



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DEL SUELO CON LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PASTOREO HOLÍSTICO, EN EL  
ESTADO DE QUERÉTARO**

**TESIS**

Que para optar por el grado de

**MAESTRA EN CIENCIAS**

Presenta:

**IMELDA NAVARRO RODRÍGUEZ**

Tutor principal:

Dr. Miguel Ángel Galina Hidalgo

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Comité Tutorial:

Dr. Mario Cuchillo Hilario

Instituto Nacional de Nutrición Salvador Subirán

M en C Jorge Alfredo Cuéllar Ordaz

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Cuautitlán Izcalli, Estado de México diciembre 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología quien apoyó mi trabajo con una beca.

A mi tutor el Dr. Miguel Ángel Galina Hidalgo por todo el apoyo y conocimientos brindados, pero principalmente por su amistad, ejemplo y consejos.

A la Dra. Rosa Isabel Higuera Piedrahita por su constante apoyo y confianza en mis capacidades, porque su sabiduría y calidad humana han sido para mí gran motivación e impulso para la culminación de mi tesis.

Al MVZ Luis Joaquín Gómez, quien fue un elemento fundamental en la comprensión del Manejo Holístico y la selección del área de estudio.

Al Mtro. Jorge Alfredo Cuellar por su disposición y colaboración.

Al Dr. Mario Cuchillo por sus comentarios que enriquecieron y encaminaron mi trabajo.

Al MVZ Oswaldo Hernández por su colaboración y enlace con los ejidos donde se realizó el estudio.

A Enrique por su apoyo y hospitalidad durante los muestreos en Colima.

A Don Beny por su apoyo y hospitalidad durante los muestreos en el Ejido de Santa Rosa.

Al M. en C. César Cuenca y al Dr. Guillermo Valdivia por su invaluable apoyo y paciencia durante mi estancia en el laboratorio de parasitología de la UIM.

Al equipo del laboratorio de Edafología de la UBIPRO; Daniel Muñoz, Alfonso Soler, Mayra Hernández y Francisco López. Sin su guía y apoyo en el procesamiento de las muestras de suelo este trabajo no habría sido posible.

A todos los que integran Grupo Ecológico Sierra Gorda IAP.

A mis compañeros del Diplomado en Manejo Holístico.

A los profesores que me dieron clase: Dr. José Luis Dávalos, Dra. Diana Merino, Dr. Miguel Ángel Pérez Razo (q.e.p.d.) y Dra. Alma Núñez.

A Gabriel por haber creído en mí, por todo su amor y porque siempre estuvo dispuesto a apoyarme.

Al M. en C. Sebastián por su compañerismo y apoyo.

A mis padres porque siempre han creído que puedo dar más de mí.

*Ami hije.*

## Contenido

Resumen.....	6
Abstract.....	7
<b>1. Introducción.....</b>	<b>8</b>
2.1. Sistemas de producción ganadera .....	11
2.1.1.    Sistemas industriales o intensivos .....	11
2.1.2.    Sistemas mixtos o semi-intensivos.....	12
2.1.3.    Sistemas de pastoreo .....	12
2.2.    Efectos ambientales de la ganadería .....	13
2.3.    Aspectos económicos de la ganadería en pastoreo.....	15
2.4.    Propuesta de manejo de Allan Savory.....	16
2.5.    Captura de carbono y pastoreo.....	18
2.6.    Trabajos de investigación sobre pastoreo planificado.....	19
2.7.    Determinación de calidad de suelo.....	20
2.7.1.    Uso de Bioindicadores.....	22
2.7.2.    Nematodos bioindicadores.....	22
<b>3. Justificación .....</b>	<b>25</b>
<b>4.    Hipótesis.....</b>	<b>27</b>
<b>5.    Objetivo.....</b>	<b>28</b>
5.1.    Objetivos específicos .....	28
<b>6.    Materiales y métodos .....</b>	<b>29</b>
6.1.    Localización.....	29
6.1.1.    Ejidos El Zamorano y Santa Rosa de Lima.....	29
6.1.2.    Rancho Migueles, Comala, Colima. ....	30
6.2.    Diseño experimental .....	32
6.3.    Tratamiento de las muestras .....	32
6.4.    Análisis Físicoquímico.....	33
6.5.    Indicadores Biológicos.....	33
6.5.1.    Nematodos .....	34
6.5.1.1.    Índices .....	34
6.5.1.1.1.    Índice de Madurez.....	34

6.6. Análisis Estadístico .....	35
<b>7. Resultados</b> .....	36
<b>8. Discusión</b> .....	42
<b>9. Conclusión</b> .....	45
<b>10. Bibliografía</b> .....	476
<b>11. ANEXOS</b> .....	58

## Resumen

Se estima que el 60% de las tierras mundiales que contribuyen a la producción de alimentos se encuentran degradadas o usadas de manera insostenible y a menos que se gestionen sus recursos de manera sustentable la presión sobre ellas impactará negativamente en la producción de bienes y servicios ambientales. La conservación del recurso denominado suelo depende del entendimiento de los atributos y procesos que están contribuyendo al equilibrio del ecosistema. Recientemente en la literatura se han mencionado que las prácticas de Manejo Holístico contribuyen a la restauración de ecosistemas degradados mejorando el ciclo de la materia orgánica en la superficie del suelo. Se documentan en el presente trabajo los efectos en la calidad del suelo de tierras donde se ha implementado el Manejo Holístico, se estableció un área de estudio en el municipio de Colón, Querétaro con un diseño observacional longitudinal para medir tanto parámetros fisicoquímicos como biológicos (comunidad de nemátodos). Se establecieron tres zonas de muestreo; una zona categorizada como M1 (zona de exclusión de pastoreo), M2 (zona de pastoreo continuo) y M3 (zona de Manejo Holístico). En los sitios se realizaron 3 muestreos entre los meses de septiembre de 2018 y junio de 2019 con la intención de abarcar tanto la temporada de lluvias como la de secas, se tomaron 3 muestras compuestas (a partir de 5 submuestras) por cada categoría de los sitios de muestreo por el método de zigzag, las muestras se tomaron del horizonte superficial a 30 cm de profundidad para evaluar las propiedades fisicoquímicas y a 20 cm para revisar la comunidad de nematodos edáficos. Como resultado del estudio se demostró el mejoramiento del suelo con los parámetros evaluados que mostraron diferencias estadísticamente significativas relacionadas con el aumento de la concentración de materia orgánica en el suelo producto de la implementación del Manejo Holístico.

**Palabras clave:** *suelo; Manejo Holístico; comunidad de nemátodos; materia orgánica.*

## Abstract

It was demonstrated that 60% of the world's land that contributes to food production is degraded or used in an unsustainable way. And unless its resources are managed in a sustainable way, the pressure on them will negatively impact the continuous delivery of environmental goods and services. The conservation of the resource, called soil, depends on the understanding of the attributes and processes that are contributing to the balance of the ecosystem. Previously in the literature have mentioned that Holistic Management practices can help restore degraded ecosystems, contributing to the organic matter cycle on the soil surface. In order to evaluate the effects of Holistic Management on soil quality, there was established a study area for this thesis in the locality of Colón, Querétaro. With a longitudinal observational design, both physicochemical and biological parameters (soil nematode community) were measured. There were established three zones for sampling: a zone categorized as M1 (grazing exclusive zone), M2 (continuous grazing zone) and M3 (Holistic Management zone). In each area, three samples were taken between September 2018 and June 2019, using the zigzag method, there were taken 3 compounded samples (from 5 subsamples) from each zone. Samples were taken at 30 cm deep from the surface horizon, to evaluate the physicochemical properties, and at 20 cm deep to determine the biological properties. As a result of the study, it was found that the measured parameters that showed statistically significant differences are related to the increase in the concentration of organic matter in the soil, consequence of the Holistic Management system.

**Keywords:** soil; Holistic Management; soil nematode community; organic matter.

## 1. Introducción

Agroecosistemas de todo el mundo están bajo una creciente presión debido a la demanda global para aumentar la producción de alimentos y el cambio climático (de Marsily y Abarca-del-Rio, 2016; Sato *et al.*, 2019; ), por lo que productores de ganado enfrentarán el desafío de garantizar que sus prácticas de manejo mantengan la viabilidad económica, ecológica y social del medio ambiente para las generaciones futuras (Kemp *et al.*, 2000). Desafortunadamente en regiones templadas, donde predomina el pastoreo, carecen de información sobre las mejores prácticas necesarias para enfrentar este desafío (Kemp *et al.*, 2000).

La producción ganadera por medio del pastoreo requiere especial atención ya que es un componente importante del sistema alimentario mundial (Asner *et al.*, 2004; IPBES, 2018; Williams y Price, 2010), domina el uso del suelo a nivel planetario (Sato *et al.*, 2019); los campos de pastoreo ocupan 117 millones de km<sup>2</sup> de tierra con vegetación, cubren aproximadamente el 25% de la superficie de la Tierra, y proporcionan alimento para más de 1800 millones de unidades ganaderas (Saggar *et al.*, 2009). Se calcula que al menos mil millones de personas dependen directamente de las tierras de pastoreo para su medio de vida, ya que el ganado representa 40% del valor general de la producción agrícola (Ragab y Prudhomme, 2002; Steinfeld *et al.*, 2009).

En México, la ganadería ha sido la actividad productiva más común en el medio rural, se practica, sin excepción, en todas las regiones ecológicas y aun en condiciones climáticas adversas (Mora *et al.*, 2013). Ocupa 110 millones de hectáreas, lo que equivale a casi 56% del territorio nacional (Mora *et al.*, 2013).

Sin embargo, las practicas inadecuadas en la actividad agropecuaria pueden conducir eventualmente a una serie de efectos ambientales nocivos (Dorrough *et al.*, 2004; Kemp *et al.*, 2000; Mavromihalis *et al.*, 2013; Mora *et al.*, 2013; Sadeghian *et al.*, 1999; Savory y Parsons, 1980), especialmente en el suelo, parte fundamental del ecosistema, esencial para mantener tanto la producción de alimentos como los niveles de biodiversidad necesarios para conservar la resiliencia ecológica y la provisión de servicios ambientales (Cotler *et al.*, 2007; Adhikari y Hartemink, 2016).

Actualmente hasta 60% de las tierras mundiales que contribuyen a la producción de alimentos se consideran degradadas o usadas de manera insostenible (Montanarella y Vargas, 2012) y a menos que se gestionen sus recursos de manera sustentable, la presión sobre ellas impactará negativamente en la producción y distribución de bienes y servicios agropecuarios de los que depende el bienestar humano (Teague *et al.*, 2013).

Se ha señalado que la conservación del recurso denominado suelo depende del entendimiento de los atributos y procesos que están contribuyendo al equilibrio del ecosistema, de los elementos de importancia para el suelo, así como de las transformaciones que ocurren después de impactos ambientales (Lal *et al.*, 1980).

Los sistemas de pastoreo han recibido una evaluación intensiva en diferentes circunstancias, pero aún no está claro con qué estrategia se puede manejar mejor el pastoreo para promover la calidad del suelo, mantener la producción agrícola y conservar la biodiversidad (Dorrough *et al.*, 2004; House *et al.*, 2008; Tschardtke *et al.*, 2012).

Decisiones sobre la carga animal y el tiempo de ocupación del ganado se han considerado ampliamente temas importantes en términos ambientales y de rentabilidad económica (Briske *et al.*, 2008). El control del pastoreo puede ayudar a la restauración de los ecosistemas degradados, al permitir a los administradores de tierras influir en las comunidades de vegetación (Fischer *et al.*, 2009; Kemp *et al.*, 1996; Lindenmayer *et al.*, 2012). Contribuye además con el ciclo de la materia orgánica en la superficie del suelo (Orgill *et al.*, 2018; Teague *et al.*, 2011; Water *et al.*, 2017). Se ha observado que practicar pastoreo episódico puede usarse para controlar la vegetación exótica invasora, esto promueve la regeneración de especies nativas y ayuda a la restauración del suelo (Dorrough *et al.*, 2004; Fischer *et al.*, 2009). Se afirma también que bajo estos manejos se puede incrementar la carga animal aún en condiciones adversas como en regiones áridas sin daño al recurso pastizal (Savory y Parsons, 1980; Drewry, 2006).

Pastoreo de Alta Intensidad y Corta Duración (HISD), también llamado Pastoreo Rotativo, Pastoreo en Celdas, Manejo Holístico (MH), Pastoreo de Tiempo Controlado (Earl y Jones, 1996; McCosker, 2000), Pastoreo Voisin de Alta Densidad

o Pastoreo Multi-paddock. Son estrategias de control de pastoreo donde el ganado está excluido durante un periodo para fomentar la recuperación de la vegetación y fomentar la fijación de semillas en especies nativas deseables (Sato *et al.*, 2019). Se deberían evaluar estas estrategias desde diferentes parámetros para evitar que la degradación del suelo debido a la ganadería repercuta en la calidad de vida global.

El Manejo Holístico es una visión de manejo y toma de decisiones desarrollada por el biólogo Allan Savory, que incluye un sistema de pastoreo conocido como pastoreo holístico (Gomez, 2017). En este sistema de pastoreo se aprovecha la relación entre las grandes manadas silvestres de herbívoros, los pastizales y sus predadores; se busca que el ganado se agrupe apretadamente y se arremoline (movimiento presentado en manadas salvajes de herbívoros ante la presencia de un predador), en el proceso rompen la costra del suelo y le incorporan el material viejo, hojas y tallos, estiércol, orina, desparraman semillas y cubren el suelo (Gomez, 2017; Savory y Parsons, 1980).

Savory implementó este sistema inicialmente en África, donde reportó recuperación de calidad de suelos en áreas que se encontraban en proceso de desertificación (Gomez, 2017). Sin embargo, existen publicaciones científicas que afirman que no existen diferencias entre el Manejo Holístico y los sistemas de pastoreo continuo (Briske *et al.*, 2013), por lo que es importante monitorear la calidad del suelo en sitios donde ha se implementado dicho método para comprobar su efectividad.

En México instituciones gubernamentales han recomendado a los productores que implementen el método de pastoreo holístico desarrollado por Allan Savory (Bosque Sustentable, 2016a). En el Estado de Querétaro, por ejemplo, extensionistas de la Secretaría de Agricultura del Estado (SEDEA) han sido capacitados bajo este sistema y han comenzado a implementar la metodología en ejidos de municipios como Colón (Dobler, 2019; Mendoza, 2019). Por lo que se espera que al comparar los indicadores de calidad de suelo en los sitios donde se ha implementado el Manejo Holístico, la calidad del suelo sea superior, respecto a sitios con pastoreo continuo.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Sistemas de producción ganadera

La ganadería es una actividad del sector primario que consiste en la crianza y cuidado de diversas especies de animales domésticos (Riojas *et al.*, 2018). Esta actividad es un proceso complejo, interactivo, con una multiplicidad de componentes, en estrecha dependencia de la tierra, las aguas y otros recursos como los animales, la mano de obra y las inversiones de capital (FAO, 2014). Se practica en todo el mundo según modalidades muy diferentes, en entornos muy diversos, con niveles distintos tanto de intensidad como de eficiencia biológica (FAO, 2014). Los sistemas de producción pecuario abarcan desde los modos fundamentalmente intensivos del mundo occidental hasta los fundamentalmente extensivos del mundo en desarrollo (FAO, 2014).

La FAO (Seré y Steinfeld, 1996) ha definido tres sistemas principales de producción pecuaria: sistemas industriales o intensivos, mixtos o semi-intensivos y extensivos o de pastoreo.

#### 2.1.1. Sistemas industriales o intensivos

Los sistemas pecuarios industriales son aquellos en los que los animales están separados de la tierra que constituye la base de suministro de forrajes y de eliminación de desechos, dichos sistemas dependen de suministros externos de piensos, energía y otros insumos, que contribuyen con más del 50% de la producción mundial de carne de cerdo, aves de corral, el 10% de la producción de carne de oveja y vacuna (Seré y Steinfeld, 1996)

El exceso de nutrientes de nitrógeno y fósforo debido a los importantes volúmenes de importación de forrajes puede generar problemas de eliminación de estiércol y supone un potencial riesgo de contaminación (FAO, 2014).

La intensificación de la producción agropecuaria se ha convertido en un asunto de gran interés en la literatura debido a sus efectos sobre la disponibilidad de

alimentos, la población rural, la utilización de los recursos, la biodiversidad, aunado a un gran número de otros factores incidentes (Fraser, 2006).

La discusión se ha centrado en la intensificación de la producción animal como un proceso en el que las empresas han sustituido a las granjas familiares, la búsqueda de beneficios ha sustituido a los valores relacionados con el cuidado de los animales, y los métodos industriales del mundo empresarial han sustituido a los métodos de explotación agrícola tradicionales, lo que ha tenido grandes consecuencias sobre el bienestar animal (Fraser, 2006) y para la calidad de los productos, ya que como discutieron recientemente Rubino y Galina (2022), al aumentar el volumen se disminuye la calidad, en esos trabajos se discute la calidad en términos de polifenoles, bioquímicos de destacada importancia como antioxidantes que contribuyen de manera significativa en la salud además de que pueden ser identificados por los sentidos, por color, olor y sabor.

#### 2.1.2. Sistemas mixtos o semi-intensivos

En los sistemas agropecuarios mixtos o semi-intensivos, los cultivos y la producción ganadera están integrados en la misma unidad. Estos sistemas producen a nivel mundial el mayor porcentaje total de carne (54 por ciento) y leche (90 por ciento) y son los más utilizados en la agricultura en pequeña escala de numerosos países en desarrollo (FAO, 2014).

#### 2.1.3. Sistemas de pastoreo

Los sistemas extensivos consisten en que los animales salen a buscar su alimento en un área natural o modificada por el hombre, llamada potrero, permaneciendo la mayor parte del tiempo en estas extensiones de terreno, formas de pastoreo libre o continuo, donde existe una carga animal relativamente baja, pero el ganado permanece dentro de un área dada durante periodos extensos que puede conducir a un deterioro de la pastura y del suelo (Mavromihalis *et al.*, 2013).

Un sistema que puede evitar la degradación de las pasturas es la utilización de la rotación de potreros (Laguna, 2011). Esta rotación tiene múltiples variantes que van de periodos largos a cortos con cargas de ganado bajas a muy altas. Estos sistemas

de producción extensivos se consideran métodos ganaderos sostenibles, porque son los que han permanecido en el tiempo, necesitan de muy pocos recursos externos, bajo uso de productos sintéticos, obteniendo un nivel de producción sin perjudicar al medio ambiente o al ecosistema (Laguna, 2011).

## 2.2. Efectos ambientales de la ganadería

El panorama de la actividad ganadera, a través de los tiempos, ha generado una serie de efectos ambientales nocivos para el medio ambiente, traduciéndose en disminución de la calidad de los productos agropecuarios afectando nocivamente a la población (Mora *et al.*, 2017). Los sistemas de producción intensivos son responsables del 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero medidos en equivalentes de CO<sub>2</sub>, un porcentaje cuestionablemente aún en la literatura, pero indudablemente un contribuyente probablemente mayor al correspondiente a los medios de transporte (Steinfeld *et al.*, 2009). Asimismo, el sector pecuario produce alrededor del 9% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen antropógeno, la mayor parte de las cuales se deben a los cambios en el uso de la tierra (principalmente, la deforestación) causados por la expansión de los pastizales y la superficie destinada a la producción de forrajes (Steinfeld *et al.*, 2009). La ganadería es también responsable en medida aún más significativa de la emisión de algunos gases que tienen un mayor potencial de calentamiento de la atmósfera, por ejemplo, el sector emite el 37% del metano de acuerdo con los cálculos de algunos investigadores (Stienfield *et al.*, 2009), el cual proviene en su mayor parte del proceso de fermentación ocurrido en la digestión entérica de los rumiantes y tiene un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, y el 65% del óxido nítrico antropógeno, cuyo PCG es 296 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, en su mayor parte proveniente del estiércol (Steinfeld *et al.*, 2009). La ganadería también es responsable de casi el 64% de las emisiones antropógenas de amonio, las cuales contribuyen significativamente a la lluvia ácida y a la acidificación de los ecosistemas (Steinfeld *et al.*, 2009).

La ganadería es, con gran diferencia, la actividad humana que ocupa una mayor superficie de tierra. El área total dedicada al pastoreo equivale al 26% de la superficie terrestre libre de glaciares del planeta, mientras que el área destinada a la producción de forrajes representa el 33% del total de tierra cultivable (Steinfeld *et al.*, 2009). En total, a la producción ganadera se destina el 70% de la superficie agrícola y el 30% de la superficie terrestre del planeta, también juega un papel importante en la degradación del suelo, contaminación del agua y pérdida de biodiversidad (Steinfeld *et al.*, 2009).

Sin embargo, no se considera que el impacto ambiental de la ganadería sea el mismo con todos los sistemas de producción (Castro, 2008). El sistema extensivo contribuye a la degradación del territorio, pero en una proporción bastante inferior a la contribución de los sistemas productivos industriales (Lorente, 2010). El modelo intensivo implica la posibilidad de crear serios problemas de contaminación porque requiere de grandes cantidades de sustancias nutritivas en forma de forrajes concentrados y luego los residuos generados se desechan en las tierras cercanas, así se contaminan las tierras y los mantos freáticos (FAO, 2006). Los principales motivos de esta situación son una infraestructura deficiente y reglamentaciones débiles. Donde hay carreteras inadecuadas, los costos del transporte son elevados y las unidades industriales suelen estar próximas a los centros urbanos (FAO, 1998).

En cuanto a la producción por medio de manejo extensivo, el aspecto que más repercusión ambiental tiene es el desmonte para la obtención de pastos (FAO, 2006). Por otro lado, la producción extensiva también puede influir en la degradación de las áreas de pastizales como consecuencia del sobrepastoreo (sobre todo en las regiones áridas o semiáridas donde los cultivos tardan más en desarrollarse) (Gálvez, 2016). Ahora bien, debido a su distribución de manera extensiva en el territorio, se ha documentado su impacto negativo en cuanto a la emisión de flujos contaminantes o en la compactación del suelo que es menor que el modelo de producción intensivo (Lorente, 2010). Esto se debe a que al encontrarse repartido en la superficie no se supera la capacidad de carga del suelo, probablemente

menor, bajo una correcta planificación, más que contaminar supone una carga de nutrientes y una contribución al desarrollo de esa superficie. Por lo tanto, en el lado opuesto, es preciso resaltar también los aspectos positivos que tiene este tipo de explotación en el medio (Lorente, 2010).

### 2.3. Aspectos económicos de la ganadería en pastoreo

El pastoreo de ganado doméstico es la forma más extendida de uso de suelo en el planeta y un componente importante del sistema alimentario mundial (Asner *et al.*, 2004; IPBES, 2018; Sato *et al.*, 2019; Williams y Price, 2010). Los campos de pastoreo ocupan 117 millones de km<sup>2</sup> de tierra con vegetación, cubren aproximadamente el 25% de la superficie de la Tierra, y proporcionan alimento para más de 1800 millones de unidades ganaderas (Saggar *et al.*, 2013). Se calcula que al menos mil millones de personas dependen directamente de las tierras de pastoreo para su medio de vida. Estas estimaciones debido a que el ganado representa 40% del valor mundial de la producción agrícola (Ragab y Prudhomme, 2002; Steinfeld *et al.*, 2009).

En México la ganadería es la actividad productiva más común en el medio rural, el país es el séptimo productor mundial de proteína animal, esto es muestra del alto potencial de desarrollo que tiene y las ventajas competitivas que presenta el sector (FIRCO, 2017). Esta actividad agropecuaria se practica, sin excepción, en todas las regiones ecológicas del país, aun en condiciones climáticas adversas y ocupa 110 millones de hectáreas, lo que equivale a casi 56% del territorio nacional (SAGARPA, 2001).

EL 81% de los sistemas de producción agropecuarios del país son pequeñas unidades, con gran heterogeneidad en el tamaño del hato, condición socioeconómica, destino de la producción, manejo tecnológico, entre otros (Hernández-Morales *et al.*, 2013; Leos-Rodríguez *et al.*, 2008; Piedra *et al.*, 2011).

Con más de mil millones de personas dependiendo de los pastizales para asegurar su medio de vida (Ragab y Prudhomme, 2002), es vital para los administradores de tierras mantener los ecosistemas de pastizales resilientes mientras se asegura a

largo plazo la rentabilidad económica, es por ello que los sistemas de pastoreo han recibido una evaluación intensiva en diferentes circunstancias, pero aún no está claro con qué estrategia se puede manejar mejor el pastoreo para promover la calidad del suelo, para mantener la producción agrícola y conservar la biodiversidad (Dorrough *et al.*, 2004; House *et al.*, 2008; Tscharrntke *et al.*, 2012).

#### 2.4. Propuesta de manejo de Allan Savory

Manejo Holístico (en adelante MH), Alta Intensidad de Pastoreo de Corta Duración (HISD por sus siglas en inglés), también llamado pastoreo rotativo, pastoreo en celdas, Multi-Paddock, gestión holística, o pastoreo de tiempo controlado (Earl y Jones, 1996; McCosker, 2000) son todas formas de llamar a la estrategia de control de pastoreo que se fundamenta en imitar la intensa pero breve presión de pastoreo de grandes rebaños en zonas de África, producto de la interacción de estos rebaños con sus predadores (Sherren y Kent, 2019), con ello ayuda a desarrollar estrategias para manejar ganado doméstico, sanando la tierra, en un proceso altamente rentable (por su costo-beneficio) y muy replicable, pues se trabaja con la naturaleza y no en su contra (Gomez, 2017).

El biólogo sudafricano Allan Savory adopta en los años sesenta el concepto del holismo, para desarrollar una matriz con una nueva visión de manejo y de toma de decisiones, que mantiene las necesidades sociales y económicas conservando la integridad del ambiente (Gomis, 2016; Savory y Butterfield, 1999). Tal matriz, conocida como MH, ha estado a prueba en África del sur y Estados Unidos por más de 40 años y ha evolucionado con base en observaciones y experiencias, donde finalmente se ha llegado a cuatro ideas clave (Gomis, 2016):

- 1) *La naturaleza funciona en enteros.* La naturaleza no funciona en partes individuales sino en enteros que se forman entre ellos, cualquier acción que se realice en algún sitio va a repercutir en el entero (Bosque Sustentable, 2016b; Gomez, 2017; Gomis, 2016). Se debe prestar atención a los patrones que existen en la naturaleza para poder entenderla y realizar un manejo correcto (Gomis, 2016).

- 2) *El ambiente se clasifica en una escala de friabilidad.* La friabilidad de un ambiente depende de la distribución de la humedad a través del año y la rapidez de descomposición de los residuos vegetales (Gomis, 2016). La clasificación se da en una escala de 1 a 10, donde los ambientes no-friables tienen un valor de 1, como en el caso de las selvas tropicales, donde la vegetación se mantiene productiva todo el año y en constante descomposición debido a las altas poblaciones de insectos y microorganismos que se mantienen activos durante todo el año (Gomis, 2016). En el extremo opuesto, los ambientes friables alcanzan un valor de 10, como sucede en los verdaderos desiertos, donde la población de insectos y microorganismos crecen en la estación húmeda, pero cuando cesan las lluvias la humedad del suelo se evapora, la mayoría de la vegetación se muere y la actividad de estos organismos se ve drásticamente reducida, interrumpiendo el ciclo de descomposición durante la mayoría del año (Gomis, 2016).
- 3) *El papel que los grandes herbívoros tienen en la salud del suelo.* En general, los grandes herbívoros se mantienen en un solo hato, en altas densidades y en constante movimiento, como estrategia de protección ante sus depredadores (Gomis, 2016). El efecto de pisoteo de las pezuñas actúa como un arado natural que ayuda a degradar los residuos vegetales, y a integrar las excretas al suelo que servirán como abono; de igual manera, rompen las costras del suelo, las cuales impiden la infiltración del agua y el crecimiento de nuevos brotes (Gomis, 2016; Savory y Butterfield, 1999; Steinfeld *et al.*, 2009; Teague *et al.*, 2010). De esta manera, el suelo se mantiene cubierto y ayuda a regular la temperatura, mejora la infiltración y disminuye la evaporación, conservando la humedad del suelo por más tiempo después de las lluvias; así las bacterias que se encargan del proceso de humificación se mantienen activas e incrementan el contenido de nutrientes en el suelo (Gomis, 2016; Savory y Butterfield, 1999; Teague *et al.*, 2010).

- 4) *La degradación de los ecosistemas no se debe al número de animales sino al tiempo que permanecen en un sitio.* Anteriormente se pensaba que el número de animales era la causa de la degradación del ecosistema, pero se descubrió que la causa en realidad es el tiempo en el que un sitio permanece expuesto a los animales (Gomis, 2016). Si los animales permanecen en un lugar por periodos prolongados o si regresan pronto al mismo sitio sin darle el descanso suficiente, entonces sí, las plantas son sobrepastoreadas y el suelo sobrecompactado (Gomez, 2017; Gomis, 2016). El tiempo de descanso de un sitio depende de la tasa de crecimiento de las plantas que puede ser desde 30 días hasta un par de años (Gomis, 2016).

En el MH el ganado se agrupa apretadamente y se arremolina, en este proceso rompen la costra del suelo y le incorporan el material viejo, hojas y tallos, estiércol, orina, desparrraman semillas y cubren el suelo (Savory Institute, 2015). Esta tecnología minimiza el deterioro del pastizal y aumenta su productividad forrajera (Drewry, 2006; Savory y Parsons, 1980).

## 2.5. Captura de carbono y pastoreo

Las tierras de pastoreo están incluidas en el artículo 3.4 del protocolo de Kioto jugando un papel importante en el secuestro de carbono (Hassan *et al.*, 2018). Según FAO, en América hay más de 800,000 millones de hectáreas utilizadas en pastoreo, muchas se encuentran en partes áridas no aptas, sumándole las malas prácticas como el sobrepastoreo, lo que lleva a tener áreas degradadas disminuyendo este potencial de captura (Hassan *et al.*, 2018).

Los sistemas ganaderos, formados por cuatro componentes básicos (suelo-planta-animal-hombre), poseen gran complejidad en sus interrelaciones y pueden contribuir al almacenamiento de carbono, debido precisamente a esta amplia gama de posibles combinaciones y funciones (Lok *et al.*, 2013). El carbono acumulado en el suelo depende del tipo de suelo, su uso, manejo y profundidad. Estos aspectos son determinantes para la existencia y descomposición de la materia orgánica, como fuente primaria del almacenamiento de carbono (Lok *et al.*, 2013).

## 2.6. Trabajos de investigación sobre Manejo Holístico

Muchos rancheros de todo el mundo han utilizado el MH en pastizales degradados que reciben menos de 10 a 80 pulgadas de lluvia anual para restaurar los servicios de los ecosistemas y productividad (R. Teague, 2014). Diversos autores (Savory y Parsons, 1980; Teague *et al.*, 2004; Drewry, 2006; Teague *et al.*, 2008, 2011, 2013; Taboada y Micucci, 2009; Teague, 2014; Hillenbrand *et al.*, 2019) afirman que el MH contribuye a recuperar y conservar las tierras de pastoreo.

Por otro lado, existen publicaciones que cuestionan los beneficios del MH propuesto por Allan Savory; Briske *et al.* (2008) en una revisión de investigaciones hechas sobre sistemas de pastoreo documenta que datos experimentales han indicado sistemáticamente que el pastoreo rotacional no es superior al pastoreo continuo en los pastizales. Posteriormente en Briske *et al.*, (2013) en su publicación *The Savory Method Can Not Green Deserts or Reverse Climate Change*, afirma que se carece de evidencia científica que compruebe los beneficios ambientales del MH. Al respecto Teague (2014) asevera que la base de conocimientos que Briske *et al.* (2013) utiliza proviene de una comprensión muy deficiente del Manejo Holístico y de experimentos de pastoreo mal ejecutados.

En 2009 Allan Savory fundó el Savory Institute que, entre otras acciones para la difusión de su metodología, ha desarrollado manuales de capacitación en materia de MH para productores de todo el Mundo (Bosque Sustentable, 2016a). En México, Grupo Ecológico Sierra Gorda I.A.P. con el apoyo de la Coordinación Nacional Ganadera de la SAGARPA, colabora como centro de enseñanza de MH, capacitando a productores y profesionales de la ganadería a partir de la metodología descrita por el instituto Savory (Bosque Sustentable, 2016b). Extensionistas de la Secretaría de Agricultura del Estado de Querétaro (SEDEA) han sido capacitados bajo este sistema y han comenzado a implementar la metodología en ejidos de municipios como Colón (Dobler, 2019; Mendoza, 2019).

En México ya existen precedentes de investigaciones para evaluar los efectos del MH en suelo y vegetación; el rancho el Coloradito en Zacatecas, con un manejo holístico mostro una mejor estructura y funcionamiento del pastizal ya que su estabilidad del suelo, la integridad biótica y su funcionalidad hidrológica fue mayor

que en el rancho la guadalupana con un manejo tradicional (Santos, 2011). Gomis (2016) evaluó, en Baja California Sur respuestas tempranas de un hábitat con diseño de MH comparándolo con una zona de pastoreo continuo y un sitio de exclusión, encontrando un incremento en el pH del suelo en el manejo holístico, mientras que en los otros dos tipos de manejo evaluados se mantuvo constante. Gomis también documenta en sus estudios que la concentración de nitrógeno en nitritos se mantuvo estable en el MH durante la temporada de crecimiento, mientras que en los otros dos tipos de manejo disminuyó.

Otro estudio realizado en Tamaulipas enfocado al estudio de la diversidad vegetal realizado por Molina-Guerra *et al.* en 2013 concluye que el sistema de pastoreo del MH tuvo mayor número de especies que el sistema de pastoreo continuo; sin embargo, la especie más abundante era una especie introducida.

Las investigaciones anteriormente mencionadas acerca del MH han enfocado sus evaluaciones de suelo en indicadores fisicoquímicos, como indicadores biológicos se han usado el estado de la vegetación además de la actividad de hongos y bacterias, dejando un hueco de información en el uso de micro y macrofauna edáfica como indicadores de calidad del suelo.

## 2.7. Determinación de calidad de suelo

La calidad del suelo, de acuerdo con el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America, se define como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire, del agua y sostener tanto la salud humana como el hábitat (Karlen *et al.*, 1997).

La degradación de los suelos impide que se proporcionen bienes y servicios del sector agrícola y pecuario que pueda satisfacer la demanda de la población (Estrada-Herrera *et al.*, 2017), rompiendo el equilibrio dinámico que en estado natural el suelo mantiene con el medio ambiente, la biosfera y que le permite estar lleno de macro y microfauna (Espinosa *et al.*, 2011). La actividad biótica de la macro y microfauna altera las propiedades del suelo, propiedades que soportan una forma de vida específica, por lo que cambios adversos en su composición como la

deforestación, el establecimiento de sistemas agropecuarios inapropiados, así como el impacto que causan las políticas públicas en el medio ambiente conducen a reducir su calidad (Espinosa *et al.*, 2011).

Un criterio que ayuda a determinar el grado de degradación del suelo es la valoración de su calidad por medio de indicadores (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997). Los Indicadores de Calidad del Suelo (ICS) son herramientas de medición que ofrecen información sobre las propiedades, procesos y características del suelo (Bremer y Ellert, 2004). Estos ICS son atributos medibles que revelan la respuesta de la productividad o funcionalidad del suelo al ambiente, e indican si la calidad del suelo mejora, permanece constante o decrece (Ghaemi *et al.*, 2014). No hay ICS que sean adecuados para todos los propósitos y contextos (Cantú *et al.*, 2007), pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo o procesos que ocurren en él (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; NRCS, 1996; Seybold *et al.*, 1997). Una opción es usar pocos indicadores, pero representativos (Govaerts *et al.*, 2006).

En la evaluación de suelos se utilizan generalmente indicadores químicos como: capacidad amortiguadora del suelo, disponibilidad de nutrimentos para las plantas y microorganismos, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y lábil, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total y mineralizado, capacidad de adsorción de fosfatos y disponibilidad de micronutrientes (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; NRCS, 1996; Bautista-Cruz *et al.*, 2004, 2011).

El contenido de carbono orgánico del suelo (COS) resulta una medición importante, particularmente cuando se trata de evaluar la capacidad de un suelo para secuestrar carbono y así comprobar si un área determinada está contribuyendo a mitigar el cambio climático (Martínez *et al.*, 2008). El carbono orgánico del suelo (COS) afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su calidad (Carter, 2002; Wander *et al.*, 2002), sustentabilidad (Carter, 2002; Acevedo y Martínez, 2003) y capacidad productiva (Bauer y Black, 1994; Sanchez *et al.*, 2004) por lo que con un manejo sustentable el COS debe mantenerse o aumentarse (Martínez *et al.*, 2008).

### 2.7.1. Uso de Bioindicadores

Los organismos que habitan el suelo son los principales responsables de la mineralización del carbono y el nitrógeno, de la supresión o inducción de plagas, del secuestro de carbono, de la reparación biológica de los suelos degradados y contaminados y en última instancia de la productividad agrícola (Wardle, 1999; Van Der Heijden *et al.*, 2008).

Las poblaciones de organismos del suelo responden distinto con diferentes tipos de manejo, por lo que pueden utilizarse como indicadores del efecto que las prácticas empleadas tienen sobre el agroecosistema (Bandick y Dick, 1999). Entre los organismos considerados de importancia para el suelo, la mesofauna del suelo (artrópodos, nematodos y tardígrados) presenta una serie de ventajas respecto a la microflora (bacterias, hongos y algas) y a la microfauna (protozoos) como bioindicadores (Zalidis *et al.*, 2004), ya que se encuentra uno o dos niveles arriba en la cadena alimenticia, por lo que integra las propiedades químicas, físicas y biológicas de los recursos alimenticios, y en segundo lugar su ciclo de vida (de días a años) es más largo que el de los microbios metabólicamente activos (de horas a días), por lo que sus poblaciones son más estables y no están sujetas a fluctuaciones temporales por liberaciones efímeras de nutrientes (Mulder *et al.*, 2005). Nematodos (Bongers, 1999), colémbolos (Frampton, 1997) y ácaros (Ruf, 1998) son los tres grandes grupos de la mesofauna que han sido considerados como indicadores biológicos. De estos tres, los nematodos han sido considerados bioindicadores con más frecuencia debido a un mayor conocimiento de su taxonomía e historia natural y a que juegan un papel muy importante en procesos ecológicos esenciales del suelo (Bongers, 1999; Yeates y Bongers, 1999; Ferris *et al.*, 2001; Yeates, 2003; Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).

### 2.7.2. Nematodos bioindicadores

Los nematodos edáficos constituyen un grupo de invertebrados de elevada importancia ecológica y económica que presentan atributos que les convierte en valiosas herramientas como indicadores biológicos y ecológicos, ya que presentan

una distribución diferencial en los suelos según su grado de conservación, siendo especialmente sensibles a las prácticas de manejo agrícola y a los contaminantes ambientales (Bongers, 1999; Ferris *et al.*, 2001; Yeates, 2003; Sánchez-Moreno y Talavera, 2013). Los nematodos son invertebrados pseudocelomados, de pequeño tamaño (típicamente de menos de 1 mm de largo), que habitan en todos los ecosistemas terrestres y que presentan generalmente abundancias de varios millones de individuos por  $m^2$  (Yeates y Bongers, 1999). Los nematodos edáficos viven en la película de agua que rodea las partículas del suelo, y presentan una cutícula semipermeable que les hace estar en contacto directo con cualquier contaminante (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013). Son además extraordinariamente diversos y ocupan diferentes eslabones funcionales dentro de la red trófica edáfica (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013). Los nematodos edáficos pueden clasificarse fundamentalmente en cuatro grandes grupos tróficos. I) Micróvoros, que se alimentan de bacterias (bacterívoros) y hongos (fungívoros), regulan las poblaciones microbianas y participan activamente en el mantenimiento del ciclo de nutrientes y en la mineralización del N; II) Herbívoros, que se alimentan de las raíces de las plantas (aunque algunas especies parasitan tallos y hojas), y pueden provocar daños importantes en las cosechas (como por ejemplo los nematodos formadores de quistes de los géneros Globodera y Heterodera, o los nematodos formadores de agallas en las raíces del género Meloidogyne); III y IV) Omnívoros y predadores, que se alimentan de otros organismos edáficos (incluidos otros nematodos) y pueden ser importantes en la supresión de especies plaga o invasoras (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013). Pueden presentar estiletes o dientes para la sujeción de presas, y son en general más sensibles a las perturbaciones ambientales, por lo que tiene una relevancia especial como indicadores de la salud del suelo (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013). Aunque estos son los grupos tróficos fundamentales, también pueden encontrarse en el suelo nematodos parásitos de insectos, muy sensibles al manejo agrario (Campos-Herrera *et al.*, 2008). Las características fundamentales que hacen de estos organismos excelentes bioindicadores son:

1. Presentan especies que pueden ser incluidas en al menos cuatro grandes grupos tróficos, que, unido a la variabilidad de tipos de ciclos de vida dan lugar a numerosos grupos funcionales (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).
2. Al contrario que en otros grupos de la fauna del suelo, los grupos tróficos de nematodos son fácilmente identificables por estructuras morfológicas asociadas a sus hábitos alimenticios (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).
3. Son relativamente pequeños y presentan ciclos vitales relativamente cortos lo que les permite responder rápidamente a cambios en el ambiente, a la vez que las fluctuaciones en sus poblaciones no son tan rápidas como las de otros microorganismos del suelo (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).
4. Son ubicuos, aparecen incluso en áreas contaminadas y se encuentran distribuidos a lo largo de todo el perfil del suelo. Estas características no son frecuentes en el resto de los organismos edáficos, que suelen estar especializados desde el punto de vista trófico y localizados en los horizontes edáficos antrópicos (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).
5. Debido a su abundancia y tamaño es posible extraerlos del suelo y estimar sus densidades con relativa facilidad en comparación con otros organismos edáficos (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).
6. Poseen una cutícula permeable que les hace estar en contacto directo con los contaminantes (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).
7. Algunos nematodos presentan estados de resistencia o quiescencia que les permiten sobrevivir inactivos cuando las condiciones de crecimiento o desarrollo no son favorables, mientras que otros son extremadamente sensibles a los cambios ambientales (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).

### 3. Justificación

El suelo constituye la base funcional de todos los ecosistemas terrestres y es el soporte físico de todas las actividades humanas de desarrollo económico (Guerra, 2009). Por lo tanto, de su calidad dependerá en gran medida la producción y sostenibilidad agrícolas, las condiciones ambientales, así como la salud vegetal, animal y humana (FAO, 2015).

Fenómenos como la desertificación ponen en riesgo la capacidad productiva del suelo y todos sus servicios ambientales, evidenciando la incompatibilidad de la capacidad de carga de los ecosistemas naturales con las prácticas de gestión de recursos y generación de desechos de muchas de las actividades humanas actuales.

Particularmente la actividad ganadera ha sido considerada como la actividad humana con mayor repercusión en los ecosistemas terrestres (Gomis, 2016). A través de los tiempos, ha generado una serie de efectos ambientales nocivos para el suelo, acelerando los procesos de desertificación, afectando el ciclo de agua, el ciclo de nutrientes y la biodiversidad (Mora *et al.*, 2017). Sin embargo, es al mismo tiempo la forma predominante y más económica de alimentación de los bovinos en nuestro país. Por lo que enfocar las estrategias de conservación de suelos en la actividad agropecuaria es prioridad para conservar la calidad de este y conseguir la seguridad alimentaria. Para ello será necesario observar, estudiar y preservar los mecanismos naturales de equilibrio probados por la selección natural (Lal *et al.*, 1980). En este sentido la estrategia de pastoreo que propone el Manejo Holístico encaja con este nuevo paradigma de sustentabilidad ecológica.

En años recientes, se ha introducido el Manejo Holístico en varias regiones ganaderas de México, como una nueva alternativa de innovación tecnológica, que se caracteriza por ser un sistema rotativo que usa períodos de pastoreo cortos e intensos combinados con largos períodos de descanso. Considerando el creciente interés sobre este sistema de pastoreo, resulta prioritario generar información científica y mantener un seguimiento permanente sobre este tipo de pastoreo. Existen pocos ejemplos documentados de pastoreo rotativo de bovinos en Querétaro y Colima, dado que la mayor parte de la experiencia se concentra en la

región Norte del País. La bibliografía internacional tiene numerosos ejemplos y conocidas revisiones como las de Briske *et al.* (2008) que encontraron poca evidencia de que el Manejo Holístico incrementa la producción con relación al pastoreo convencional. Por otra parte, Teague *et al.* (2008) señalaron que en general estos ensayos se han realizado en parcelas pequeñas con esquemas experimentales rígidos donde los animales se mueven generando un “efecto manada” para romper las costras en el suelo, junto con promover el reciclado de la orina y las heces. Los defensores de Manejo Holístico presentan evidencia empírica de su potencial para mejorar simultáneamente la productividad y proteger el medio ambiente (Savory y Butterfield, 1999). Sin embargo, el Manejo Holístico no se ha estudiado ampliamente desde una perspectiva científica y los resultados han sido contradictorios (Teague *et al.* 2008, Teague *et al.* 2011). Considerando estos antecedentes, esta investigación se propone comparar la calidad de suelos en sitios donde han implementado el pastoreo holístico en el Estado de Querétaro versus áreas donde se practica el pastoreo rotacional (con condiciones ambientales similares), a través de indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo.

## **4. Hipótesis**

La calidad del suelo se mejoraría significativamente respecto a las características físico- químicas y presencia de nemátodos en lugares donde han implementado el Manejo Holístico en el Estado de Querétaro versus áreas donde se practica el Pastoreo Continuo.

## 5. Objetivo

Comparar la calidad de suelos en sitios donde han implementado el Manejo Holístico en el Estado de Querétaro *versus* áreas donde se practica el pastoreo continuo (con condiciones ambientales similares), a través de indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo.

### 5.1. Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo de una Unidad de Producción en Querétaro y otra en Colima bajo sistemas de Manejo Holístico y pastoreo continuo respectivamente.
- Identificar las familias de nemátodos presentes en el suelo de una Unidad de Producción en Querétaro y otra en Colima bajo sistemas de Manejo Holístico y pastoreo continuo respectivamente para determinar el índice de madurez.

## 6. Materiales y métodos

### 6.1. Localización

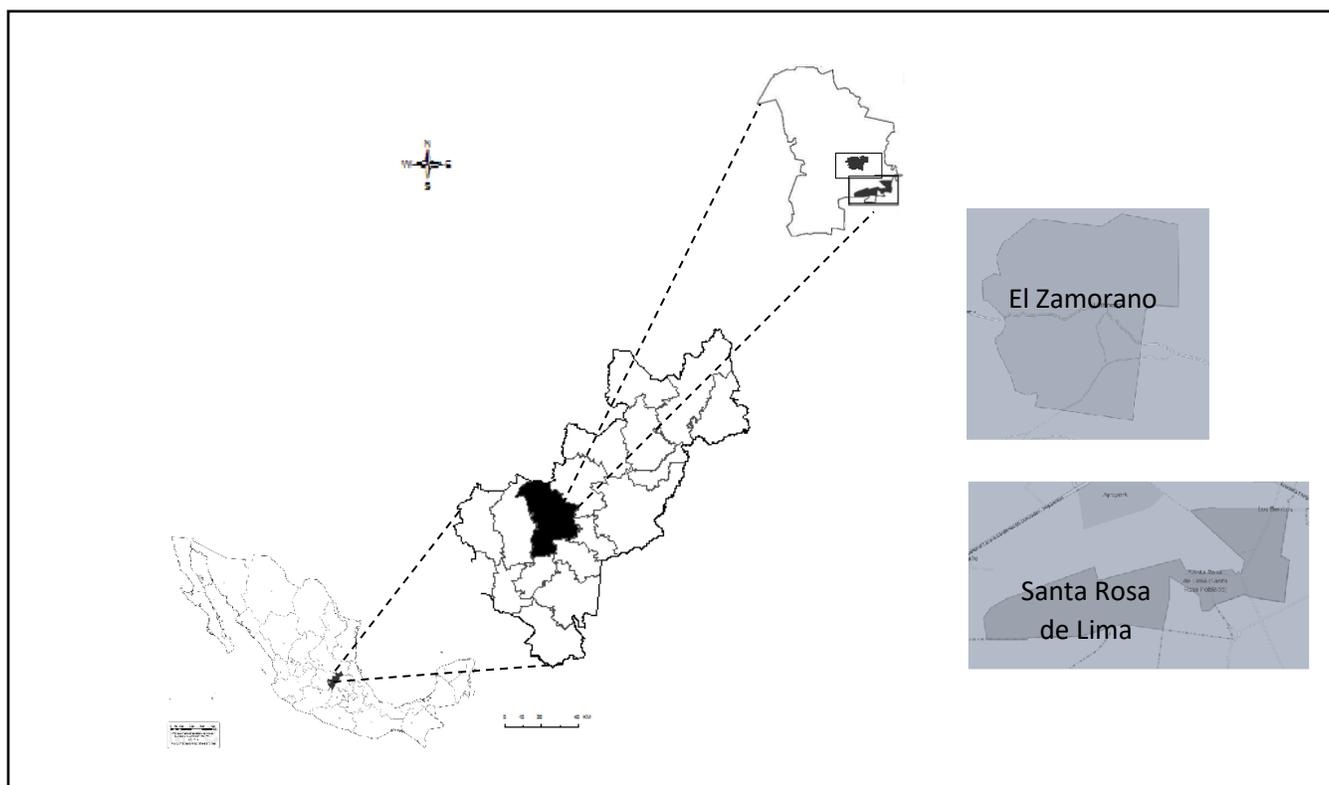
El estudio se llevó a cabo en 3 localidades; dos corresponden a los Ejidos El Zamorano y Santa Rosa de Lima, ambos en el Municipio de Colón, Querétaro; y la tercera es el Rancho “Pedro el Malo”, localizado en Comala, municipio del Estado de Colima (tabla 1).

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de las zonas de muestreo

Localidad	Latitud	Longitud
Santa Rosa de Lima	20°39'59”	100°00'17”
El Zamorano	20°48'11”	100°05'45”
Rancho “Pedro el Malo”	19°36'68”	103°72'06”

#### 6.1.1. Ejidos El Zamorano y Santa Rosa de Lima

Las dos localidades se encuentran en el municipio de Colón en las coordenadas indicadas en la tabla 1. El municipio de Colón se ubica en el oeste del Estado de Querétaro (ilustración 1), a una altitud promedio de 2000.0 msnm.



**Ilustración 1.** Mapa de localización de El Zamorano y Santa Rosa

El clima predominante en la región, de acuerdo con el H. Ayuntamiento de Colón (2017), es templado, semiseco, con una temperatura media anual de 17.4 °C, en los últimos días de mayo y primeros de junio sube a 33 °C, en cambio el mes de diciembre presenta temperaturas de 1.8 °C. A finales de diciembre y el mes de enero el termómetro baja a cero grados. El período de precipitaciones pluviales se presenta en verano con un promedio de 574.1 milímetros anuales.

El sustrato geológico que predomina está formado por rocas ígneas extrusivas ácidas como riolitas y basaltos, en la región predominan los suelos tipo litosol (Ayuntamiento de Colón, 2017).

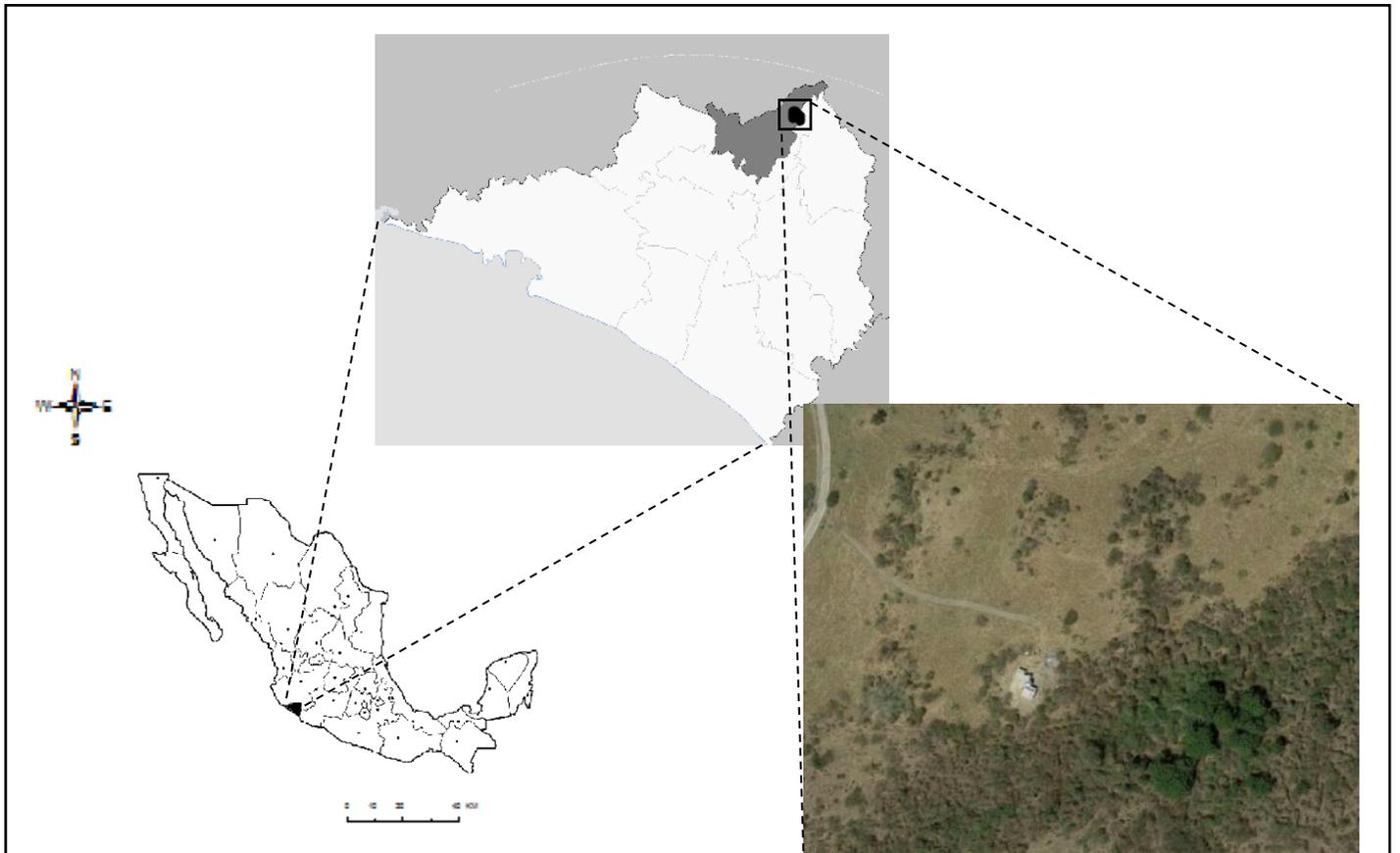
El tipo de vegetación predominante en ambas localidades, de acuerdo con INEGI (2009), es el matorral crasicaule, este tipo de vegetación tiene una fisonomía en la que predominan los arbustos de baja estatura, con baja densidad, es decir abierta, debido a que las condiciones de aridez limitan la producción de biomasa. Lo caracteriza la presencia especies sarcocaulales (tallos gruesos carnosos) y crasicaules (tallos suculentos-jugosos).

#### 6.1.2. Rancho “Pedro el Malo”, Comala, Colima.

El área de estudio denominada Rancho “Pedro el Malo” es una propiedad privada de producción ganadera, se encuentra ubicada en los límites territoriales de los municipios de Villa Álvarez y Comala, en el Estado de Colima (ilustración 2).

En la región existe un clima cálido subhúmedo. La temperatura media anual varía entre 23 °C en enero y 27 °C en junio. La precipitación pluvial media anual es de 1,163 milímetros, con régimen de lluvias que abarca los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre (SCT, 2012).

Es una región de lomerío suave a moderado, en particular el rancho se encuentra a 1400 metros sobre el nivel del mar. El suelo en el área es de tipo regosol y está formado a partir de brecha volcánica (INEGI, 2009b).



**Ilustración 2.** Mapa de localización de Rancho "Pedro el Malo"

Los usos de suelo presentes son ganadería (ganado bovino y caprino) agricultura (maíz, café, caña de azúcar, tamarindo, mango, naranja y tomate) bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, selva subcaducifolia y asentamientos humanos (SCT, 2012).

La superficie con vegetación natural está compuesta por selva baja con especies caducifolias, bosque con especies latifoliadas y asociaciones especiales de vegetación con materiales subinermes: nogal, cobano, parota, higuera, rosamorada, primavera, tepemezquite, huizache, guasima, ciprés, fresno, pino; en frutales, el mango, ciruelo, guamuchil, nance, chico zapote y mamey (SCT, 2012).

El área donde se realiza la investigación está cubierta principalmente por pasto estrella (*Cynodon* sp.).

## 6.2. Diseño experimental

Se diseñó un estudio observacional longitudinal; se eligieron en cada uno de los 3 sitios de muestreo (El Zamorano, Santa Rosa y Rancho “Pedro el Malo”) 3 zonas que fueron categorizadas como M1, M2 y M3:

- M1 corresponde al sitio de exclusión de pastoreo
- M2 corresponde al sitio con pastoreo continuo
- M3 son los sitios donde se implementa el Manejo Holístico

En los sitios se realizaron 3 muestreos entre los meses de septiembre de 2018 y junio de 2019, con la intención de abarcar tanto la temporada de lluvias como la de secas. Se tomaron 3 muestras compuestas (a partir de 5 submuestras) por cada categoría de los sitios de muestreo. El muestreo se realizaron por el método de Zigzag como se describe en la NOM-021-SEMARNAT (2002), las muestras se tomaron del horizonte superficial descartando hojarasca y vegetación, a 30 cm de profundidad para evaluar las propiedades fisicoquímicas y a 20 cm para revisar la comunidad de nematodos edáficos.

## 6.3. Tratamiento de las muestras

Una vez obtenidas las muestras se embolsaron y etiquetaron con los datos del lugar, fecha, numero de muestra y tipo de análisis; fisicoquímico o nematodos.

Las muestras destinadas al análisis fisicoquímico se secaron a la sombra, se etiquetaron y envasaron para su posterior análisis en el laboratorio de edafología de la UBIPRO en la FES-Iztacala.

Las muestras para el estudio de la comunidad de nematodos se transportaron en fresco al laboratorio 3 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria, FES-Cuautitlán, donde se trabajó la extracción de nematodos.

#### 6.4. Análisis Físicoquímico

En el laboratorio de edafología de la UBIPRO en la FES-Iztacala se llevaron a cabo las pruebas químicas y físicas; el pH se determinó mediante el uso del potenciómetro en proporción de 2:1 con agua destilada; la prueba de intercambio catiónico se realizó por el método de Schollemberg y Simon (1945); el contenido de materia orgánica se evaluó mediante el método colorimétrico propuesto por Walkley y Black (1947).

Los indicadores físicos influyen sobre diversos fenómenos como: el transporte de agua, nutrientes y aire, así como en la estimulación de procesos realizados por los microorganismos e invertebrados del suelo. Adicionalmente regula la emersión de las plántulas, la penetración de las raíces e influye en los procesos de erosión (Abisaan, 2012). Para el análisis de los componentes físicos del suelo se llevaron a cabo las siguientes pruebas:

- Textura con el método del hidrómetro de Bouyoucos (1962).
- Densidad aparente empleando el método de Beaver (1963).
- Densidad real con el método de Aguilera y Domínguez (1982).
- Humedad: Método de Ortiz y Ortiz (1980).
- Porosidad: Método de Aguilera y Domínguez (1982).

#### 6.5. Indicadores Biológicos

En los pastizales la biota desempeña un importante papel en los diferentes pasos de la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de los nutrientes (Cabrera y Crespo, 2001). A estos organismos se les confiere gran importancia debido a su participación en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica así como en el mejoramiento de su estructura (Cabrera y Crespo, 2001). Los cambios temporales en las propiedades biológicas del suelo constituyen indicadores de su funcionamiento y del manejo a que es sometido (García y Ramírez, 2012).

### 6.5.1. Nematodos

Varios estudios indican que la abundancia y composición de los nematodos del suelo son una medida indirecta de la comunidad microbiana del suelo y pueden proveer información adicional de los procesos (Freckman y Caswell, 1985; Ingham, 1994; Gupta y Yeates, 1997; Machado, 2009). Los nematodos son muy sensibles a las prácticas de manejo del suelo (Yeates, 2003), pues actúan como consumidores de microbiota (bacterias, hongos) y como saprófitos, principalmente, mediando la descomposición y liberación de nutrientes a las plantas (Freckman y Caswell, 1985).

Para la extracción de nematodos se empleó la técnica del tamiz (Cares y Huang, 2012) a partir de 100 gr de suelo, una vez extraídos la suspensión resultante se ajusta a un volumen de 15 ml y se cuenta el total de nematodos en la población mediante la toma al azar, de alícuotas de 1 ml; el número total se obtiene de multiplicar la media de tres conteos de manera que el número total representará el número medio de 3 conteos de submuestras x 15.

Los organismos recuperados fueron identificados utilizando un microscopio compuesto hasta una magnificación de 100X.

#### 6.5.1.1. Índices

Los índices empleados en el estudio de las comunidades de nematodos, con sus variaciones, pueden diferenciar la condición ecológica del suelo en una escala regional mejor de lo que lo hacen géneros en particular. Se ha determinado que la utilidad de las comunidades de nematodos como bioindicadores de la condición del ecosistema mejora si se utiliza una serie de índices que se complementen entre sí (Neher, 2001).

##### 6.5.1.1.1. Índice de Madurez

El índice de madurez es el valor ponderado de la distribución de frecuencias de los valores CP (colonizador-persistente) en una muestra dada (Bongers, 1990). El valor de colonizador-persistencia varía de un colonizador (CP = 1) a un persistente (CP = 5) con los valores del índice que representan las características del historial de vida. Los colonizadores se consideran oportunistas de ambientes enriquecidos y los persistentes son indicadores de sistemas no perturbados. Aquellos con un CP = 1

presentan tiempos de generación cortos, grandes fluctuaciones de población y alta fecundidad. Aquellos con un CP = 5 producen pocos descendientes y generalmente aparecen más tarde en sucesión (Bongers, 1990).

#### 6.6. Análisis Estadístico

Para determinar diferencias estadísticas entre los indicadores fisicoquímicos en las diferentes zonas de muestreo, los datos se analizaron mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial mediante el programa SAS. Para el análisis estadístico de los indicadores biológicos se realizó una prueba de ANOVA de un solo factor y prueba de Tukey con el programa MINITAB con un nivel de confianza del 95%.

## 7. Resultados

Se realizó un muestreo piloto en el mes de septiembre de 2018 en el Rancho “Pedro el Malo”, con la finalidad de estandarizar los métodos de extracción e identificación de nematodos, así como las técnicas de análisis fisicoquímico. Posteriormente se tomaron muestras de las tres áreas de estudio (Rancho “Pedro el Malo”, Ejido Santa Rosa y Ejido el Zamorano) en el mes de diciembre de 2018, con la intención de abarcar la temporada de “secas” y un muestreo posterior que pretendía abarcar la temporada de lluvias en julio de 2019. Sin embargo, un fenómeno de sequía se registró en el país, afectando a los Estados de Querétaro y Colima desde el segundo semestre del 2018. De acuerdo con datos del Monitor de Sequía en México (MSM) generados en el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN), el Estado de Querétaro para julio de 2019 presentaba 100% de área con algún tipo de afectación por la sequía y tanto el municipio de Colón como el municipio de Comala estuvieron afectados por alguna intensidad o condición de sequía, durante la temporada de muestreo (tabla 2).

**Tabla 2.** *Intensidad de sequía en los municipios del área de estudio*

Municipio/fecha de reporte del MSM	15/09/2018	15/01/2019	15/03/2019	15/07/2019
Colón	D0	D0	D0	D1
Comala	D0		D1	D1

D0= Anormalmente seco, D1= Sequía moderada

### 7.1. Análisis fisicoquímico

El análisis fisicoquímico de suelo se realizó únicamente en las áreas de estudio localizadas en Querétaro (Ejidos Santa Rosa y El Zamorano). En la tabla 3 se presentan las medias para cada parámetro físico medido. De acuerdo con estos resultados, se observa una tendencia a que el contenido medio de las fracciones granulométricas fuera muy similar y puede apreciarse que a pesar de existir alguna variabilidad, especialmente en las fracciones de arcilla, el suelo presenta siempre una clase textural “franca”, por lo que se puede decir que el comportamiento

mecánico del suelo en toda el área de estudio es prácticamente el mismo en su respuesta a las labores que sobre él se realizan, tanto para los tratamientos con exclusión de pastoreo, como para los tratamientos que incluyen algún sistema de pastoreo, al menos en el corto plazo (7 meses).

De acuerdo con los datos registrados, en general, los valores de densidad real oscilaron de muy bajos a medios, mostrándose el valor más bajo en el M3 de Santa Rosa en julio de 2019 y el valor más alto en el M1 de El Zamorano de diciembre de 2018. La densidad aparente más baja se obtuvo en el M1 de Santa Rosa en diciembre de 2018, mientras que el más alto en el M1 de El Zamorano de Julio de 2019.

La porosidad de las dos áreas de muestreo oscilo entre 36.31% y 53.07%, mostrándose el valor más bajo de este parámetro en el M1 de Santa Rosa de diciembre de 2018 y el valor más alto en el M2 de El Zamorano de julio de 2019. En general se observa que los valores de porosidad tuvieron un aumento estadísticamente significativo con respecto al tiempo, para todos los puntos de muestreo.

Los valores de densidad aparente en todas las muestras fueron menores de 1,60 g/cm<sup>3</sup> los cuales para suelos francos se consideran adecuados para agricultura, es decir, no se catalogan compactados (Roncallo *et al*, 2012). Las porosidades mayores de 38%, se ubican también en el rango de la normalidad. Respecto a la humedad, es una característica expresada en porcentaje que refleja la cantidad de agua presente en el mismo, la cual está determinada por: la textura, estructura, porosidad, profundidad, contenido de materia orgánica y actividad biológica. La cantidad máxima de agua que podrá retener el suelo dependerá de la materia orgánica y del tipo y cantidad de arcilla que presente. Este valor presenta valores cercanos o menores a 10% para suelos arenosos y valores de hasta 150% para suelos muy arcillosos o con altos porcentajes de materia orgánica (Castellanos *et al.*, 2000). En el caso de los suelos del área de estudio el porcentaje de humedad osciló entre el 36% y el 71%. La humedad a capacidad de campo mostró una tendencia a aumentar de diciembre 2018 a julio 2019 en el caso del M3 de Santa Rosa (de 62.12% a 71.56%), mientras que en el M1 tendió a la baja (de 54.16% a

49.17). En el caso de El Zamorano los puntos de muestreo mostraron poca variación en el porcentaje de humedad a capacidad de campo con respecto al tiempo.

Con referencia a las variables químicas evaluadas (pH, porcentaje de materia orgánica y CICT) se mostraron tanto aumentos como disminuciones en los valores, entre puntos y temporadas de muestreo, así como entre tipos de manejo. En el caso del pH de Santa Rosa, éste se mantuvo cercano a la neutralidad en todos los puntos de muestreo. En El Zamorano se muestran de neutros a ligeramente ácidos en las zonas M2 y M3, mientras que en el M1 se obtuvieron valores ácidos de entre 4.83 y 5.77.

Se observaron diferencias en el valor de materia orgánica entre temporadas de muestreo en Santa Rosa con los tipos de manejo M1 y M3 donde la tendencia fue a la baja para M1 y al alza para M3. En cuanto a la CICT los resultados arrojan que, tanto en Santa Rosa como en El Zamorano y en los tres tipos de manejo, hay un aumento de valor a través del tiempo. En el caso de Santa Rosa se muestran valores más altos en las zonas donde se realiza pastoreo que donde éste ha sido excluido.

En la Tabla 4 se encuentran las medias de las variables físicas y químicas de cada punto y fecha de muestreo, así como el análisis de las diferencias estadísticas por medio de la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95%.

		muestra	Densidad				Textura				%Humedad a capacidad de campo	
			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad		%arenas	% arcillas	%limos	Clase textural		
SR	dic-18	M1	0.80	2.20	baja	36.31	baja	50.67	30.00	19.33	franco arcilloso	54.16
		M2	0.88	2.04	baja	42.90	media	53.33	23.33	23.33	franco	64.44
		M3	0.93	2.32	baja	40.28	media	52.00	29.33	18.67	franco	62.12
	jul-19	M1	0.99	2.34	baja	42.41	media	48.67	30.67	20.67	franco arcilloso	49.17
		M2	0.82	2.06	baja	39.88	media	60.00	20.67	19.33	franco	68.06
		M3	0.88	1.97	muy baja	44.33	media	52.00	29.33	18.67	franco arcilloso	71.56
EZ	dic-18	M1	1.18	2.72	media	44.22	media	82.00	6.67	11.33	areno franco	36.50
		M2	1.20	2.57	media	46.62	media	68.67	14.67	16.67	franco areno	45.02
		M3	1.24	2.69	media	46.25	media	82.00	8.67	9.33	franco areno	36.86
	jul-19	M1	1.35	2.69	media	50.41	media	74.67	14.00	11.33	franco areno	43.15
		M2	1.30	2.45	baja	53.07	media	64.67	17.33	18.00	franco areno	44.95
		M3	1.34	2.53	baja	52.86	media	84.00	6.67	9.33	areno franco	36.73

**Tabla 3.** Valores promedio de las propiedades físicas para los tres sistemas de manejo y localidades estudiadas. M1 = zona de exclusión de pastoreo; M2 = pastoreo continuo; M3 = pastoreo holístico. SR = Santa Rosa; EZ = El Zamorano.

El estadístico de prueba arrojó que las variables de densidad real y materia orgánica tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre temporadas de muestreo en los puntos donde se implementó el sistema de pastoreo holístico (tabla 3). También se observaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de porosidad para todos los puntos y temporadas de muestreo, así como para los tres tipos de manejo.

En lo que respecta al pH del suelo los cambios observados mostraron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (tabla 3).

**Tabla 4.** Media de las variables evaluadas para cada área de estudio y/o sistema de pastoreo. CICT = capacidad de intercambio catiónico total; MO = materia orgánica. M1 = zona de exclusión de pastoreo; M2 = pastoreo continuo; M3 = pastoreo holístico. SR = Santa Rosa; EZ = El Zamorano. Letras iguales no hay diferencias significativas entre zonas, fechas y/o sistemas de pastoreo para cada variable.

Textura	franco-arcillosa	franco	franco	franco-arcillosa	franco	franco	areno-francosa	franco-arenosa	areno-francosa	franco-arenosa	franco-arenosa	areno-francosa
Densidad												
Aparente	0.80000 c	0.87667 c	0.93333 c	0.99667 bc	0.80000 c	0.880000 c	1.18333 ba	1.20000 ba	1.24333 a	1.35000 a	1.30000 a	1.34000 a
Densidad Real	2.2000 bac	2.0400 bc	2.3133 bac	2.3467 bac	2.0600 bc	1.9733 c	2.7167 a	2.5733 ba	2.6933 a	2.6867 a	2.4533 bac	2.5333 bac
Porosidad	36.313 d	42.903 bdc	40.280 dc	42.407 bdc	39.877 dc	44.337 bdac	44.220 bdac	46.627 bac	46.247 bac	50.407 ba	53.070 a	52.867 a
Humedad	54.160 ebdac	64.447 ba	62.120 bdac	49.167 ebdc	68.060 ba	71.557 a	36.507 e	45.017 edc	36.867 e	43.147 ed	44.957 edc	36.733 e
pH	6.2600 bc	7.5233 a	6.3300 bc	6.6000 b	7.6333 a	6.9033 ba	4.8733 d	6.9067 ba	6.4433 bc	5.7767 c	6.6767 b	6.3067 bc
CICT	29.410 b	43.993 a	47.733 a	33.180 b	46.990 a	48.217 a	10.527 d	13.663 dc	9.477 d	14.043 dc	16.353 c	10.980 d
MO	16.180 ba	16.233 ba	15.917 ba	15.950 ba	21.543 ba	26.730 a	15.620 b	15.660 ba	15.630 b	15.590 b	16.217 ba	15.673 ba

Las observaciones hechas a los valores de CICT, respecto al aumento de valor con referencia al tiempo, no mostraron diferencias estadísticamente significativas en Santa Rosa, pero sí en los M1 y M2 de El Zamorano. Sin embargo, en Santa Rosa existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de CICT de las zonas donde se realiza algún tipo de pastoreo contra la zona donde el pastoreo está excluido, además de que se encontraron los valores más altos en el sitio donde se implementa el pastoreo holístico.

## Análisis biológico

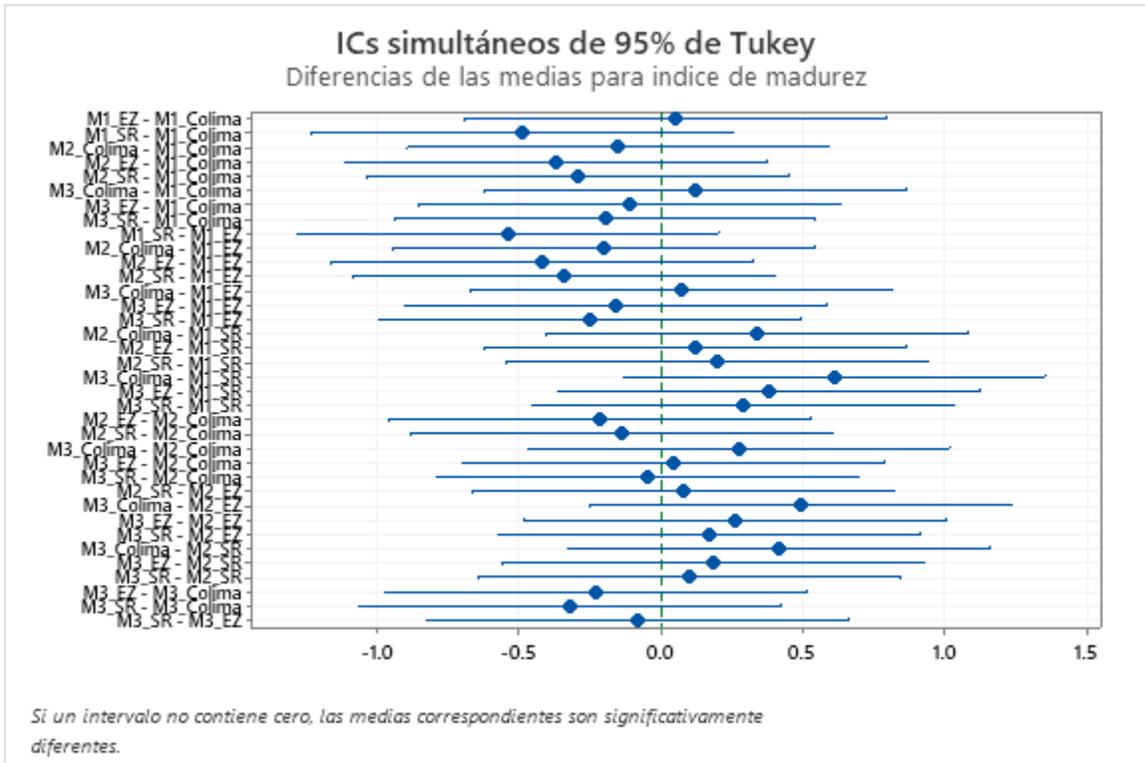
Durante el estudio se identificaron un total de 379 organismos, distribuidos en 17 familias de nematodos. El ejido de Santa Rosa fue el área de estudio que registró

la mayor diversidad de familias (ANEXO III). Las familias de nematodos más abundantes fueron Cephalobidae y Dorylaimidae.

La ilustración 4 y la tabla 5 muestran la información agrupada utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%. Se observa que en general los sistemas de manejo M1 y M3 mostraron puntajes más altos en el índice de madurez, sin embargo, el análisis estadístico arrojó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las áreas de estudio ni entre los sistemas de manejo de pastoreo.

<b>Área de estudio</b>	<b>Tipo de manejo</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
<b>Santa Rosa</b>	M1	2.5100	A
	M2	2.7053	A
	M3	2.8006	A
<b>El Zamorano</b>	M1	3.0500	A
	M2	2.6300	A
	M3	2.8870	A
<b>Rancho</b>	M1	3.0000	A
<b>Pedro Malo</b>	M2	2.8470	A
<b>Colima</b>	M3	3.1200	A

**Tabla 5.** Resultados de la aplicación de la prueba de Tukey para cada área de estudio y sistema de pastoreo. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. M1 = zona de exclusión de pastoreo; M2 = zona de pastoreo continuo; M3 = zona de pastoreo holístico.



**Ilustración 3.** Diferencias de las medias para el índice de madurez. M1 = zona de exclusión de pastoreo; M2 = zona de pastoreo continuo; M3 = zona de pastoreo holístico; SR = Ejido de Santa Rosa; EZ = Ejido El Zamorano.

## 8. Discusión

Durante el periodo de muestreo (Diciembre 2018 – Julio 2019) el suelo del área de estudio además de interactuar con los distintos tipos de pastoreo, estuvo expuesto a un evento de sequía (Servicio Meteorológico Nacional, 2020). La sequía es un fenómeno climático recurrente, caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial con respecto a la considerada como normal, que no presenta epicentro ni trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y del espacio, provocando que el agua disponible sea insuficiente para satisfacer las distintas necesidades humanas y de los ecosistemas (Ortega-Gaucin, 2014). Los efectos a largo plazo de la sequía prolongada en los ecosistemas son profundos y aceleran la degradación del suelo y la desertificación (Ki-moon, 2013).

Las condiciones de sequía impactan en el estado osmótico de las células microbianas e indirectamente afectan la disponibilidad de sustrato, la difusión de los gases, el pH del suelo y la temperatura (Schimel *et al.*, 2007; Hueso *et al.*, 2012a). Esto altera negativamente al crecimiento y funcionamiento de los ecosistemas, haciendo disminuir no sólo la subsistencia de los distintos microorganismos en el suelo (Luo y Zhou, 2006; Chen *et al.*, 2007; Manzoni *et al.*, 2012), sino también los procesos de degradación de los distintos sustratos orgánicos existentes (Chen *et al.*, 2007) que desemboca en una disminución en el desarrollo y crecimiento de las especies vegetales presentes en dichos suelos (Valverde *et al.*, 2015). Sin embargo, los ecosistemas suelen tener diferente respuesta al estrés por sequía frecuente, dependiendo de los mecanismos de resiliencia que están interviniendo. En el caso de las características del suelo relacionadas con la disponibilidad de agua, mostraron ser factor para la resiliencia de los ecosistemas forestales bajo escenarios de cambio climático (Lloret, 2012).

En formaciones de matorral y pastos, el deterioro producto de la sequía se expresa en una disminución, incluso desaparición, de especies herbáceas, en la fuerte mortandad de leñosas, en la expansión del xerofitismo, en la reducción de la producción primaria, en la modificación de la composición florística, etcétera (Bermúdez y Fuster, 2012). La reducción de la cubierta vegetal lleva correlativa la

activación de los procesos de erosión y la degradación de los suelos forestal y agrícola (Bermúdez y Fuster, 2012).

La cubierta vegetal ayuda a mejorar la infiltración, retiene mayor humedad, y por lo tanto, mejora la actividad microbiana que pone en disponibilidad los nutrientes que promueven el crecimiento de las plantas (Sanjari *et al.*, 2010; Teague *et al.*, 2011).

De acuerdo con Chavarría *et al.* (2016) la presencia de cubierta vegetal promueve la calidad biológica del suelo a través del aporte de materia orgánica, mejorando la sostenibilidad de los agroecosistemas.

En las muestras de suelo del Ejido de Santa Rosa en diciembre de 2018, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de materia orgánica entre los sitios donde se excluyó el pastoreo (M1) versus donde intervino algún tipo de pastoreo (M2 y M3). En las muestras del Ejido de Santa Rosa en julio de 2019, cuando el municipio de Colón pasó de anormalmente seco a sequía moderada, los valores de materia orgánica se mantuvieron sin diferencias estadísticamente significativas en los sitios M1 y M2, no así para el sitio M3 el cual, arrojó un incremento en los citados valores que fue estadísticamente significativo.

De acuerdo con varios autores (Arriaga, *et al.*, 2014; Gomis, 2016; Teague *et al.*, 2013; Teague *et al.*, 2011) la introducción del ganado estaría generando un aporte al suelo de materia orgánica de fracción lábil, que es la más degradable y, por lo tanto, la más susceptible de mineralizarse (Cook y Allan, 1992; Tejada *et al.*, 2014), actuando como una fuente de energía inmediata de fácil asimilación para los microorganismos. Esto explicaría que pese a encontrarse en condiciones de sequía las muestras de los sitios donde intervino el pastoreo (M2 y M3) mostraron una mayor concentración de materia orgánica que los sitios donde se le excluyó (M1).

El impacto del pastoreo del ganado vacuno sobre las propiedades físico-químicas del suelo es comúnmente analizado en trabajos de Manejo Holístico, debido a la importancia de la desintegración de la materia vegetal muerta y al aporte de nutrientes a partir de orina, saliva y excrementos de los animales (Arriaga *et al.*, 2014; Teague *et al.*, 2013; Teague *et al.*, 2011). Las excretas del ganado vacuno son ricas en carbono orgánico y compuestos nitrogenados, donde predomina el

nitrógeno en forma de amonio (Bernal *et al.*, 2008). La orina de la vaca está compuesta principalmente por desechos nitrogenados como amonio, urea, potasio y azufre y en menor proporción por calcio, magnesio, sodio y fosforo (Saunders *et al.*, 1982).

Teague *et al.* (2011) reportan ranchos con más de nueve años de Manejo Holístico, donde las concentraciones de materia orgánica son similares a un sitio de exclusión, 3.6% en ambos sitios, y mayores a sitios de manejo tradicional con baja y alta densidad animal (3.2% y 2.4%). Arriaga *et al.* (2014), reportan concentraciones de materia orgánica sin diferencias estadísticamente significativas entre un sitio de manejo extensivo y un sitio con diez años de exclusión de pastoreo.

En las muestras de suelo del Ejido El Zamorano se observaron respuestas similares a las encontradas en Santa Rosa; en diciembre 2018 no hay diferencias estadísticamente significativas entre los sitios con exclusión de pastoreo (M1) y los sitios con Manejo holístico (M3), en las muestras de julio se observan concentraciones mayores de materia orgánica en las muestras del sitio M3 con respecto del M1, pero en el caso de El Zamorano las muestras del sitio con pastoreo continuo (M2) tuvieron una concentración mayor de materia orgánica que el sitio de exclusión (M1), en los dos periodos de muestreo.

La acumulación de materia orgánica en zonas áridas es lenta debido a la interrupción de los ciclos de descomposición durante la época seca (Savory y Butterfield, 1999). La materia orgánica ayuda al suelo a retener la humedad y nutrientes esenciales (Sanjari *et al.*, 2010; Teague *et al.*, 2011), lo cual se dificulta en las zonas áridas debido a las bajas concentraciones de materia orgánica y por consecuencia los nutrientes tienden a lixiviarse (Savory y Butterfield, 1999).

De acuerdo con los datos obtenidos, en general, los parámetros medidos que mostraron diferencias estadísticamente significativas están relacionados con un aporte de materia orgánica al suelo; el estadístico de prueba arrojó que la densidad real mostró diferencias estadísticamente significativas entre temporadas de muestreo en los puntos donde se implementó el sistema de Manejo Holístico. La densidad real se considera una de las propiedades más estables del suelo y normalmente no se ve afectada por los tratamientos que se aplican en el mismo

(Ingaramo *et al.*, 2007). De acuerdo con Ingaramo (2007) si se efectuasen importantes y continuos aportes de materia orgánica podría disminuir la densidad real pero esta reducción no sería significativa. Las diferencias mostradas respecto al valor de densidad real entre temporadas de muestreo tanto en El Zamorano como en Santa Rosa muestran que en los sitios M3 (con Manejo Holístico) hay una disminución de la densidad real que es estadísticamente significativa para ambos casos.

En el presente estudio se observaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de porosidad para todos los puntos y temporadas de muestreo, así como para los tres tipos de manejo, pero en los sitios M1 y M3 el porcentaje de porosidad aumentó mientras que en el M2 de Santa Rosa se observó una disminución estadísticamente significativa.

Los cambios en los valores de porosidad observados en las muestras de suelo del área de estudio pueden atribuirse a la variación en la cubierta vegetal; la porosidad del suelo es mayor en las superficies de bosque y de pradera que en las superficies semidesnudas porque la cubierta vegetal permite potencialmente cumplir mejor la función de captar, almacenar y transportar agua hacia el interior del perfil de suelo (González-Barrios *et al.*, 2011).

Respecto a la evaluación de la calidad biológica del suelo, con el uso del índice de madurez se pudo observar que no hay diferencias estadísticamente significativas en el aspecto colonizador persistente de la taxocenosis de nematodos de los primeros 20 cm del suelo en sitios pastoreados o sin pastorear; el uso del índice de madurez de nematodos nos proporciona información acerca de la susceptibilidad que tienen los miembros de un grupo al cambio en los componentes del ecosistema, pero hay otros aspectos de la composición de la taxocenosis que proporciona este índice; puede ser buen indicador de perturbaciones que implican contaminación aunque menos sensible en otro tipo de alteraciones (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013); determinados taxones pueden comportarse como sensibles o resistentes a un cierto tipo de perturbación en función de condiciones específicas (Sánchez-Moreno *et al.*, 2006). Otros aspectos de la taxocenosis de nematodos, de acuerdo con Sánchez-Moreno y Talavera (2013), como las interrelaciones entre los

diferentes grupos tróficos de la nematofauna edáfica (fitófagos, saprófagos, onnívoros, depredadores, etc.) y las organizaciones tróficas y estados evolutivos de las comunidades están íntimamente relacionadas con el uso y las perturbaciones del medio, por lo que sería recomendable ampliar el estudio de la nematofauna en el área de estudio para enriquecer la información acerca de las aplicaciones de los nematodos como bioindicadores.

## **9. Conclusión**

Derivado de los resultados obtenidos se concluye que al comparar la calidad de los suelos en los sitios del área de estudio donde se ha implementado el Manejo Holístico con los sitios de exclusión y de pastoreo continuo, durante un evento de sequía, se observa un incremento en la concentración de materia orgánica estadísticamente significativo, así como cambios estadísticamente significativos en otros parámetros relacionados con el aporte de materia orgánica en el suelo, como fue el caso de la reducción en los valores de densidad real.

En el caso de los indicadores biológicos por medio del estudio de población de nematodos, aunque se observaron puntajes más altos en el índice de madurez en las zonas de exclusión de pastoreo y de zonas con implementación de Manejo Holístico, los cambios no son estadísticamente significativos para relacionarlos al tipo de manejo por lo que se recomienda continuar realizando investigaciones en este campo para obtener resultados más concluyentes.

La gestión del ganado por medio del Manejo Holístico ofrece una alternativa sustentable para enfrentar eventos de sequía en zonas áridas de acuerdo con los resultados obtenidos.

## 10. Bibliografía

- Abi-saan, R. (2012). *Evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico la Estancia, Madrid, Cundinamarca, 2012. Utilizando indicadores de Calidad de Suelos* (Pontificia Universidad Javeriana). Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8990/AbiSaabArriecheRosana2012.pdf?sequence=1>
- Acevedo, E., y Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. *Sustentabilidad En Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos*, 8(June), 13–25.
- Adhikari, K., y Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma*, 262, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- Arriaga, L., Maya, Y., Mercado, C., y Domínguez, R. (2014). Cattle impact on soil and vegetation of the seasonally dry tropical forest of Baja California sur. In E. V. Wehncke, J. R. Lara-lara, S. Álvarez-Borrego, y E. Azcurra (Eds.), *Conservation Science in México's Northwest* (pp. 435–452). La Paz, BCS: SEMARNAT.
- Asner, G. P., Elmore, A. J., Olander, L. P., Martin, R. E., y Harris, A. T. (2004). Grazing Systems, Ecosystem Responses, and Global Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 29(1), 261–299. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.29.062403.102142>
- Ayuntamiento de Colón, 2015-2018. (2017). *Ordenamiento Ecológico Local Colón, Querétaro, 2017*. Querétaro: Secretaría de Desarrollo Sustentable.
- Bandick, A. K., y Dick, R. P. (1999). Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1471–1479. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00051-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00051-6)
- Bauer, A., y Black, A. L. (1994). Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal*, 58(1), 185–193. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010027x>
- Bautista-Cruz, A., Etchevers, J., del Castillo, R. F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Ecosistemas*, 13, 90–97.
- Bautista-Cruz, Angélica, de León-González, F., Carrillo-González, R., y Robles, C. (2011). Identification of soil quality indicators for maguey Mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) plantations in southern Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 6(20), 4795–4799. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.203>
- Bermúdez, F. L., Fuster, M. S. (2012). Las sequías y su impacto en el riesgo de desertificación de la cuenca del Segura. Apuntes para la gestión y sustentabilidad del agua. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 17, 155–168.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., y Moral, R. (2008). *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>

- Bongers, T. (1990). The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83(1), 14–19. <https://doi.org/10.1007/BF00324627>
- Bongers, T. (1999). The maturity index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil*, 212(1), 13–22. <https://doi.org/10.1023/A:1004571900425>
- Bosque Sustentable, A. C. (2016a). Aliado del Savory Institute - Bosque y Suelo. Retrieved October 29, 2019, from <http://bosqueysuelo.com/aliado-savory-institute/>
- Bosque Sustentable, A. C. (2016b). *Los-diez-principios-del-Manejo-Holístico.pdf* (p. 2). p. 2. Retrieved from <http://bosqueysuelo.com/wp-content/uploads/2016/07/Los-diez-principios-del-Manejo-Holístico.pdf>
- Bremer, E., y Ellert, K. (2004). *Soil Quality Indicators: a Review with Implications for Agricultural Ecosystems in Alberta*. Retrieved from [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/aesa8681/\\$file/sqi\\_review\\_final.pdf](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/aesa8681/$file/sqi_review_final.pdf)
- Briske, D. D., Derner, J. D., Brown, J. R., Fuhlendorf, S. D., Teague, W. R., Havstad, K. M., ... Willms, W. D. (2008). Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology and Management*, 61(1), 3–17. <https://doi.org/10.2111/06-159R.1>
- Briske, David D., Bestelmeyer, B. T., Brown, J. R., Fuhlendorf, S. D., y Polley, H. W. (2013). The Savory method can not green deserts or reverse climate change: A response to the Allan Savory TED video. *Rangelands*, 35(5), 72–74. <https://doi.org/10.2111/RANGELANDS-D-13-00044.1>
- Cabrera, G., y Crespo, G. (2001). Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(1), 3–9.
- Campos-Herrera, R., Gómez-Ros, J. M., Escuer, M., Cuadra, L., Barrios, L., y Gutiérrez, C. (2008). Diversity, occurrence, and life characteristics of natural entomopathogenic nematode populations from La Rioja (Northern Spain) under different agricultural management and their relationships with soil factors. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(6), 1474–1484. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.01.002>
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., y Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia Del Suelo*, 25(2), 173–178.
- Cares, J., y Huang, S. (2012). Nematodos del suelo. In F. Moreira, E. Huising, & D. Bignell (Eds.), *Manual de biología de suelos tropicales* (p. 360). Instituto Nacional de Ecología.
- Carter, M. (2002). Soil quality for sustainable land management: Organic matter and. *Agronomy Journal*, 94(1), 38–48. Retrieved from <https://search-proquest-com.ezproxy.library.ubc.ca/docview/194534501/fulltextPDF/FC13E63257DC46DFPQ/1?accountid=14656>

Castro, R. V. (2008). *Comparacion Del Impacto Ambiental Generado Por La Explotacion Ganadera Y La Zootecnia De Avestruces En Un Predio Del Municipio De La Tebaida Quindio*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Pereira.

Chavarría, D. N., Verdenelli, R. A., Serri, D. L., Restovich, S. B., Andriulo, A. E., Meriles, J. M., y Vargas-Gil, S. (2016). Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. *European Journal of Soil Biology*, 76(September), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.07.002>

Cook, B. D., y Allan, D. L. (1992). DISSOLVED ORGANIC CARBON IN OLD FIELD SOILS: COMPOSITIONAL CHANGES DURING THE BIODEGRADATION OF SOIL ORGANIC MATTER. In *Soil/ Water & Environment* (Vol. 24).

Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83(2007), 5–71. Retrieved from [http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero\\_articulo?codigo=2875596&orden=0](http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero_articulo?codigo=2875596&orden=0)

Crowder, D. W., y Reganold, J. P. (2015). Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(24), 7611–7616. <https://doi.org/10.1073/pnas.1423674112>

de Marsily, G., y Abarca-del-Rio, R. (2016). Water and Food in the Twenty-First Century. *Surveys in Geophysics*, 37(2), 503–527. <https://doi.org/10.1007/s10712-015-9335-1>

Dobler, C. H. (2019). *Taller “acción climática sub -nacional, emprendimiento local: un protocolo local para reverdecer México”* (p. 20). p. 20. Retrieved from <http://sierragorda.net/wp-content/uploads/2019/07/SEDEA-QRO-ganaderia-sustentable.pdf>

Doran, J. W., y Parkin, T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (p. 1994). Soil Science Society of America.

Dorrough, J., Yen, A., Turner, V., Clark, S. G., Crosthwaite, J., y Hirth, J. R. (2004). Livestock grazing management and biodiversity conservation in Australian temperate grassy landscapes. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(3), 279–295. <https://doi.org/10.1071/AR03024>

Drewry, J. J. (2006). Natural recovery of soil physical properties from treading damage of pastoral soils in New Zealand and Australia: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(2–4), 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.028>

Earl, J., y Jones, C. (1996). The Need for a New Approach to Grazing Management - Is Cell Grazing the Answer? *The Rangeland Journal*, 18(2), 327. <https://doi.org/10.1071/rj9960327>

Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P., y Romero, M. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de*

*Geografía*, 54(53), 77–88.

Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., y Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad / Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia*, 51(8), 813. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S1405.31952017000800813&lang=es&site=eds-live&scope=site>

FAO. (2006). Enfoques: Ganadería y medio ambiente. Retrieved October 28, 2019, from Departamento de agricultura y protección al consumidor website: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot4.htm>

FAO. (2014). Sistemas de Producción. Retrieved October 27, 2019, from [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_productions.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_productions.html)

Ferris, H., Bongers, T., y De Goede, R. G. M. (2001). A framework for soil food web diagnostics: Extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 18(1), 13–29. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4)

FIRCO. (2017). La Ganadería en México. Retrieved October 28, 2019, from <https://www.gob.mx/firco/articulos/la-ganaderia-en-mexico?idiom=es>

Fischer, J., Stott, J., Zerger, A., Warren, G., Sherren, K., y Forrester, R. I. (2009). Reversing a tree regeneration crisis in an endangered ecoregion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(25), 10386–10391. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900110106>

Frampton, G. K. (1997). The potential of Collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Pedobiología*, 41, 179–184.

Fraser, D. (2006). *El bienestar animal y la intensificación de la producción animal Una interpretación alternativa Producido por el Grupo de la producción y diseño editorial Servicio de Gestión de las Publicaciones de la FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-a0158s.pdf>

Freckman, D. W., y Caswell, E. P. (1985). The Ecology of Nematodes in Agroecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 23(1), 275–296. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.001423>

Gálvez, J. (2016). *IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL SUELO BAJO DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADERA* (Universidad de Manizales). Retrieved from [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2872/Galvez\\_Gonzalez\\_Jhonny\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2872/Galvez_Gonzalez_Jhonny_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

García, Y., y Ramírez, W. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125–138.

Ghaemi, M., Astarai, A. R., Emami, H., Nassiri Mahalati, M., y Sanaeinejad, S. H. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal

component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4), 987–1004. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162014005000077>

Gomez, L. J. (2017). Introducción al Manejo Holístico. In M. Galina (Ed.), *El modelo de Latte Nobile, otra vía de producción de leche Pastoreo, antioxidantes una ,edida preventiva* (pp. 199–210). Retrieved from <http://www.lattenobile.it/wp-content/uploads/2017/10/Latte-Nobile-Pastoreo-Antioxidantes-2017.pdf>

Gomis, F. J. F. (2016). *Evaluación De Respuestas Tempranas Del Hábitat En Un Diseño De Manejo Holístico De Ganado En La Sierra Cacachilas, B.C.S.* (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.). Retrieved from [https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/78/1/gomis\\_f.pdf](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/78/1/gomis_f.pdf)

González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., Valenzuela-Núñez, L. M., González-Barrios, J. L., ... Valenzuela-Núñez, L. M. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 369–377. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792011000400369&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000400369&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Govaerts, B., Sayre, K. D., y Deckers, J. (2006). A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*, 87(2), 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.03.005>

Gupta, V. V. S. R., y Yeates, G. W. (1997). Soil Microfauna as Bioindicators of Soil Health. In C. Pankhursts, B. M. Doube, & V. V. S. R. Gupta (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health* (p. 1997). CAB International.

Hassan, J., Espinosa, J., y Ríos, L. (2018). Captura de carbono de las áreas de pastoreo de fincas doble propósito de los santos. *LXIII Reunión Anual Del Programa Cooperativo Centroamericano Para El Mejoramiento de Cultivos y Animales - 2018 Innovación Tecnológica Para El Desarrollo Sostenible Del Agro y La Soberanía Alimentaria*, (April), 230.

Hernández Morales, P., Estrada-Flores, J., Avilés-Nova, F., Yong-Angel, G., López-González, F., Solís-Méndez, A., ... Castelán Ortega, O. (2013). Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y Ciencia*, 29(1), 19–31. <https://doi.org/10.19136/era.a29n1.39>

Hillenbrand, M., Thompson, R., Wang, F., Apfelbaum, S., y Teague, R. (2019). Impacts of holistic planned grazing with bison compared to continuous grazing with cattle in South Dakota shortgrass prairie. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 279(December 2018), 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.005>

House, A. P. N., MacLeod, N. D., Cullen, B., Whitbread, A. M., Brown, S. D., y Mclvor, J. G. (2008). Integrating production and natural resource management on mixed farms in eastern Australia: The cost of conservation in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127(3–4), 153–165. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.03.011>

- INEGI. (2009a). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Colón, Querétaro*. (p. 9). p. 9. INEGI.
- INEGI. (2009b). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Comala, Colima* (p. 9). p. 9. INEGI.
- Ingaramo, O. E., Paz Ferreiro, J., Mirás Avalos, J. M., y Vidal Vázquez, E. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo. *Cadernos Do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 32(32), 127–137.
- Ingham, R. (1994). Nematodes. In P. S. Bottomley, J. S. Angle, & R. W. Weaver (Eds.), *American Methods of Soil analysis*.  
[https://doi.org/10.1163/9789004392212\\_022](https://doi.org/10.1163/9789004392212_022)
- IPBES. (2018). *THE ASSESSMENT REPORT ON LAND DEGRADATION AND RESTORATION* (R. Scholes, L. Montanarella, A. Brainich, N. Barger, B. ten Brink, M. Cantele, ... L. Willemen, Eds.). Retrieved from [www.ipbes.net](http://www.ipbes.net)
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., y Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4–10.
- Kemp, D. R., Dowling, P. M., y Michalk, D. L. (1996). Managing the composition of native and naturalised pastures with grazing. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39(4), 569–578. <https://doi.org/10.1080/00288233.1996.9513216>
- Kemp, D. R., Michalk, D. L., y Virgona, J. M. (2000). Towards more sustainable pastures: Lessons learnt. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(2), 343–356. <https://doi.org/10.1071/EA99001>
- Ki-moon, B. (2013, June 17). Día Mundial de Lucha contra la Desertificación y la Sequía | Article | Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Retrieved June 27, 2021, from <https://www.cepal.org/es/articulos/2013-dia-mundial-lucha-la-desertificacion-la-sequia>
- Laguna, J. C. (2011). Sistemas de producción Animal I. In E. de E. C. D. de C. de C. César Andrés Pereira Morales, Carlos César Maycotte Morales, Beatriz Elena Restrepo, Francesco Mauro, Abel Calle Montes, María José Esther Velarde, Guillermo León Marín Serna, María Luisa Álvarez Mejía, Henry Portela Guarín (Ed.), *Europe Aid Cooperation Office*. Retrieved from [https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/7387/sistemas\\_produccion\\_animal\\_i.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/7387/sistemas_produccion_animal_i.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lal, R., De Vleeschauwer, D., y Nganje, R. M. (1980). Changes in Properties of a Newly Cleared Tropical Alfisol as Affected by Mulching. *Soil Science Society of America Journal*, 44(4), 827.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400040034x>
- Larson, W. E., y Pierce, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. *International Board for Soil Research and Management*, 175–203.
- Leos-Rodríguez, J. A., Serrano-Páez, A., Salas-González, J. M., Ramírez-Moreno,

P. P., y Sagarnaga-Villegas, M. (2008). Caracterización De Ganaderos Y Unidades De Producción Pecuaria Beneficiarios Del Programa De Estímulos a La Productividad Ganadera (Progan) En México Characterization of Livestock Producers and Livestock Production Units That Are Beneficiaries of the Live. *AGRICULTURA, SOCIEDAD Y DESARROLLO*, 5, 213–230. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v5n2/v5n2a5.pdf>

Lindenmayer, D. B., Zammit, C., Attwood, S. J., Burns, E., Shepherd, C. L., Kay, G., y Wood, J. (2012). A Novel and Cost-Effective Monitoring Approach for Outcomes in an Australian Biodiversity Conservation Incentive Program. *PLoS ONE*, 7(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050872>

Lloret, F. (2012). Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente a episodios extremos de sequía. *Ecosistemas*, 21(3), 85–90. <https://doi.org/10.7818/ecos.2012.21-3.11>

Lok, S., Fraga, S., Noda, A., y García, M. (2013). Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(1), 75–82.

Lorente, A. (2010). Ganadería y cambio climático: una influencia recíproca. *GeoGraphos. Revista Digital Para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 1, 1–22. <https://doi.org/10.14198/geogra2010.1.03>

Machado, M. J. (2009). *Comparación de la densidad de grupos funcionales de nematodos del suelo encultivos de cebolla, plantación forestal y bosque, en la cuenca del río Otún, Risaralda*. Pontificia Universidad Javeriana.

Martínez, E., Fuentes, J. P., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutricion Vegetal*, 8(1), 68–96. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>

Mavromihalis, J. A., Dorrough, J., Clark, S. G., Turner, V., y Moxham, C. (2013). Manipulating livestock grazing to enhance native plant diversity and cover in native grasslands. *Rangeland Journal*, 35(1), 95–108. <https://doi.org/10.1071/RJ12074>

McCosker, T. (2000). Cell grazing - The first 10 years in Australia. *Tropical Grasslands*, 34(3–4), 207–218.

Mendoza, A. (2019, March 3). Sedea: ganaderos registran déficit de agua y forrajes - Diario de Querétaro. *Diario Queretaro*. Retrieved from <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/sede-a-ganaderos-registran-deficit-de-agua-y-forrajes-3134217.html>

Molina-Guerra, V. M., Pando-Moreno, M., Alanís-Rodríguez, E., Canizales-Velázquez, P. A., Rodríguez, H. G., y Jiménez-Pérez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 4(3), 361–371.

Montanarella, L., & Vargas, R. (2012). Global governance of soil resources as a necessary condition for sustainable development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 559–564.

<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.06.007>

Mora, C. A., Jiménez, J., Alanís, E., Rubio, E. A., Yereña Yamallel, J. I., y González, M. A. (2013). Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17).

Mora, M. A., Ríos, L., Ríos, L., y Almario, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia Livestock impact on the ground in Colombia. *Ingeniería y Región*, 17, 1–12. <https://doi.org/10.25054/issn.2216-1325>

Mulder, C., Schouten, A. J., Hund-Rinke, K., y Breure, A. M. (2005). The use of nematodes in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62(2 SPEC. ISS.), 278–289.

Neher, D. A. (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, 33(4), 161–168.

NRCS. (1996). Indicators for Soil Quality Evaluation. *Soil Quality Information Sheet*, (April), 1–2. Retrieved from [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053149.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053149.pdf)

Orgill, S. E., Condon, J. R., Conyers, M. K., Morris, S. G., Alcock, D. J., Murphy, B. W., y Greene, R. S. B. (2018). Removing Grazing Pressure from a Native Pasture Decreases Soil Organic Carbon in Southern New South Wales, Australia. *Land Degradation and Development*, 29(2), 274–283. <https://doi.org/10.1002/ldr.2560>

Ortega-Gaucin, D. (2014). Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *FRONTERA NORTE*, 26(3), 141–148.

Piedra, R., Hernandez, G., Albarrán, B., Rebollar, S., & García, A. (2011). Tipología de las explotaciones de ganado bovino en el Municipio de Tejupilco, Estado de México. In B. A. Cavallotti, B. Ramírez, F. Martínez, C. Marcof, & A. Cesín (Eds.), *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes Vol. 2* (pp. 205–218). México: Universidad Autónoma de Chapingo.

Ragab, R., y Prudhomme, C. (2002). Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: Prospective and challenges for the 21st century. *Biosystems Engineering*, 81(1), 3–34. <https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0013>

Riojas, I., Badii, M. H., Guillen, A., García, M., y Abreu, J. L. (2018). La ganadería y el desarrollo sustentable ( Animal husbandary and sustainable development ). *Revista Daena*, 13(2), 77–102. Retrieved from <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=11&sid=670b645e-c9cb-426a-adaf-0c6c383400c1%40sdc-v-sessmgr02>

Roncallo, B., Murillo, J., Bonilla, R., y Barros, J. (2012). Evolución de las propiedades del suelo en un arreglo agrosilvopastoril basado en Ceiba roja (*Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13, 167–178.

- Rubino, R., y Galina, M. (2020). *Udimentos de cata*. Colima, México.
- Ruf, A. (1998). A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Applied Soil Ecology*, 9(1–3), 447–452. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00103-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00103-6)
- Sadeghian, S., Rivera, J. M., y Gómez, M. E. (1999). Impacto de la ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en los Andes de Colombia. *Agroforestería Para La Producción Animal En América Latina*, 143, 123–141.
- SAGARPA. (2001). *Programa Sectorial de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación 2001-2006*. Retrieved from [https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2006/12/Programa\\_Sectorial.pdf](https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2006/12/Programa_Sectorial.pdf)
- Saggar, S., Jha, N., Deslippe, J., Bolan, N. S., Luo, J., Giltrap, D. L., ... Tillman, R. W. (2013). Denitrification and N<sub>2</sub>O: N<sub>2</sub> production in temperate grasslands: Processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts. *Science of the Total Environment*, 465, 173–195. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.050>
- Saggar, S., Luo, J., Giltrap, D. L., y Maddena, M. (2009). Nitrous Oxide Emissions from Temperate Grasslands: Processes, Measurements, Modeling and Mitigation. In A. Sheldon & E. P. Barnhart (Eds.), *Nitrous Oxide Emissions Research Progress* (p. 280). Nova Science Publishers.
- Sánchez-Moreno, S., y Talavera, M. (2013). Los nematodos como indicadores ambientales en agroecosistemas. *Ecosistemas*, 22, 50–55.
- Sánchez-Moreno, Sara, Minoshima, H., Ferris, H., y Jackson, L. E. (2006). Linking soil properties and nematode community composition: Effects of soil management on soil food webs. *Nematology*, 8(5), 703–715. <https://doi.org/10.1163/156854106778877857>
- Sanchez, J. E., Harwood, R., Willson, T. C., Kizilkaya, K., Smeenk, J., Parker, E., ... Robertson, G. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agronomy Journal*, 96(3), 769–775. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0769>
- Sanjari, G., Ghadiri, H., Yu, B., y Ciesiolka, C. A. A. (2010). Increase in ground cover under a paddock scale rotational grazing experiment in South-east Queensland. *19th World Congress of Soil Science*, (July 2014), 52–55.
- Sato, C. F., Strong, C. L., Holliday, P., Florance, D., Pierson, J., y Lindenmayer, D. B. (2019). Environmental and grazing management drivers of soil condition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 276(November 2018), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.003>
- Saunders, W. H. M., Ledgard, S. F., y Steele, K. W. (1982). Effects of cow urine and its major constituents on pasture properties. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 25(1), 61–68. <https://doi.org/10.1080/00288233.1982.10423373>

Savory, A., y Butterfield, J. (1999). *Holistic Management: A New Framework for decision making* (Second). Island Press.

Savory, A., y Parsons, S. D. (1980). The Savory Grazing Method. *Rangelands*, 2(December), 234–237. Retrieved from <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/rangelands/article/view/10004/9616>

SCT. (2012). *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional, Cofradía de Suchitlan-El Remate, Comala, Colima* (Vol. 00, pp. 1–21). Vol. 00, pp. 1–21. Colima: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.

SEMARNAT. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. , Diario ofical de la Federación § (2002).

Seré, C., y Steinfeld, H. (1996). World Livestock Production Systems Current status, issues and trends. *FAO Animal Production and Health*, 127, 51. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-w0027e.pdf>

Servicio Meteorológico Nacional. (2020). Monitor de Sequía en México. Retrieved June 27, 2021, from <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

Seybold, C. A., Mausbach, M. J., Karlen, D. L., y Rogers, H. H. (1997). Quantification of soil quality. In R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet, & B. A. Stewart (Eds.), *Soil Processes and the Carbon Cycle* (pp. 387–404). <https://doi.org/10.1201/9780203739273>

Sherren, K., y Kent, C. (2019). Who's afraid of Allan Savory? Scientometric polarization on Holistic Management as competing understandings. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 34(1), 77–92. <https://doi.org/10.1017/S1742170517000308>

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., y de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones*. (FAO, Ed.). Roma, Italia.

Taboada, M. A., y Micucci, S. N. (2009). RESPUESTA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE TRES SUELOS DE LA PAMPA DEPRIMIDA AL PASTOREO ROTATIVO. *Cl. Suelo*, 27(2), 1–11.

Teague, R. (2014). Deficiencies in the briske et al. rebuttal of the savory method. *Rangelands*, 36(1), 37–38. <https://doi.org/10.2111/1551-501X-36.1.37>

Teague, R., Provenza, F., Kreuter, U., Steffens, T., y Barnes, M. (2013). Multi-paddock grazing on rangelands: Why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience? *Journal of Environmental Management*, 128(July), 699–717. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.064>

Teague, R., Provenza, F., Norton, B., Steffens, T., Barnes, M., Kothmann, M., & Roath, R. (2008). Management on Rangelands: Limitations of Experimental Grazing Research and Knowledge Gaps. In H. G. Schöder (Ed.), *Grasslands: Ecology, Management and Restoration* (pp. 43–80). Nova Science Publishers.

Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Ansley, R. J., Kreuter, U. P.,

- Conover, D. M., y Waggoner, J. A. (2010). Soil and herbaceous plant responses to summer patch burns under continuous and rotational grazing. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137(1–2), 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.010>
- Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Haile, N., DeLaune, P. B., y Conover, D. M. (2011). Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141(3–4), 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009>
- Teague, W. R., Dowhower, S. L., y Waggoner, J. A. (2004). Drought and grazing patch dynamics under different grazing management. *Journal of Arid Environments*, 58(1), 97–117. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00122-8](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00122-8)
- Tejada, M., Rodríguez-Morgado, B., Gómez, I., y Parrado, J. (2014). *Degradation of chlorpyrifos using different biostimulants/ biofertilizers: Effects on soil biochemical properties and microbial community*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.07.007>
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., ... Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
- Van Der Heijden, M., Bardgett, R. D., y Van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>
- Wander, M. M., Walter, G. L., Nissen, T. M., Bollero, G. A., Andrews, S. S., y Cavanaugh-Grant, D. A. (2002). Soil quality: Science and process. *Agronomy Journal*, 94(1), 23–32. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.2300>
- Wardle, D. A. (1999). How soil food webs make plants grow. *Trends in Ecology and Evolution*, 14(11), 418–420. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01640-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01640-7)
- Waters, C. M., Orgill, S. E., Melville, G. J., Toole, I. D., y Smith, W. J. (2017). Management of Grazing Intensity in the Semi-Arid Rangelands of Southern Australia: Effects on Soil and Biodiversity. *Land Degradation and Development*, 28(4), 1363–1375. <https://doi.org/10.1002/ldr.2602>
- Williams, J. E., y Price, R. J. (2010). Impacts of red meat production on biodiversity in Australia: A review and comparison with alternative protein production industries. *Animal Production Science*, 50(8), 723–747. <https://doi.org/10.1071/AN09132>
- Yeates, G. W., y Bongers, T. (1999). Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74(1–3), 113–135. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00033-X)
- Yeates, Gregor W. (2003). Nematodes as soil indicators: Functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils*, 37(4), 199–210. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0586-5>

Zalidis, G. C., Tsiafouli, M. A., Takavakoglou, V., Bilas, G., y Misopolinos, N. (2004). Selecting agri-environmental indicators to facilitate monitoring and assessment of EU agri-environmental measures effectiveness. *Journal of Environmental Management*, 70(4), 315–321.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2003.12.006>

## 11. ANEXOS

### 11.1. Anexo I

Tabla de resultados del análisis químico de suelo de las localidades Santa Rosa y El Zamorano

	MUESTRA	pH	%MO	CICT (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	Categoría (CICT)	
SANTA ROSA	<b>Diciembre 2018</b>	<b>M1.1</b>	6.22	16.08050847	30.4347826	Medio
		<b>M1.2</b>	6.34	16.22669492	30.6666667	Medio
		<b>M1.3</b>	6.22	16.22669492	27.1304348	Medio
		<b>M2.1</b>	7.34	16.35826271	44.6376812	Alto
		<b>M2.2</b>	7.86	16.10974576	41.826087	Alto
		<b>M2.3</b>	7.37	16.22669492	45.5072464	Alto
		<b>M3.1</b>	6.3	15.8904661	46.9565217	Alto
		<b>M3.2</b>	6.29	15.93432203	46.9565217	Alto
		<b>M3.3</b>	6.4	15.93432203	49.2753623	alto
	<b>Julio 2019</b>	<b>M1.1</b>	6.74	15.93432203	30.625	Medio
		<b>M1.2</b>	6.7	16.03611111	34.5000001	Medio
		<b>M1.3</b>	6.36	15.87638889	34.4062501	Medio
		<b>M2.1</b>	7.51	16.22777778	46.5937502	Alto
		<b>M2.2</b>	7.67	32.00833333	50.1562502	Alto
		<b>M2.3</b>	7.72	16.3875	44.21875	Alto
		<b>M3.1</b>	6.76	15.94027778	48.2812502	Alto
		<b>M3.2</b>	6.99	32.07222222	48.5625002	Alto
		<b>M3.3</b>	6.96	32.18402778	47.8125002	Alto
EL ZAMORANO	<b>Diciembre 2018</b>	<b>M1.1</b>	<b>5.2</b>	15.58888889	12	Bajo
		<b>M1.2</b>	<b>4.67</b>	15.58888889	10.5957447	Bajo
		<b>M1.3</b>	<b>4.75</b>	15.68472222	8.9787234	muy bajo
		<b>M2.1</b>	<b>6.49</b>	15.68472222	15.4468085	Bajo
		<b>M2.2</b>	<b>6.97</b>	15.65277778	12.4255319	Bajo
		<b>M2.3</b>	<b>7.26</b>	15.65277778	13.106383	Bajo
		<b>M3.1</b>	<b>5.77</b>	15.62083333	8.93617021	muy bajo
		<b>M3.2</b>	<b>6.73</b>	15.62083333	9.95744681	muy bajo
		<b>M3.3</b>	<b>6.83</b>	15.65277778	9.53191489	muy bajo
	<b>Julio 2019</b>	<b>M1.1</b>	<b>5.64</b>	15.58888889	12.7659574	Bajo
		<b>M1.2</b>	<b>5.58</b>	15.58888889	13.3617021	Bajo
		<b>M1.3</b>	<b>6.11</b>	15.58888889	16	Bajo
		<b>M2.1</b>	<b>6.68</b>	15.74861111	16.5625	Bajo
		<b>M2.2</b>	<b>6.61</b>	17.12222222	15.9375	Bajo
		<b>M2.3</b>	<b>6.74</b>	15.78055556	16.5625	Bajo
		<b>M3.1</b>	<b>6.5</b>	15.65277778	9.5625	muy bajo
		<b>M3.2</b>	<b>6.49</b>	15.71666667	11.9375	Bajo
		<b>M3.3</b>	<b>5.93</b>	15.65277778	11.4375	Bajo

## 11.2. Anexo II

### Cuadros de resultados del análisis físico de suelo de las localidades Santa Rosa y El Zamorano

	Muestra	DENSIDAD			POROSIDAD		TEXTURA			clasificación	HUMEDAD %Humedad a capacidad de campo	
		Densidad aparente	Densidad Real				% arenas	% arcillas	% Limos			
SANTA ROSA	<b>DICIEMBRE 2018</b>	M1.1	0.85	2.26	baja	37.37	media	52.00	36.00	12.00	franco arcillosa	52.44
	M1.2	0.75	2.10	baja	35.78	baja	48.00	30.00	22.00	franco arcillosa	52.35	
	M1.3	0.80	2.24	baja	35.79	baja	52.00	24.00	24.00	franco	57.69	
	M2.1	0.85	1.94	muy baja	43.55	media	52.00	20.00	28.00	franco	65.56	
	M2.2	0.93	2.17	baja	42.81	media	56.00	24.00	20.00	franco	59.48	
	M2.3	0.85	2.01	baja	42.35	media	52.00	26.00	22.00	franco	68.30	
	M3.1	0.93	2.45	baja	37.96	media	40.00	42.00	18.00	franco arcillosa	63.51	
	M3.2	0.96	2.17	baja	43.95	media	56.00	26.00	18.00	franco	57.93	
	M3.3	0.91	2.32	baja	38.93	media	60.00	20.00	20.00	franco	64.92	
	<b>JULIO 2019</b>	M1.1	1.08	2.55	media	42.34	media	42.00	32.00	26.00	franco arcillosa	40.36
	M1.2	1.02	2.22	baja	45.82	media	52.00	30.00	18.00	franco arcillosa	52.35	
	M1.3	0.89	2.27	baja	39.06	media	52.00	30.00	18.00	franco arcillosa	54.79	
	M2.1	0.82	1.93	muy baja	42.58	media	60.00	20.00	20.00	franco	70.03	
	M2.2	0.83	2.15	baja	38.48	media	58.00	22.00	20.00	franco	61.16	
	M2.3	0.81	2.10	baja	38.57	media	62.00	20.00	18.00	franco arenosa	72.99	
M3.1	1.02	2.10	baja	48.40	media	40.00	42.00	18.00	franco arcillosa	60.64		
M3.2	0.84	1.86	muy baja	44.99	media	56.00	26.00	18.00	franco	74.24		
M3.3	0.78	1.96	muy baja	39.62	media	60.00	20.00	20.00	franco arenosa	79.79		

## Cuadro de resultados del análisis físico de suelo de la localidad Ejido El Zamorano

	Muestra	DENSIDAD			POROSIDAD		TEXTURA			clasificación	HUMEDAD %Humedad a capacidad de campo
		Densidad aparente	Densidad Real			% arenas	% arcillas	% Limos			
<b>DICIEMBRE 2018</b>	M1.1	1.27	3.32	alta	38.28	media	80.00	10.00	10.00	areno francosa	37.74
	M1.2	1.06	2.38	baja	44.63	media	80.00	4.00	16.00	areno francosa	52.66
	M1.3	1.22	2.45	baja	49.75	media	86.00	6.00	8.00	areno francosa	19.12
	M2.1	1.29	2.57	media	50.26	media	64.00	16.00	20.00	franco arenosa	42.32
	M2.2	1.07	2.55	media	41.90	media	68.00	14.00	18.00	franco arenosa	47.08
	M2.3	1.24	2.60	media	47.72	media	74.00	14.00	12.00	franco arenosa	45.65
	M3.1	1.19	2.61	media	45.53	media	80.00	8.00	12.00	areno francosa	37.71
	M3.2	1.30	2.94	alta	44.25	media	84.00	10.00	6.00	areno francosa	34.26
	M3.3	1.24	2.53	baja	48.96	media	82.00	8.00	10.00	areno francosa	38.63
<b>JULIO 2019</b>	M1.1	1.37	2.48	baja	55.16	media	74.00	12.00	14.00	franco arenosa	44.43
	M1.2	1.33	2.72	media	48.86	media	72.00	16.00	12.00	franco arenosa	41.23
	M1.3	1.35	2.86	alta	47.20	media	78.00	14.00	8.00	franco arenosa	43.78
	M2.1	1.28	2.42	baja	52.99	media	66.00	18.00	16.00	franco arenosa	48.04
	M2.2	1.34	2.49	baja	53.89	media	64.00	16.00	20.00	franco arenosa	42.40
	M2.3	1.28	2.45	baja	52.33	media	64.00	18.00	18.00	franco arenosa	44.43
	M3.1	1.36	2.55	baja	53.37	media	86.00	6.00	8.00	areno francosa	34.09
	M3.2	1.35	2.53	baja	53.33	media	80.00	8.00	12.00	areno francosa	37.36
	M3.3	1.31	2.52	baja	51.90	media	86.00	6.00	8.00	areno francosa	38.75

**EL  
ZAMORANO**

### 11.3. Anexo III Análisis de la comunidad de Nematodos

COLIMA													
Febrero 2019							Julio 2019						
TAXON	VALOR c-p	M1		M2		M3		M1		M2		M3	
		Frecuencia absoluta (%)	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta (%)	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Amphidelidae	4	20	7.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anguinidae	2	-	-	-	-	100	26.31	-	-	-	-	-	-
Aphelenchoididae	2	20	7.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bathyodontidae	4	20	7.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cephalobidae	2	20	7.69	100	38	100	26.31	100	23.8	100	17.85	100	35.71
Cricematidae	3	-	-	40	15	-	-	100	23.8	40	7.14	-	-
Diplogasteridae	1	40	15.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dorylaimidae	4	60	23.07	20	8	100	26.31	100	23.8	100	17.85	100	35.71
Leptolaimidae	3	20	7.69	20	8	-	-	60	14.28	60	10.71	-	-
Linhomoeidae	3	-	-	-	-	-	-	60	14.28	-	-	-	-
Nygalaimidae	5	-	-	60	23	40	10.52	-	-	20	3.6	60	21.43
Panagrolaimidae	1	-	-	20	8	-	-	-	-	80	14.28	-	-
Pratylenchidae	3	-	-	-	-	-	-	-	-	40	7.14	-	-
Prismatolaimidae	3	40	15.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rhabditidae	1	-	-	-	-	40	10.52	-	-	20	3.6	20	7.14
Teratocephalidae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	100	17.85	-	-
Tylencholaimidae	4	20	7.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INDICE DE MADUREZ		3		3		2.95		3		2.54		3.29	

EL ZAMORANO																			
TAXON	VALOR c-p	Diciembre 2018						Marzo 2019						Julio 2019					
		M1		M2		M3		M1		M2		M3		M1		M2		M3	
		Frecuencia absoluta (%)	Frecuencia relativa (%)																
Alaimidae	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	11.11	-	-	-	-
Amphidelidae	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-
Aphelenchoididae	1	-	-	40	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bathyodontidae	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	30.77
Cephalobidae	2	100	38.46	40	10	80	40	80	23.53	80	25	40	16.66	100	27.78	100	45.45	100	38.46
Cricematidae	3	-	-	40	10	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dorylaimidae	4	100	38.46	40	10	40	20	100	29.41	80	25	100	41.66	100	27.78	-	-	80	30.77
Leptolaimidae	1	-	-	60	15	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nordidae	4	-	-	40	10	-	20	60	17.65	100	31.25	-	-	60	16.67	20	9.09	-	-
Panagrolaimidae	1	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plectidae	2	60	26.07	-	-	-	-	100	29.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prismatolaimidae	3	-	-	60	15	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	36.36	-	-
Tylenchidae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	60	18.75	100	41.66	-	-	20	9.09	-	-
Tylencholaimidae	1	-	-	80	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
INDICE DE MADUREZ		2.77		2.2		2.6		2.94		3.13		2.83		34.44		2.54		3.23	

SANTA ROSA																			
TAXON	VALOR C-D	Diciembre 2018						Marzo 2019						Julio 2019					
		TRATAMIENTO						TRATAMIENTO						TRATAMIENTO					
		M1		M2		M3		M1		M2		M3		M1		M2		M3	
		Frecuencia absoluta (%)	Frecuencia relativa (%)																
Alaimidae	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	6.25	-	-	-	-	60	10.34
Anguinidae	4	40	15.38	100	12.19	80	18.18	-	-	-	-	-	-	-	-	40	6.25	-	-
Aphelenchoididae	2	-	-	60	7.32	-	-	-	-	-	-	100	31.25	-	-	60	9.38	80	13.79
Belonolaimidae	4	-	-	-	-	-	-	-	-	60	21.43	-	-	-	-	20	3.13	-	-
Cephalobidae	2	60	23.07	80	9.75	80	18.18	100	23.8	100	35.71	100	31.25	100	22.73	100	15.63	100	17.24
Cricematidae	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	3.13	-	-
Dorylaimidae	4	-	-	-	-	100	22.73	-	-	-	-	100	31025	100	22.73	100	15.63	100	17.24
Hoplolaimidae	3	-	-	60	7.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	15.63	20	3.44
Leptolaimidae	1	20	7.69	60	7.32	80	18.18	80	19.05	-	-	-	-	-	-	80	12.5	60	10.34
Mononchidae	4	-	-	-	-	-	-	80	19.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nordiidae	4	-	-	80	9.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Panagrolaimidae	1	60	23.07	40	4.88	40	9.09	80	19.05	-	-	-	-	80	18.18	-	-	-	-
Pratylenchidae	3	-	-	-	-	-	-	-	-	20	7.14	-	-	-	-	20	3.13	-	-
Prismatolaimidae	3	-	-	60	7.32	60	13.64	80	19.05	80	28.57	-	-	80	18.18	20	3.13	40	6.9
Rhabditidae	1	-	-	100	12.19	-	-	-	-	-	-	-	-	80	18.18	20	3.13	-	-
Rhabdolaimidae	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	6.9
Telotylenchidae	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	3.13	-	-
Tripylidae	3	60	23.07	60	7.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	13.79
Tylenchidae	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	6.25	-	-
Tylencholaimellidae	4	20	7.69	80	9.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tylencholaimidae	4	-	-	40	4.88	-	-	-	-	20	7.14	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>INDICE DE MADUREZ</b>		<b>2.2307</b>		<b>2.6829</b>		<b>2.6818</b>		<b>2.5714</b>		<b>2.714</b>		<b>2.75</b>		<b>2.27</b>		<b>2.719</b>		<b>2.97</b>	