. 67700. Linares, Nuevo León.

\*Correspondencia: Correo electrónico: [eranroka@hotmail.com](mailto:eranroka@hotmail.com) (Erik Orlando Luna Robles)

DOI:

Recibido: 11 de noviembre de 2022; Aceptado: 31 de diciembre de 2022

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado

## Resumen

El objetivo del presente estudio es reportar los efectos del cambio climático (CC) en la gestión sostenible del recurso suelo, a partir de la discusión y análisis de los resultados de diversas investigaciones en un contexto internacional. Derivado del CC, el suelo se encuentra sometido a diferentes presiones que afectan los servicios ecosistémicos del mismo. Actividades como la agricultura, ganadería y silvicultura tratan de adaptarse a las condiciones climáticas implementando prácticas más intensivas modificando la condición del suelo, provocando problemas ambientales, sociales y económicos. La sequía representa al evento climático extremo con mayor impacto en el recurso suelo, así como en los sistemas de producción globales. El ritmo acelerado del cambio climático junto con el aumento de la población amenaza la seguridad alimentaria mundial, lo que convierte a la agricultura protagonista de efectos negativos sobre el suelo, debido a la exigencia por producir alimentos. Mientras que la erosión es considerada como el proceso más generalizado por el CC. Los países en vías de desarrollo presentan mayor vulnerabilidad ante los embates del CC, puesto que no poseen los recursos económicos y tecnologías para conservar el recurso suelo, necesario para producción de alimentos, provocando otros problemas como hambruna, migración y pobreza. La implementación de estrategias sostenibles como labranza mínima, uso de policultivos, sistemas agroforestales, cobertura del suelo, entre otros, permiten gestionar la resiliencia del suelo a partir de la mejora de sus características físicas, hidrológicas, químicas y biológicas.

**Palabras clave:** cambio climático, suelo, servicios ecosistémicos, estrategias de sostenibilidad, resiliencia.

## Abstract

The objective of this study is to report the effects of climate change (CC) on the sustainable management of soil resources, based on the analysis and discussion of the results of different investigations in an international context. Due to the CC, the soil is subjected to different pressures that affect its ecosystem services. Activities such as agriculture, livestock and forestry try to adapt to climatic conditions implementing more intensive practices, modifying the condition of the soil, causing environmental, social and economic problems. Drought represents the extreme weather event with the greatest impact on soil resources, as well as on global production systems. The accelerated rate of climate change beside the increase in population threatens world food security, which converts to agriculture the protagonist of negative effects on the soil, due to the requirement to produce food; while erosion is considered the most widespread process by the CC. Developing countries are more vulnerable to the attacks of CC, since they haven't the economic resources and technologies to conserve the soil resource, necessary for food production, causing other problems such as famine, migration and poverty. The implementation of sustainable strategies such as minimum tillage, use of polycultures, agroforestry systems, soil cover, among others, allow to manage the soil resilience through the improvement of physical, hydrological, chemical, and biological characteristics.

**Keywords:** climate change, soil, ecosystem services, sustainability strategies, resilience.

## 1. Introducción

El cambio climático (CC) es considerado uno de los problemas ambientales más importantes de nuestro tiempo, el cual puede ser definido como variaciones significativas en los parámetros climáticos (precipitación y temperatura), siendo el calentamiento global la manifestación más evidente (INECC, 2018). De acuerdo al IPCC (2019), las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado significativamente respecto a los niveles preindustriales, causando un calentamiento global de aproximadamente 1.0 °C, y se estima que puede llegar a 1.5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual, modificando los patrones regionales de temperatura, precipitación pluvial y ocurrencia de eventos extremos (sequías, inundaciones, olas de calor, heladas), afectando los procesos de regulación de los suelos, perjudicando la productividad y calidad de los mismos. El CC se expresa particularmente en el fenómeno de El Niño provocando periodos más secos, amenazando de ocurrencia de incendios forestales y sequías a regiones áridas y semiáridas a nivel global, que agravan los grados y velocidades de desertificación. Así como en el fenómeno de La Niña causando periodos más húmedos, lo cual representa riesgo de pérdida de biodiversidad, materia orgánica, pérdidas de suelo e influencia en la dinámica de los ecosistemas (MADS, 2016). Además de afectar a agricultores, pastores, pescadores y silvicultores comunales quienes dependen de actividades indispensablemente vinculadas con el clima para su subsistencia (FAO, 2016a).

Los suelos tienen la capacidad de almacenar carbono (1500 Pg) tres veces más que la cantidad almacenada en la vegetación terrestre (550 Pg) y el doble de lo almacenado en la atmósfera (750 Pg), por lo que desempeñan un papel clave en la mitigación del CC (Veni *et al.*, 2020). Sin embargo, uno de los principales factores antropogénicos que aceleran el CC es el uso de suelo, puesto que genera distintas transformaciones atmosféricas y ecológicas, debido principalmente a actividades

agropecuarias (IPCC, 2014). Babin *et al.* (2019) considera a la agricultura como protagonista de impactos negativos a nivel global sobre el suelo, derivados de la urgencia por producir alimentos para una población creciente y el uso de prácticas inadecuadas como el uso excesivos de agroquímicos y labranza intensiva, provocando pérdidas de materia orgánica, liberación de gases de efecto invernadero, contaminación, erosión, desertificación, salinización, acidificación y pérdida de diversidad genética que afectan directamente en la calidad del suelo (Kopittke *et al.*, 2019).

Con base a lo anterior, se establece como objetivo reportar los efectos del CC en la gestión sostenible del recurso suelo, tomando en cuenta que el bienestar del ser humano depende en gran medida de los servicios ecosistémicos que suministra, detallando perspectivas y medidas de conservación a nivel global, nacional y regional.

## **2. Desarrollo**

A continuación, se realiza el análisis y documentación de las condiciones del suelo bajo un contexto global y nacional, cabe señalar que las fuentes de información se identificarán utilizando palabras o frases clave como cambio climático y suelo, seguridad alimentaria, agricultura y eventos climáticos extremos, para posteriormente comparar y discutir los eventos climáticos y actividades humanas que causan mayores daños y finalmente analizar las estrategias para una gestión sostenible del suelo.

### **2.1. Importancia del suelo**

El suelo es un recurso natural complejo derivado de múltiples interacciones entre clima y rocas, sedimentos, materiales orgánicos, relieve, y organismos vivos durante un lapso de tiempo (Nunes *et al.*, 2020). El suelo es la base del abastecimiento de los alimentos a nivel mundial, pues se estima que el 95 % proviene del suelo, además es considerado como el soporte principal de las actividades humanas (Orjuela, 2016). Específicamente los suelos suministran servicios ecosistémicos indispensables para asegurar el bienestar del ser humano, los cuales se pueden clasificar en tres categorías principales: funciones reguladoras; funciones de provisión; y culturales (considerando a los servicios de soporte como transversales), por lo que se deben establecer e implementar prácticas, técnicas y herramientas sostenibles principalmente en los sectores de producción (agricultura, silvicultura y ganadería) lo que garantizará la continuidad de dichos servicios y también permiten gestionar la resiliencia del suelo ante eventos climáticos como sequías, inundaciones y huracanes (FAO, 2015).

### **2.2. Perspectivas a nivel nacional y mundial.**

A nivel mundial, el recurso suelo se encuentra sometido a diferentes presiones como urbanización, uso excesivo de productos químicos orgánicos e inorgánicos en actividades agrícolas, deforestación e incendios, labranza convencional (intensiva), uso de maquinaria pesada, sobrepastoreo y riegos intensivos, que afectan su gestión a corto plazo y aunado con el CC afectará su funcionalidad y productividad de manera acelerada (Babin *et al.*, 2019).

En 2019, la temperatura promedio de la superficie terrestre fue de 1.42 °C por encima del promedio del siglo XX ( $\pm 0.2$ ), presentando récords en gran parte de Europa central, Asia, Australia, el sur de África, Madagascar, Nueva Zelanda, Norteamérica y el este de América del Sur (CONAGUA, 2019), los registros históricos demuestran que las sequías extremas y las olas de calor simultáneas causan un conjunto de impactos extremos tanto en los sistemas naturales, afectando en la disminución de lluvias, el establecimiento y desarrollo de la vegetación y ocurrencia de incendios, desencadenando la degradación del recurso suelo, siendo considerado como un posible desastre natural (Matailo *et al.*, 2019).

De acuerdo a Yukieli y Ottó (2011), las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas representan el 39 % de la superficie del planeta, y alrededor del 50% del ganado y el 44 % de las tierras agrícolas del mundo se desarrollan en este tipo de ecosistemas, por lo que cualquier variación extrema climática repercutirá tanto en el sistema edáfico como en la SA de la población global. La WRI (2020) hace mención que la cobertura global natural se redujo considerablemente, específicamente, en el hemisferio norte la mayoría de las pérdidas se deben a la silvicultura e incendios forestales, mientras que en los trópicos (América Latina y sudeste asiático) la agricultura es la causa principal de pérdida de cobertura, en África la agricultura itinerante es la de mayor afectación, en general estas modificaciones provocan cambios en las reservas de COS, liberando emisiones significativas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, cambios en la regulación del clima, agua, producción de alimentos y biodiversidad.

La FAO (2015), señala que el estado actual de los suelos de África, se ve deteriorado por la frecuencia de sequías extremas causantes de pérdida de materia orgánica del suelo, agotamiento de los nutrientes, pérdida de biota del suelo, la acidificación, salinización y anegamiento. Mientras que la principal amenaza de los suelos asiáticos es la erosión del suelo, consecuencia de su orografía, y las épocas secas y húmedas pronunciadas. Y de acuerdo a la CEA (2015), las principales causas de degradación de los suelos europeos son la erosión del suelo, la pérdida de materia orgánica del suelo, la compactación y contaminación del agua, donde la urbanización, sistemas agropecuarios y silvicultura representan aproximadamente el 80% de utilización de los suelos de Europa (AEMA, 2017).

El IPCC (2014) informa que en regiones de Norteamérica (E.U.A., Canadá y México) las sequías se encuentran entre los eventos extremos de mayor impacto, y de acuerdo a proyecciones el clima reducirá la humedad del suelo y la disponibilidad de agua, lo cual provocará aumentos de incendios forestales, causando pérdidas considerables de COS y emisiones de GEI significativas, además esta región es una fuente importante de suministros mundiales de alimentos por lo que afectará la seguridad alimentaria mundial.

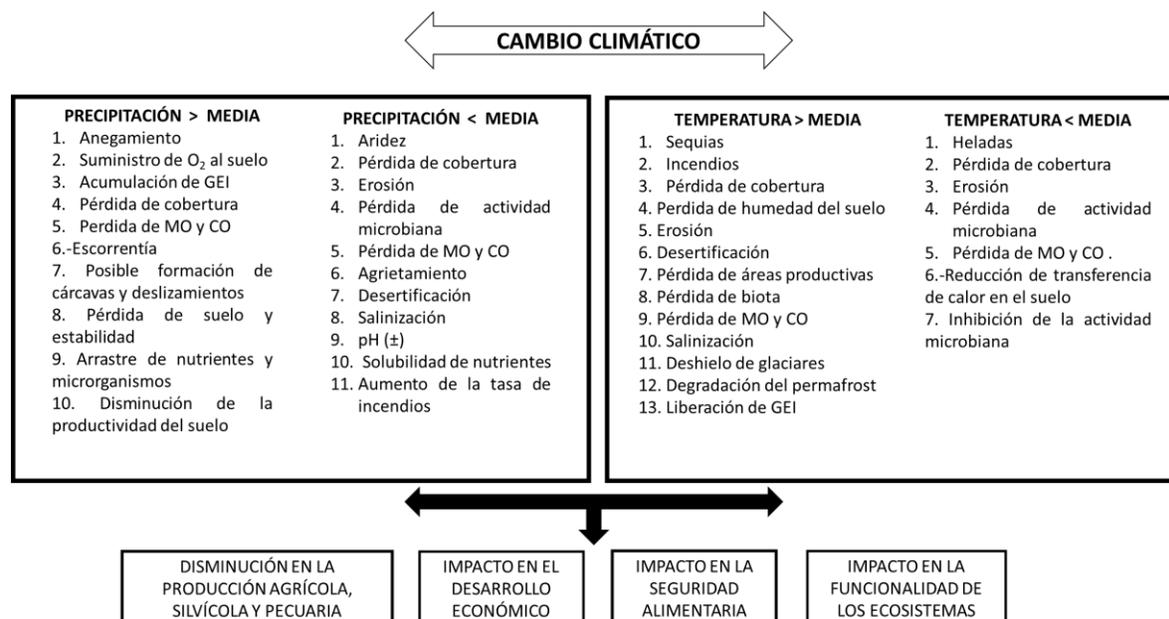
Krasilnikov *et al.* (2011) señalan que en México es necesario tomar medidas de conservación del suelo, dada su dominante función en la producción de alimentos, ya que 44% de la superficie presenta actividad agrícola e indica que desde 2010, existe una mayor presión sobre el recurso suelo. En consecuencia, se aceleran los procesos de degradación, donde las actividades agrícolas y pecuarias representan los principales focos de degradación de los suelos de México (35 % de la

superficie), seguido de la pérdida de cobertura vegetal, desarrollo urbano e industrial (Etchevers *et al.*, 2016).

### 2.3. Efectos del CC sobre el suelo

En la Fig. 1 se presentan las principales consecuencias de los eventos extremos sobre el recurso suelo, resultado del análisis del presente estudio (Seneviratne *et al.*, 2010; IPCC, 2014; Vergara *et al.*, 2014; CEA, 2015; Etchevers *et al.*, 2016; FAO, 2016b; Rodríguez *et al.*, 2017; Cantero, 2018; AEMA, 2019; Matailo *et al.*, 2019; Veni *et al.*, 2020). A partir de la revisión bibliográfica a nivel nacional y mundial, se puede identificar que, el componente clave en la salud del suelo es el carbono orgánico derivado del contenido de materia orgánica del suelo, considerada clave para el control y prevención de la degradación del suelo (superiores al 5 %), la cual presenta sensibilidad ante variaciones extremas climáticas, por lo que disminuciones significativas provocará la degradación del suelo, afectando su gestión, productividad y por ende al bienestar humano y el estado de los ecosistemas.

Por otra parte señalar que las diferentes propiedades físicas, hidrológicas, químicas y biológicas del suelo son consideradas indicadores de calidad del suelo y de las funciones del ecosistema, por lo que cualquier cambio en ellas se vera reflejado en su calidad, asimismo existen diferentes valoraciones que son utilizadas para identificar el estado de cada propiedad edáfica, por ejemplo la Norma Oficial Mexicana NOM-021 para evaluación y clasificación de suelos, guía técnica para la evaluación de suelos de la USDA (Departamento de agricultura de los Estados Unidos) y guías de buenas practicas para la gestión sostenible del suelo de la FAO entre otros instrumentos nacionales e internacionales (SEMARNAT, 2002; FAO, 2016b; Bai *et al.*, 2018)



**Figura 1.** Consecuencias del cambio climático en el recurso suelo (Elaboración propia).

**Figure 1.** Consequences of climate change on soil resources (Own elaboration).

Además, Cantero (2018), señala que algunas zonas pueden verse beneficiadas relativamente por el aumento en la temperatura, en las cuales el sector agrícola puede pasar a ser mucho más productivo, esta situación podría observarse en regiones templadas como Canadá, Inglaterra, Rusia y Noruega.

De igual manera, los impactos del CC pueden alterar los rasgos de una comunidad a nivel regional, por ejemplo, Venter *et al.* (2018) demostraron que, en las sabanas sudafricanas, las sequías han provocado un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, las cuales repercuten en el rápido crecimiento y aumentos de diámetros del estrato arbóreo, el cual sombrea el estrato herbáceo, reduciendo el área y productividad de los pastizales.

#### **2.4. Suelo, cambio climático y seguridad alimentaria**

El concepto generalmente aceptado de seguridad alimentaria (SA) especifica que “existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana” (FAO, 2016a).

La seguridad alimentaria presentará serias amenazas durante el siglo XXI, incluidos crecimiento económico, crecimiento de la población, desigualdad en el uso de la tierra, CC, pérdida de biodiversidad, degradación del suelo y agua dulce, lo que provocará una alta presión para aumentar la productividad del suelo (AEMA, 2019). Cabe señalar que la forma de producción de alimentos más aplicada en el mundo en la agricultura convencional (AC), sin embargo, provoca efectos adversos en las funciones importantes del suelo, lo que da lugar a procesos de degradación que también impactan otros ambientes (Nunes *et al.*, 2020). Etchevers *et al.* (2016), señalan que los problemas generalizados respecto a la SA y CC son debidos a la erosión, la pérdida de fertilidad del suelo, acidificación, la salinización, contaminación y el uso excesivo e inapropiado de productos químicos, incluidos fertilizantes y pesticidas.

De acuerdo a la FAO (2018) el impacto del clima en la SA se vincula estrechamente con el número de ocurrencia de eventos extremos, los cuales se han duplicado desde principios de la década de 1990, con un promedio de 213 eventos. Afectando la productividad agrícola, los ingresos de producción y precios de alimentos y por ende reduciendo el poder de adquisición de la población, principalmente de las regiones tropicales de Asia y Latinoamérica. En general, los sectores de producción presentan el siguiente orden de afectación por los eventos relacionados con el clima: agrícolas > pecuarios > actividad forestal > pesca, donde la sequía es considerada la más destructiva en un 85 % de los casos. Según Vergara *et al.* (2014), la presencia de periodos prolongados de sequía provocará la disminución de la humedad en la capa superior del suelo, reduciendo considerablemente la superficie apta para la agricultura dependiente de las lluvias, y en consecuencia por la necesidad alimenticia se ejercerá mayor presión al suelo acelerando su degradación.

Según la WBG (2015), 300 millones de hectáreas están afectadas por la erosión y agotamiento de los suelos en Latinoamérica, y el impacto del CC en esta región será considerable, por la dependencia

económica a la agricultura, la baja capacidad adaptativa y la ubicación geográfica de algunos países (FAO, 2016a). La situación de la Unión Europea es diferente que, en otras regiones del mundo, puesto que la preocupación por la SA no es tan acentuada, principalmente por dos factores; ya que sea que den por sentado que su población tiene suficiente para comer y que la inseguridad alimentaria se considera como parte de la política y la pobreza (Richards *et al.*, 2016). Sin embargo, la Unión Europea (2014) resalta la necesidad en los países desarrollados por acelerar el crecimiento de la producción agrícola, ya que la demanda de alimentos para 2050 se proyecta se dispare hasta en un 70 %.

En África el CC podría reducir el rendimiento de los cultivos hasta en un 50 por ciento (IPCC, 2014) para los próximos 30 años. De acuerdo a un resumen técnico del Estado Mundial del Recurso Suelo, específicamente en la región sudafricana, la inseguridad alimenticia y la producción no sustentable es causada por factores como: sobrepastoreo, deforestación, manejos agrícolas inadecuados, CC, incremento de la población y pobreza (FAO, 2016b). Las variaciones climáticas representaron para el año 2017 uno de los focos principales de crisis alimenticia, afectando a 59 millones de personas en 24 países (FAO *et al.*, 2018).

El sector rural es el más vulnerable ante la degradación del suelo, puesto que la SA de la población depende principalmente de cultivos como el maíz y frijol, y según Ebel *et al.* (2017) se pronostican múltiples consecuencias directas del CC al desarrollo, productividad y fenología de estos cultivos. Algunas proyecciones estiman pérdidas del 10% en la producción del maíz para 2055 en África y América Latina, equivalente a pérdidas de 2 MMD por año, derivados de los cambios en los regímenes de precipitación y aumentos de temperatura. (Nicholls y Altieri, 2019)

Oxfam (2011) identifica varios impactos asociados a la ocurrencia de El Niño, referidos a sequías principalmente, así como a temporales, inundaciones y variaciones de la temperatura, tales como: reducción de los rendimientos y de la producción de granos básicos, afectando claramente al sector agrícola y al componente de SA. Por ejemplo, para el año 2005 casi el 36 % de los países que experimentaron sequías graves coincidieron con problemas de alimentación (FAO *et al.*, 2018). De acuerdo a la WRI (2020), en muchas regiones tropicales, los sistemas tradicionales de cultivo migratorio están siendo reemplazados por una producción más intensiva y permanente de cultivos comerciales, para alimentar las cadenas de suministro, por ejemplo, en Tailandia, cada vez más áreas históricamente utilizadas para la agricultura de subsistencia están en transición hacia cultivos intensivos, lo cual no permite que los nutrientes en el suelo se repongan, afectando la funcionalidad del mismo.

A nivel mundial la contribución del agua de la precipitación es fundamental para la producción agrícola, siendo los cultivos, de temporal y de regadío, los que mayor estén expuestos al incremento de la temperatura, afectando a la fisiología de la planta, a la actividad microbiana de los suelos, así como la disponibilidad de nutrientes, lo cual desatará problemas importantes en la SA y el desarrollo económico. Por ejemplo, en México la superficie agrícola sembrada para el 2018 fue de 21.1 millones de hectáreas, de las cuales 6.1 millones de hectáreas corresponden a cultivos de riego (28.9 %) y 14.9 millones de hectáreas a cultivos de temporal (71.1%) (SIAP, 2019). Lo anterior,

demuestra la importancia que tiene la actividad agrícola de temporal en el país, donde las variaciones climáticas repercuten en varios escenarios sociales, ecológicos y económicos.

## 2.5. Lineamientos políticos y económicos

Existen diferentes lineamientos políticos para promover las medidas de mitigación y adaptación de los recursos naturales ante el CC con aplicabilidad a nivel nacional, regional y global, la mayoría se enmarcan y orientan en la adopción del Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y los informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), siendo una de las políticas con gobernanza de conservación de suelos la estipulada en 2015 en la 21<sup>a</sup> Conferencia de las Partes de la CMNUCC (COP 21), donde se comprometieron a aumentar las existencias de carbono en el suelo en un 0.4% anual como parte para mejorar el potencial de secuestro de suelos agrícolas, lo que llevara a mejorar drásticamente la situación de la SA a nivel global (Veni *et al.*, 2020). Con base a lo anterior, se presenta en la Tabla 1, un resumen de los principales instrumentos de intervención política del CC, del recurso suelo y SA.

**Tabla 1.** Instrumentos de intervención política del CC, del recurso suelo y SA (Elaboración propia).

**Table 1.** Instruments of political intervention of the CC, of the soil resource and SA (Own elaboration).

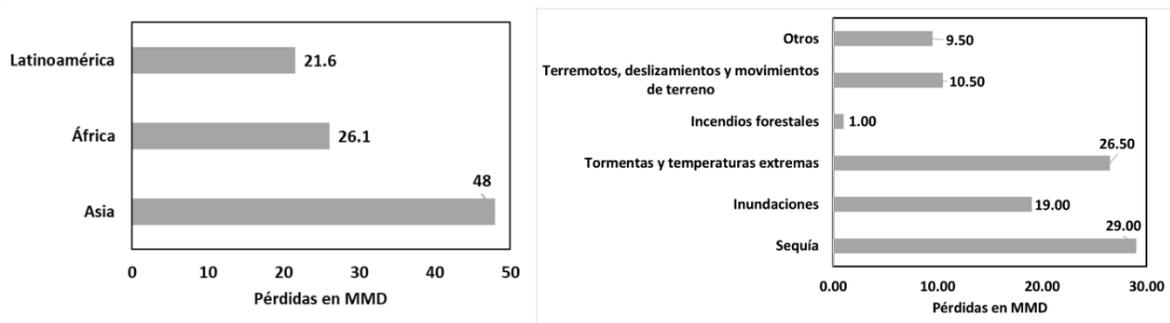
<b>Materia</b>	<b>Organismos</b>	<b>Política ambiental</b>	<b>Medidas económicas</b>
CC	CMNUCC	Lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera	Fondo Verde del Clima Fondo Especial para el CC Fondo para el Medio Ambiente Mundial
CC	IPCC	Evalúa información relacionada con CC	NA
Suelos, Agricultura y SA	FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)	Promueve el desarrollo agrícola sostenible para combatir la SA y provee de información sobre suelos y su valor	Financiación Local, Nacional o Transnacional
Medio Ambiente	Unión Europea/ Agencia Europea de Medio Ambiente	Promueve proyectos relacionados con el medio ambiente y el clima/ Fuente de información	Programa LIFE: solo UE/ Euro clima: único para Latinoamérica
Suelos, CC, SA.	Banco Mundial	Organización multinacional especializada en finanzas y asistencia.	Financia programas relacionados con la agricultura, protección de los bosques, la biodiversidad, las tierras áridas, SA y CC

Suelos, CC, SA.	Unión Europea y FAO	Mitigación de CC, resolver problemas con el uso de los recursos naturales, agricultura y SA.	Financiación Local, Nacional o Transnacional
Agricultura y SA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola	Promover el progreso económico de zonas rurales, mejorando la productividad agrícola	Financiación Local, Nacional o Transnacional
CC	Ley General de Cambio Climático	Marco jurídico	N/A
CC	Sistema Nacional de Cambio Climático- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático	Instrumentos de evaluación y de generación de información	N/A
CC	Fondo de Cambio Climático	Apoyar proyectos de mitigación y adaptación al CC	Aplicable en ecosistemas forestales, Áreas Naturales Protegidas, Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) y sitios Ramsar.
Suelos, agricultura y SA	SAGARPA	Componente de Mejoramiento Productivo de suelo y agua: Sector agropecuario rural; Proyecto Estratégico de SA (PESA): Garantizar la SA y nutricional en las poblaciones que viven en pobreza extrema	Implementado en los 32 estados de México
Suelos	CONAFOR	Aplicación de diferentes programas de protección, conservación, restauración de suelos	Incentivos de acuerdo al programa en ejecución
Desertificación	CONAZA (Comisión Nacional de Zonas Áridas)	Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua	Aplicable a productores de las regiones con poca disponibilidad de agua y procesos de erosión.
Suelos	SEMARNAT, CONAFOR, INEGI, INE y el INIFAP	Inventario Nacional Forestal y de Suelos	Fuente de información

### 3. Discusión

#### 3.1. Impacto social-económico

La susceptibilidad a los eventos extremos está estrechamente vinculada con el grado de desarrollo social y económico; en países con alto desarrollo poseen los recursos para afrontar las afectaciones, mientras que en países o regiones en vías de desarrollo pueden representar serias amenazas tales como hambre, desastre y más pobreza (Martín *et al.*, 2018). Según IPCC (2014) algunas regiones de África, Asia y Latinoamérica no son la excepción a lo anterior, ya que muchos países de estas regiones presentan niveles de pobreza extrema lo que los hace vulnerables ante cualquier variación climática, afectando principalmente al sector agrícola y pecuario, donde los productores no cuentan con la facilidad de acceder a tecnologías, insumos, instrumentos y recurso económico para tomar medidas de adaptación al CC (Birthal *et al.*, 2014). De acuerdo a la FAO (2018), entre los años 2005 y 2015 los sectores agropecuarios en países en vías de desarrollo presentaron pérdidas económicas de 96 MMD, donde Asia fue la zona geográfica más afectada, mientras que la sequía se consideró como el incidente más devastador (Fig. 2).



**Figura 2.** Pérdidas económicas por el CC. (Elaboración propia con datos de la FAO, 2018)  
**Figure 2.** Economic losses due to CC. (Own elaboration with data from the FAO, 2018)

Por otra parte, Europa y Norteamérica, se consideran a nivel mundial como las de mayor resiliencia económica y política para combatir el problema del CC, manifestando una alta capacidad y experiencia en tomar medidas de mitigación, adaptación y cooperación (González, 2017). Sin embargo, no son libres del embate de diferentes fenómenos, por ejemplo, la UNCCD (2013) informó acerca de los eventos climáticos records desde 2000, vinculados a la sequía, así como sus impactos socio-económicos para estas zonas del mundo (Tabla 2).

**Tabla 1.** Impactos socio-económicos del CC en Europa y Norteamérica (Elaboración propia con datos de la UNCCD 2013).

**Table 2.** Socio-economic impacts of CC in Europe and North America (Own elaboration with data from the UNCCD 2013).

Zona	Año	Región	Evento	Impacto socio-económico
Europa	2011	Francia	Primavera más cálida y seca registrada en desde 1880	Pérdidas del 12% de cosechas de cereal
Europa	2010	Moscú, Rusia	Verano más cálido desde 1501	500 incendios forestales / pérdida de cosechas de un 25% / 55,000 muertes / pérdidas 15 MMD
Estados Unidos	2011	Texas, Oklahoma, N. México, y Luisiana	Verano más cálido y mayor sequía desde 1880	1.5 millones de has en incendios forestales / daños promedio de 7 MMD
Estados Unidos	2012	Parte continental	Julio, mes más cálido registrado desde 1895 y duras sequías.	Pérdida de cosechas y aumento de los precios mundiales de alimentos

### 3.2. Respuesta de la gestión del recurso suelo al cambio climático.

A pesar de la complejidad para determinar la respuesta de los recursos naturales ante eventos extremos como heladas, inundaciones, sequías y olas de calor, se han desarrollado estrategias económicamente viables, socialmente aceptables y ecológicamente amigables y esenciales para la gestión del recurso suelo y la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo que mejoran la condición del suelo y a la vez representan una oportunidad clave para la SA, tales estrategias incluyen prácticas de; agricultura conservacionista, uso de policultivos, sistemas agroforestales (SAF), aplicación de materia orgánica al suelo, riego por goteo, la cosecha de agua, cultivos de cobertura de suelo, programas de restauración y conservación, entre otros.

Calle *et al.* (2012), mencionan que la restauración de ecosistemas es de vital importancia, radicando en establecer mejoras en escenarios y/o respuestas de adaptación contra el CC. Los programas de restauración como reforestación, obras de conservación de suelos y cuerpos de agua, permiten rehabilitar funciones productivas, socioeconómicas y ambientales desde un enfoque local, regional, nacional y global. La FAO (2016b), señala que la restauración de ecosistemas a través del manejo sostenible trae consigo varios beneficios como retención de carbono, aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, mejorar la biodiversidad y resiliencia ante embates climáticos.

El uso de los cultivos de cobertura es una técnica importante en las regiones tropicales donde se presentan precipitaciones fuertes, mejoran la intercepción de la precipitación que evita la desagregación de partículas de suelo y pérdida por arrastre por el flujo de escorrentía, además proporcionan un suministro adicional de materia orgánica; y mejora de infiltración (Osorio-

Espinoza *et al.*, 2019). En escenarios de sequía la cobertura mantiene humedad en el suelo, mientras que, en periodos fríos, funcionan como regulador de temperatura (Cairo-Cairo *et al.*, 2017). Por ejemplo, en regiones tropicales de Asia, América y África se ha implementado el establecimiento de *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, una gramínea perenne, la cual tiene alto potencial anti-erosivo, de favorecimiento a la infiltración y de fitorremediación, además, tolera variaciones climáticas extremas, como sequías prolongadas, inundaciones, inmersión y temperaturas (-15 a 50°C) y tiene usos diversos, por lo que tiene un impacto socioeconómico en el sector rural (Ghosh y Bhattacharya, 2018)

Por otra parte, el aumento de materia orgánica por aplicación de enmiendas orgánicas de origen animal y vegetal mejora la capacidad de retención de agua. Esa práctica aumenta la resistencia del suelo a las sequías, mejora su capacidad de infiltración y evita erosión, durante lluvias intensas (Coronel, 2019).

La cosecha de agua y riego por goteo son estrategias que permiten estabilizar el recurso hídrico durante una sequía. En África occidental se implementan en monocultivos, policultivos y combinación árbol-cereales, un sistema de cosecha conocidos como zai, esta técnica se basa en hacer huecos de 25 cm de profundidad, en suelos con baja o nula infiltración, rellenos con materia orgánica, atrayendo a termitas las cuales crean micro drenajes en el suelo, mejorando su estructura, aumentando la captación de agua en el suelo, y la disponibilidad de nutrientes a la vegetación (Altieri *et al.*, 2015). Burney *et al.* (2010) evaluaron el riego por goteo con energía solar como una estrategia para mejorar la condición del suelo y la SA en la república de Sudan y concluyó que el modelo de riego aplicado aumentó significativamente la productividad del suelo y la ingesta nutricional, especialmente durante la estación seca.

Sin embargo, la implementación de SAF son medidas de mayor alcance de adaptación al CC y su mitigación, proveen de importantes beneficios al recurso suelo, mejora de los servicios ecosistémicos e impacto socio-económicos, principalmente en sectores rurales. Los SAF combinan árboles y arbustos con cultivos agrícolas o animales domésticos con arreglo espacial y temporal. En la Tabla 3 se muestra los principales beneficios de los SAF en los servicios ecosistémicos, en la conservación del suelo y los impactos socio-económicos (Moreno *et al.*, 2013; Viguera, *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2018; Zavala *et al.*, 2018; Ismail *et al.*, 2019).

De igual forma, el uso de paquetes tecnológicos como empleo de vistas aéreas de los campos provistas por drones; softwares de mapeo que localizan agua subterránea; tractores provistos de sensores que monitorean cosechas en tiempo real; sistemas de riego que permiten administrar el recurso hídrico durante sequías prolongadas; sistemas de drenaje que permiten retirar los excesos de agua por altas precipitaciones, uso de lisímetros para monitorear los parámetros del balance hídrico del suelo y la lixiviación de nutrientes, entre otros, juegan un papel fundamental en la gestión del suelo y producción, favoreciendo en mayor medida el medio ambiente y sus recursos naturales, pero países en desarrollo aún no han podido adoptar este tipo de tecnologías, principalmente por los costos de inversión, instalación y falta de conocimientos para manipulación (UNCD, 2013; Meissner *et al.*, 2020).

**Tabla 3.** Beneficios de los sistemas agroforestales  
**Table 3.** Benefits of agroforestry systems

Servicios ecosistémicos	Conservación del suelo	Impacto socio-económico
Mayor actividad fotosintética	Reducción de la erosión	Mejora en la SA y producción
Regulación climática e hidrológica	Aumenta los niveles de MO y CO	Menor uso de insumos químicos
Mayor fijación del carbono y nitrógeno	Incremento de actividad biológica	Obtención de varios productos
Provisión de alimentos y de materiales de trabajo	Mejorar del aporte nutricional	Ingresos económicos a corto y a largo plazo
Mejora de hábitat para fauna	Cobertura al suelo e incremento de la infiltración	Fuente de empleo
Mejoramiento y restauración de ecosistemas	Reduce el lixiviado de nutrientes	Descenso de la pobreza
Función como barreras contra el viento	Mejora la estructura del suelo	Desaceleración de la migración rural
Disminuyen vulnerabilidad a plagas y enfermedades	Aumenta la retención de humedad	Mantienen sus valores culturales
	Reduce la evaporación de agua del suelo	
	Los estratos superiores protegen a los cultivos de altas temperatura y bajas precipitaciones	

### 3.3. Situación en México

En general, México presenta una heterogeneidad en la distribución espacial de los eventos climáticos que van desde la ocurrencia de heladas extremas e inundaciones hasta sequías pronunciadas, pero también presenta una gran diversidad de ecosistemas y sistemas de manejo (agrícola, silvícola y pecuario) que permiten la implementación de diferentes estrategias de adaptación y mitigación contra el CC. Por ejemplo, Rodríguez *et al.* (2017) señalan que, las regiones áridas y semiáridas experimentarían un aumento en la escasez del agua, lluvias ligeras y esporádicas y anticipadas, siendo la cosecha de agua de lluvia, enmiendas orgánicas, riego por goteo, etc., prácticas fundamentales para la producción agrícola y pecuaria. Cabe señalar que estas

regiones superan el 40 % del territorio nacional y sus suelos almacenan 46% del C almacenado total ( $14,159 \pm 3,861$  teragramos), por lo que su gestión sostenible conservará o mejorará este stock de C (Murray *et al.*, 2016). Además, México posee una riqueza en variedad de especies vegetales, con valor económico y de importante utilidad, características que favorecen el establecimiento y mantenimiento de los SAF en las diferentes regiones del país, específicamente, existen alrededor de 20 variantes de SAF en uso en el país que involucran diferentes prácticas tradicionales y ecológicas, que al mismo tiempo de aminorar los efectos del CC sobre el recurso suelo promueven la restauración de la biodiversidad (Moreno *et al.*, 2013).

Asimismo, México cuenta con diferentes estrategias que involucran los tres ordenes de gobierno y la integración civil, que permiten mejorar los servicios ecosistémicos del suelo y el desarrollo económico de diferentes sectores del país, por ejemplo, entre 2007 y 2010, la CONAFOR apoyo con más de 17 mil millones de pesos para la protección, rehabilitación y manejo sustentable de terrenos forestales, mediante los programas de: Servicios Ambientales, Reforestación y conservación de suelos, Desarrollo Forestal, Germoplasma de Planta, Plantaciones Forestales, Incendios Forestales y Cuencas Prioritarias; logrando la rehabilitación y manejo sustentable de casi dos millones de hectáreas (SEMARNAT, 2011).

Sin embargo la gestión sostenible a nivel nacional y global presenta diferentes riesgos para recuperar, conservar, restaurar y mejorar la condición del recurso suelo, asociados principalmente, a factores socio-económicos como la falta de conocimiento y preocupación por el CC que provoca intensificación agrícola y pecuaria o abandono de tierras; bajas utilidades de producción; abandono de prácticas ecológicas tradicionales; desigualdad de género; longevidad de población campesina; migración; pobreza y la inestabilidad política (Bellido, 2017).

## 4. Conclusiones

La estrategia de gestión sostenible del recurso suelo permitirá afrontar las crisis climáticas proyectadas para los próximos años, asegurando el suministro de sus diferentes servicios ecosistémicos.

El cambio climático afecta de manera importante las propiedades del suelo, mientras que, la presión y degradación del suelo por actividades antropogénicas aceleran el cambio climático, ambos procesos repercuten en aspectos sociales, ecológicos y económicos. De acuerdo al análisis realizado los principales problemas con la productividad del recurso suelo se ven relacionados con la pérdida de suelo (erosión), proceso que se generaliza ante la ocurrencia de cualquier evento extremo. En términos generales, los efectos del CC disminuirán significativamente la productividad del suelo, principalmente en regiones áridas y semiáridas donde el recurso hídrico es indispensable para la producción agrícola y pecuaria, siendo las actividades económicas que resentirán en mayor medida los efectos del calentamiento global.

Las diferentes prácticas como uso de policultivos, enmiendas orgánicas, labranza mínima, etc., permiten gestionar la resiliencia del suelo ante eventos climáticos como sequías, inundaciones y huracanes, sin embargo, los SAF sobresalen como los de mayor alcance de resiliencia, y pueden ser aplicables en las diferentes regiones del mundo, por la gran variedad de servicios ambientales, sociales y económicos que suministran.

A nivel mundial existen diferentes programas y políticas que buscan mitigar los efectos del CC, degradación del suelo y la inseguridad alimentaria, por lo que su promoción es de vital importancia principalmente en países en desarrollo, los cuales presentan mayor vulnerabilidad ante dichas problemáticas.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecemos el apoyo de los integrantes del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

## Conflicto de interés

Los autores confirman la no existencia de conflicto de intereses.

## Nomenclatura

°C	grados centígrados
Pg	medida equivalente a mil millones de toneladas
±	desviación respecto a la media

## 5. Referencias

- AEMA (2017). Uso del suelo. <https://www.eea.europa.eu/es/themes/landuse/intro/#tab-noticias-y-art%C3%ADculos>
- AEMA (2019). El suelo, la tierra y el cambio climático. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/el-suelo-la-tierra-y>
- Altieri, M., Nicholls, C., & Henao, A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35: (3): 869-890. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Babin, D., Deubel, A., Jacquiod, S., Sørensen, S., Geistlinger, J., Grosch, R., & Smalla, K. (2019). Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities. *Soil. Biol. Biochem.* 129: 17-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002>
- Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M. R., Batjes, N. H., Mäder, P., Bünemann, E. K., ...Reintam, E. (2018). Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments

- for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265, 1–7. DOI: <https://10.1016/j.agee.2018.05.028>
- Bellido, N. (2017). Cambio climático, pobreza y sostenibilidad. *EHQUIDAD*, (7), 81-116. DOI: <https://doi.org/10.15257/ehquidad.2017.0003>
- Birthal, P. S., Negi, D. S., Jha, A. K., & Singh, D. (2014). Income sources of farm households in India: Determinants, distributional consequences and policy implications. *AERR*, 27, 37–48. DOI: <https://doi.org/10.5958/j.0974-0279.27.1.003>
- Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R., & Pasternak, D. (2010). Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano-Sahel. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 18481853. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0909678107>.
- Cairo-Cairo, P., Reyes A., Flores, R., & Robledo, L. (2017). Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes*;40(2):127-34. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942017000200006&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942017000200006&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012). Integración de las actividades forestales con la ganadería extensiva sostenible y la restauración del paisaje. *Unasylva*, 63(1), 31-38. <http://www.fao.org/3/i2890s/i2890s06.pdf>
- Cantero, J. (2018). Principales impactos en la sociedad y la economía española. *Tiempo de paz*, (128), 35-46. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41301-017-0122-9>
- CEA (2015). Lucha contra la degradación de la tierra en pro de la seguridad alimentaria y la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el suelo en Europa y Asia central: el Año Internacional de los Suelos. 39.ª REUNIÓN. <http://www.fao.org/publications/card/es/c/18a66dbf-c6da-4c99-a55e-84a48f729257/> (accessed 6 April 2020).
- CONAGUA (2019). El reporte del clima en México. Reporte Anual, 2019. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/reporte-del-clima-en-mexico>
- Coronel, T. (2019). Los sistemas agroecológicos de la parroquia San Lucas (Loja). *Prácticas resilientes ante el cambio climático*. *Letras Verdes*. (26), 191-212. DOI: <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.26.2019.3806>
- Ebel, R., Pozas, J. G., Soria, F., & Cruz, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoam*. 35(2), 149-160. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792017000200149](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149)
- Etchevers, J., Saynes, V., Sánchez, M., & Roosevelt, F. (2016). Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola. *Ciencia, Tecnología e Innovación en el Sistema Agroalimentario de México*. Biblioteca Básica de Agricultura, Colegio de Postgraduados. México. pp, 63-79.
- FAO, FIDA, UNICEF, PMA & OMS (2018). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición. FAO, Roma. <http://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>
- FAO (2015). 5 razones por las que el suelo es clave para el futuro sostenible del planeta. <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/es/c/277124/>
- FAO (2016a). Cambio climático amenaza la base de la seguridad alimentaria de América Latina y el Caribe: el sector agrícola. Informe FAO/CEPAL/ALADI. <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/428178/>

- FAO (2016b). Estado mundial del recurso suelo. Resumen Técnico. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO (2018). Los desastres causan pérdidas agrícolas millonarias, con la sequía a la cabeza. <http://www.fao.org/news/story/es/item/1107192/icode/>
- Ghosh, C., & Bhattacharya, S. (2018). Landslides and erosion control measures by vetiver system. In *Disaster Risk Governance in India and Cross Cutting Issues* (pp. 387-413). Springer, Singapore. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3310-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3310-0_19)
- González, L. (2017). Cooperación Internacional para el cambio climático. Estudio de casos: América Latina y la Unión Europea. *M+A*, 18(1), 27. DOI: <http://dx.doi.org/10.5209/MARE.56880>
- INECC (2018). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2015. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- IPCC (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>
- IPCC (2019). *Calentamiento global de 1.5°C. Resumen para responsables de políticas. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf)
- Ismail, A., Millang, S., & Makkarenu, M. (2019). Pengelolaan Agroforestry Berbasis Kemiri (Aleurites moluccana) dan Pendapatan Petani di Kecamatan Mallawa. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 11(2), 139-150. DOI: <http://dx.doi.org/10.24259/jhm.v11i2.7996>
- Kopittke, P., Menzies, N., Wang, P., McKenna, B., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment international*, 132, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Krasilnikov, P., Jiménez, F., Reyna, T., & García, N. (2011). *Geografía de suelos de México*. México: Las Prensas de Ciencias, UNAM. <https://tienda.fciencias.unam.mx/es/home/37-geografia-de-suelos-de-mexico-9786070227042.html>
- MADS (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo*. [http://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica\\_para\\_la\\_gesti%C3%B3n\\_sostenible\\_del\\_suelo\\_FINAL.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica_para_la_gesti%C3%B3n_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf)
- Martín, L., Rivera, J., & Castizo, R. (2018). Cambio climático y desarrollo sostenible en Iberoamérica. Informe La Rábida, Huelva. Recuperado de <https://www.fundacion-carolina.es/wp-content/uploads/2019/06/SEGIB-Infor-me-La-Ra%CC%81bida-2018-completo.pdf>
- Matailo, R. M., Luna, R., Alava, A., & Jaramillo, F. (2019). Sequías: efecto sobre los recursos naturales y el desarrollo sostenible. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 154-162. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/331/349>
- Meissner, R., Rupp, H., & Haselow, L. (2020). Use of lysimeters for monitoring soil water balance parameters and nutrient leaching. In *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 171-205). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00007-2>
- Moreno, C., Toledo, V., & Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Bot. Sc.* 91(4), 375-398. <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v91n4/v91n4a1.pdf>

- Murray, T. G., Friedlingstein, P., Sitch, S., Jaramillo, V. J., Murguía, F., Anav, A., ..., & Zeng, N. (2016). The carbon cycle in Mexico: past, present and future of C stocks and fluxes. *Biogeosciences*, 13(1), 223-238. DOI: <https://doi.org/10.5194/bgd-12-12501-2015>
- Nicholls, C., & Altieri, M. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *UNED Research Journal*, 11(1), S55-S61. DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v11i1.2322>
- Nunes, F. C., de Jesus Alves, L., Carvalho, C., Gross, E., de Marchi, T., & Prasad, M. (2020). Soil as a complex ecological system for meeting food and nutritional security. In *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 229-269). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00009-6>
- Orjuela, B. H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Rev. De. Cienc. Agric.* 33(2), 117-124. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Orosio-Espinoza, H., Leyva-Galan, Á., Toledo-Toledo, E., Marroquín-Agreda, F. J., & Hernandez, M. (2019). La producción de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) en Chiapas, México. Oportunidades para una producción agroecológica. *Cultivos Tropicales*, 40(1). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362019000100014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000100014)
- Oxfam, 2011. ¿Cómo afecta el cambio climático a las mujeres campesinas en Honduras? Vamos al Grano. [https://issuu.com/landradehn/docs/informe\\_cc\\_en\\_las\\_mujeres-15feb2011](https://issuu.com/landradehn/docs/informe_cc_en_las_mujeres-15feb2011)
- Richards, C., Kjærnes, U., & Vik, J. (2016). Food security in welfare capitalism: Comparing social entitlements to food in Australia and Norway. *J. Rural Stud.* 43, 61–70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.11.010>
- Rodríguez, M. V., Ruíz, C. J., Medina, G. G., Valenzuela Solano, C., Mauricio, R., Ernesto, J., & Álvarez Bravo, A. (2017). Cambios esperados al uso del suelo en México, según escenario de cambio climático A1F1. *Rev. Mex. De Cienc. Agric.* 8(SPE19), 3979-3992. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342017001103979](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017001103979)
- 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. México: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- SEMARNAT (2011). Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?articulo=2482&grupo=7>
- Seneviratne, S.I., Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., ..., & Teuling, A. (2010). Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth Sci. Rev.* 99 (3-4), 125-161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2019). <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Silva, E. A., Corrales, R. B., Aguirre, C., Van der Hoek, R., Mena, M., & Obregón, O. (2018). Evaluación de la calidad de suelo en sistemas de cultivo-arboles-pastos, micro cuenca Tecomapa, Somotillo-Nicaragua. *La Calera*, 18(31), 98-103. DOI: <https://doi.org/10.5377/calera.v18i31.7900>
- UNCCD (2013). 2da Conferencia Científica de la CLD; Aspectos económicos de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía: Metodologías y análisis para la toma de decisiones. <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/986-spa.pdf>

- Veni, V. G., Srinivasarao, C., Reddy, K. S., Sharma, K. L., & Rai, A. (2020). Soil health and climate change. In *Climate Change and Soil Interactions* (pp. 751-767). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00026-6>
- Venter, Z., Cramer, M., & Hawkins, H. (2018). Drivers of woody plant encroachment over Africa. *Nature Communications* 9: 2272 (1–7). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04616-8>
- Vergara, W., Rios, A., Trapido, P., & Malarín, H. (2014). *Agricultura y clima futuro en América Latina y el Caribe: impactos sistémicos y posibles respuestas*. Washington, DC, US, BID. Documento de debate, División de Cambio Climático y Sostenibilidad, 1-9. [https://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/agricultura\\_y\\_cambio\\_climatico\\_idb-dp-329\\_es.pdf](https://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/agricultura_y_cambio_climatico_idb-dp-329_es.pdf)
- Viguera, M. R., Harvey, C., & Alpízar, F. (2017). *Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas*. [https://namacafe.org/sites/default/files/content/proyecto\\_cascada\\_modulo\\_4\\_practicas\\_de\\_adaptacion\\_basadas\\_en\\_ecosistemas.pdf](https://namacafe.org/sites/default/files/content/proyecto_cascada_modulo_4_practicas_de_adaptacion_basadas_en_ecosistemas.pdf)
- WBG [World Bank Group] (2015). *Soils: the principal ally for feeding the world*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/03/09/suelos-principales-aliados-alimentar-planeta>
- World Resources Institute [WRI] (2020). *Agriculture Drove Recent Record-Breaking Tree Cover Loss*. Washington, D.C. <https://www.wri.org/blog/2020/02/agriculture-drove-recent-record-breaking-tree-cover-loss>
- Yukiel, H., & Otto, S. (2011). *Desertification: a visual synthesis*. In *United Nations Convention to Combat Desertification*. <https://www.preventionweb.net/publications/view/29359>
- Zavala, W., Merino, E., & Peláez, P. (2018). Influencia de tres sistemas agroforestales del cultivo de cacao en la captura y almacenamiento de carbono. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493-501. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.04>

2022 TECNOCIENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>