



**DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DE LOS  
SISTEMAS PRODUCTIVOS DE MAÍZ, EN EL  
MUNICIPIO DE ACAMBAY MÉXICO.**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**LICENCIADAS EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTAN:**

**SALMA YOLETZI CARMEN DE JESÚS  
YESSICA GALINDO FLORES**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Gustavo Álvarez Arteaga**

**TOLUCA, EDO. MÉX.**

**MAYO, 2023.**





## **Contenido**

Resumen.....	1
Abstrac.....	2
Introducción .....	3
Planteamiento del problema.....	5
Justificación .....	8
Pregunta de investigación .....	9
Hipótesis.....	9
Objetivos.....	10

## **Capítulo I. Marco teórico conceptual**

1.1 Sistemas productivos.....	12
1.1.1 Definiciones.....	12
1.1.2 Clasificación de los sistemas agrícolas.....	14
1.1.3 Agroecosistemas.....	15
1.1.4 Tipos de agroecosistemas.....	15
1.2 El suelo, funciones y procesos.....	17
1.2.1 Definición de suelo.....	17
1.2.2 Propiedades del suelo.....	18
1.2.3 Propiedades físicas del suelo.....	18
1.2.4 Propiedades químicas del suelo.....	21
1.2.5 Procesos degradativos en el suelo.....	23
1.2.6 La calidad del suelo e indicadores de calidad del suelo.....	25
1.3 Servicios ambientales (SA).....	26
1.3.1 Servicios ambientales del suelo.....	27
1.4 Panorama de la agricultura en el Estado de México.....	29
1.4.1 Reseña histórica del sector agrícola en el Estado de México .....	29

## **Capítulo II Marco de Referencia**

2.1 Antecedentes.....	34
2.1.1 Panorama mundial de la agricultura.....	34
2.1.2 Propuestas teóricas para el estudio de los sistemas productivos.....	37

### **Capítulo III. Material y Métodos**

3.1 Caracterización del municipio de Acambay.....	44
3.1.2 Marco biofísico.....	46
3.1.3 Marco socioeconómico.....	47
3.1.4 Metodología de la investigación.....	49

### **Capítulo IV. Resultados**

1.5 Caracterización socioambiental.....	63
1.5.1 Sistema de producción de maíz.....	63
1.5.2 Propiedades físicas de los sitios muestreados.....	67
1.5.3 Propiedades químicas de los sitios muestreados.....	71

### **Capítulo V. Discusión**

1.6 Discusión sistema de producción del de maíz.....	78
1.6.1 Discusión de las propiedades físicas.....	80
1.6.2 Discusión de las propiedades químicas.....	81
1.6.3 Problemática general y estrategias propuestas.....	84

### **Capítulo VI. Conclusiones**

Conclusiones.....	90
-------------------	----

REFERENCIAS.....	92
------------------	----

ANEXOS.....	104
-------------	-----

Anexo 1. Cuestionario para productores agrícolas.....	104
---	-----

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de sistemas de producción agrícola.....	14
Tabla 2 Modalidades y definiciones de agroecosistemas.....	16
Tabla 3 Los tipos de agroecosistemas a nivel mundial.....	17
Tabla 4 Clasificación de los servicios ambientales.....	26
Tabla 5 Estudios relacionados con el funcionamiento de suelos agrícolas.....	37
Tabla 6 Principales grupos de suelo en el municipio de Acambay.....	46
Tabla 7 Principales usos de suelo y vegetación en el municipio de Acambay.....	47
Tabla 8 Participación de las actividades económicas municipales.....	48
Tabla 9 Indicadores físicos y químicos para la evaluación de la calidad del suelo.....	51
Tabla 10 Descripción de los sitios de muestra.....	52
Tabla 11 Matriz del sistema productivo de maíz.....	54
Tabla 12 Criterios para evaluar la densidad aparente del suelo: valido para suelos secos.....	56
Tabla 13 Criterios para evaluar la densidad real del suelo.....	57
Tabla 14 Criterios para evaluar la porosidad del suelo.....	58
Tabla 15 Clasificación de los valores de pH del suelo.....	58
Tabla 16 Determinación de CE.....	59
Tabla 17 Criterios de evaluación del contenido de materia orgánica en el suelo.....	59
Tabla 18 Criterios de evaluación del contenido de Nitrógeno.....	60
Tabla 19 Criterios de evaluación del contenido de Fosforo.....	60
Tabla 20 Criterios de evaluación del contenido de Potasio.....	60
Tabla 21 Esquema general para el cultivo de maíz en temporal en la comunidad de Detiña, municipio de Acambay, México.....	63
Tabla 22 Principales plagas en la siembra de maíz (Zea mays) en la comunidad de Detiña, municipio de Acambay, México.....	65
Tabla 23 Características de cada SM.....	66
Tabla 24 Valores obtenidos para las propiedades físicas del suelo.....	67
Tabla 25 Valores obtenidos para las propiedades químicas del suelo.....	71

Tabla 26 Recomendaciones para el sistema productivo del maíz en la zona de estudio .....	87
Tabla 27 Tipos de semillas para siembras en ciclo corto.....	89

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Tendencias de la producción anual de maíz de temporal en el municipio de Acambay durante el periodo 2018-2021 .....	7
Figura 2 Representación esquemática de los sistemas agrícolas.....	13
Figura 3 Tendencias de la producción anual de maíz de temporal en el Estado de México durante el periodo 2018-2021 .....	32
Figura 4 Mapa de la localización del municipio de Acambay.....	45
Figura 5 Esquema del planteamiento metodológico de la investigación.....	50
Figura 6 Triangulo para determinar la clase textural del suelo.....	56
Figura 7 Grafico de la composición granulométrica de los suelos.....	68
Figura 8 Grafico de valores para la densidad aparente del suelo.....	69
Figura 9 Grafico de los valores para la densidad real del suelo... ..	70
Figura10 Grafico de porosidad del suelo... ..	71
Figura 11 Contenido de materia orgánica en el suelo... ..	72
Figura 12 Valores de pH del suelo en los sitios de estudio... ..	73
Figura 13 Contenido de Nitrógeno en el suelo.....	74
Figura 14 Contenido de Fosforo.....	75
Figura 15 Contenido de Potasio... ..	75
Figura 16 Valores de conductividad eléctrica en el suelo... ..	76
Figura 17 Ejemplo de la rotación de cultivos en las parcelas.....	86

## **Resumen**

Los sistemas productivos agrícolas tienen un papel importante en el desarrollo de las distintas esferas de la sociedad: económica, cultural y ambiental, en las cuales el suelo toma un papel importante por ser el principal proveedor de recursos para los cultivos y fuente de alimento para el ser humano. Sin embargo, durante su manejo, se pueden modificar sus propiedades en función de la intensidad y tiempo de aprovechamiento, lo cual puede tener impactos positivos o negativos para los sistemas productivos. El propósito de este trabajo fue analizar y determinar la calidad de los suelos de los sistemas productivos de maíz de temporal, en la localidad de Detiña, municipio de Acambay, México. Se estudió la calidad del suelo de cinco unidades agrícolas, tomando en cuenta un cuadro básico de indicadores físicos y químicos. Los resultados indican que, los suelos de dichas unidades han sufrido alteraciones en sus propiedades en función de su intensidad y tiempo de manejo, lo que ha llevado a la disminución de su capacidad productiva. A partir del análisis del esquema productivo de las unidades, se propusieron diversas estrategias encaminadas a mitigar los efectos degradativos de las prácticas de manejo convencional.

## **Palabras clave**

Sistemas, productivos, degradación, suelo, prácticas, manejo, propiedades físicas y químicas.

## **Abstract**

Agricultural production systems play an important role in the development of the different spheres of society: economically, culturally and environmentally, in which the soil plays an important role as the main supplier of resources for crops and a source of food for the human being. However, during its management its properties can be modified depending on the intensity and time of use, which can have positive or negative impacts on production systems. The purpose of this work was to analyze and determine the quality of the soils of the rainfed maize production systems in the town of Detiña, municipality of Acambay, Mexico. The soil quality of five agricultural units, distributed within an altitudinal transect, was studied, taking into account a basic table of physical and chemical indicators. The results indicate that the soils of these units have undergone alterations in their properties depending on their intensity and handling time, which has led to a decrease in their productive capacity. From the analysis of the productive scheme of the units, various strategies were proposed aimed at mitigating the degradative effects of conventional management practices.

## **Keywords**

Systems, productive, degradation, soil, practices, management, physical and chemical properties.

## **Introducción**

El suelo es un recurso natural muy importante por ser la base fundamental para la producción de alimentos. La conformación y funcionamiento del mismo, están determinados por diversos factores como el clima, tiempo de desarrollo, relieve y los organismos que lo habitan, así como por el aprovechamiento que el ser humano realiza. En tal sentido, diversas investigaciones han documentado el efecto que tiene el manejo agrícola sobre sus propiedades y funciones del suelo, destacando que en la medida que se intensifican los procesos productivos, las repercusiones incrementan. Por otro lado, algunos trabajos se han encargado de evaluar la calidad del suelo, si bien, no utilizan el mismo método para llevar a cabo su análisis de forma holística, llegan al mismo fin, en donde enlistan una serie de características para poder definir si, un suelo es sano o por el contrario, si tiene algunas anomalías que perjudiquen su calidad, y así mismo, estas puedan ser justificadas por factores internos o externos previamente evaluados.

Bajo esta perspectiva, en la presente investigación se abordó el estudio de los suelos en una comunidad agrícola del municipio de Acambay, México en el que se retomaron los fundamentos antes mencionados, quedando estructurado de la siguiente forma:

En el capítulo uno, se realizó la investigación documental de los principales conceptos que se deben tomar en cuenta para abordar la temática, entre ellos están los fundamentos de los sistemas productivos, el suelo como recurso natural dinámico y multifuncional, así como el recuento de aquellas propiedades físicas, químicas y biológicas, que han sido empleadas como indicadores de su salud del suelo y finalmente, la relación los servicios ambientales o ecosistémicos del recurso. Todo esto, con el fin de tener una base teórico conceptual del tema a estudiar.

En el capítulo dos, se abordaron diversas investigaciones relacionadas con el tema de estudio, desde el enfoque agronómico hasta el edafológico. Dentro de la

búsqueda bibliográfica se incorporaron casos de estudio relevantes, de tal forma de poder establecer un punto de partida para plantear metodológicamente la temática.

En el capítulo tres, se desarrolló un planteamiento metodológico propio, para abordar la investigación, considerando las diferentes etapas de: planeación, trabajo de campo y laboratorio, así como del diagnóstico y trabajo de gabinete de la información.

En el capítulo cuatro, se describen los resultados del sistema productivo de maíz, las propiedades físicas y químicas de las cinco unidades agrícolas analizadas, para llevar a cabo la interpretación de cada indicador, de acuerdo con la categoría en la que se clasifica.

Finalmente, en el capítulo cinco se describe una discusión de los resultados obtenidos, para establecer las conclusiones, y en base a ello, se propone un esquema de prácticas de manejo y conservación del suelo agrícola.

## Planteamiento del problema

En México el cultivo más representativo es el maíz, con una producción de 27.5 millones de toneladas métricas para el año de 2021 y un consumo promedio per cápita al año de 0.1964 toneladas de maíz blanco, que es utilizado principalmente para la elaboración de tortillas (INEGI, 2019). La gran mayoría de productores agrícolas del país se enfoca en esta actividad económica.

La comunidad de Detiña ha tenido como principal actividad económica la agricultura por más de 70 años, y a percepción de los productores, sus parcelas han tenido menor productividad al pasar del tiempo, lo cual los ha afectado, tanto cultural como financieramente, ya que esta forma parte de su vida cotidiana, porque hacen uso de todos los insumos generados por el maíz (los esquilmos como el zacate y las mazorcas como forraje para su ganado o para la venta) (H. de Jesús, comunicación personal, 2022).

La percepción de la comunidad acerca de sus sistemas productivos de agricultura refleja una preocupación inminente acerca la vulnerabilidad de sus siembras y cosechas, por las consecuencias generadas por el factor climático, como son las heladas y las sequias. Aunque el recurso suelo, y el factor social ha mostrado resiliencia ante todos estos cambios, es evidente cómo ha afectado la productividad a lo largo del tiempo (Hernández *et al*, 2014).

Sin embargo, para englobar la problemática de la explotación del suelo, y como esta ha afectado a la comunidad, es necesario contar con información documental del aprovechamiento del sistema productivo. En la búsqueda de información acerca de los sistemas agrícolas, y el sector social (población, ocupación, escolaridad, actividad primaria etc.) de la comunidad en las diferentes fuentes verídicas, no se cuenta con esta documentación, la cual es necesaria para poder realizar un estudio socioambiental acerca del tema.

Por otra parte, la escasa información encontrada acerca del aprovechamiento agrícola y social es a nivel regional, tomando esta consideración, para tratar de dar

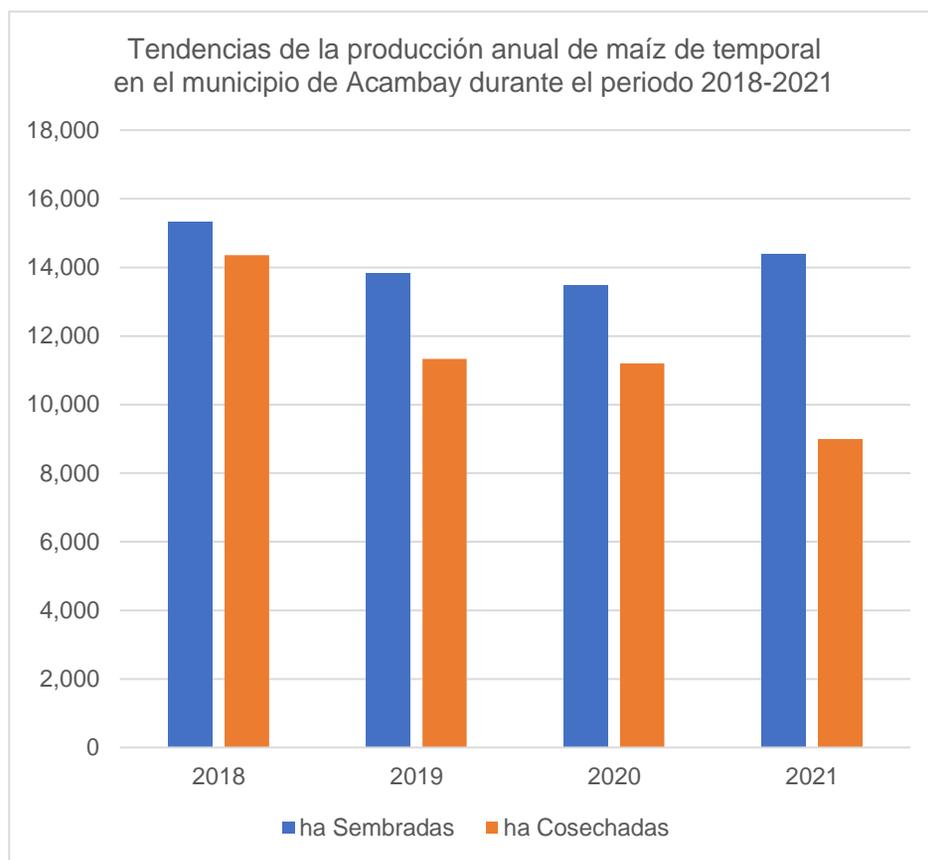
un contexto acerca de la zona de estudio, se retomaron algunos datos del municipio del cual pertenece la comunidad de Detiña, ya que la explotación de los sistemas productivos es una de sus principales actividades económicas y culturales en esta región.

El municipio de Acambay cuenta con una superficie agrícola de 76.32% de su territorio (SEDATU, 2019), pasando de sistemas tradicionales de cultivo bajo labranza de tracción animal, a un monocultivo de alta dependencia de insumos de agroquímicos y maquinaria, lo que ha perjudicado tanto al sector social como al ambiental (Urbano *et al*, 2018).

Los agricultores destinan el 20% de sus cosechas para su comercialización, el resto lo emplean para autoconsumo. Lo anterior se refleja en un trasfondo económico y sociocultural notable: la pérdida de productividad del sector agrícola, determina la escasa capacidad de los productores para invertir en asistencia técnica que les permita mejorar sus prácticas productivas, como aquellas de acondicionamiento del suelo para la recuperación de nutrientes que se pierden a causa del maíz y el trabajo de sus tierras (Urbano *et al*, 2018).

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022), el municipio de Acambay ha tenido en los últimos cuatro años, pérdidas en la cosecha anual de maíz de temporal, reflejando un problema inminente en el sistema productivo, y que afecta a la economía del municipio. En la figura 1 se presentan los datos del periodo 2018-2022 de las siembras y cosechas del municipio.

Figura 1. Tendencias de la producción anual de maíz de temporal en el municipio de Acambay durante el periodo 2018-2021



Fuente: Elaboración propia a partir del servicio de información agroalimentaria (2021)

## **Justificación**

El presente trabajo tiene como principal finalidad, realizar un diagnóstico socioambiental de los sistemas productivos agrícolas de la comunidad Detiña, con el fin de generar información que hoy en día no existe (estudios, documentos, análisis, etc.) ya que contar con información, y estudios para comprender los esquemas de manejo y apropiación del recurso suelo como parte de los sistemas productivos, resulta fundamental para explicar los procesos y su funcionamiento.

A través de la generación de información, mediante la determinación de la calidad de los suelos agrícolas locales, a partir del estudio sistémico de sus componentes y procesos, servirá como una herramienta de apoyo para resolver las inquietudes que tienen los agricultores, acerca de la baja productividad de sus cosechas, además de la vulnerabilidad de sus cultivos ante factores externos (granizadas, sequias, plagas) e internos (uso de fertilizantes, plaguicidas, abono, y maquinaria). De tal forma este estudio permitirá conocer las características del modelo productivo, y así poder analizar cuál de ellos minimiza los impactos ambientales, y que dichos sistemas sean idóneos para los agricultores.

Los sistemas productivos desempeñan un papel importante en la sociedad, ya que es una de las principales actividades que forma parte de la cultura de pequeñas comunidades rurales, como es el caso de la zona de estudio. Por tal motivo, la conservación de dichos sistemas productivos agrícolas, debe ser una estrategia prioritaria, así lo que finalmente busca esta investigación, es proponer un esquema de prácticas de manejo y conservación del suelo agrícola, lo que permitirá tener un aprovechamiento adecuado de los sistemas productivos, y al mismo tiempo lograr un beneficio cultural, económico, ambiental y social.

## **Pregunta de investigación**

Siendo la degradación del suelo punto de origen, pero también consecuencia de la baja productividad agrícola en el municipio resulta necesaria entender la forma en que las prácticas de manejo han deteriorado sus funciones y propiedades para proponer prácticas de conservación del suelo agrícola, por lo que la presente investigación pretende responder a la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los factores socio ambientales que determinan la degradación de los sistemas productivos agrícolas de maíz en el municipio de Acambay?

## **Hipótesis**

El modelo actual de producción agrícola de maíz bajo temporal ha propiciado la degradación de los sistemas productivos en la comunidad de Detiña, lo cual ha detonado el deterioro socio ambiental, afectando a los productores por la baja productividad y al recurso suelo modificando sus propiedades.

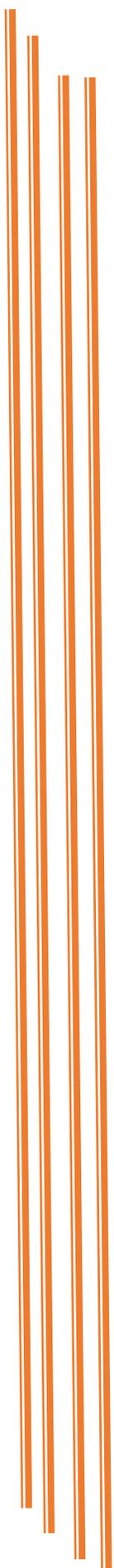
## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar un diagnóstico socioambiental de los sistemas productivos de maíz de temporal de la comunidad Detiña en el municipio de Acambay, México mediante la evaluación de indicadores ambientales para proponer un esquema de prácticas de manejo y conservación del suelo agrícola.

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar los componentes biofísicos y socioeconómicos que conforman a los sistemas agrícolas en el municipio de Acambay.
2. Determinar la calidad de los suelos agrícolas locales a partir del estudio sistémico de sus componentes y procesos.
3. Proponer prácticas de conservación de suelos para el sistema agrícola del maíz a través de indicadores de calidad del suelo.



# CAPITULO I. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

## **Capítulo I. Marco Teórico Conceptual**

En este capítulo se abordan diversos conceptos para tener un contexto del tema de investigación, principalmente definiendo los sistemas productivos dentro del campo de estudio. Posterior a ello, se engloba un estudio exhaustivo del recurso suelo, caracterizando tanto sus propiedades físicas y químicas, como su evolución a lo largo del tiempo, desde la perspectiva de la agricultura, así como un panorama en México. Cabe mencionar que se retomaron algunas fuentes con más de 10 años de vigencia, porque eran las únicas que abordaban los temas elegidos.

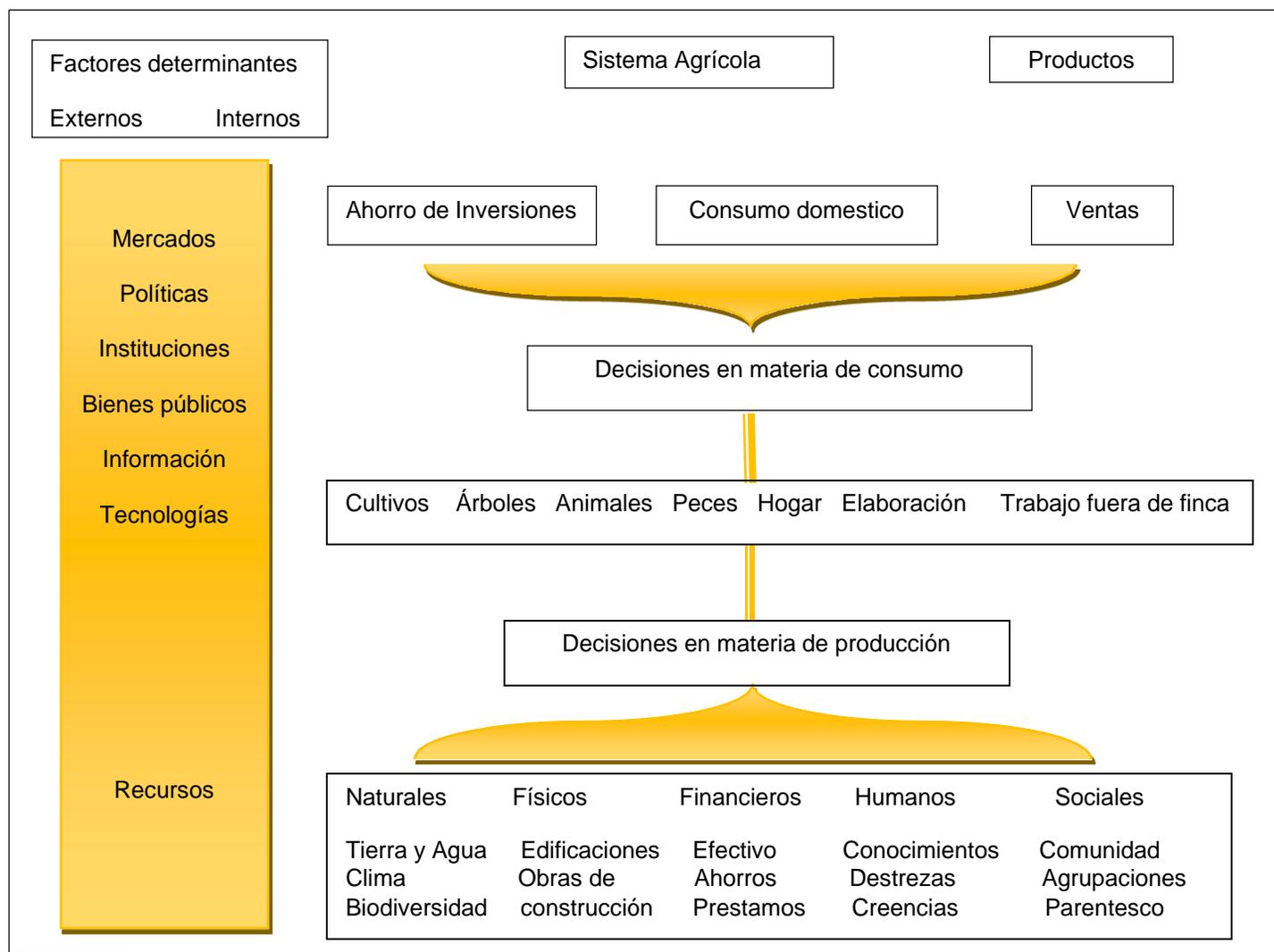
### **1.1 Sistemas productivos**

#### **1.1.1 Definiciones.**

Los sistemas productivos han estado presentes en el curso de la vida, con un único propósito que es satisfacer las necesidades alimentarias de la sociedad, este se define como una serie de unidades productivas ya sea por trabajos agrarios o por empresas para la obtención de materias primas, es decir, están determinados por las relaciones técnicas de producción estando en una inmersa y compleja red de relaciones: técnicas, económicas, sociales y políticas, en un período y tiempos determinados, todas estas influyendo entre sí (Semetiel *et al*, 2004).

Abordando el tema de definiciones de dichos sistemas, de acuerdo con la FAO, estos tienen un conjunto de características que forman un todo, es decir, son los recursos, flujos, e interacciones de la finca. En otras palabras, es una población de fincas (milpas), con ciertas semejanzas para el aprovechamiento de sus recursos, una ejemplificación de los sistemas productivos agrícolas es como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Representación esquemática de los sistemas agrícolas



Fuente: Elaborado a partir de FAO (2022)

Cabe mencionar que este sistema es una de las principales fuentes de producción de alimentos para la población a nivel mundial, en donde también son llamados agroecosistemas. Se caracterizan por tener con una serie de partes y procesos: área de cultivo, producción, y equipamiento. Dichos sistemas productivos han pasado en el transcurso de los años, de una agricultura tradicional, a una intensiva moderna, en donde se utiliza una gran cantidad de insumos (combustibles, fertilizantes, pesticidas y abonos) y maquinaria eléctrica, por lo tanto, esta agricultura intensiva moderna, necesita más recursos para su producción (Nicholls *et al*, 2015).

### 1.1.2 Clasificación de los sistemas agrícolas.

Los sistemas agrícolas pueden clasificarse en ocho categorías, en función del clima, los recursos, etc. Del cual dispongan los agricultores de una región dada, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de sistemas de producción agrícola

CONCEPTO	TIPOS DE SISTEMAS
Sistemas agrícolas de regadío	Los sistemas más utilizados es el riego por surcos, en el cual el agua se transporta por pequeños canales que se crean al interior del cultivo.
Sistemas basados en el arroz acuático.	El cultivo peces en arrozales tiene una antigua tradición en Indonesia. En general, los agricultores han desarrollado los sistemas usados actualmente. Los sistemas arroz-pez ampliamente practicados en las áreas irrigadas de Java occidental son: minapadi, penyelang y palawija.
Sistemas agrícolas de secano en las estepas y tierras altas	La agricultura de secano es el cultivo de las tierras semiáridas basado únicamente en el agua de lluvia.
Sistemas agrícolas de secano en zonas secas o frías de potencial bajo	Son sistemas que se basa solo en temporada de lluvia.
Sistemas agrícolas duales (combinación de grandes explotaciones comerciales y de pequeñas fincas).	Son sistemas de riego para parcelas con grandes hectáreas.
Sistemas de pesca artesanal costera	Son sistemas que solo se basan en ciertas zonas costeras
Sistemas agrícolas urbanos, basados por lo general en la horticultura y la producción ganadera.	Son sistemas utilizados en poblaciones de grandes urbes con maquinaria.

Fuente: Elaborado a partir de FAO (2022)

### 1.1.3 Agroecosistemas

Diversos autores conciben a un agroecosistema como un sistema originado por la acción del hombre sobre el ecosistema y tiene como objetivos el aprovechamiento del medio en forma sostenida para obtener plantas o animales de consumo inmediato o transformable (Martínez *et al*, 2015) como es el caso de la actividad agrícola, donde se hace uso del recurso suelo, para la obtención de alimentos en beneficio de su población.

Por otra parte, el nivel de desarrollo de un sistema productivo se somete al control de las condiciones naturales que el hombre le dé a este, siendo por tanto manejado como una unidad de estudio en diferentes niveles jerárquicos de los sistemas de producción primaria, mediante la adaptación, modificación e interacción con los recursos naturales, es decir, son ecosistemas transformados, para el aprovechamiento de los recursos en la producción de alimentos, fibras y materias primas. Todo esto siempre obteniendo la satisfacción de las necesidades humanas (Platas *et al*, 2017).

Finalmente, un agroecosistema es una abstracción de la realidad para comprender el proceso de producción primaria mediante el cual el hombre se apropia de la naturaleza y la modifica de acuerdo con sus intereses productivos donde influyen los componentes sociales, económicos y culturales ya que estos componentes pueden conferir particularidades en la adopción y utilización de tecnología en cada agroecosistema (Platas *et al*, 2017).

### 1.1.4 Tipos de agroecosistemas

La principal característica que diferencia a los agroecosistemas es el grado de manipulación de los componentes bióticos y abióticos para obtener una respuesta favorable en el objetivo de producir bienes para la sociedad como son los alimentos. Gómez Sal (2012) propone una clasificación de éstos y los divide de acuerdo con las actividades y elementos que se utilizan, misma que se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Modalidades y definiciones de agroecosistemas

Tipos de agroecosistemas		
Nombre	Definición	Subtipos
Sistemas con elementos leñosos dominantes	Son estructuras persistentes, con baja tasa de renovación, tiene funciones de soporte, transporte y regulación. Se pueden encontrar en montes abiertos o cultivos leñosos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Silvopastoriles (dehesas arboladas, castañares, caballearas, sabinares abiertos, etc.</li> <li>• Cultivos leñosos especializados (olivares, viñedos, frutales)</li> </ul>
Pastizales	Se trata de suelos no saturados, ricos en materia orgánica, tienen un papel destacado en los servicios de regulación, influyen en la composición y estructura de las comunidades vegetales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de vías pecuarias y pastizales asociados</li> <li>• Matorrales, monte bajo pastado, pastizal mediterráneo</li> <li>• Pastizales de montaña</li> </ul>
Cultivos herbáceos monoespecíficos	Su objetivo es encaminado a alcanzar una elevada productividad primaria, mediante especialización productiva y baja diversidad de especies vegetales, esencialmente plantas herbáceas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secano extensivo. Estepas cerealistas</li> <li>• Regadío extensivo</li> </ul>
Policultivos	Es la biodiversidad inducida por usos humanos, tanto en plantas cultivadas y razas ganaderas y en el mosaico que caracteriza su paisaje (retículos, líneas de árboles, parcelas dedicadas a distintos usos y funciones).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huerta tradicional</li> <li>• Mosaico mediterráneo</li> <li>• Policultivo atlántico. Paisaje reticulado</li> </ul>
Agricultura industrial	Agroecosistemas intensivos, los servicios de abastecimiento, incluyendo valores culturales (conocimientos y formas de gestión innovadoras). El mayor conflicto se produce con los servicios de regulación, que en este caso se encuentran muy mermados por el limitado papel que se asigna a la estructura y biodiversidad del ecosistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivos bajo plástico</li> <li>• Regadío intensivo industria</li> <li>• Praderas artificiales</li> </ul>

Fuente: Elaborado a partir de Gómez Sal (2012).

También se aborda una clasificación de los agroecosistemas a nivel mundial, en donde se toman en cuenta el tipo de cultivo y especie que manejan para su aprovechamiento, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Los tipos de agroecosistemas a nivel mundial

Nombre	Tipo de cosecha	Definición
<b>Cosecha de raíces</b>	Batata, mandioca, camote, etc.	Cosechas basadas en sus raíces, que son los principales alimentos de países de latitudes tropicales.
<b>Cosechas de granos</b>	Maíz, trigo, avena, cebada, arroz y centeno.	Cosechas basadas en sus granos, con una mayor producción en latitudes templadas y en climas de manzanas.
<b>Producción de carne</b>	Ganado, carneros, aves, etc.	Estos se producen en países con economía alta desarrollada.

Fuente: Elaborado a partir de FAO (2022)

## 1.2 El suelo, funciones y procesos

### 1.2.1 Definición de Suelo

A lo largo del tiempo, el suelo ha tenido distintos conceptos y percepciones, dependiendo del autor y época en la que este se explique. Para tal caso, este es un recurso natural con tres características principales, es finito, no renovable y brinda servicios ecosistémicos, de los cuales el más conocido, es que es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los que depende la sociedad mundial (Burbano Orjuela, 2016) , es decir, que es aprovechado como un sistema productivo agrícola, el cual influye en las actividades económicas y sociales del territorio, debido a la presión que ejercen los grupos sobre el mismo (Gardi *et al*, 2014).

Por otra parte, el suelo también es el resultado de la interacción de los factores formadores que son el clima, los organismos, el relieve, el tiempo y la roca madre o material parental (Montaño *et al*, 2018). De acuerdo con la FAO (2022), la definición de este recurso indica que es la capa superior de la corteza del planeta y que tiene diferentes estratos u horizontes que varían de centímetros a metros.

En términos generales, el suelo se compone en un 45 % de una fracción mineral derivada de la desintegración de los materiales parentales, 25 % de aire, 25 % de agua y 5 % de materia orgánica, resultado de la descomposición de restos vegetales, animales y microbianos. La interacción de todos estos elementos y procesos determina una amplia heterogeneidad en cuanto a tipos de suelo se refiere, denotándose en la actualidad una totalidad de 32 grandes grupos de suelo con características y propiedades físicas, químicas y biológicas específicas (2014 WRB, 2014).

### 1.2.2 propiedades del suelo

Las propiedades son atributos o características de algo, existen dos tipos de propiedades: las propiedades generales (o extrínsecas), que son aquellas comunes a todos los tipos de materia, no permiten diferenciar una sustancia de otra (ICEL, 2020). Y las propiedades específicas (o intrínsecas), que son aquellas que permiten diferenciar una sustancia de otra, pues tienen un valor específico.

Ahora bien, abordando el tema del suelo, este es el elemento principal que forma parte de los sistemas de producción agrícola en donde su manejo continuo tiene ciertas repercusiones en sus propiedades y funciones en la medida en que se intensifican los procesos productivos, lo cual repercute directamente en su desempeño productivo (INTAGRI, 2017). A continuación, se explican algunas de las principales propiedades del suelo y como es que su manejo determina el deterioro de estas.

### 1.2.3 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo tienen un papel fundamental porque son reguladoras de procesos importantes que condicionan el funcionamiento de los sistemas productivos (López *et al*, 2018). También entendidas como, características que determinan cualidades de la materia sin que existan cambios en su composición (Rosas, 2014). Algunas de estas son:

#### a) Textura

Es la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños se dividen en arena, limo y arcilla. La textura influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura (FAO, 2023).

La textura del suelo básicamente está constituida por las partículas que lo forman, teniendo estas diferentes características, por ejemplo, existen texturas gruesas que contienen un alto porcentaje de arena y grandes poros, lo que les facilitan un drenaje con mayor rapidez a comparación de los pequeños poros de suelos con texturas finas, con una alta proporción de arcillas y limos. De tal forma, se tiene una amplia variación de los medios bióticos, físicos y químicos, dentro de estas categorías (Heredia *et al*, 2016).

#### b) Densidad aparente (DA)

Esta propiedad se define como la relación entre el volumen total de sólidos del suelo y su masa, utilizada para definir la estructura (Ramírez *et al*, 2015). Se toma en cuenta como un indicador de calidad de este recurso porque gracias a ella, se puede definir la compactación y crecimiento de las raíces de los cultivos. Permite observar las alteraciones a causa de las actividades del ser humano, en especial todo lo relacionado con la actividad agrícola: uso de maquinaria pesada o el uso de arado (Espinoza *et al*, 2018).

#### c) Densidad real (DR)

Se define como la densidad de las partículas con independencia de su espacio poroso. También denominada gravedad o peso específicos, expresada en  $\text{g/cm}^3$ . “Corresponde al cociente entre el peso de las partículas y el volumen que éstas ocupan” (Lozano & William, 2016). Esta propiedad depende de los componentes del suelo, como son los minerales, y material orgánico lo que influye directamente con el valor de porosidad, afectando los procesos de aireación y drenaje del suelo. La

DR está fuertemente ligada y condicionada con las actividades antropogénicas (Recalde, 2017).

d) Penetrabilidad.

Es la resistencia que presenta un suelo a la penetración radical y está íntimamente ligada a la densidad aparente (sólidos por unidad de volumen) y al nivel de humedad del suelo. La penetrabilidad está estrechamente relacionada con el volumen de raíces (INTAGRI, 2017).

e) Estructura

Las partículas texturales del suelo como arena, limo y arcilla se asocian para formar agregados y a unidades de mayor tamaño nombrados por peds. Su importancia de esta propiedad radica en cómo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión (FAO, 2016).

f) Color

El color del suelo varía con la cantidad de humedad y depende de sus componentes, que son la materia orgánica, grado de oxidación de minerales. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo. Sirve para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (FAO, 2023).

g) Humedad

Es la cantidad de agua que hay en el suelo. Dicho contenido puede variar de acuerdo con el tipo, cantidad de arcilla y el porcentaje de MO que se encuentre en el suelo. Entre mayor cantidad de arcilla y/o MO, mayor cantidad de agua retenida; es por ello por lo que suelos arenosos suelen saturarse más rápidamente que un arcilloso (INTAGRI, 2017).

#### h) Porosidad

Es el volumen del suelo no ocupado por sólidos representado en porcentaje, este volumen está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Se clasifica el espacio poroso en macro poros y micro poros. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (FAO, 2023).

#### 1.2.4 Propiedades químicas del suelo.

Las propiedades químicas del suelo, se analizan y toman en cuenta en el estudio porque son indicadores de la calidad de este recurso, ya que se relacionan con la disponibilidad de agua y nutrientes para el óptimo desarrollo de las plantas. Destacan el pH, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica, P, N, y K, siendo las variables más importantes para el estudio del suelo (Calderón, 2018). Se toman en cuenta por la afectación de la relación entre el suelo y la planta, la calidad del agua, la disponibilidad de nutrientes y contaminantes en el suelo (Trujillo *et al*, 2018). Estas propiedades determinan cualidades de la materia con cambios en su composición (Rosas, 2014).

#### a) Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es importante considerar la CIC porque mide la concentración de sales en el suelo. Dependiendo de su acumulación, puede ser benéfico para los organismos o en su defecto, incidir negativamente tanto al desarrollo de las plantas como a los microorganismos. Un exceso de sales es perjudicial porque de alguna manera, retienen el agua en la matriz del suelo, provocando que los cultivos no la absorban (Cremona y Enríquez, 2020).

#### b) Materia orgánica (MO)

Su importancia radica en que es un elemento clave para mantener la productividad en los agroecosistemas, por ser una fuente importante de nutrimentos y propiciar

una buena condición de las características físicas la disponibilidad de nutrientes para las plantas y microorganismos del suelo (Galantini *et al*, 2007). Tiene una fuerte influencia en las propiedades físicas, permitiendo una buena circulación del agua y del aire, y una fácil penetración de las raíces, así se obtiene una mayor permeabilidad y retención de agua, lo que favorece a la actividad agrícola. En la actividad agrícola, para el mantenimiento de la MO, es recomendable aplicar abonos orgánicos (estiércoles) que favorecen en el rendimiento de la productividad, aún más que los fertilizantes (Trinidad y Velasco, 2016).

### c) Potencial de Hidrogeno (pH)

Este establece que tan ácido o alcalino es un suelo en una escala de 0 a 14, siempre y cuando este en contacto con el agua, condicionando todas las reacciones químicas y biológicas que ocurren sobre él. En circunstancias naturales, sin influencia de la actividad humana, el pH varía muy poco. Sin embargo, cuando el pH es alterado generalmente es por el uso excesivo de fertilizantes amoniacales o a base de nitrógeno, ocasionando una acidificación debido a la extracción intensiva de bases de cambio de suelo (Cremona y Enríquez, 2020).

El pH también conocido como “reacción del suelo”, es un indicador que nos dice que tan alcalino o ácido es cuando está en contacto con el agua. Se mide a través de una escala que va del 0 al 14, de esta manera, cuando un suelo tiene un pH de 7 se lo considera neutro, con valores mayores (7 a 14) se lo considera alcalino y con valores menores (7 a 0), se lo denomina suelo ácido. Los resultados dependen de dos condiciones del material que origina ese suelo y de la intensidad con la que los procesos de formación de suelo (resultantes de la interacción del clima, la biota la vegetación y organismos del suelo, y el relieve, a lo largo del tiempo) actuaron sobre él. La evolución natural a largo plazo del suelo tiende a reducir el pH, otros factores que el pH modifica son la disponibilidad de los nutrientes y la solubilidad de estos en el suelo (INTA, 2020).

### 1.2.5 Procesos degradativos en el suelo.

La degradación de suelos es cualquier alteración o cambio del recurso, es decir, la disminución de su capacidad inicial para proporcionar bienes y servicios (Piscitelli, 2015). Esta puede ser de origen natural siendo el resultado de una compleja interacción de factores naturales, como el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima; o por factores socioeconómicos como la densidad poblacional, tenencia de la tierra, las políticas ambientales y los usos y gestión del suelo (Gardi *et al*, 2014).

Así mismo dicha degradación es entendida también como un proceso en el que se deterioran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, debido a la existencia de dos sistemas involucrados: el ecosistema natural y el medio social humano (Piscitelli, 2015). De esta manera, el problema radica en que la pérdida de productividad de los suelos, teniendo como consecuencia afectaciones a otros ecosistemas naturales que se ven obligados a transformarse en campos de cultivo, con lo cual, además de los daños a la biodiversidad, se producen grandes pérdidas de carbono orgánico del suelo y, por ende, la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Por ello, los cambios producidos en el suelo por este proceso pueden llegar a ser irreversibles y tener consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas negativas. El proceso de degradación se relaciona íntimamente con el uso inadecuado de los recursos agua, suelo, flora y fauna por el hombre (García *et al*, 2018). Los procesos de degradación de un suelo pueden ser múltiples y frecuentemente interactuantes; algunas de sus categorías son las siguientes:

#### a) Degradación física

Esta se define como el deterioro de la estructura del suelo (Acevedo *et al*, 2021). Este tipo de degradación es consecuencia del decaimiento de las propiedades estructurales, ocasionando problemas como: encostramiento, compactación, baja de infiltración, alta rata de escorrentía y erosión acelerada, afectando la

productividad de los cultivos, lo que restringe las cosechas y los alimentos disponibles (Delgado Londoño, 2017).

#### b) Degradación química

Esta es consecuencia de la acumulación de sustancias tóxicas en el suelo, en concentraciones que superan su poder de amortiguamiento natural teniendo como efecto, cambios negativos en sus propiedades y la pérdida parcial o total de la fertilidad del recurso (Murillo *et al*, 2019). También esta es producto de la acumulación de sales solubles en el suelo, que además de afectar el crecimiento de las plantas, ejerce un proceso adverso sobre la biota y sobre los procesos biológicos esenciales que mantienen su calidad (Mogollón *et al*, 2014).

#### c) Degradación Biológica

Es la pérdida de biodiversidad y de materia orgánica del suelo que repercute en sus funciones. Para suelos agrícolas se ven afectados en la transformación, reciclado y asimilación de los nutrientes por las plantas. Una de las causas que provoca este tipo de degradación es, el uso intensivo del suelo y la aplicación de tecnología inadecuada (Piscitelli, 2015).

#### d) Degradación hídrica

La erosión hídrica es el proceso por el cual se fraccionan y arrastran las partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. Cuando la gota impacta directamente al suelo, la fuerza del impacto fracciona los agregados y los hace propensos a arrastre por la acción de los flujos superficiales de agua (escorrentía) y a la vez causa daño en la estructura superficial del perfil del suelo disminuyendo su capacidad de aportar nutrientes y disminuir el desarrollo de las plantas (Delgado Londoño, 2017).

### 1.2.6 La calidad del suelo e indicadores de calidad del suelo.

La calidad del suelo es la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar y sostener la productividad de las plantas y de los animales, mantener o mejorar la calidad del agua, aire y pretende mantener la sanidad y la vivienda de los humanos. La calidad de los suelos es fundamental en las prácticas agrícolas, porque de esto depende si los nutrientes son adecuados para crecer y desarrollarse (USDA, 2023).

Los indicadores de la calidad del suelo son atributos medibles que revelan la respuesta de la productividad o funcionalidad del suelo al ambiente, e indican si la calidad del suelo mejora, o permanece constante o decrece (Joe *et al*, 2014)

#### a) Indicadores físicos

Los indicadores físicos sirven para reflejar las propiedades de este recurso entre ellos están: la textura, que retiene transporta agua y minerales. La profundidad del suelo, que estima el potencial productivo y de erosión. La infiltración y densidad aparente, por su potencial de lixiviación, productividad y erosión. La capacidad de agua disponible, por su relación con la retención de agua, transporte y erodabilidad. Por último, la porosidad y compactación del suelo, por su retención y transporte de agua y nutrientes (Navarrete *et al*, 2011).

#### b) Indicadores químicos

Los indicadores químicos más usados para generar ICS son: 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 (Estrada Herrera, 2017).

#### c) Indicadores biológicos

Los indicadores son propiedades dinámicas del suelo que son muy sensitivos al manejo del suelo, desordenes naturales, y a químicos contaminantes. Estos

permiten tener una visión de los componentes vivos del suelo. Los indicadores biológicos pueden reflejar el número total, tipo, y actividad de microorganismos y la diversidad de organismos vivos en el suelo, en particular la población microbiana. Algunos indicadores biológicos están ligados a fracciones de materia orgánica, reservas de nitrógeno o la biota del suelo (respiración) (USDA, 2023).

### 1.3 Servicios ambientales (SA)

Los servicios ambientales o ecosistémicos (tabla 4) son aquellos que la naturaleza o los procesos ecológicos proveen a los seres vivos y al planeta. Para FAO son el motor del medio ambiente. Los SA son esenciales para la vida y se dividen en cuatro tipos (SEMARNAT, 2021).

Tabla 4. Clasificación de los servicios ambientales

Servicio	Definición	Ejemplos
Servicios de abastecimiento	Son los bienes materiales que se obtienen de los ecosistemas, y es el principal debido a que se encarga de cubrir las necesidades básicas de la sociedad.	Entre ellos están; agua, alimentos, madera en otros
Servicios de regulación	Se ocupan de que los recursos sean limitados y estos no generen daños en un futuro. Tienden a tomar importancia cuando se han generado daños y pérdidas en el ecosistema.	Entre estos servicios se encuentran el mantenimiento de la calidad del aire y del suelo, control de inundaciones, enfermedades o la polinización de cultivos
Servicios de apoyo	Se encargan de proporcionar espacios vitales y conservar la biodiversidad para las plantas o animales. Constituyen la base de todos los ecosistemas y sus servicios	Estos servicios se ven afectados por actividades como la agricultura, silvicultura y la pesca.

Fuente: Elaboración propia a partir de SEMARNAT (2021)

#### Continuación de la tabla 4. Clasificación de los servicios ambientales

Servicio	Definición	Ejemplos
Servicios culturales	Son los beneficios no materiales, es decir, la identidad cultural, ética, sentimiento de apego, entre otras. Siendo un factor para el aprovechamiento turístico	Los servicios culturales figuran entre los valores más importantes que las personas asocian con la naturaleza; es por ello fundamental comprenderlos.

Fuente: Elaboración propia a partir de SEMARNAT (2021)

En la tabla 4 de la clasificación de los servicios ambientales, se observan cuatro tipos de servicios ambientales entre ellos están los servicios de abastecimiento, servicios de regulación, servicios de apoyo, y servicios culturales. En los servicios de abastecimiento se encuentra el recurso suelo, debido a que este recurso, es uno de los principales bienes que provee las necesidades básicas de la sociedad. Sin el suelo, la actividad agrícola no podría ser realizada, afectando de manera directa la alimentación de la sociedad. De igual manera los servicios de regulación son importantes en el suelo debido a que estos se encargan de controlar su uso, estableciendo límites en el recurso, para evitar que en un futuro se presenten problemas.

Los servicios de apoyo se encargan de proporcionar espacios específicos para actividades como la agricultura, la silvicultura y pesca. Todas estas actividades tienen efectos en el suelo, por lo que estos servicios buscan un equilibrio entre cada actividad.

##### 1.3.1 Servicios ambientales del suelo

El suelo sin lugar a duda provee de distintos servicios ambientales, siendo un recurso indispensable para la subsistencia de los seres vivos, como producto de su constitución física, química y de la actividad de una gran diversidad de organismos

que lo habitan y que trabajan en equipo dando soporte a su multifuncionalidad (Montaño *et al*, 2018); entre sus servicios se encuentran:

La generación de oxígeno es un servicio ambiental que el suelo brinda. A partir de dar soporte a los productores primarios, la regulación del clima, de los flujos hidrológicos esenciales en la recarga de acuíferos y el suministro de los nutrientes que sustentan a las plantas nativas o cultivadas, entre ellas una gran variedad de gramíneas y leguminosas que proveen de forrajes, fibras, biocombustibles, granos y frutos a los organismos. Por otra parte, el suelo suministra materiales para la construcción de vivienda e infraestructura (yeso, grava, arena, arcilla, cal), también es un reservorio importante de herencia cultural (cerámicas de culturas milenarias) y biológica (registro fósil) (Montaño *et al*, 2018).

Ciclos biogeoquímicos. Los ciclos biogeoquímicos que ocurren en la naturaleza son mecanismos indispensables para que haya condiciones estables en la Tierra y para que se dé la vida. Estos ciclos involucran elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros. Son vitales y el suelo tiene una posición central e insustituible en los mismos. Sin estos ciclos no se daría el paso continuo de los elementos químicos de los sistemas vivos del planeta a otros que no lo son (Burbano Orjuela, 2016).

Uno de los servicios de regulación que se obtienen del suelo están asociados a la disponibilidad de nutrientes y compuestos tóxicos. Las cargas eléctricas de sus partículas, combinadas con su tamaño pequeño y su amplia superficie de contacto, proveen las condiciones para que se realicen una amplia gama de reacciones químicas. Estas reacciones pueden desactivar o reducir la toxicidad de los contaminantes que llegan al suelo, y con ello evitar su paso a las aguas subterráneas o afectar las redes tróficas de los ecosistemas terrestres y acuáticos (SEMARNAT, 2015).

Finalmente, el almacenamiento o fijación de carbono. El suelo es el mayor sumidero de carbono en la naturaleza. La fijación del carbono por el suelo llamada “secuestro de carbono” o “captura de carbono” impide que el CO<sub>2</sub> vaya a la atmósfera, siendo que este es uno de los gases de efecto invernadero que propician el cambio climático. Con la intermediación de las plantas y la participación de los organismos del suelo, el carbono se transforma en materia orgánica que se acumula en el suelo por amplios periodos de tiempo. Este carbono almacenado en el planeta en el primer metro de suelo es una y media veces superior al acumulado en la vegetación (Burbano Orjuela, 2016).

## **1.4 Panorama de la agricultura en el Estado de México**

### **1.4.1 Reseña histórica del sector agrícola en el Estado de México**

El Estado de México tiene una variedad de microclimas, que le permite cultivar distintos productos agrícolas de los cuales algunos de ellos tienen el primer lugar en volumen de producción a nivel nacional. De igual manera, este produce importantes volúmenes de semillas básicas para la alimentación, (maíz, avena en grano, avena forrajera, papa y frijol) donde el maíz ocupa el principal cultivo de la producción del estado (Secretaría del Campo, 2021).

La producción agrícola de la entidad se divide en dos grandes grupos. La primera se basa en la producción ejidal, de temporal, maicera de baja productividad y de autoconsumo. Y la segunda, se identifica una agricultura de propietarios privados que disponen de una infraestructura moderna (invernaderos y grandes extensiones de tierra) para la producción, sus tierras de cultivo son principalmente de riego, invierten en cultivos comerciales en los que se encuentran: la flor, el jitomate, el chile manzano, la guayaba, el durazno y el aguacate; los municipios representativos de estos productos son: Coatepec Harinas, Tenancingo y Villa Guerrero (Rosendo *et al*, 2019).

Aunque el estado ha sido uno de los principales productores agrícolas, este ha tenido a lo largo del tiempo ciertas dificultades, como se vio reflejado en los años: 2002, 2005, 2009 y 2011, en donde tuvo lugar una importante sequía en las regiones de producción, que exhibió la capacidad e incapacidad para responder a los efectos de la contingencia. En particular la sequía en 2011 modificó las variables de rendimiento: superficie sembrada, superficie cosechada y, volumen de cosechas, colocando a los distritos de Coatepec Harinas y Tejupilco en la categoría de rendimientos crecientes y a los distritos de Atlacomulco, Toluca, Texcoco, Valle de Bravo, Jilotepec y Zumpango en la categoría de rendimientos decrecientes (Orozco *et al*, 2017).

La agricultura maicera en el Estado de México es predominantemente campesina, es decir, que se realiza en predios minifundistas con base en el trabajo de la familia campesina, que se destina a dos fines: consumo familiar y venta de pequeños excedentes, que en el periodo de 1990-1994, las instituciones estatales encargadas en ese entonces de instrumentar la política agrícola, desempeñaba un fuerte papel de apoyo a pequeños agricultores (Blancarte, 1994).

Debido a las incapacidades de respuesta ante las contingencias agrícolas, se tomaron algunos factores que han funcionado como estrategias para ajustar el rendimiento de las siembras: la reforma agraria, los estímulos a la productividad, la transferencia de tecnología para la diversificación de cultivos, la creación de empresas rurales y el fomento a la producción de cultivos básicos (Orozco *et al*, 2017).

Por otra parte, uno de los puntos clave en la agricultura mexiquense del estado es la vulnerabilidad y el agravamiento de la economía desde el punto de vista de las familias del medio rural, así como las dificultades y limitaciones de la agricultura familiar, que se ha constituido como un sector estratégico para asegurar la alimentación a gran parte de la población, ya que una fracción de las cosechas son

utilizadas para un autoconsumo de los mismos (Centros de estudios de las finanzas públicas, 2016).

Aunado a lo anterior, se ha coordinado a la secretaria del campo estatal para trabajar con los agricultores a través de capacitaciones, entrega de fertilizantes, semillas, asesorías, entre otras actividades, que ayudan a que las siembras obtengan un mejor rendimiento. Es por ello por lo que en el año 2019 se obtuvieron 1.9 millones de toneladas de grano de maíz, con lo que la entidad se ubicó en el cuarto lugar de producción nacional, después de Sinaloa, Jalisco y Michoacán (Secretaría del campo, 2021).

Entre otras acciones para seguir preservando esta actividad primaria, se han coordinado la Secretaría del Campo y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, junto con los productores mexiquenses, para la cosecha de un nuevo híbrido de semilla “*triticale*” que es el resultado de la cruce entre trigo y centeno, que en su mayoría se destina a la alimentación del sector pecuario, debido a sus propiedades nutritivas, bajo costo y alto rendimiento. Entre sus beneficios destaca que es uno de los granos que ayuda para una agricultura sustentable y rentable, lo que contribuye a tener un campo fuerte en la entidad. Las principales zonas productivas, son los municipios de Teotihuacán, Amecameca, Atlacomulco, Zumpango y Jilotepec (SECAMPO, 2021).

Asimismo, “el cultivo de maíz es la actividad agrícola que más se cosecha en la entidad, por lo que en el 2019 se obtuvieron 1.9 millones de toneladas de este grano, con lo que la entidad se ubicó en el cuarto lugar de producción nacional, después de Sinaloa, Jalisco y Michoacán” (Trejo, 2021). Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022), el Estado de México ha tenido en los últimos cuatro años, pérdidas en la cosecha anual de maíz de temporal. En la figura 3 se presentan los datos del periodo 2018-2022 de las siembras y cosechas del Estado.

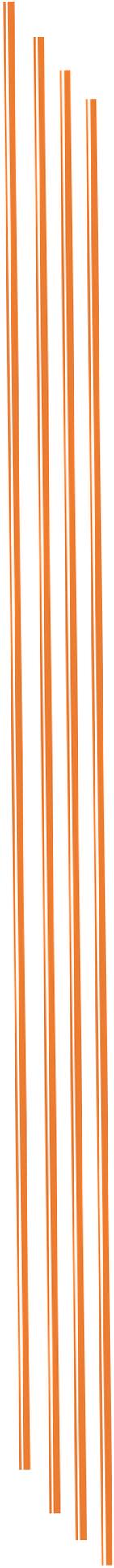
Figura 3. Tendencias de la producción anual de maíz de temporal en el Estado de México durante el periodo 2018-2021



Fuente: Elaboración propia a partir del servicio de información agroalimentaria (2021)

En este contexto de producción agrícola, que se ve caracterizada por una baja productividad y por la reducción de la población de agricultores, es indispensable desarrollar programas óptimos para poder llegar a las metas de reducción de pobreza y aumento de productividad, que impacte en el desarrollo económico y finalmente, en las finanzas públicas (Ramírez, 2016).

Por último, algunos de los factores que han determinado año tras año el rendimiento de poco más del 50% de los cultivos en el Estado de México es el uso de fertilizantes químicos. La incorporación de cantidades adicionales de agroquímicos para producir una tonelada de maíz por hectárea aumentará los costos de producción y disminuirá los rendimientos físicos y económicos (Orozco *et al*, 2017).



## CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA

## **Capítulo II. Marco de Referencia**

En este capítulo se abordan algunos antecedentes de la agricultura a nivel mundial, nacional y regional del tema de estudio, para comprender el contexto en el que se desenvuelve la problemática. Posterior a ello se ejemplifican algunos estudios relacionados con el tema a analizar, dichos estudios toman en cuenta la agricultura como tema principal para abordar algunas problemáticas planteadas que dan respuesta y sirven como apoyo para la investigación como son, la baja productividad, pérdida de nutrientes del suelo y afectación a la población. Por último, se retomaron algunas fuentes con vigencia de más de 10 años porque sirvieron para dar un contexto con mayores datos de antigüedad acerca del tema.

### **2.1 Antecedentes**

#### **2.1.1 Panorama mundial de la agricultura**

La agricultura es una de las actividades más importantes para el ser humano por ser el sostén de gran parte de la economía de muchos países y fuente de alimentación para la población mundial. De acuerdo con un estudio auspiciado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), aunque la demanda de productos agrícolas se ha mantenido en aumento durante el último siglo, esta tendencia ha disminuido en las últimas décadas principalmente debido a que la tasa de crecimiento de la población mundial se ha reducido a partir de los años 60, por lo cual el incremento anual en la demanda de alimentos pasará del 1.6 % requerido para 1991, a 1.4 % para el 2030.

Aunque los datos anteriores podrían resultar alentadores, también es preciso mencionar que en la actualidad, aproximadamente una tercera parte de la superficie en la tierra ya está destinada para uso agrícola, y aún con la ralentización del crecimiento demográfico proyectado en 9 mil millones de personas para el año 2050, se espera una mayor presión para hacer más productivos a los suelos agrícolas e incluso incorporar más tierras para

esta actividad y de esta forma cumplir con las demandas sociales y económicas (Burbano Orjuela, 2016).

El incremento de la frontera agrícola ya no resulta una opción viable debido a que iría en detrimento de espacios naturales como bosques, selvas o pastizales, atentando con ello al menguado equilibrio ecológico del planeta (pérdida de cobertura forestal y biodiversidad, el abatimiento de los recursos hídricos, así como la degradación edáfica). Como dato adicional la FAO estima que los suelos con condiciones idóneas para incrementar la frontera agrícola se encuentran limitados a unos cuantos países de América Latina y África, previendo que la explotación del recurso suelo en estas áreas deba ser limitada en extremo (FAO, 2002).

Las evidencias recabadas por este organismo internacional indican que gran parte de los países ha hecho mal uso del recurso suelo, pues se estima que a nivel mundial, aproximadamente el 50 % de los suelos presentan algún grado de deterioro; esto tiene como consecuencia una menor eficiencia y disponibilidad de aquellos que son aptos para la agricultura, tal es el caso de países como China o la India, así como de los países árabes que, al agotar o contar con recursos insuficientes, tienden a depender de la compra externa de sus alimentos para poder salvaguardar la integridad alimentaria de la población, lo cual incide en una mayor vulnerabilidad alimentaria. Tales evidencias permiten establecer que a nivel mundial la disponibilidad de suelo fértil está distribuida de manera desigual y esto incide en las competencias de mercados internacionales (Torres y Rojas, 2019).

Tanto en México como en el mundo, la agricultura ha sufrido enormes procesos de transformación en los últimos dos siglos. En este sentido, los suelos agrícolas se han manejado bajo diversos esquemas, partiendo desde la agricultura tradicional, basada en un manejo con bajo impacto sobre los recursos, y que por sus dimensiones y grado de manipulación afectaba principalmente el entorno local. En la medida en se incrementó la población y con ello la demanda de bienes y servicios, este esquema fue evolucionando

hacia prácticas extensivas de monocultivo, uso intensivo de insumos agro químicos propiciando que la presión ejercida sobre las funciones y procesos que de manera natural tienen lugar en el suelo se intensificaran , lo cual a través del tiempo se ha reflejado en el deterioro de sus funciones ecosistémicas y de sus propiedades o químicas y biológicas, y en última instancia, en la caída de los rendimientos de las cosechas, poniendo en riesgo las demandas alimentarias de la población y la integridad misma del recurso (Ferrerías *et al*, 2009).

Para México, el desarrollo desigual que hubo en el sector agrícola nacional propició la formación de diferentes subsectores con características particulares. Por una parte, la disponibilidad de recursos tecnológicos y económicos ocasiono la formación de un vigoroso sector agroindustrial, apoyado por grupos industriales locales y extranjeros cuya producción se dirige a la exportación. En la parte media, destaca un amplio sector de pequeños y medianos productores que recurren a recursos propios o apoyos gubernamentales para mantener una actividad agrícola destinada a los mercados locales y nacionales, con un nivel de rentabilidad de medio a bajo (Navarro Garza, 2013). Finalmente, el segmento inferior se compone de un gran número de agricultores de subsistencia, carente de recursos técnicos y económicos para hacer rentable su actividad, compuestos por comunidades rurales e indígenas.

Aún en la actualidad, las actividades que se desprenden del sector agropecuario en México son de gran importancia para un amplio sector de la población por ser fuente de empleo, así como de bienes y servicios para otros sectores económicos. Las cifras oficiales indican que el 25.2% del territorio nacional, es decir más de 27 millones de hectáreas se destinan a la producción agrícola, donde el maíz y el frijol representan casi el 80% de las tierras cultivadas (INEGI, 2019). Sin embargo, algunas de las principales amenazas para mantener la salud y productividad de los suelos son el uso excesivo de agroquímicos, las prácticas intensivas de monocultivos y el sobre laboreo de las tierras cuyos efectos tienen un impacto negativo sobre la diversidad de los recursos genéticos.

## 2.1.2 Propuestas teóricas para el estudio de los sistemas productivos.

A continuación, se ejemplifican en la tabla 5 algunos estudios que toman en cuenta a la actividad agrícola como principal tema para abordar diversas problemáticas que afectan al recurso suelo.

Tabla 5. Estudios relacionados con el funcionamiento de suelos agrícolas

Autores	Titulo	Objetivo	Aportaciones al trabajo de investigación	Tipo de estudio
<b>Paz et al, (2016)</b>	Manejo sustentable del suelo para la producción agrícola	Estudiar información documental acerca del aprovechamiento que se ha tomado al suelo agrícola	Información documental acerca de las practicas que deterioran la calidad del recurso suelo	Teórico
<b>Ramírez et al, (2015)</b>	Influencia de la fertilización en las propiedades fisicoquímicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de <i>Megathyrus maximus</i> .	Estudiar la influencia que ejerce diferentes fuentes de fertilizantes en las propiedades fisicoquímicas de un suelo en la producción de semilla Guinea	Comprobación de factibilidad productiva y económica del uso de abonos orgánicos en la producción de semillas guinea.	Práctico.
<b>Fadda et al, (2017)</b>	Metodología para el estudio de suelos en campo.	Caracterizar y reconocer los suelos en un área determinada para diferentes usos y manejos de suelo.	Comprobación de que los diferentes usos de suelo, si no son idóneos a su manejo afectan a las propiedades físicas y químicas.	Práctico
<b>Zanor et al, (2018)</b>	Mejoramiento de las propiedades físicas y química de un suelo agrícola mezclado con lombri composta de un biodigestor	Analizar el mejoramiento de las características de un suelo pobre en nutrientes con la aplicación de lombri compostas de un biodigestor.	La respuesta de los suelos modificados por la actividad agrícola, con una lombri composta de un biodigestor	Práctico
<b>Urbano et al, (2018).</b>	Hacia la Sustentabilidad económica del cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> L.) en Acambay, México	Evaluar la sustentabilidad agroecológica del cultivo de maíz criollo ( <i>Zea mays</i> L.) en el municipio de Acambay, Estado de México.	Medición de Indicadores de Sustentabilidad de explotaciones agropecuarias de cada agricultor en su parcela.	Teórico

Fuente: Elaboración propia (2022)

Continuación de la tabla 5. Estudios relacionados con el funcionamiento de suelos agrícolas

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Aportaciones al trabajo de investigación</b>	<b>Tipo de estudio</b>
<b>Espinoza <i>et al</i>, (2018)</b>	Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador	Determinar los cambios en las propiedades físicas del suelo de la Estación Experimental Tropical Pichilingue	La evaluación de las propiedades físicas del suelo, y como estas se ven afectadas por los sistemas de monocultivo.	Practico
<b>Hernández <i>et al</i>, (2019)</b>	Propiedades físicas del suelo y su relación con la plasticidad en un sistema bajo labranza tradicional y no labranza.	Evaluar las relaciones entre los límites ATTERBERG, DTP y el contenido de materia orgánica en un suelo bajo labranza y sin labranza	Comparación de indicadores de calidad de un suelo bajo labranza tradicional y no labranza.	Práctico
<b>Rodríguez <i>et al</i>, (2020)</b>	Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes ecosistemas	Evidenciar la influencia del sistema de manejo agrícola en las propiedades físicas y químicas del suelo.	Comprobación de como la explotación continua e intensiva del suelo, provoca una alteración en las propiedades físicas y químicas	Práctico
<b>Montatixe &amp; Eche, (2020)</b>	Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro	Analizar la degradación del suelo y el desarrollo económico de la agricultura familiar.	Las causas de la baja productividad en los sistemas agrícolas (uso y abuso de fertilizantes, pesticidas y equipos agrícolas, el excesivo pastoreo de animales, la inadecuada rotación de cultivos, mala aplicación de los sistemas de riego) con base a la percepción de los agricultores.	Descriptivo.
<b>Acevedo <i>et al</i>, (2021)</b>	Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de quíbor. i. análisis multivariado	Evaluar el nivel de degradación que pudiera existir en el suelo de los dos sistemas productivos utilizando análisis multivariado	Los atributos físicos, químicos y biológicos utilizados reflejan condiciones importantes de degradación de los suelos en los sistemas convencionales debido a sus características intrínsecas y de manejo.	Practico

Fuente: Elaboración propia (2022)

La evidencia de la demanda de alimentos de nuestro país deja al descubierto que es necesario desarrollar nuevas prácticas y tecnologías que incrementen el rendimiento de los sistemas agrícolas, debido a que se han experimentado cambios importantes en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, lo cual ha llevado a erosión, pérdida de materia orgánicas, nutrientes, y en la fuente energética. Como respuesta a estas problemáticas se propone una agricultura sostenible o sustentable. En este trabajo se analizaron algunas prácticas y se fundamentaron las razones urgentes para no postergar el cambio del manejo del suelo y de la producción agrícola (Paz *et al*, 2016).

La evaluación realizada en la Estación Experimental Tropical Pichilingue sobre sus suelos agrícolas, empleó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, en los suelos de bosque nativo y monocultivos de maíz (30 años), cacao (50 años), pasto (4 años) y palma aceitera (26 años) en diferentes profundidades cada 0,10 m hasta los 0,6 m, con la finalidad de conocer el estado de las propiedades físicas del suelo: conductividad hidráulica, densidad aparente, densidad real, porosidad total, porosidad de aireación, humedad volumétrica, textura, arcilla dispersa en agua, grado de floculación, materia orgánica e índice de materia orgánica/limo+arcilla. En donde se encontraron diversas alteraciones en cada una de las propiedades debido a los cultivos, en especial en los monocultivos de maíz, cacao, pasto y palma aceitera, que aumentaron las concentraciones de arcilla en las primeras profundidades del suelo, afectando negativamente el movimiento vertical del agua (Espinoza *et al*, 2018).

En la investigación de Urbano *et al*, (2018), realizaron un estudio edafológico en el municipio de Acambay, en donde se aplicó un cuestionario a cincuenta productores de maíz con el método de Indicadores de Sustentabilidad de Explotaciones Agropecuarias (IDEA). Entre los indicadores se encuentran: viabilidad económica, tasa de especialización económica, autonomía financiera y sensibilidad a las ayudas. Sin embargo, se hicieron aproximaciones de los datos recolectados, debido a que los agricultores no proporcionaron números exactos, para finalmente llegar a la conclusión de que la sustentabilidad económica es muy baja, debido a que no cuentan con el acceso

a apoyos a la producción del maíz y que este producto en el mercado no le dan el valor idóneo, por lo que es comercializado en precios bajos.

En el estudio de (Hernández *et al*, 2019), se analizaron las propiedades de calidad del suelo, entre ellas se encuentran la distribución del tamaño de las partículas, la estructura de la materia orgánica y la plasticidad del suelo, que funciona como información sobre el comportamiento mecánico del suelo, bajo dos sistemas de producción: labranza y no labranza. Para llegar a la siguiente afirmación: el suelo bajo labranza tradicional tiene repercusiones en los indicadores analizados, es decir, que la actividad agrícola afecta notablemente en las propiedades del suelo.

Por otra parte, Rodríguez *et al*, (2020), analizó suelos de diferentes cultivos, este se dividió en dos estudios con diferentes profundidades de (0-15m y 15-30m), en donde los cultivos seleccionados fueron banano, pastos, cacao y bosque. Posteriormente, para la selección de los puntos de muestreo de manera aleatoria se tomaron tres muestras de suelo con ambas profundidades con la finalidad de conocer si existían diferencias estadísticas significativas entre ambas profundidades, se concluyó que cada cultivo tuvo valores diferentes por las características de cada agroecosistema. Sin embargo, los indicadores físicos, químicos y biológicos cambian de manera significativa en las dos profundidades.

El manejo de biofertilizantes para mejorar la calidad de los suelos afectados por la degradación fue el tema del estudio de (Zanor *et al*, 2018); los autores realizaron una evaluación de diferentes abonos orgánicos que permitan incrementar la fertilidad del suelo. Así mismo el objetivo fue analizar el mejoramiento de las características de un suelo pobre en nutrientes posterior de la aplicación de dos lombricompostas producidas a partir de un biodigestor. Finalmente se determinó que el uso de estos abonos orgánicos es factible tanto en productividad de los cultivos, como una mejor alternativa económica.

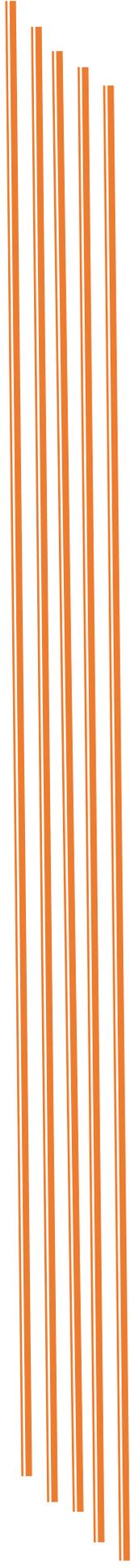
La investigación realizada en la parroquia Emilio María Terán, nos muestra como la degradación del suelo agrícola esta inmensamente relacionada con las practicas que los productores realizan sobre el recurso, y como al mismo tiempo esto afecta a la economía de la comunidad. Este estudio se llevó a cabo mediante la aplicación de encuestas que permitieron recolectar información sobre datos socioeconómicos, de producción y degradación del suelo, dejando al descubierto que existe una precaria situación económica, así como la presencia de unidades de producción agrícola (UPA) con áreas degradadas. Una de las conclusiones más importantes de este trabajo es que hay una relación directa entre los ingresos económicos y los factores sociales con la degradación del suelo por la baja productividad ya que existe un 70,9 % de las UPA con áreas degradadas que no se cultivan (Montatixe y Eche, 2020).

Entre los estudios prácticos se encuentran las aportaciones de la investigación de (Acevedo *et al*, 2021), en donde se tomó un sistema de manejo convencional con dos diferentes cultivos: cebolla y maíz, para realizar un análisis multivariado tomando en cuenta diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas de la calidad del suelo: pH, Mo, CE, CIC, textura, respiración basal, etc. Permitiendo definir cada atributo, y dejando al descubierto las condiciones importantes de degradación en ambos suelos las cuales están relacionadas con las características intrínsecas y de manejo en cada sistema productivo.

En la siguiente aportación (Ramírez *et al*, 2015), analizaron la influencia que ejercen diferentes fertilizantes orgánicos en las propiedades fisicoquímicas de un suelo gleyco nodular ferruginoso, el cual es dedicado a la producción de pasto Guinea. Se utilizó un diseño de bloques al azar y se evaluaron los siguientes tratamientos: humus de lombriz y el estiércol vacuno. Fueron tomadas en cuenta las siguientes propiedades para evaluar su factibilidad: densidad real y aparente, humedad natural, porosidad y materia orgánica. Se comprobó que es viable el uso de fertilizantes orgánicos como alternativa desde el punto de vista productivo y económico.

Finalmente, (Fadda, 2017) estableció los pasos necesarios que se requieren para un estudio del suelo, los parámetros que se deben utilizar en campo. Nos menciona que se debe de realizar una caracterización de la zona de estudio, determinación de los métodos que se utilizaran, un análisis del trabajo donde se enfocó en el trabajo de campo, laboratorio y gabinete. Con esto se permite poder realizar un diagnóstico y análisis de las condiciones del suelo.

De acuerdo con las aportaciones de las diversas investigaciones acorde al tema de estudio, podemos concluir que existen tanto factores internos como factores externos que inciden en la calidad de los sistemas de producción. Entre los factores internos se pueden identificar las maneras de cultivo que los agricultores utilizan, como los tipos de fertilizantes, pesticidas, abonos, y maquinaria que emplean, además del tiempo de cultivo que cosechan, todo ello incide tanto en las propiedades físicas como químicas del suelo. Y los factores externos están el clima, que es una variable que no se puede controlar, y sin embargo, influye de manera significativa en los cultivos. En general, existen maneras en que los productores pueden adaptarse ante estas circunstancias, y que el suelo pueda recuperar sus nutrientes.



## Capítulo III. Materiales y Métodos

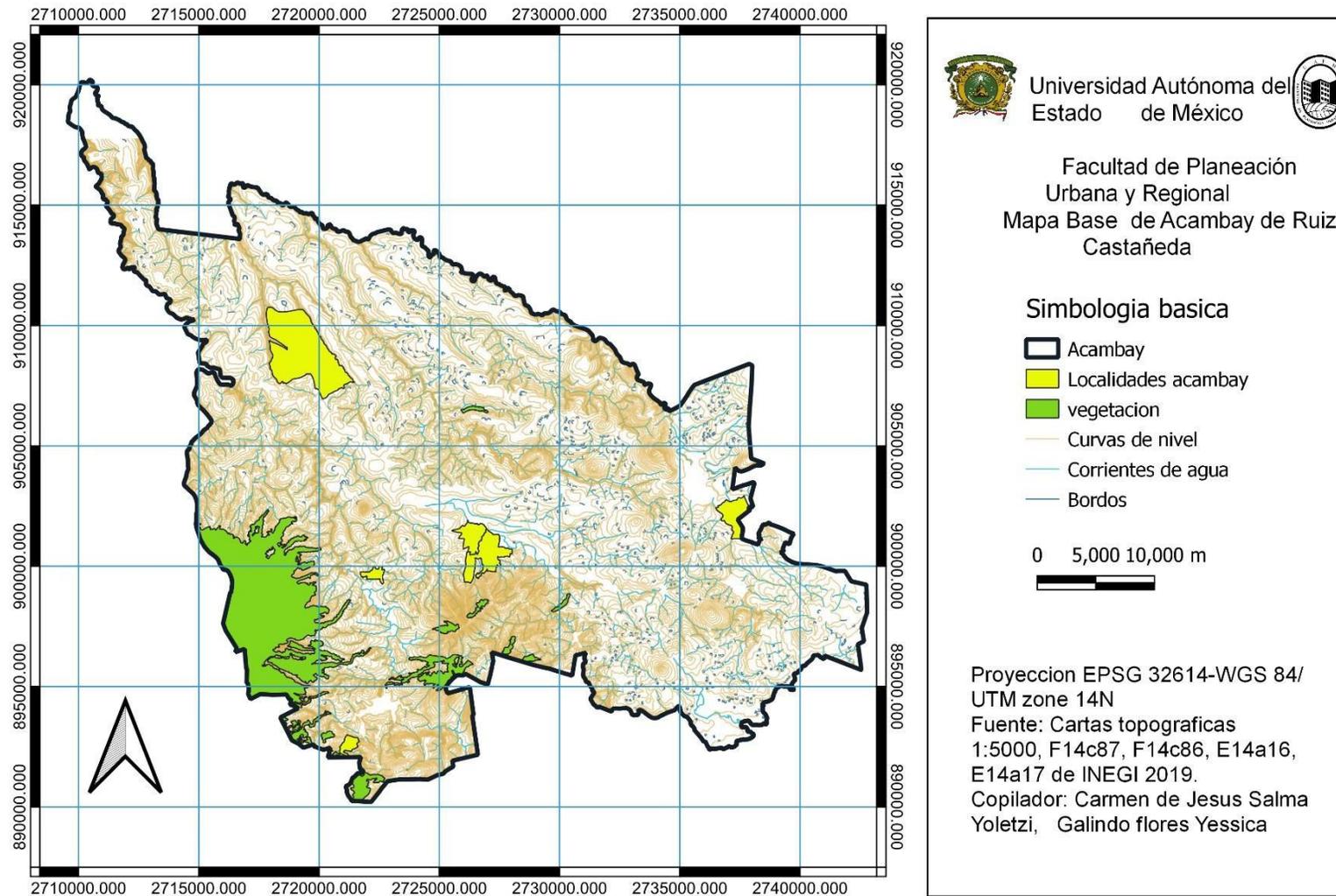
## **Capítulo III. Materiales y Métodos**

En este capítulo se aborda la caracterización del municipio de Acambay: sus factores sociales y ambientales, ya que la unidad analizada de Detiña es muy pequeña por lo cual no existen datos para dicha caracterización, además esta es una comunidad perteneciente a dicho municipio. Posterior a ello se explica la metodología que se utilizó para todo el diagnóstico hecho en los sistemas de producción agrícola, tomado en cuenta la selección de las unidades agrícolas, propiedades a analizar, planteamiento de las entrevistas para los agricultores, y métodos para las tomas de muestras. Algunas fuentes tienen más de 10 años de antigüedad porque es la documentación más actualizada del municipio.

### **3.1 Caracterización del Municipio de Acambay**

Acambay de Ruiz Castañeda se localiza al noroccidente del Estado de México, en los límites con Querétaro. Perteneció a la región II Atlacomulco y se encuentra en el sistema orográfico Tarasco-náhuatl y el eje volcánico Colima-Orizaba, lo que lo dota de formaciones montañosas erectas y profundas barrancas (INEGI, 2010).

Figura 4. Mapa de la localización del municipio de Acambay



Fuente: Elaboración propia a partir de cartas topográficas de INEGI (2019)

### 3.1.2 Marco biofísico

#### a) Clima

Por la ubicación geográfica del Municipio, el clima dominante es templado, sin embargo, las variaciones del relieve originan diversidad de climas, de tal manera que existen los templados en los valles elevados. Tomando en cuenta el sistema de clasificación climática de Köppen, el Municipio presenta los siguientes tipos de clima: Templado subhúmedo C (w), Semifrío C (E) y, Semifrío Cb'(w2) (SEDATU, 2019).

#### b) Edafología.

De acuerdo con la carta edafológica de INEGI, en el municipio de Acambay de Ruiz Castañeda existen seis unidades de suelo, sobresaliendo en orden ascendente los Feozem, Planosol, Luvisol, Vertisol y Andosol (tabla 6).

Tabla 6. Principales grupos de suelo en el municipio de Acambay

Unidades de suelo	Superficie (ha)	Porcentaje
Feozem	22,474.5	45.7
Planosol	7,896.6	16
Luvisol	7,822.8	15.9
Vertisol	7,281.6	14.8
Andosol	3,517.8	7.2
Cuerpos de agua	206.64	0.4
<b>Totales</b>	<b>49,199.94</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de SEDATU (2019)

#### c) Hidrología.

El Municipio forma parte de dos regiones hidrológicas: Pánuco y Lerma Santiago. Al suroeste lo alimenta la Cuenca del Río Lerma-Toluca y las subcuencas Río Oztolotepec-Atacomulco y Atacomulco-Paso de Ovejas, al noreste la Cuenca del Río Moctezuma y subcuencas río Prieto y Arroyo Zarco.

Según SEDATU (2019) “La mayoría de los recursos hidrológicos del municipio son escasos e intermitentes, identificándose un total de 41 corrientes de agua que alimentan a ramales tributarios de los ríos San Juan y Lerma. Destaca la existencia de bordos y presas con cierto grado de azolvamiento, las cuales se emplean como abrevaderos para el ganado y para el riego de parcelas agrícolas. Por otra parte, se identifican cuarenta y cinco pequeños manantiales, cuyas aguas se emplean para abastecer el consumo de las actividades agrícolas y el uso doméstico”.

#### d) Uso de Suelo y Vegetación.

Los usos del suelo en el municipio de Acambay de Ruiz Castañeda están conformados por diferentes asociaciones vegetales y uso productivos, predominando los bosques de encino, encino pino, pastizales inducidos y terrenos agrícolas de acuerdo con las coberturas que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Principales usos de suelo y vegetación en el municipio de Acambay.

Uso de suelo y vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje
Pastizal Inducido (agricultura)	37,549	77.98
Bosque de Encino – Pino	8,546	17.74
Cuerpos de Agua	1,156	2.40
Bosque de Pino – Encino	526	1.09
Bosque de Encino	369	0.76
<b>Total</b>	<b>48,149</b>	<b>99.97</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de SEDATU (2019)

#### 3.1.3 Marco socioeconómico.

De acuerdo a los resultados del Censo de Población y vivienda (INEGI, 2020), en el año 2020, la población en Acambay de Ruíz Castañeda fue de 67,872 habitantes (48.1% hombres y 51.9% mujeres) Respecto al sector productivo este básicamente se enfoca en actividades como la agricultura, cría y aprovechamiento de animales, comercio, turismo,

prestación de servicios, inversión pública ejercida por sector, servicios financieros y de seguros etc., mismas que permiten mantener un movimiento económico activo.

Sin embargo, el municipio tiene un marcado y alto grado de marginación y por consecuencia bajos niveles de bienestar social en sus habitantes. El municipio cuenta con una población económicamente activa de 19,598 personas lo que representa el 28.87% del total de población, con 29,199 personas económicamente inactivas representando el 43.02% de la población total del municipio (PND, 2022).

a) Población.

En 2020, la población en Acambay de Ruíz Castañeda no tenía acceso a los siguientes servicios: 20.9% sistemas de alcantarillado, 10.4% red de suministro de agua, 14.9% baño y 2.58% energía eléctrica (Data, 2020).

b) Indicadores socioeconómicos.

A continuación, se presentan las cifras de los principales indicadores de actividad económica en el municipio (tabla 8) de acuerdo con el Censo económico realizado por INEGI (2019), destacando las actividades terciarias por su alta participación.

Tabla 8. Participación de las actividades económicas municipales.

Actividad	Porcentaje
Comercio al por menor	42.7
Industrias Manufactureras	27.4
Otras actividades	9.6
Otros servicios excepto actividades gubernamentales	9.1
Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	8.3
Servicios de salud y asistencia social.	2.9
Total	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI (2019)

#### 3.1.4 Metodología de la investigación.

El desarrollo general de la investigación se presenta en la figura 5, que se explica a continuación.

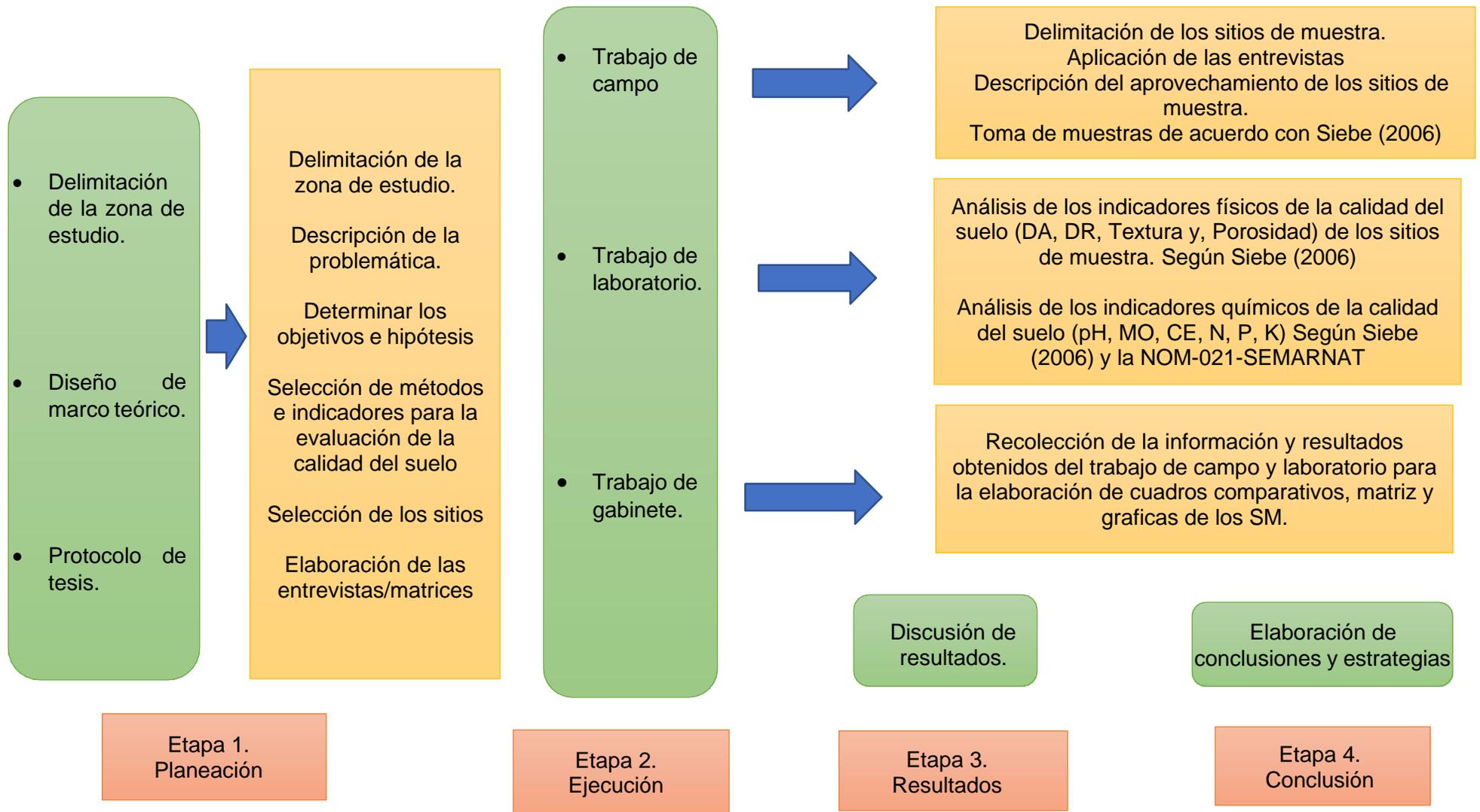
a) Aportaciones teóricas conceptuales para la investigación.

Con la finalidad de avanzar en el análisis del desarrollo de las actividades agrícolas e identificar los impactos ambientales que se genera, se retoman las aportaciones de diversos autores que abordan el tema de los agroecosistemas y características del suelo.

b. Etapa procedimental.

Para la realización de esta investigación se considera el desarrollo de dos etapas, la investigación documental y de campo orientada a los aspectos físicos, económicos,

Figura 5. Esquema del planteamiento metodológico de la investigación



## Etapa 1 Planeación.

En esta etapa de planeación se delimitó el tema de estudio, partiendo de los sistemas productivos que involucra el aprovechamiento del recurso suelo para especificar el tema conciso, encontrando y aterrizando la problemática del estudio. El sitio de estudio elegido fue la comunidad de Detiña perteneciente al municipio de Acambay, porque es uno de los sitios que trabajan con un sistema productivo que es la principal característica para esta investigación.

Los indicadores físicos y químicos elegidos fueron textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, potasio, y fosforo. Se tomaron en cuenta estas propiedades para definir la calidad del suelo agrícola ya que investigaciones anteriores con el mismo fin, retomaron estas mismas características. (Ramírez, 2015; Fadda, 2017; Zanor, 2018; Espinoza, 2018; Hernández, 2019; Rodríguez, 2020; Acevedo, 2021). Los métodos elegidos se tomaron en cuenta por la factibilidad y disponibilidad para el fin de la investigación (tabla 9).

Tabla 9. Indicadores físicos y químicos para la evaluación de la calidad del suelo.

Indicadores de calidad del suelo físicos	Método	Indicadores de calidad del suelo químicos	Método
Textura	Bouyoucos (1962)	PH	NOM-021 SEMARNAT 2000 (método electrométrico)
Densidad Aparente	Ed. Taylor y Francis Group (1997)	Conductividad Eléctrica	Sensor ProCheck (Decagon Devices, Inc.)
Densidad Real	Robinsson (1920)	Materia Orgánica	Walkley, Black (1934)
Porosidad	Iniestra <i>et al</i> (2013)	Nitrógeno	Kit de fertilidad Marca Lamotte (MR)
		Potasio	Kit de fertilidad Marca Lamotte (MR)
		Fosforo	Kit de fertilidad Marca Lamotte (MR)

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes de consulta reportadas (2023)

Para la selección de los sitios de muestra se eligieron cinco SM, por su temporalidad en el aprovechamiento de los sistemas productivos. A continuación, se describen los sitios de muestreo (tabla 10).

Tabla 10. Descripción de los sitios de muestra

Sitios de Muestreo	Clave	Coordenadas	Imagen del sitio
Sitio de muestreo 1.	SM1	19°58'34.62"N 99°52'37.21"O	
Sitio de muestreo 2.	SM2	19°58'32.72"N 99°53'13.05"O	
Sitio de muestreo 3.	SM3	19°58'6.57"N 99°53'8.46"O	

Fuente: Elaboración propia a través de los datos obtenidos en campo (2022)

Continuación de la tabla 10. Descripción de los sitios de muestra

Sitios de Muestreo	Clave	Coordenadas	Imagen del sitio
Sitio de muestreo 4.	SM4	19°57'42.72"N 99°53'10.06"O	
Sitio de muestreo 5.	SM5	19°58'37.50"N 99°53'8.43"O	

Fuente: Elaboración propia a través de los datos obtenidos en campo (2022)

Para la elaboración de las entrevistas de los agricultores de los SM, se retomó (Álvarez, 1993), y las preguntas se formularon con el fin de obtener información acerca de todo el aprovechamiento del sistema productivo.

Cuestionario para productores agrícolas.

- 1- ¿Cómo es la preparación del suelo para la siembra de los cultivos?
- 2- ¿Cuáles son los meses en los que se siembra?
- 3- ¿Cuáles son los meses donde se levanta la cosecha?
- 4- ¿Cuál es la duración que se lleva el desarrollo del cultivo? Y ¿Por cuánto tiempo lo ha trabajado?

5- ¿Utilizan algún tipo de fertilizantes? Si la respuesta es sí, ¿Qué tipo de fertilizantes ocupan?

6- ¿Existen plagas en las tierras sembradas? Si existen, ¿Qué tipo de plagas son? ¿Y cómo se tratan esas plagas?

7- ¿Qué tipo de tecnología utilizan para la siembra?

8.- ¿Cuáles son los cultivos que se siembran?

9- ¿Qué factores ponen en vulnerabilidad sus cultivos?

Para analizar el sistema productivo de la comunidad se elaboró una matriz en base a (Álvarez, 1993), que se muestra a continuación (tabla 11).

Tabla 11. Matriz del sistema productivo de maíz.

Meses	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.
Etapas de desarrollo fenológico												
Labores												
Plagas, malezas enfermedades												
Paquete tecnológico												

Fuente: Elaboración propia a partir de Álvarez Arteaga (1993)

## Etapa 2 Ejecución.

Esta etapa se dividió en tres fases: a) trabajo de campo, b) trabajo de laboratorio y c) trabajo de gabinete.

### a) Trabajo de campo

En esta fase se aplicaron las entrevistas a productores agrícolas, que constaron de 9 preguntas con objeto de caracterizar cada una de las unidades productivas y realizar una descripción sobre el aprovechamiento del sistema productivo de cada sitio

Se tomaron las muestras de cada sitio de estudio de acuerdo con la metodología de propuesta por Siebe *et al*, (2006), modificada por Álvarez *et al*, (2020). Esta metodología consistió en tomar del centro del terreno una muestra y cada diez metros tomar las restantes, de la parte izquierda, derecha y atrás de tal manera de formar una “Y”. De cada sitio se obtuvieron cuatro muestras de suelo a una profundidad de 30 cm para obtener un total de veinte muestras de 1 kg de suelo.

#### b) Trabajo de Laboratorio

Posteriormente fueron embolsadas y etiquetadas para su traslado. Una vez en laboratorio se extendieron y secaron a temperatura ambiente para ser tamizadas con una malla de 2 mm de amplitud.

Después de su preparación, se realizaron los análisis químicos y físicos para los siguientes parámetros: Densidad Real (DR), Densidad Aparente (DA), Textura, Porosidad, pH, Conductividad Eléctrica (CE), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno total (Nt), Fósforo (P) y Potasio (K). Los métodos empleados para cada caso se basaron en los estipulados por la NOM-021-SEMARNAT-2000, excepto para las pruebas de NPK y conductividad eléctrica que se realizaron mediante estudios semicuantitativos a través del Kit de fertilidad Marca Lamotte (MR).

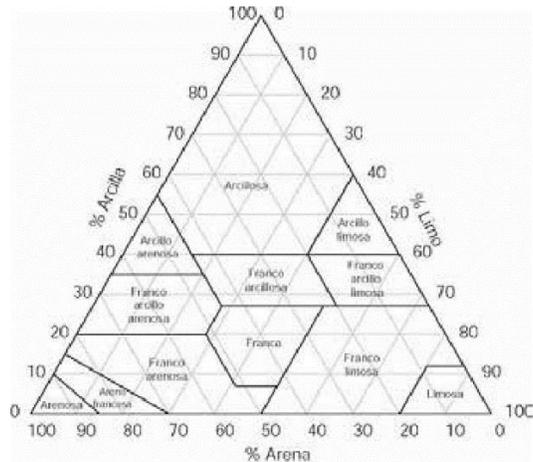
#### C) Trabajo de gabinete

Con los resultados obtenidos de las pruebas se organizó una base de datos en la que se incluyó toda la información recabada de las pruebas físicas y químicas, además de incluir la media y desviación estándar. A continuación, se muestran las fórmulas empleadas para la determinación de cada parámetro.

A continuación, se establecen referentes para la interpretación de los resultados de los indicadores evaluados, esta se dividió en dos, indicadores físicos e indicadores químicos. En primera instancia se hicieron registros de los parámetros físicos. Comenzando con el indicador de textura (extraído de Siebe *et al*, 2006), en el cual se utilizó el método de

(Bouyoucos, 1995) triangulo textural, para determinar el tipo de suelo del que se trataba (figura 6).

Figura 6. Triangulo para determinar la clase textural del suelo



Fuente: (Siebe et al, 2006).

Para la evaluación de la DA se consideró el método de acuerdo Ed. Taylor y Francis Group (1997) se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Criterios para la evaluar la densidad aparente del suelo: valido para suelos secos.

Características: Valido para suelos secos	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )			Evaluación
	Arenas y limos	Francos	Arcillosos	
El cuchillo solo se puede introducir bajo fuerzas mayores, la muestra casi no se desmorona.	>1.9	>1.8	>1.6	Alta
El cuchillo solo se introduce con dificultad 1 a 2 cm en el suelo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos que solo se pueden partir con dificultad.	1.8	1.6	1.4	Mediana

Fuente: Elaboración propia a partir de Siebe *et al*, (2006)

Continuación de la atabla 12. Criterios para evaluar la densidad aparente del suelo: valido para suelos secos

Características: Valido para suelos secos	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )			Evaluación
	Arenas y limos	Francos	Arcillosos	
El cuchillo se puede introducir en el suelo con poco esfuerzo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos, los cuales pueden ser partidos en fragmentos más pequeños con la mano.	1.6	1.4	1.2	
Al presionar suavemente, el suelo se desmorona en muchos fragmentos	1.4	1.2	1.0	
La muestra se desmorona totalmente al tomarla, se ven muchos poros gruesos y muy gruesos	1.2	<1.0	-	Baja

Fuente: Elaboración propia a partir de Siebe *et al*, (2006)

Para la determinación de la Densidad Real se empleó el método de (Robinson, 1920) y se empleó la siguiente fórmula:

$$Densidad\ Real\ (g/cm^3) = S / (S+A) - (M)$$

Donde:

S= Peso del suelo= 5 g.

A= Peso del agua – el peso del matraz

M= Peso de la mezcla del suelo + agua hasta el aforo – el peso del matraz

Posteriormente para su evaluación se determinó a partir de la tabla 13.

Tabla 13. Criterios para evaluar la Densidad Real del suelo

Categoría	Valor (g/cm <sup>3</sup> )
Muy baja	<2
Baja	2.10/2.50
Media	2.51/2.75
Alta	>2.80

Fuente: Elaboración propia a partir de Siebe *et al*, (2006)

Para la determinación de la porosidad se empleó el método de (Iniestra et al, 2013) y se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad (\%)} = 1 - \text{densidad aparente} / \text{densidad real} * 100$$

Posteriormente para su evaluación se determinó a partir de la tabla 14.

Tabla 14. Criterios para evaluar la porosidad del suelo

<b>Categoría</b>	<b>Valor (%)</b>
Muy baja	<15
Baja	16-35
Media	36-55
Alta	56-70
Muy alta	>70

Fuente: Elaboración propia a partir de Iniestra *et al*, (2013)

Posterior a esto, se identificaron y clasificaron los indicadores químicos de la calidad del suelo. Para la clasificación se tomó en cuenta la NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH, se tomó el método electrométrico, para su interpretación se presenta en la tabla 15.

Tabla 15. Clasificación de los valores del pH del suelo

<b>Clasificación</b>	<b>pH</b>
Fuertemente ácido	<5
Moderadamente ácido	5.1- 6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Fuente: Elaboración propia a partir de a la NOM-021 SEMARNAT (2000)

Para la determinación de la conductividad eléctrica, se utilizó el Kit de fertilidad marca Lamotte (MR) y para su interpretación se presenta la tabla 16.

Tabla 16. Determinación de CE.

CE dS m <sup>-1</sup> a 25° C	Efectos
<1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino
2.1- 4.0	Moderadamente salino
4.1- 8.0	Suelo salino
8.1- 16.0	Fuertemente salino
>16.0	Muy fuertemente salino

Fuente: Elaboración propia a partir de la NOM-021-SEMARNAT (2000)

Para la determinación del contenido de Materia Orgánica, éste se realizó de acuerdo con el método de Walkley, Black (1934), y para su cálculo de empleó la siguiente fórmula de acuerdo con la NOM-021 SEMARNAT-2000.

$$\text{Materia orgánica (\%)} = (V1 N1 - V N F) 9.69$$

En donde:

V1 = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra, en ml.

N1 = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.

V = Volumen de solución FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O gastado en la titulación de la muestra, en ml.

N = Normalidad de la solución FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O.

P = Peso de la muestra, en g.

F = Factor de corrección.

Para su interpretación se utilizó la NOM-021 SEMARNAT-2000 que se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Criterios de evaluación del contenido de materia orgánica en el suelo

Categoría	Valor (%)
Extremadamente pobre	<0.6
Pobre	0.6 - 1.2
Moderadamente pobre	1.3 - 1.8
Medio	1.9 - 2.4
Moderadamente rico	2.5 - 5
Rico	5.1-10
Extremadamente rico	>10

Fuente: Elaboración propia a partir de la NOM 021-SEMARNAT (2000)

Para la determinación del nitrógeno, se utilizó el Kit de fertilidad marca Lamotte (MR) y para su interpretación se presenta la tabla 18.

Tabla 18. Criterios de evaluación del contenido de Nitrógeno.

<b>Clase</b>	<b>Nitrógeno total (%)</b>
Muy bajo	<0.05
Bajo	0.05-0.10
Medio	0.10-0.15
Alto	0.15- 0.25
Muy alto	>0.25

Fuente: Elaboración propia a partir de la NOM 021-SEMARNAT (2000)

Para la determinación del fosforo, se utilizó el Kit de fertilidad marca Lamotte (MR) y para su interpretación se presenta la tabla 19.

Tabla 19. Criterios de evaluación del contenido del Fosforo.

<b>Clase</b>	<b>P mg/kg</b>
Bajo	<5.5
Medio	5.5-11
Alto	>11

Fuente: Elaboración propia a partir de la NOM 021-SEMARNAT (2000)

Para la determinación del potasio, se utilizó el Kit de fertilidad marca Lamotte (MR) y para su interpretación se presenta la tabla 20.

Tabla 20. Criterios de evaluación del contenido del Potasio.

<b>Clase</b>	<b>K mg/kg</b>
Muy baja	<0.2
Baja	0.2-0.3
Media	0.3-0.6
Alta	>0.6

Fuente: Elaboración propia a partir de la NOM 021-SEMARNAT (2000)

Posterior en el trabajo de gabinete, se estudiaron y documentaron los datos obtenidos de las entrevistas, y, por otra parte, también se trabajaron de manera particular los resultados de las propiedades físicas y químicas. A continuación se explica que se hizo con cada uno de estos.

Con los resultados obtenidos con las entrevistas se completó la matriz de acuerdo (Álvarez, 1993), acerca de todo el aprovechamiento que los agricultores realizan a sus sistemas productivos. También se tomaron en cuenta las principales plagas que afectan a sus cultivos colocando cada una en un cuadro comparativo. Por último, con las respuestas obtenidas se hizo una caracterización específica de cada SM, esta consto de: tiempo trabajado del suelo, utilización de abono, pesticida y fertilizantes, el tipo de cultivo que siembra y factores que ponen en vulnerabilidad sus cosechas.

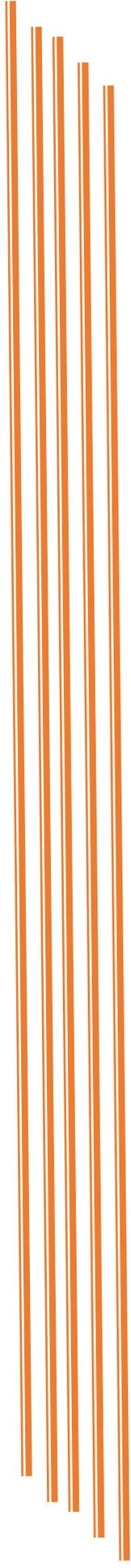
Por último, para el procesamiento de la información generada de las propiedades físicas y químicas de los SM, se tabularon los datos de acuerdo con cada SM y propiedad analizada, de esta forma se obtuvo la media de cada uno de sus resultados y la desviación estándar, todo ello para facilitar la interpretación general. Además, con la tabulación de los resultados de los SM, se generaron graficas de cada propiedad/SM para permitir una mejor comparación de cada sistema productivo.

### **Etapa 3 Resultados.**

En esta etapa con los resultados obtenidos en laboratorio y trabajo de campo, se relacionaron con los fundamentos teóricos y se interpretaron a partir del esquema de manejo establecido para cada unidad de producción.

### **Etapa 4 Conclusión.**

De acuerdo con la discusión a los resultados obtenidos se generaron las conclusiones que engloban los principales puntos en toda la investigación, se enlistan y se describen algunas estrategias para generar prácticas agrícolas de conservación tomando en cuenta el factor social, económico y ambiental.



## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

## Capítulo IV. Resultados

### 1.5 Caracterización socioambiental

Se realizó una caracterización socioambiental de cada parte del sistema productivo: a) Sistema de producción de maíz, b) Propiedades físicas de los sitios muestreados, c) Propiedades químicas de los sitios muestreados

#### 1.5.1 Sistema de producción de maíz

En la tabla 21 se identifica todo el proceso de la siembra de maíz en temporal, de acuerdo con las entrevistas aplicadas a los agricultores de la zona de estudio.

Tabla 21. Esquema general para el cultivo de maíz en temporal en la comunidad Detiña, municipio Acambay, México.

Meses	Dic.	En.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
Etapas de desarrollo fenológico				Emergencia			Crecimiento vegetativo Floración Llenado de grano Maduración			Maduración Cosecha		
Labores	Barbecho			Siembra (Yunta, tractor, pala, rabo)			Abono, Escarda. Control de plagas. Resembrar. Aplicación de abono			Cosecha		
Plagas, malezas enfermedades							Gallinita ciega. Catarina. Langosta. Hierba (calabacilla, enredadera).					
Paquete tecnológico	Tractor, yunta.			Yunta, tractor, pala, rabo.								

Fuente: Elaboración propia a partir de Álvarez Arteaga (1993)

En los cinco sitios analizados, se realizan cuatro etapas de desarrollo. La primera etapa, que es el barbecho, es la actividad donde los agricultores preparan el suelo con dos mecanismos, tractor o yunta, en los meses de diciembre, enero y febrero. Posterior a esto, en los meses de marzo, abril y mayo, se siembra con diversos aparatos: tractor,

yunta, pala o rabo, esto depende de la economía de los dueños de cada sitio. Cabe mencionar, que no existe una semana específica donde los pobladores realicen esta actividad, debido a los cambios en las temporadas de lluvia, porque estas se han vuelto menos predecibles para los ciudadanos.

Del mes de junio a septiembre, se hacen tareas para mantener las plantas saludables, se coloca abono y se escarda (utilización de herbicidas/pesticidas), cada una de estas se hace con la frecuencia que el agricultor considere para su siembra, no existe un orden o una cantidad específica de los productos y acciones que se realizan, todo depende de la maleza que se encuentre y del crecimiento del cultivo. Finalmente, en los meses de octubre y noviembre es cuando los agricultores cosechan manualmente sus parcelas.

En el rubro de labores, se enuncian tres principales tareas en la etapa de siembra. En primer lugar, está el control de plaga en los cultivos, esta actividad se hace con el fin de cuidar el desarrollo de las plantas, para esto los agricultores retiran la hierba manualmente o con pesticidas/herbicidas, todo depende de la cantidad de maleza o plagas que haya en el lugar. Por otra parte, está el trabajo de resembrar, en caso de que la primera siembra no haya sido efectiva, de modo que se eviten pérdidas en las cosechas. Por último, está la aplicación de abono, esta se hace siempre y cuando la planta lo requiera. La utilización del abono como la del herbicida/pesticida, depende de la observación de la persona que trabaja las tierras, porque es quien decide si se aplica más de una vez dichos productos.

Se identificaron tres principales plagas, que afectan el desarrollo de los cultivos, estas son: Gallinita ciega (*Phyllophaga*), Catarina o Mariquita (*Coccinellidae*). También se mencionan las malezas más comunes de los sitios de estudio, estas son: calabacilla (*Cucurbitaceae*) y la enredadera (*Polygonum*) (tabla 22).

Tabla 22. Principales plagas en la siembra de maíz (*Zea mays*) en la comunidad Detiña, municipio Acambay, México.

Nombre común	Nombre científico	Imagen
Gallinita ciega (solo es considerada plaga en en fase larvaria)	<i>Polygonum</i>	
Catarina o mariquita	<i>Coccinellidae</i>	
Calabacilla	<i>Cucurbitaceace</i>	
Enredadera	<i>Polygonum</i>	

Fuente: Elaboración propia a partir de FAO (2022)

Finalmente, en el paquete tecnológico del que hacen uso los pobladores para todo el proceso de siembra y cosecha son: el tractor, yunta, pala y rabo. Cada uno de estos cubre una necesidad sobre el suelo trabajado. El tractor y yunta se utilizan principalmente para la actividad de barbecho. Para la siembra se hace uso de la pala, rabo y la yunta.

En los meses de diciembre, enero y febrero se hace el barbecho en el suelo para prepararlo. En marzo, abril y mayo se siembra el maíz. Posteriormente, en junio y julio se coloca abono en la siembra, en caso de que esta no haya sido efectiva, se vuelve a resembrar. Las siguientes labores que son la escarda y la utilización del fertilizante, se hacen en los meses de julio, agosto y septiembre, con la frecuencia que el agricultor considere. Por último, la cosecha se realiza en los meses de octubre y noviembre.

Estas fechas son aproximaciones de las actividades de que se hacen para el cultivo de maíz en los sitios de estudio, ya que no hay plazo específico de cada tarea, debido a los cambios en las temporadas de lluvia.

Conforme a lo obtenido en las entrevistas realizadas a los agricultores, se caracterizó cada sitio de muestra, que se presenta a continuación en la tabla 23.

Tabla 23. Características de cada SM

<b>SM/ Características</b>	<b>Tiempo trabajado del suelo</b>	<b>Utilización de algún abono orgánico/pesticida/ fertilizante/</b>	<b>Tipo de cultivo que siembra</b>	<b>Factores que ponen en vulnerabilidad sus cosechas</b>
<b>SM1</b>	70 años.	Si, heces de borrego. Pesticida: RIBO.	Maíz cada año, y habas en ocasiones.	Granizadas, plagas, temporalidad de las lluvias.
<b>SM2</b>	Solo se ha trabajado por un año.	Solo abono.	Maíz y haba (solo una vez).	Ese año solo se sufrió de plagas de hierbas.
<b>SM3</b>	Alrededor de 10 años.	Abono y heces de borrego.	Maíz.	Heladas, Sequias, plagas.
<b>SM4</b>	Aproximadamente por más de 80 años.	Si abono: <i>sal y tierra y urea.</i> Pesticida <i>yervamina, gramason.</i>	Cada año se siembra Maíz y ocasionalmente trigo.	La temporalidad de las lluvias, las granizadas, las plagas.
<b>SM5</b>	Por más de 50 años.	Si, solo abono.	Maíz.	La temporalidad de las lluvias, sequias, las plagas.

Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de campo (2022)

Con base en la información obtenida, cada SM tiene características particulares pero similares entre sí, en donde resalta que todos se han aprovechado por un periodo largo de tiempo (más de 10 años) y además, la mayoría (SM1, SM2, SM4) han cultivado otro tipo de planta en sus siembras, aunque no es de manera constante o anual, la integran en ocasiones a sus sistemas.

Por otra parte, en la utilización de abonos, fertilizantes, o pesticidas, cada SM hace uso de una de estas herramientas, dependiendo de sus necesidades de acuerdo a los agricultores entrevistados, en los cuales el SM1 y SM3 coincidieron en que utilizan un abono orgánico (lama/ heces de borrego) ya que aprovechan los animales que crían. Un factor que no se tomó en cuenta en el estudio, pero sin duda alguna es un hecho inminente en el sistema productivo, es como los agricultores dieron a conocer como las variaciones climáticas influyen de manera significativa en la vulnerabilidad de sus cultivos estos son: granizadas, sequias y la temporalidad de las lluvias. Por último, el sitio que más destaca es el SM2 por ser el único que se ha trabajado una vez en toda su existencia.

### 1.5.2 Propiedades físicas de los sitios muestreados

En la siguiente tabla 24 se muestran los resultados de los análisis de las propiedades físicas de los cinco sitios analizados.

Tabla 24. Valores obtenidos para las propiedades físicas del suelo

Sitios	Arcillas (%)	Arenas (%)	Limos (%)	Clase de Textura	DA g/cm <sup>3</sup>	DR g/cm <sup>3</sup>	Porosidad (%)
SM1	48.1	21.6	30.3	R	1.02	2.6	39.1
SM2	57.5	20.9	21.7	R	1.04	2.6	39.7
SM3	43.8	27.3	29.0	R	1.06	2.8	36.4
SM4	40.9	29.7	29.4	CR	1.30	2.8	45.1
SM5	36.2	26.2	37.5	CR	1.08	2.9	36.6
Media	44.7	24.9	29.1		1.10	2.7	39.3
DS	8.0	3.8	5.6		0.12	0.16	3.5

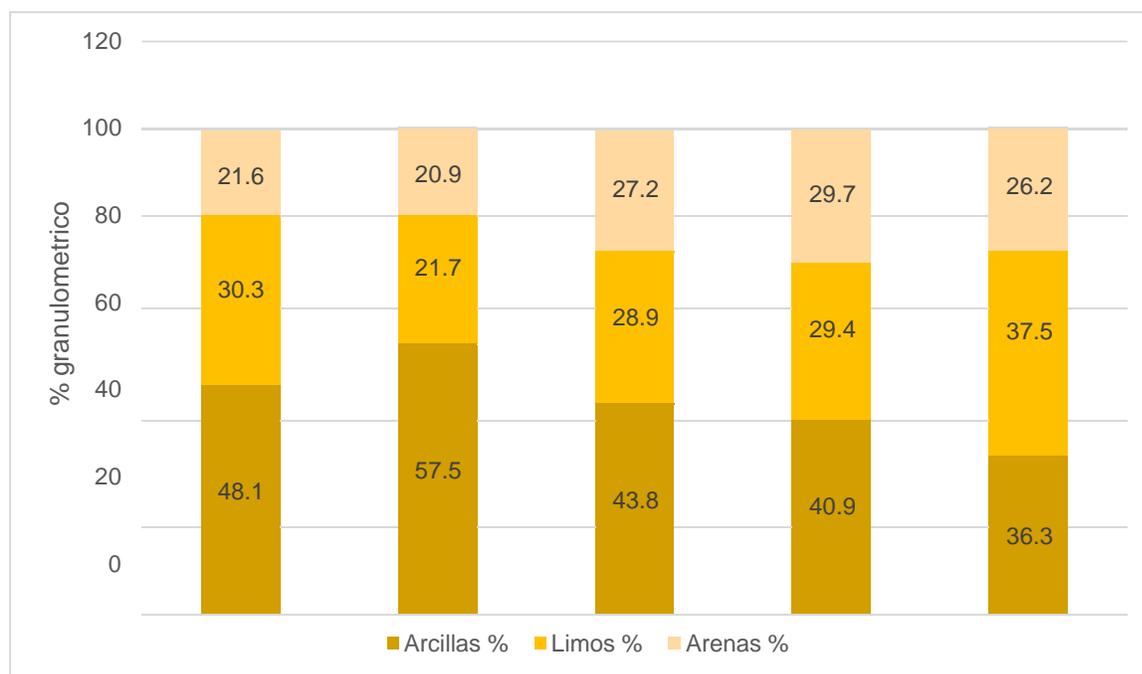
Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos en laboratorio (2022)

R= Arcilloso, CR= Franco arcilloso, DA= Densidad Aparente; DR= Densidad Real, DS= Desviación estándar

Para ejemplificar una de las propiedades analizadas, se muestran graficas individuales de cada indicador analizado y su descripción acerca de su comportamiento en el agroecosistema.

En primera instancia se muestra una gráfica del contenido de arcillas en los sitios de estudio, en donde se tiene una media de 44.77%, en donde el mayor porcentaje pertenece a los limos con el 29.13% en comparación con las arenas que abarcan 24.87%. Con base al método del triángulo textural la mayoría de los sitios son clasificados como suelos arcillosos (figura 7).

Figura 7. Gráfico de la composición granulométrica de los SM

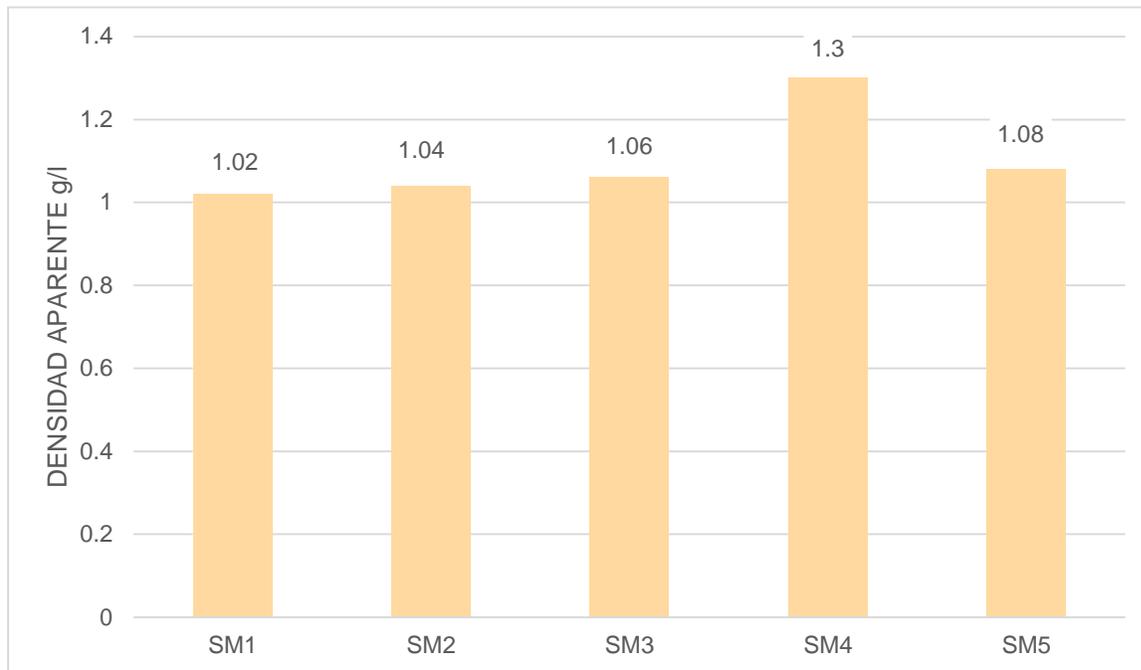


Fuente: Elaboración propia a partir del trabajo en laboratorio (2022)

En la figura 7 podemos observar que el SM1 tiene el mayor porcentaje de arcillas con el 48.1 %, el 30.3 % de limos, y el 21.6 % arenas. El SM2 con un valor de 57.5% de arcillas, el 21.7% de limos, y el 20.9 % de arenas. El SM3 con un porcentaje de 43.8 de arenas, el 28.9% de limos y el 27.2% de arena. El SM4 tiene un valor de 40.9% de arcillas, el 29.4% de limos y arenas. El SM5 tiene un valor de 36.3% de arcillas, el 37.5% de limos y el 26.2% de arenas.

El valor de la densidad aparente (figura 8) en los sitios de estudio la media es de 1.10 (g/l), de acuerdo con (Siebe *et al*, 2006) se encuentra en una categoría media, resaltando el SM4 con un valor de 1.30 (g/l), se encuentra en la categoría media, y el SM1 con menor valor de 1.02 (g/l) en una categoría baja.

Figura 8. Gráfico de valores para la Densidad Aparente del suelo.

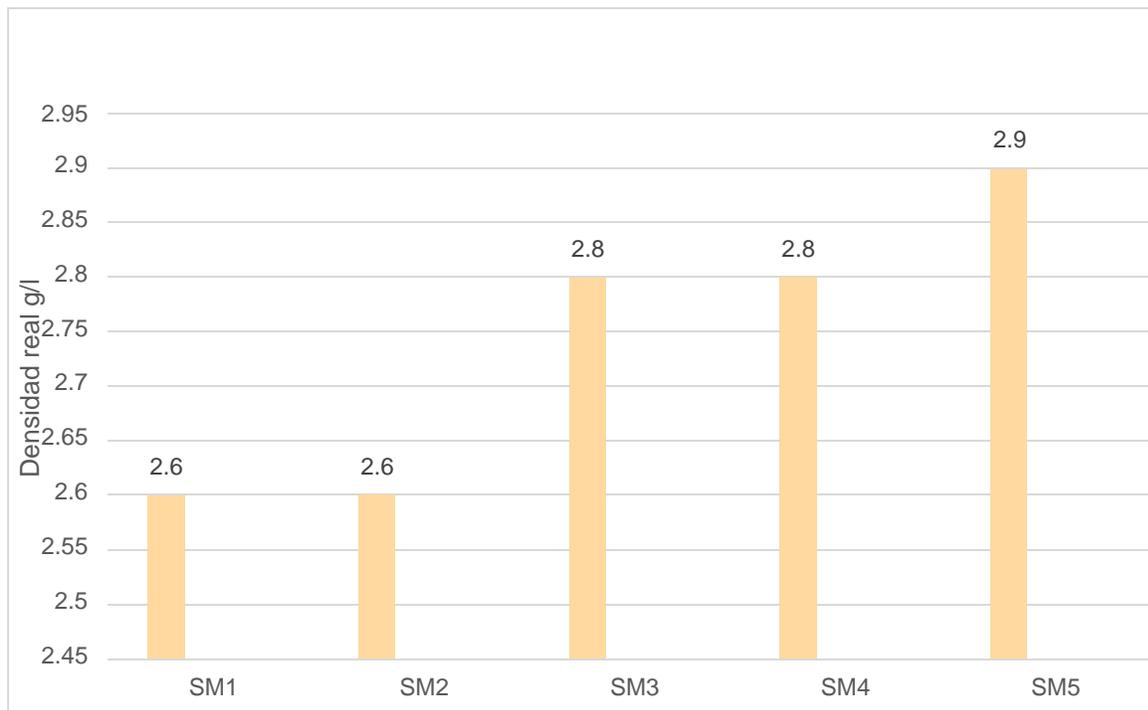


Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en campo y laboratorio (2022)

En la figura 8 se observa el SM1 con un valor de 1.02 (g/l), el SM2 con un valor de 1.04 (g/l), el SM3 con un valor de 1.06 (g/l), el sitio cuatro con el mayor valor de 1.3 (g/l), y el SM5 con un valor de 1.08 (g/l).

En cuanto a la densidad real en los sitios de estudio (figura 9) se obtuvo una media de 2.72 (g/l), según (Cairo, 1995), se encuentra en una categoría media, resaltando el SM5 con el mayor valor de 2.86 (g/l), en una categoría alta. Por otro lado, el SM1 Y SM2 tienen el menor valor con 2.55 (g/l) encontrándose en una categoría baja.

Figura 9. Gráfico de los valores para la Densidad Real del suelo.

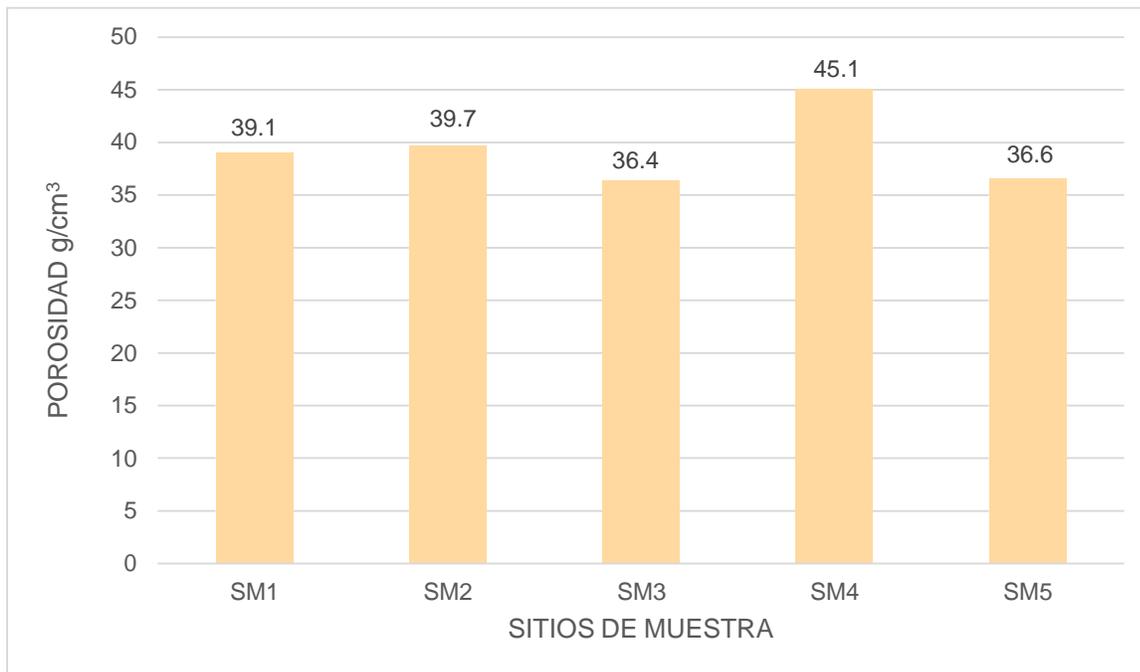


Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)

En la figura 9 se observa el SM1 y el SM2 representan el valor más bajo con 2.6 ( $\text{g/cm}^3$ ), el SM3 y SM4 tienen el mismo valor de 2.8 ( $\text{g/cm}^3$ ). Y el valor más alto es el SM5 con un valor de 2.9 ( $\text{g/cm}^3$ ).

La porosidad en los sitios de estudio (Figura 10) su media es de 39.27% encontrándose en una categoría baja, resaltando el SM4 con una porosidad de 45.05 ( $\text{g/cm}^3$ ) teniendo una categoría media. Por otro lado, el sitio con menor porosidad es el SM3 con un valor de 36.44 ( $\text{g/cm}^3$ ) en una categoría baja.

Figura 10. Gráfico de porosidad del suelo



Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)

En la figura 10, se puede observar que el SM1 con un valor de 39.1 (g/cm<sup>3</sup>), el SM2 con un valor de 39.7 (g/cm<sup>3</sup>), el SM3 con un valor de 36.4 (g/cm<sup>3</sup>), el SM4 tiene el mayor de 45.1 (g/cm<sup>3</sup>), y el SM5 con un valor de 36.6 (g/cm<sup>3</sup>)

### 1.5.3 Propiedades químicas de los sitios muestreados

En la tabla 25 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas en laboratorio de cada propiedad química.

Tabla 25. Valores obtenidos para las propiedades químicas del suelo

Sitio	MO %	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	N mg/k g	P mg/k g	K mg/k g	CE μ <sup>-1</sup> S/cm
SM1	3.5	6.5	5.6	33.2	4.5	0.1	640.6
SM2	4.4	7.3	6.0	58.8	8.1	0.2	1169.6
SM3	4.4	7.0	5.8	33.6	4.7	0.2	672.7

Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo en laboratorio (2022)

Continuación de la tabla 25. Valores obtenidos para las propiedades químicas del suelo

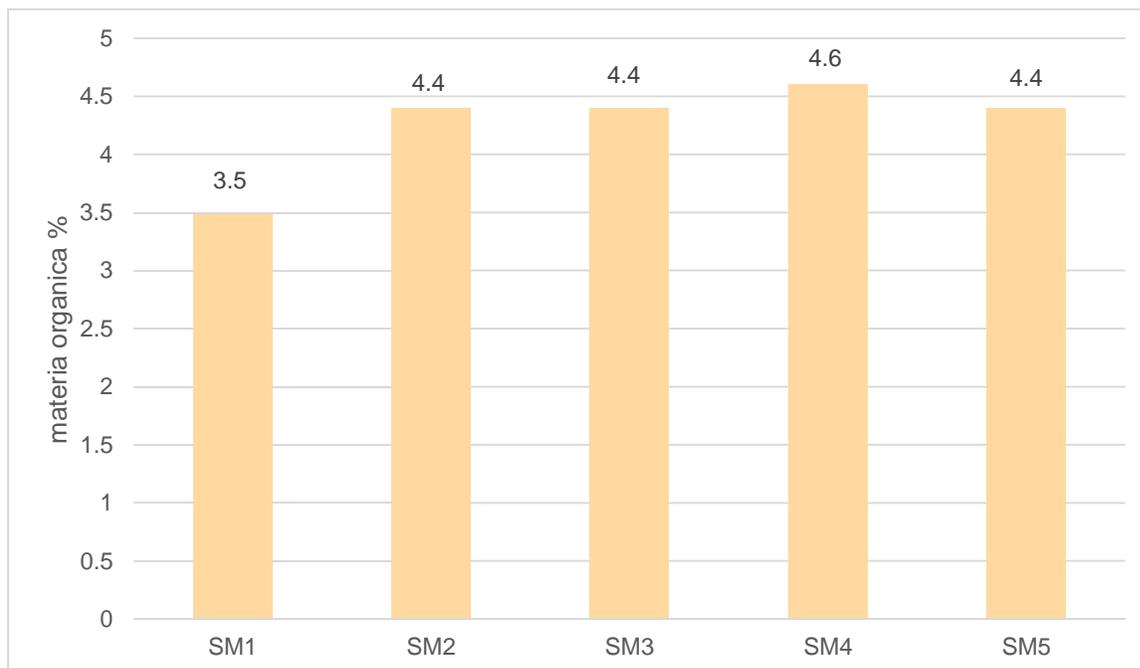
Sitio	MO %	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	N mg/k g	P mg/k g	K mg/k g	CE μ <sup>-1</sup> S/cm
SM4	4.6	7.8	6.9	31.6	4.2	0.1	611.1
SM5	4.4	6.4	5.4	35.1	3.3	0.1	474.3
Media	4.2	6.9	5.9	37.3	11.2	0.1	680.9
Desv. std	0.5	0.6	0.6	11.4	1.7	0.1	265.8

Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo en laboratorio (2022)

MOS: Materia Orgánica del Suelo; Nt: Nitrógeno total, P: Fósforo, K: Potasio, CE: Conductividad Eléctrica

El contenido de materia orgánica en los sitios de estudio muestra (figura 11) tienen una media de 4.2%, este valor, de acuerdo con Siebe *et al*, (2006), se encuentra en una categoría media alta. Resalta el sitio SM1 con el menor contenido de MO de 3.45%, que se encuentra en una categoría media. Por otra parte, el sitio con mayor contenido de MO es el sitio SM4 con un valor de 4.55.

Figura 11. Contenido de materia orgánica en el suelo

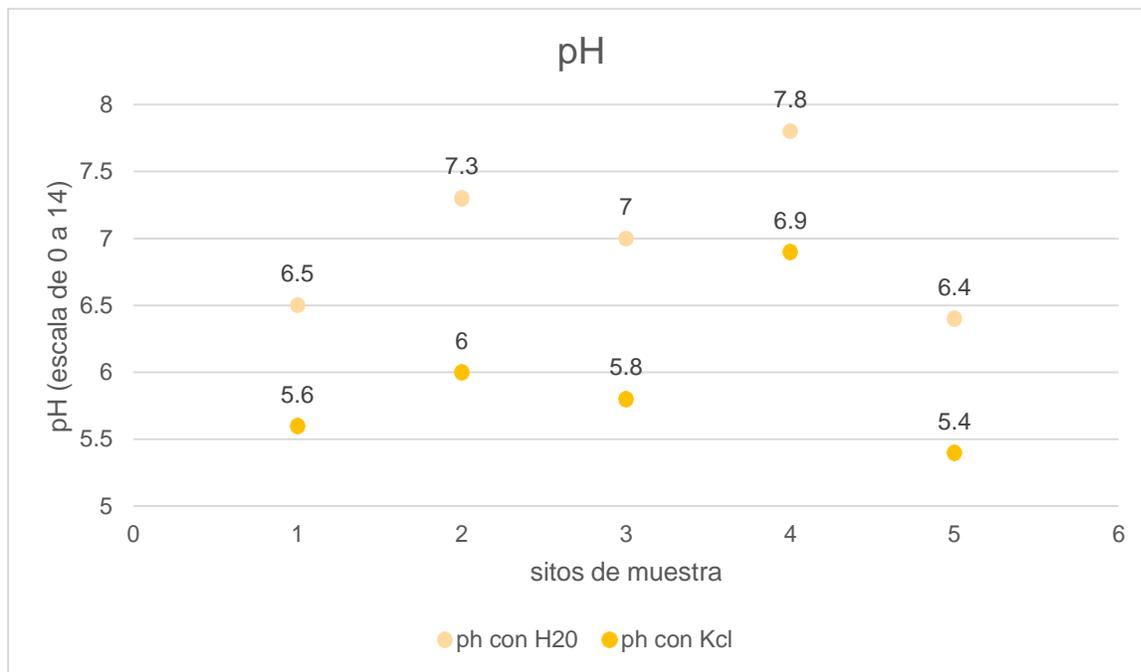


Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)

En la figura 11, se observa que el valor más alto en materia orgánica es el sitio cuatro, siguiendo del sitio dos, tres y cinco con un valor de 4.4 %, y el sitio más bajo fue el sitio uno con un valor de 3.5 %.

El pH con agua tiene una media de 6.99 encontrándose en categoría muy ligeramente acida (figura 12). Los sitios que resaltan son el SM5 que es ligeramente ácido con un pH de 6.1, y por otra parte el sitio más alcalino el SM4, con un pH 7.82. Los resultados de pH en KCL en los sitios de muestra, arrojaron una media de 5.92, y de acuerdo con la NOM, este se clasifica como suelos moderadamente ácidos. En general los suelos varían de 5.1 a 6, todos estos encontrándose en la misma clasificación según la norma.

Figura 12. Valores de pH del suelo en los sitios de estudio.

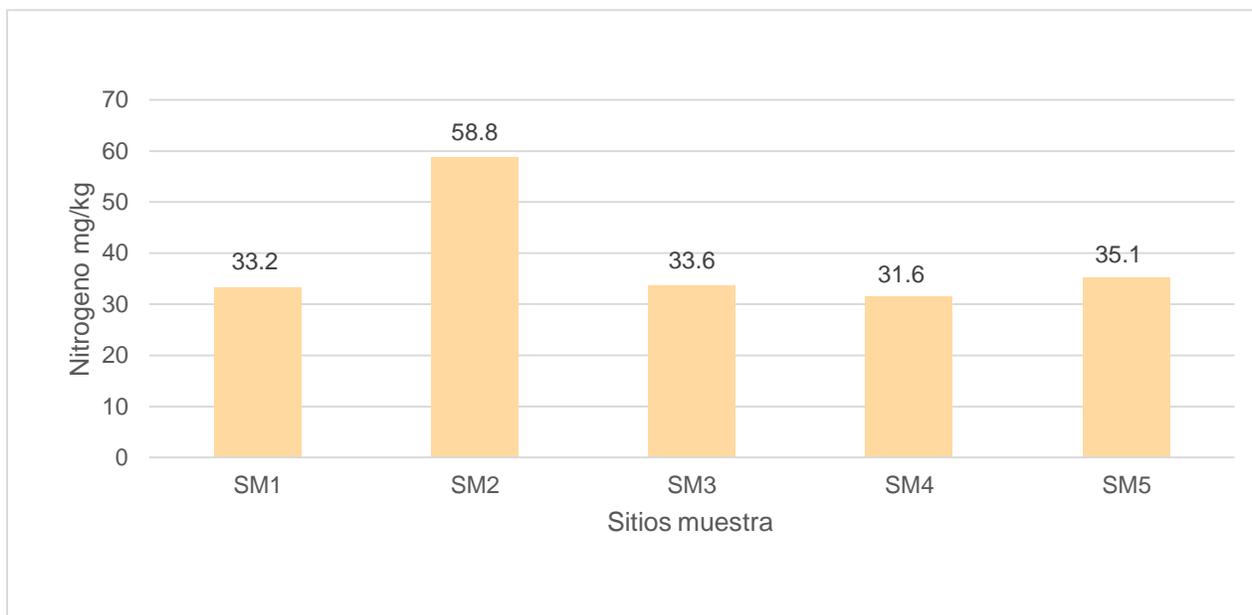


Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)

En la figura 12 podemos observar que el pH con agua se encuentra con mayores valores que el pH con KCl, la diferencia entre estos parámetros es de uno, lo que nos indica que los sitios con mayor riesgo a acidificarse son el SM1, SM3, y SM5.

El resultado en el contenido de Nitrógeno total en los sitios de muestra (figura 13) tuvo una media de 37.35 mg/kg, y de acuerdo con la NOM 021, tiene una categoría alta de este elemento. El SM4 contiene el menor porcentaje de N con un valor de 31.61 mg/kg y, el sitio con mayor porcentaje de nitrógeno fue SM2 con 58.77 mg/kg. En general, los sitios se encuentran en una categoría alta, sin embargo, se recomienda verificar los resultados obtenidos, al ser una prueba semicuantitativa, esta solo da rangos por lo que no es del todo fiable.

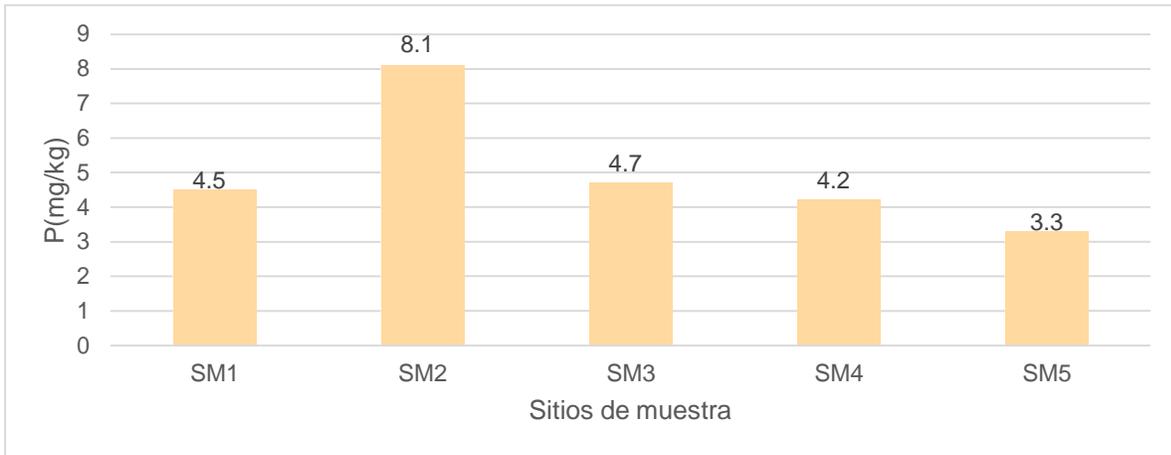
Figura 13. Contenido de Nitrógeno total en el suelo



Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)

El contenido de Fósforo (figura 14) en los sitios muestreados obtuvo una media de 4.7 mg/kg, de acuerdo con la norma, este valor se encuentra en una categoría baja. En la gráfica podemos observar que el sitio SM5 tiene menor contenido de Fósforo con 3.3 mg/kg en tanto que el sitio SM2 presenta el mayor contenido con 8.1 mg/kg. En términos generales, el contenido de fosforo

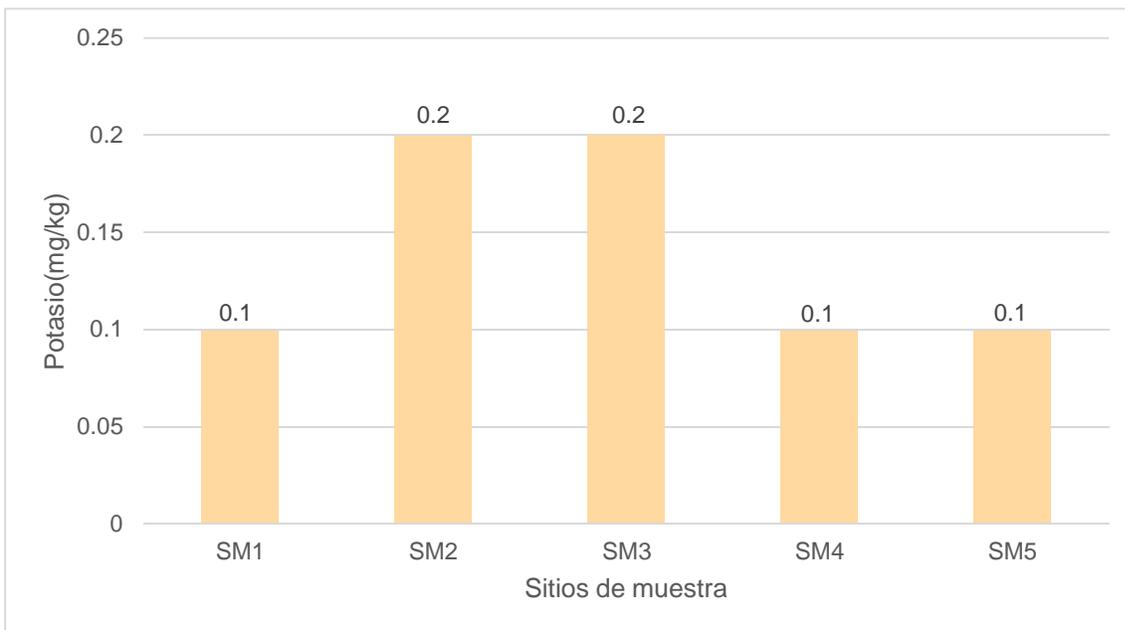
Figura 14. Contenido de Fósforo en el suelo



Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)

La cantidad de Potasio en los sitios (figura 15) tiene una media de 0.11 mg/kg, de acuerdo con la norma, se encuentran en una categoría baja. Resalta solo el sitio SM5, que es el que tiene menor cantidad de K con un valor de 0.07 mg/kg. Los sitios restantes, tienen un valor de 0.1 mg/kg.

Figura 15. Contenido de Potasio en el suelo

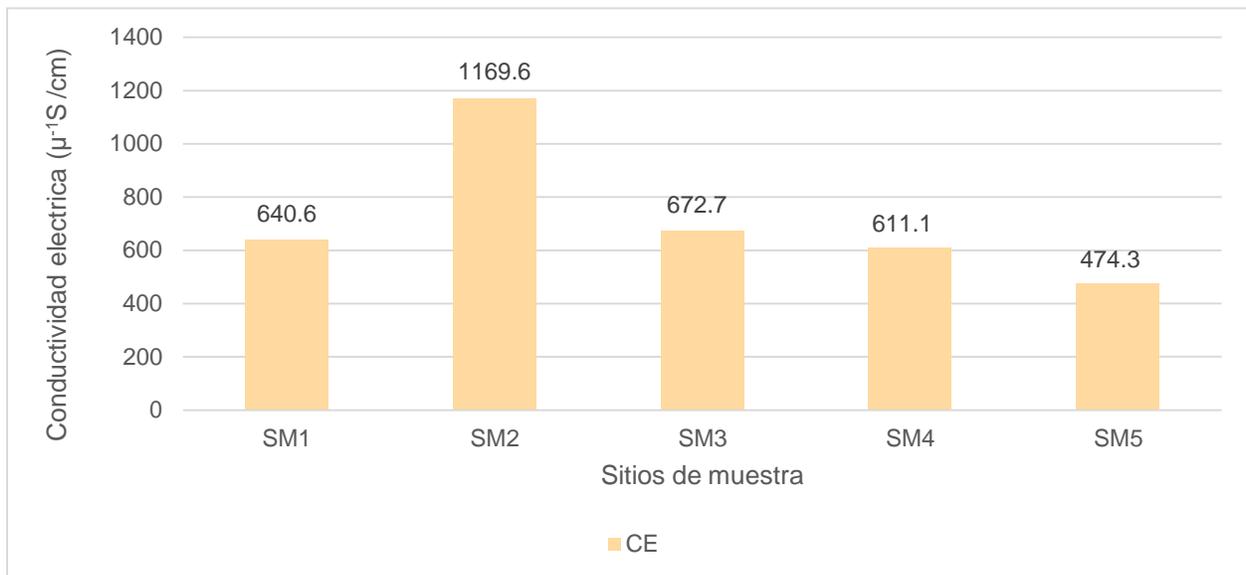


Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)

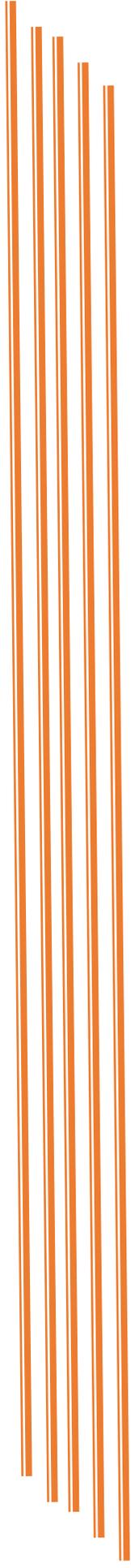
En la figura 15 podemos observar que el contenido de este nutriente no presenta alta variabilidad entre sitios, ubicándose entre 0.1 y 0.2 mg/kg.

De la Conductividad Eléctrica (CE) los resultados arrojaron (Figura 16) una media de 680.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con los mayores valores para el sitio SM2 (1169.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo que, de acuerdo con la normatividad vigente, no representa riesgo alguno de afectación por acumulación de sales en el suelo.

Figura 16. Valores de Conductividad Eléctrica en el suelo



Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de laboratorio (2022)



## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

## Capítulo V. Discusión

A continuación se retoman los resultados más relevantes para abordarlos y dar una explicación conforme al marco de referencia, del porque existen ciertos problemas en el sistema productivo, tomando en cuenta el sistema de producción de maíz, las propiedades químicas y físicas de los SM.

### 1.6 Discusión sistema de producción del de maíz.

El sistema de cultivo estudiado deja en evidencia en primer instancia, como se han modificado los tiempos de las actividades (barbecho, siembra, cosechas), ya que estas fechas son aproximaciones para llevarlas a cabo, debido a que actualmente no hay plazo específico de cada tarea, consecuencia de los cambios en las temporadas de lluvia, un hecho del cual los agricultores han tenido que adaptarse reduciendo con esto la temporalidad efectiva para el desarrollo de los cultivos, propiciando mayor vulnerabilidad de estos ante los eventos climáticos adversos como sequías, heladas y granizadas principalmente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las variaciones climáticas es uno de los principales problemas, ya que se presentan dentro o fuera de las fechas esperadas y que de manera aislada o en conjunto intervienen para reducir la productividad de los sistemas. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2020) existen impactos importantes entorno a la agricultura, estos son daños en los cultivos, incremento de plagas, mayor peligro de incendios forestales y erosión del suelo (Ocampo, 2011).

Así mismo, como consecuencia de lo anterior, los agricultores afirman que tienden a intensificar la labranza y hacer uso de mayores cantidades tanto de fertilizantes como de pesticidas, que es un hecho inminente como estos son causa de la baja productividad en los sistemas agrícolas (Montatixe y Eche, 2020), todo ello para que sus cultivos no

pierdan ningún tipo de rendimiento, ocasionando una alta dependencia de estos insumos, algo contraproducente para ambas esferas, por una parte el sector social, que tiene el riesgo de perder su inversión y poner en riesgo su ingreso de autoconsumo y venta (Urbano *et al*, 2018), y para el recurso suelo que se genera una degradación tanto en sus propiedades físicas y químicas, debido al manejo que se le da (Acevedo *et al*, 2021).

Una de las evidencias de la baja productividad las cosechas, es según los datos del servicio de información agroalimentaria y pesquera, que el municipio de Acambay sembró en el año 2020 en modalidad de temporal de maíz, 13,480 ha, de las cuales, se cosecharon únicamente 11,200 ha. En comparación con el año 2018, que se sembraron 15,320 ha en la misma modalidad de las cuales, se cosecharon 14,350 ha (SIAP, 2022).

Los datos anteriores evidencian que se ha perdido rendimientos en los suelos agrícolas del municipio, que es consecuencia de todo el sistema productivo: la temporalidad de las lluvias, las técnicas utilizadas para trabajar los sitios, los insumos que ocupan, la falta de información y estudios para los agricultores, y capacitaciones para un óptimo aprovechamiento de las tierras, es decir, incluir todas las variables que se mencionaron en la actividad agrícola.

Un punto a favor del aprovechamiento que la comunidad hace en sus sistemas productivos, es la utilización de abono orgánico (las heces de sus borregos) para la recuperación de sus suelos (Ramírez, 2015), esta es una de las posibles razones del porque el suelo no ha perdido total fertilidad en los sitios de muestreo (SM1, SM3, SM4). Aunque este esfuerzo no es suficiente para poder sustentar la salud del suelo en periodos más largos, se necesita de alguna otra variable y apoyo para un rendimiento óptimo, es decir, que la productividad no reduzca y el suelo conserve sus propiedades de calidad física y química, y que finalmente el sistema productivo no pierda su funcionalidad y no afecte tanto a la esfera ambiental como a la esfera social.

### 1.6.1 Discusión de las propiedades físicas

En la tabla de las propiedades físicas se muestran los datos obtenidos de las propiedades analizadas, en donde se aprecian las diferencias entre cada uno de los sitios de suelo y como estos influyen en los sistemas productivos.

En la mayoría de los sitios se presenta altos contenidos de arcillas, en donde resaltaron el SM2 que es el que tiene una mayor cantidad de arcillas, y el SM5 que cuenta con el menor porcentaje de estas. La cantidad de arcillas va desde 36.2 a 57.5, lo que les confiere una buena capacidad de retención de nutrientes. Sin embargo, en algunos casos dificulta su labranza, ya que, las arcillas son partículas pequeñas muy finas, por lo que los suelos arcillosos son fértiles, pesados, contiene buenas reservas de nutrientes, sin embargo, cuando hay una saturación en el agua, el suelo se transforma en barro, como consecuencia el suelo se seca y es muy difícil de trabajarlo porque no drenan ni se desecan rápido (Lanza, 1999).

Los suelos arcillosos tienen mayor capacidad de retención de agua, por lo cual el suelo de los SM en presencia de lluvias tiende a inundarse, y por el contrario, si no hay presencia de agua la tierra se compacta, por lo que estos suelos son muy fáciles de modificar. Sin embargo, los suelos son excesivamente labrados y pierden su estructura, los poros llegan a colapsarse, provocando un sellamiento parcial y mayor dificultad para que el agua pueda infiltrarse, provocando también la falta de oxígeno para las raíces de los cultivos alta de aireación (Bautista *et al*, 2004; López *et al*, 2018; Hernández *et al*, 2019).

En cuanto a la densidad aparente, esta se tomó en cuenta porque es uno de los indicadores con el que se puede definir la compactación y crecimiento de las raíces de los cultivos. El sitio que más resalta es el SM4 por tener el más alto contenido, se presenta en una categoría media con un valor de  $1.30 \text{ g/cm}^3$ , este es el suelo con mayor riesgo a compactarse, a causa de las actividades del ser humano, principalmente la actividad agrícola: uso de maquinaria pesada o el uso de arado, que es el trabajo que se ha

realizado en este SM por más de 80 años (Espinoza *et al*, 2018). Al mismo tiempo, los SM restantes, al tener características similares al SM4, tienen el mismo riesgo de compactarse.

La densidad real que muestran los SM, destaca el sitio cinco con un valor de 2.9 g/cm<sup>3</sup> encontrándose en una categoría alta, en cuanto a los demás sitios, estos tienen una categoría media, lo que nos señala que los SM están compactados, debido a que han perdido volumen, teniendo una reducción en la circulación en el aire y el agua en el suelo (FAO, 2023). Esto explica la pérdida del rendimiento de la producción de cultivos, que es uno de los efectos que ha tenido la zona de estudio en los últimos cuatro años (SIAP, 2022) porque los SM han estado bajo condiciones de uso agrícola en el que utilizan maquinaria pesada (tractor), que es una de las razones por las que el suelo se compacta y tienen una DA alta (FAO, 2023).

En cuanto a la porosidad el sitio con mayor valor es el cuatro con una porosidad de 45.1 se encuentra en una categoría media, los demás sitios se encuentran en una categoría baja por lo que se infiere que solo el sitio cuatro mantiene la hidratación idónea que necesita, los demás sitios se encuentran en condiciones no aptas. Por otro lado, se tiene un riesgo importante en el desarrollo de los cultivos al tener una porosidad media, ya que esto implicaría una afectación directa al crecimiento de las raíces de las plantas, al no tener el espacio suficiente para su movilidad en el suelo. En tal caso, los SM tienen una probabilidad a una compactación mayor (INTAGRI, 2017).

### 1.6.3 Discusión de las propiedades químicas.

Las propiedades químicas analizadas en los sitios de estudio están en diversas categorías, de acuerdo con cada SM. Se observó que existen diferencias y algunas similitudes en cada suelo, esto es debido al manejo que se le ha dado a cada uno anualmente, ya que el SM1, SM4 y SM5 son los lugares que se han trabajado por periodos más largos a diferencia del SM3. El único sitio que solo se ha labrado una vez,

es el SM2, siendo este el que más destaca con estableciéndose en una categoría media alta de las pruebas realizadas.

La materia orgánica en todos los suelos se encuentra con un porcentaje considerablemente bueno, estando en una categoría media alta. Siendo este un elemento clave para mantener la productividad de los agroecosistemas. La MO cualquiera sea su origen, es junto a las arcillas, los elementos esenciales para que se den una serie de aportes de nutrientes en los suelos (Calle, 2011). También es importante porque mejora las características físicas y funciona como almacén de energía para la vida microbiana (Trinidad, y Velasco, 2016)

De acuerdo con el estudio de la secretaria de agricultura y desarrollo rural, los niveles de materia orgánica para que un suelo pueda prepararse para la siembra deben ser mayores al 2%. Los cinco sitios de muestra cumplen con esta condición. Resalta por tener el porcentaje más bajo el SM1, que se debe a que este ha sido el suelo que se ha utilizado para siembra por más de 70 años anualmente.

Esta condición de niveles altos en MO en los SM, considerando que son suelos que cada año pierden nutrientes por la actividad agrícola, siendo que solo siembran maíz (algunas variantes como habas, pero en menor cantidad y no es anual esta condición), es porque los pobladores hacen uso de heces fecales de sus borregas (*Ovis aries*) para recuperación de sus parcelas, como estudios lo han demostrado, las utilización de estos abonos no procesados, ejercen efectos positivos tanto en las propiedades químicas como físicas del suelo, generando una recuperación adecuada de los nutrientes que pierde en cada siembra (Zanor *et al*, 2018; y Ramírez *et al*, 2015).

Las pruebas de pH establecieron que tan alcalino o ácido fueron los suelos, algunos entraron en una categoría de ligeramente ácido, se indaga que es debido a la utilización de pesticidas ya que es una condición que afecta la calidad de los suelos agrícolas (Ramírez *et al*, 2015). Los únicos dos sitios que no hacen uso de estas herramientas son

el SM3 y el SM2, por consiguiente, los resultados con H<sub>2</sub>O muestran un estado de neutralidad a comparación de los sitios SM1 y SM5, los cuales hacen uso de estos pesticidas para sus parcelas. Sin embargo, todos los SM manejan fertilizantes para un mejor rendimiento en sus cosechas, los cuales también son una variable de condici<sup>o</sup>na la acidificaci<sup>o</sup>n de los suelos. Por efecto, las pruebas con KCl nos muestran un rango m<sup>á</sup>s bajo de los que los SM tienen.

Haciendo una comparaci<sup>o</sup>n de los lugares que no hacen uso de herbicidas, y los sitios que cada a<sup>o</sup>no los utilizan, se puede comprobar que el pH se modifica por el uso excesivo de pesticidas/herbicidas ocasionando su acidificaci<sup>o</sup>n debido a la extracci<sup>o</sup>n intensiva de bases de cambio de suelo, porque en condiciones naturales sin la influencia de la actividad humana, el pH del suelo no varía en mayor medida, y son el resultado de las pruebas obtenidas en laboratorio.

Aunado a este hecho, es importante mencionar que, de acuerdo con (Rodríguez *et al*, 2020) el tipo de semilla que se trabaja en los cultivos influye en la acidez del suelo. En sus análisis del suelo a una profundidad de 30 cm como es el caso de los sitios analizados reflejan como sus cultivos condicionan este indicador, por ende, la siembra de maíz es una variante que determina el pH, en donde los SM tiene una tendencia de menor concentraci<sup>o</sup>n de carbonatos, siendo estos ácidos.

Es importante mencionar que, como cada a<sup>o</sup>no estos suelos se trabajan de la misma forma, es por ello por lo que se encuentran en una tendencia negativa, en la que se convertirán en suelos ácidos y poco fértiles, por el uso irracional de estos elementos, ya que recordemos que los agricultores no tienen medidas exactas de las porciones que deben utilizar para sus terrenos trabajados. Además, aunque el SM2 y el SM3 no utilizan esta herramienta, hacen uso de fertilizantes, que son un elemento que también condiciona el pH, por esta raz<sup>o</sup>n, no est<sup>á</sup>n todos exentos de esta tendencia.

Las variables más importantes para considerar en el estudio de calidad del suelo son los macronutrientes principales (N,P,K), porque condicionan el óptimo desarrollo de la planta, en donde la media de todas las pruebas de los sitios muestreados, tienen una categoría baja de acuerdo con la NOM-021, en donde se evidencia como las técnicas hasta ahora empleadas tienden a extraer los nutrientes con escaso aporte de otras fuentes orgánicas que permitan reemplazar total o parcialmente esta pérdida, tal y como lo reportan otros (Ferrerías *et al*, 2009; Alejo *et al*, 2012; Ramírez *et al*, 2015).

De acuerdo con los resultados de estos elementos mencionados, existe la misma tendencia, en donde el SM2 destaca por tener el mayor porcentaje de estos nutrientes, mientras que el SM1, tiene en todas las pruebas la menor cantidad de N, P y K. Se puede deducir que es debido al tiempo trabajado de las parcelas, porque el SM2 solo se ha utilizado unas veces para la labor agrícola, mientras que el SM1 se ha aprovechado por más de 70 años. Por otra parte, los sitios SM3, SM4, y SM5 muestran las mismas características de una menor medida de estos nutrientes, porque, aunque se les ha dado un menor tiempo de aprovechamiento, tienen un periodo considerable para concluir que por esta razón han perdido un porcentaje importante de estos nutrientes, ya que se han trabajado por más de 40 años.

Finalmente, la conductividad eléctrica es un valor nulo en los estudios, porque sus valores son tan bajos, que no se consideran en alguna categoría de la NOM-021-SEMARNAT.

### 1.6.3 Problemática general y estrategias propuestas.

De acuerdo con el estudio y la investigación de los sistemas productivos agrícolas del municipio de Acambay de Ruiz Castañeda, comunidad Detiña, se detectaron las siguientes problemáticas principales que afectan la calidad del suelo:

- Monocultivo de maíz. La siembra de un único cultivo (maíz) durante un periodo muy largo de tiempo, sin existir una rotación con otras especies.

- La pérdida de materia orgánica y nutrientes (N, P, K) en el recurso suelo que afecta el desarrollo de los cultivos ante lo cual la única estrategia reconocida es el aporte de estiércol, aunque se desconoce con qué periodicidad y dosis se aplican.
- Requerimientos de capacitación para el manejo de insumos y paquetes tecnológicos, para un manejo adecuado del sistema productivo. Si bien, se pudo advertir que la literatura referente a aspectos técnicos en la agricultura si existe en informes técnicos, de los diferentes centros de investigación agropecuaria tanto estatales como federales, así como en trabajos de investigación, dicha información no ha sido transferida exitosamente a los productores agrícolas, ya sea por falta de programas de divulgación, como por la falta de técnicos especializados.
- Cambio climático. Es cierto que ha sido discutido por muchos, dónde inicia y dónde acaban los efectos del cambio climático a nivel regional, es un hecho que la mayor aleatoriedad de los patrones de lluvia, así como de los eventos climatológicos extremos como heladas, granizadas lluvias o sequías atípicas, han sido elemento clave para incrementar la vulnerabilidad de los sistemas productivos estudiados, dado que ante la carencia de sistemas de riego, los agricultores tienen escaso margen de maniobra ante tales incidencias, lo cual se traduce en una baja rentabilidad de la actividad, pocos incentivos para invertir y mejorar sus capacidades técnicas y eventualmente en el abandono de esta actividad en busca de mejores oportunidades de trabajo e ingreso.

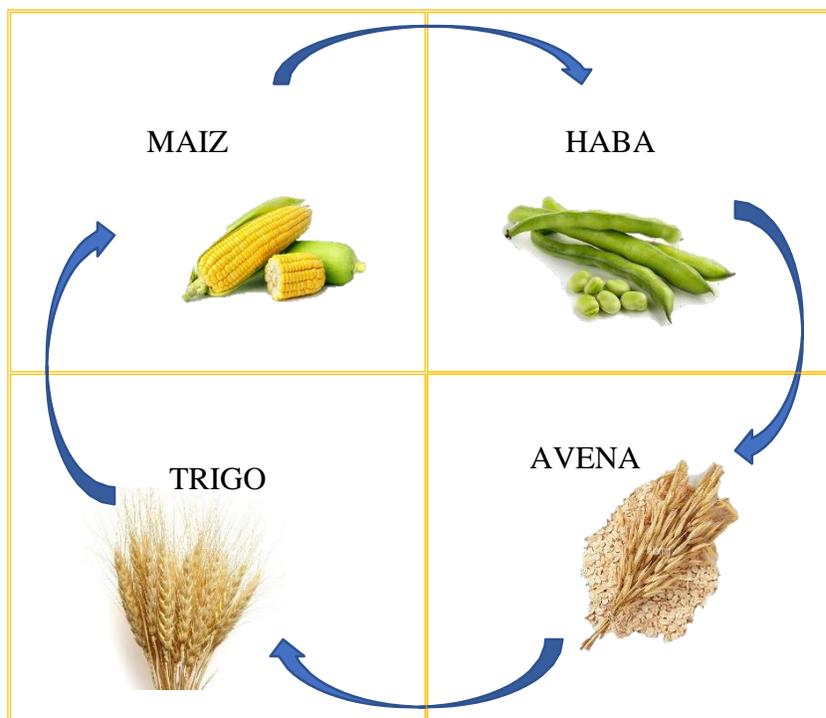
Para la primera problemática se propone la rotación de cultivos (figura 17), en donde se toma en cuenta las costumbres de cómo la comunidad ha aprovechado sus suelos a lo largo del tiempo. De acuerdo con el Instituto de Investigación y Capacitación agropecuaria, Acuícola y Forestal (2014), menciona que es una siembra sucesiva de diversos cultivos en un mismo terreno, teniendo un orden definido.

Es por ello que se sugiere que las parcelas se pueden dividir en cuatro porciones equitativas, en donde en cada una se siembre haba, trigo o avena, ya que la investigación que se realizó en la zona de estudio, nos indica que son productos con los cuales los

agricultores han trabajado en un cierto periodo de sus siembras. Este tipo de semillas son adecuadas para los suelos de esta comunidad, y ayudaría en la reducción de plagas y enfermedades, ya que permite balancear la producción de residuos, controla la maleza y en caso de una eventualidad, reduce los riesgos económicos y lo más importante, distribuye de manera adecuada los nutrientes en el perfil del suelo (ICAMEX, 2014).

Sin embargo, no se dejaría de lado el cultivo de maíz, porque es la principal fuente de ingresos para los agricultores, así mediante esta técnica, el recurso recuperaría las propiedades adecuadas para su óptimo desarrollo, y los pobladores no tendrían que cambiar drásticamente sus métodos y costumbres, lo que propiciaría un aprovechamiento sustentable.

Figura 17. Ejemplo de la rotación de cultivos en las parcelas.



Fuente:Elaboracion propia apartir de ICAMEX, (2014)

Por otra parte, para contrarrestar la segunda problemática, se ofrece como alternativa de solución el mejoramiento del abono que hace uso la comunidad, mediante el incremento de residuos orgánicos, que se obtendrían del mercado local, que se establece todos los

domingos, el cual deja una gran cantidad de residuos orgánicos, que serían aprovechados por la comunidad para la generación de una composta en la que se utilizará el estiércol del ganado, y de esta manera se cumpliría con el objetivo del mejoramiento del abono orgánico que ya se utiliza en los sitios de estudio. Así, a lo largo del tiempo se podrá recuperar la reserva de nutrientes que se han perdido a causa de la actividad agrícola. En la Tabla 21 se hacen recomendaciones adicionales, considerando la propuesta técnica de ICAMEX (2021).

Para aplicar las técnicas adecuadas tendientes a favorecer una agricultura sustentable, se consideran las aportaciones que hacen dependencias oficiales, tomando en cuenta las experiencias regionales a partir del trabajo de investigadores y productores tradicionales en aspectos como la preparación de suelos, dosis y tipos fertilizantes que se deben utilizar, así como insecticidas y herbicidas recomendados para el control de plagas y de maleza. Básicamente, un mejoramiento en el sistema productivo de maíz de la comunidad (tabla 26).

Tabla 26. Recomendaciones para el sistema productivo del maíz en la zona de estudio.

Etapas	Recomendaciones
Preparación Del Suelo	Subsolar cada cuatro años y realizar un barbecho de 30cm rastreos cruzados para posteriormente nivelar.
Mejoramiento de pH.	Cuando los suelos se encuentran en un estado ácido, se debe aplicar caliza molida, calcita, cal viva o cal hidratada 2 ton/ha, aplicar 30 días antes de la siembra.
Método Y Densidad De Siembra	<p>El método y densidad de siembra es de 25 kg/ha de semilla.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia entre surcos 80 cm.</li> <li>• Distancia entre plantas 15-20 cm</li> </ul>
Variedades Que Se Recomiendan	Criollas - 20 de abril al 20 de mayo

Fuente: Elaboración propia a partir de ICAMEX (2021)

Continuación de la tabla 26. Recomendaciones para el sistema del maíz en la zona de estudio

Etapas	Recomendaciones
Tratamiento De Fertilización	115-46-30 (N, P, K) se recomienda realizar un análisis de suelo para un mayor aprovechamiento de los nutrientes o fertilizantes.
Fuentes De Nutrimentos	Nitrógeno: Urea (46% N), Nitrato de Amonio (33.5% N), Fosfato Di amónico (18-46-00); Fósforo: Superfosfato de Calcio Triple (46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), Superfosfato de Calcio Simple (20.5% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ); Potasio: Cloruro de Potasio (60% KCl).
Oportunidad De Fertilización	En la siembra: 46-46-30 y en la 2ª Escarda: 69-00-00
Control De Maleza	Se efectúa en Preemergencia: Atrazina 50%, 2 l/ha. Primagran Gold de 3 a 4 l/ha. Aplicar inmediatamente después de la siembra, siempre que haya humedad en el suelo. Pos emergencia temprana: Atrazina susp. 45 2 l/ha, Atrazina+Dicamba 2.5 l/ha, 2-4-D Amina 1 l/ha, Dicamba 0.4-1 l/ha ó Thifensulfuron-Metil 25 gr/ha. Lumax 3 a 4 l/ha.
Control De Plagas	Se recomienda controlar las plagas de suelo con Carbofuran 5% G 20 kg/ha, Terbufos 15% G 7 kg/ha o Clorpirifos 3% G 20-30 kg/ha. Del Follaje: Para insectos chupadores: Oxidemeton Metil 0.75-1 l/ha, Dimetoato 0.5-1 l/ha, Ometoato 0.4-0.6 l/ha. Para insectos masticadores: Malation 0.5-1 l/ha, Carbarilo 1.5-2.5 kg/ha o Triclorfon 2-2.5 l/ha. Aplicar en aspersión mezclando el producto en 200 litros de agua.
Rendimiento	El rendimiento promedio esperado de 5.0 ton/ha

Fuente: Elaboración propia a partir de ICAMEX (2021)

El cambio en la temporalidad de las lluvias pone en riesgo la producción de maíz, es por ello por lo que una estrategia de adaptación es el uso de semillas de ciclo corto, que son variedades de una corta duración, es decir, que se pueden cosechar rápidamente para rotar la tierra, estas tienen la ventaja de poder cultivarse en la temporada principal y fuera

de temporada, lo que es adecuado para el sistema de producción de la comunidad. A través del el Sistema Nacional de Semillas se obtendrían diversos tipos de semillas, para que el agricultor tenga semillas de calidad para sus siembras.

De acuerdo con la secretaria de agricultura y desarrollo rural (2022), actualmente existen 601 empresas productoras de semillas, distribuidas en todo el país, las cuales producen alrededor de 205 mil toneladas de semillas de 19 cultivos, en ocho mil predios ubicados principalmente en el centro y norte del país. Con esta producción de semilla certificada se cubren las necesidades, en promedio, del 40% de las semillas de esos cultivos. En México existe una producción de semillas mejoradas certificadas de 201 mil 270 toneladas, de las cuales la mayor aportación correspondió a los cultivos de maíz (72 mil 251 toneladas). ICAMEX tiene recomendaciones específicas para la utilización de semillas en ciclos cortos en la zona de estudio, para un mejor rendimiento en las cosechas de maíz, estas semillas se dividen en dos y se muestran en continuación en la tabla 27.

Tabla 27. Tipos de semillas para siembras en ciclo cortó.

Nombre de la semilla	Características del cultivo	Características de la planta
<b>HIT-9</b>	Ciclo: precoz Densidad de población: 75 mil plantas/ha Altura de la planta: 1.50 a 1.80 m.	Color de grano: blanco cristalino Rendimiento: 8.0 ton/ha
<b>Cacahuazintle VC-1</b>	Ciclo: precoz Densidad de población: 70 mil plantas/ha Altura de la planta: 2.30 m.	Color de grano: blanco harinoso Rendimiento: 6.0 ton/ha

Fuente: Elaboración propia a partir de ICAMEX (2021)

## Capítulo VI. Conclusiones

Para el correcto funcionamiento de cualquier sistema productivo, es necesario que cada parte que lo conforma cuente con las condiciones idóneas, así mismo, el medio natural debe cumplir con el concepto de “calidad”, y el medio social o artificial debe de aprovechar el recurso de forma sustentable, para no poner en riesgo la integridad del medio físico, ya que es el que provee de insumos o servicios. Además, se debe conocer el funcionamiento del sistema productivo de forma correcta, debido a que una falla en el mismo, provoca que este pierda su productividad, afectando a las tres esferas principales: social, ambiental y económica.

La actividad agrícola por sí sola no afecta la calidad del suelo, sino son las formas de producción y aprovechamiento, que se llevan a cabo durante un largo periodo de tiempo. Si bien se sabe, el suelo es un recurso finito que de alguna u otra forma tiene una cierta resiliencia como cualquier otro recurso. Sin embargo, la explotación que ha tenido por el sistema de producción que se ha establecido, es lo que ha provocado efectos negativos en la productividad agrícola.

En primera instancia el movimiento de las masas del suelo por el barbecho y uso de maquinaria pesada, condiciona y modifica las propiedades físicas del recurso. Por otra parte, el uso irracional de fertilizantes, pesticidas e insecticidas, alteran de manera significativa las propiedades químicas del suelo. Aunado a todo este aprovechamiento, se suma el cultivo de una sola especie en un largo periodo de tiempo, provocando que solo absorba ciertos nutrientes del suelo, propiciando que el recurso no se recupere de manera adecuada. Todas estas son variables que han ocasionado la pérdida de suelo y generando una tendencia a la acidificación y erosión, esto finalmente afecta a la sociedad debido a que se pierde la productividad y con ello los ingresos económicos disminuyen.

De los cinco sitios estudiados, todos tienen características similares en sus propiedades físicas y químicas. Sin embargo, el sitio dos en comparación en todos los aspectos con los sitios de muestra restantes, es el que se ha trabajado menos por lo que, de acuerdo con los resultados de los análisis, sus propiedades no tienen un alto grado de modificación. Lo que nos indica que a mayor periodo en la forma que se aproveche este recurso, tendrá más impactos negativos en sus propiedades físicas y químicas, demostrando que el tiempo de labranza si condiciona la calidad del suelo.

La productividad agrícola, es afectada principalmente por las técnicas, herramientas, y métodos que se aplican en los cultivos. Sin embargo, una de las variables que ha afectado productividad en estos sistemas, es el clima. En los últimos años, los cambios de clima han generado que el sistema productivo de esta comunidad tenga cambios significativos, de los cuales los principales son: el tiempo en el que preparan sus tierras (barbecho), lo periodos de siembra y de cosecha.

Por otra parte, se destaca que los estudios de campo y laboratorio de los suelos agrícolas, denotan su creciente deterioro en función de las prácticas realizadas, pero sobre todo del tiempo de manejo, que en algunos casos suele ser superior a los 70 años. Los indicios de estos efectos se reflejan en la reducción de los contenidos de materia orgánica y macronutrientes, tendencia a la compactación por la pérdida de estructura e incremento de la densidad aparente.

Por lo anterior, se establecieron diversas estrategias tendientes a diversificar el patrón de cultivos, incorporar enmiendas orgánicas en cantidad y forma necesarias para contrarrestar la pérdida de nutrientes, así como difundir otro tipo de paquetes tecnológicos y, conocimientos tendientes a mitigar la vulnerabilidad de estos sistemas productivos frente a las amenazas económicas y climáticas presentes y futuras.

## REFERENCIA

Acevedo, I., Sánchez, A., y Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 33(2), 127-134. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7904321>

Alejo, G., Salazar, F., García, J., Arrieta, B., Meza, V., y Sánchez, A. (2012). Degradación fisicoquímica de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*. (15), 323–328. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/806>

Álvarez Arteaga, G., (1993). Estudio de uso potencial del suelo de la localidad de San Miguel de la Victoria y sus alrededores, municipio de Jilotepec, Estado de México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores: *Revista Ecosistemas*, 13(2), 93-96. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>

Blancarte Roberto. (1994). Estado de México perspectivas para la década de los 90 (Ed.), El colegio mexiquense: Instituto mexiquense de cultura (pp. 724).

Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.

Burbano Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista Ciencias Agrícolas*, 32(2), 20-36. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>

Calderón, C., Bautista, G. y Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Revista Orinoquia*, 22(2), 141-157. <https://www.redalyc.org/journal/896/89660465002/html/>

Calle, A., y Velarde, M. (2011). *Edafología 1*. Universidad Autónoma del Estado de Pachuca Hidalgo. [https://www.researchgate.net/publication/332385745\\_Propiedades\\_del\\_suelo\\_y\\_nitrogeno\\_como\\_indicadores\\_del\\_crecimiento\\_en\\_plantaciones\\_comerciales\\_de\\_teca](https://www.researchgate.net/publication/332385745_Propiedades_del_suelo_y_nitrogeno_como_indicadores_del_crecimiento_en_plantaciones_comerciales_de_teca)

Centros de estudios de las finanzas públicas (2016). El desarrollo de la agricultura y el impacto que tendría en las finanzas públicas de México. [https://cefp.gob.mx/formulario/Trabajo\\_12a.pdf](https://cefp.gob.mx/formulario/Trabajo_12a.pdf)

Cremona, M. y Enríquez, A., (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: el pH y la conductividad eléctrica. *Revista Presencia*, 7(3), 5–8. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7709>

Delgado Londoño, D. M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Lámpsakos*, (17), 77-83. <https://revistas.ucatolicaluisamigo.edu.co/index.php/lampsakos/article/view/1907>

Espinoza I., Zenteno M., Chávez J., Moreiral V., Solarte K., y Intriago F., (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Temas agrarios*, 23(2), 177-187. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6587923>

Estado de México. *Economía, sociedad y territorio*, 19(59), 1243-1274. <https://doi.org/10.22136/est20191207>

Estrada Herrera., (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. Revista Agrociencia, 51(8).  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S140531952017000800813](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952017000800813)

Fadda, G., Corbella, R., Tornato, J., y Fernández Ulivarri, J. (2017). Metodología para los estudios de suelos en campo.

FAO. (2002). Agricultura mundial hacia el año 2015/2030.  
<https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s.pdf>

FAO. (2022). Capítulo 4: Breve panorama de los sistemas agrícolas.  
<https://www.fao.org/3/AD682S/ad682s08.htm>

FAO. (2022). Control microbial y manejo de la "gallina ciega" *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae) en cultivos de maíz del Centro-Occidente de México, (2007). <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CU2004101560>

FAO. (2020). El estado mundial de la agricultura y la alimentación.  
<https://www.fao.org/publications/sofa/2020/es/>

FAO. (2016). Propiedades físicas del suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamientode-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

FAO. (2023). Propiedades físicas del suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

Ferreras, L., Toresani, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V. y Beltrán, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Revista Cielo Argentina*, 27(1), 103-114.

<http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v27n1/v27n1a11.pdf>

Galantini, J., Landriscini, M., y Hevia, C. (2007). Contenido y Calidad de la materia orgánica particulada del suelo. *Revista Técnica Especial en Siembra Directa*.36-40.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25723>

García Carrasco, J. y Canal Bedia, R. (2018). Así somos los humanos: plásticos, vulnerables y resilientes. *Revista De Pedagogía*, 72(1), 179–180.

<https://recyt.fecyt.es/index.php/BORDON/article/view/73671>

Gardi, C., Angelini, M., Barcelo, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonca, M., Montarella, L., Muñoz, O., Schad, P., Vara, M., y Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de America Latina y el Caribe. Comision Europea - Oficina de publicaciones de la Unión Europea, L-2995, Luxemburgo, 179. [https://www.researchgate.net/publication/262731098\\_Atlas\\_de\\_suelos\\_de\\_America\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe](https://www.researchgate.net/publication/262731098_Atlas_de_suelos_de_America_Latina_y_el_Caribe)

Gómez Sal, A. (2012). Agroecosistemas: opciones y conflictos en el suministro de servicios clave. [http://www.ecomilenio.es/wp-content/uploads/2012/04/AMBIENTA\\_98web.pdf](http://www.ecomilenio.es/wp-content/uploads/2012/04/AMBIENTA_98web.pdf)

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2020). Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres.

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf)

H, de Jesús, comunicación personal, 23 de Mayo 2022.

Heredia, E. G., Iberico, C. A. M., Cruz, S. M. O., & Obando, N. Y. V. (2016). Población de nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en relación a la textura del suelo, Cuispes, Bongará-Amazonas. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 1(2), 9-15.

Hernández, A., Figueroa, B., y Martínez, M. (2019). Propiedades físicas del suelo y su relación con la plasticidad en un sistema bajo labranza tradicional y no labranza. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*. (10), 53-61.  
<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1858>

Hernández E., Velázquez M., Saldana T., y Galindo B., (2014). Estrategias de las familias campesinas de Pueblo Nuevo, Municipio de Acambay, Estado de México. *Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo* 11(2):167-179.  
<https://www.researchgate.net/publication/266150439>

ICEL. (2020). Propiedades de la materia. <http://www.icel.cl/wp-content/uploads/2020/04/Gu%C3%ADa-de-trabajo-N2-Propiedades-de-la-materia-8vo.pdf>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática, 2020. Censo de población y vivienda.  
[https://inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/tabulados/cpv2020\\_b\\_mex\\_01\\_poblacion.xlsx](https://inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/tabulados/cpv2020_b_mex_01_poblacion.xlsx)

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática, 2019. Encuesta Nacional Agropecuaria. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2010. Marco Geoestadístico Municipal 2010. Versión 4.3. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/15/15001.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15001.pdf)

Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX, 2014). Agricultura de Conservación. <https://icamex.edomex.gob.mx/publicaciones>

Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX, 2021). Maíz de temporal en los Valles Altos del Estado de México. <https://icamex.edomex.gob.mx/maiz>

INTA (2020). El agua es prioridad. Presencia. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/revista\\_73\\_0.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/revista_73_0.pdf)

INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie de suelos. (29), 5. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

Joe, Y., Chen, X., y Ghaemi. (2014). Emergence of charge density wave domain walls above the superconducting dome in 1T-TiSe<sub>2</sub>. Nature Phys. (10), 421–425 <https://doi.org/10.1038/nphys2935>

Lanza, G. (1999). Educación ambiental para el trópico de Cochabamba. <https://www.fao.org/3/ah645s/AH645S00.htm>

López F., Duval M., Martínez, J., y Galantini, J., (2018). Propiedades físicas en suelos bajo siembra directa del sudoeste bonaerense., Compactaciones naturales y antrópicas en suelos argentinos (pp. 534-544). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/107364>

Lozano R., y William A., (2016). Densidad real por el método de la probeta y porosidad. In Suelos: Guía de Prácticas Simplificadas En Campo y Laboratorio, (pp. 59–61). Universidad Piloto, 2016. <http://www.jstor.org/stable/j.ctv8j5r0.14>.

Martínez Castro, C. J., Ríos Castillo, M., Castillo Leal, M., Jiménez Castañeda, J. C., y Cotera-Rivera, J. (2015). Sustentabilidad de agroecosistemas en regiones tropicales de México. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(1) ,113-120. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93938025003>

México, D. (2020). Data México. Obtenido de Data México: <https://datamexico.org/es/profile/geo/acambay-de-ruiz-castaneda>

México. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 18(1) ,113-120. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93938025003>

Mogollón, J. P., Martínez, A., y Rivas, W. (2014). Degradación química de suelos agrícolas en la península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 44(1), 22-28. [http://www.unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos\\_ecuatoriales/article/view/33](http://www.unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/33)

Montaño Arias, N M., Navarro Rangel, M C., Patricio López, I C., Chimal Sánchez, E., y Miguel de la Cruz, J. (2018). El suelo y su multifuncionalidad: ¿qué ocurre ahí abajo? *Revista Científica multidisciplinaria de prospectiva*, 25(3), 10. <https://www.redalyc.org/journal/104/10455646009/10455646009.pdf>

Montatixe, C., Eche, M., (2020). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra* 8 (1): 1735 <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>

Muñoz Iniestra, D. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Revista Tierra Latinoamericana*, 31(3).  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018757792013000400201](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792013000400201)

Murillo, S. E. P., Nevárez, E. Z., Figueroa, J. B., Loor, Á. A., y Aldaz, K. S. (2019). Nuevos sistemas de tratamientos de suelo contaminado por hidrocarburos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, (E21), 226-236.  
[https://www.researchgate.net/publication/341699843\\_Nuevos\\_sistemas\\_de\\_tratamientos\\_de\\_suelo\\_contaminado\\_por\\_hidrocarburos](https://www.researchgate.net/publication/341699843_Nuevos_sistemas_de_tratamientos_de_suelo_contaminado_por_hidrocarburos)

Navarro Garza, H. (2013). *Agricultura Orgánica y Alternativa*. Universidad Autónoma de Chapingo. <https://ulibros.com/agricultura-organica-y-alternativa-btow4.html>

Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., López Blanco, J., y Rodríguez Gamiño, M L. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>

Nicholls, C., Henao, A., y Altieri, M. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Revista Agroecología*, 10(1), 7-31.  
<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711/216131>

Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de ingeniería*, (33), 115-123.  
<https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/184>

Orozco M., García, G., Álvarez, P., y Mireles. (2017). Tendencias del sector agrícola, Estado de México. *Revista de Estudios Territoriales*, 19 (1), 99-121.  
<https://www.redalyc.org/journal/401/40153531006/html/>

Paz Pellat, F., Argumedo Espinoza, J., Cruz Gaistardo, C., Etchevers B., Y Jorge D. (2016). Distribución espacial y temporal del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres de México *Terra Latinoamericana*, 34(3), 289-310.

Piscitelli, M. (15 de julio de 2015). Degradación de suelos. UNICEN. (15 Marzo 2023). <https://normas-apa.org/referencias/citar-pagina-web/>

Platas Rosado, D., Vilaboa Arróniz, J., González Reynoso, L., Severino Lendechy, V., López Romero, G. y Vilaboa Arróniz, I. (2017). Un análisis teórico para el estudio de los agroecosistemas. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(3), 395-399. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93953814017>.

PND (2022). Plan nacional de desarrollo. <https://www.planeandojuntos.gob.mx/>

Ramírez Corona, I. (2016). El Desarrollo de la Agricultura y el impacto que tendría en las finanzas de México. [https://cefp.gob.mx/formulario/Trabajo\\_12a.pdf](https://cefp.gob.mx/formulario/Trabajo_12a.pdf)

Ramírez, J., Fernández, Y., González, P., Salazar, X., Iglesias, J. y Olivera, Y, (2015). Influencia de la fertilización en las propiedades fisicoquímicas de un suelo dedicado a la producción de semilla de *Megathyrsus maximus*. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 393-402. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942015000400002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000400002)

Recalde Vera, A. (2017). Caracterización de las propiedades fisicoquímicas: densidad aparente, densidad real, porosidad, textura, color, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica de los suelos de la reserva biológica limoncocha. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2268>

Rodríguez, I., Pérez, H., García, R., y Quesada, A. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Revista Universidad y Sociedad*. 12(5), 389-398.

Rosas, J. (2014). Diccionario químico.

Rosendo Chávez, Alejandro, Herrera Tapia, Francisco, Vizcarra Bordi, Ivonne, & Baca Tavira, Norma. (2019). Desarrollo territorial rural: agricultura y migración en el sur del SECAMPO (2021). Ocupa Edomex primer lugar nacional en producción de triticales <https://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/ocupa-edomex-primer-lugar-nacional-en-produccion-triticales>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social (2022). Semillas mejoradas, promotoras de una agricultura eficiente y con tecnología. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/semillas-mejoradas-promotoras-de-una-agricultura-eficiente-y-con-tecnologia?idiom=es>

Secretaría del Campo Estado de México (2021). Es Edomex uno de los principales productores agrícolas en el país. [Http://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/es-edomex-uno-principales-productores-agricolas-en-el-pais](http://secampo.edomex.gob.mx/eventos-comunicados/es-edomex-uno-principales-productores-agricolas-en-el-pais)

Secretaría del medio ambiente y recursos naturales (2002). Norma oficial mexicana NOM-021SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

SEDATU. (2019). Atlas de riesgos naturales Acambay de Ruiz Castañeda, México 2014. [http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/15001\\_ACAMBAY.pdf](http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/15001_ACAMBAY.pdf)

SEMARNAT. (11 de marzo de 2021). Servicios ambientales o ecosistémicos, esenciales para la vida. <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/servicios-ambientales-o-ecosistemas-esenciales-para-la-vida?idiom=es>

SEMARNAT. (2015). Informe de la situación del Medio ambiente en México. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15\\_completo.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf)

Semetiel, M., y Noguera, P. (2004). Los sistemas productivos regionales desde la perspectiva del Análisis de redes. *Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 6 (3), 17-19. <https://www.redalyc.org/pdf/931/93100603.pdf>

Servicio de información agroalimentaria y pesquera (2022). Producción anual agrícola. Producción mensual agrícola. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)

SIAP (2022). Producción mensual agrícola. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/)

Siebe C., Jahn R., y Stahr K., (2006). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. (Ed.), México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo 2.

Torres Torres, F., y Rojas Martínez, A. (2019). *Revista Suelo Agrícola en México: retrospectiva y prospectiva para la seguridad alimentaria*, 9(3), 137-148. [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/sitios/rdebeta/rde\\_26a/RDE26.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/sitios/rdebeta/rde_26a/RDE26.pdf)

Trejo, Yeseline (1 Julio 2021). EdoMex es uno de los principales productores agrícolas en México. *Actualidad*. [https://mexico.as.com/mexico/2021/07/02/actualidad/1625184500\\_423090.html](https://mexico.as.com/mexico/2021/07/02/actualidad/1625184500_423090.html)

Trinidad Santos, A., y Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Revista Agroproductividad*, 9(8), 52-58. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802/666>

Trujillo, J., Machecha, J., y Torres, M. (2018). El recurso suelo: un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 9(2), 30-37. <https://doi.org/10.22490/21456453.2095>

Urbano L., Montiel A., Flores N., Martínez C., García A., y Rayas A. (2018). Hacia la sustentabilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Acambay, estado de México. *Revista Agroproductividad*, 11(11), pp: 103-108. <https://revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1291/1054>

USDA. (2023). Agricultural Outlook Forum Program. <https://www.usda.gov/oce/ag-outlook-forum/2023-aof-program>

Walkley, A.J. and Black, I.A. (1934) Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38.

WRB, Base referencial mundial del recurso suelo. (2014). Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>

Zanor, G., López, M., Martínez, R., Ramírez, L., Gutiérrez, S., y León, M. (2018). Mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de un suelo agrícola mezclado con lombricompostas de dos efluentes de biodigestor. *Revista Ingeniería, investigación y tecnología*. 19(4), e036.

## ANEXOS

### Anexo 1. Cuestionario para productores agrícolas

Pregunta /Sitio	¿Cómo es la preparación del suelo para la siembra de los cultivos?	¿Cuáles son los meses en los que se siembra?	¿Cuáles son los meses donde se levanta la cosecha?	¿Cuál es la duración que se lleva el desarrollo del cultivo? Y ¿Por cuánto tiempo ha trabajado?	¿Utilizan algún tipo de fertilizantes? Si la respuesta es sí, ¿Qué tipo de fertilizantes ocupan?	¿Existen plagas en las tierras sembradas? Si existen, ¿Qué tipo de plagas son? ¿Y cómo se tratan esas plagas?	¿Qué tipo de tecnología utiliza?	¿Cuáles son los cultivos que se siembran?	¿Qué factores ponen en vulnerabilidad sus cultivos?
SM1	Se utiliza el barbecho y posterior a esto, se ocupa la rastra. En el mes de noviembre	Abril (Aunque varía debido a la temporalidad de las lluvias)	Generalmente en Noviembre aunque en ocasiones se atrasa por cuestiones externas (temporalidad de lluvias, germinación del cultivo, plagas, etc.)	Se trabaja anual y se ha trabajado por 70 años	Si, abono, lama de borrego y se utiliza un bulto. Y la utilización de Pesticida: RIBO	Plagas: Gallinita ciega, Catarina o Mariuita, Calabacilla. Y las tratan con pesticidas y manualmente.	Tractor	Maíz cada año, y habas en ocasiones.	Granizada, plagas, temporalidad de las lluvias.
SM2	Solo se utilizó el barbecho con yunta. En el mes de noviembre	Abril a veces se atrasa o se adelanta por la temporalidad de lluvias	Entre los meses de Octubre o Noviembre	Solo se ha trabajado por un año la milpa.	Solo abono.	El año que se sembró solo se encontró calabacilla y se retiró manualmente.	Solo yunta.	Ese año se sembró maíz y haba.	Ese año solo se sufrió de plagas de hierbas

SM3	Se hace un barbecho y posterior a esto se utiliza la viga	Marzo y abril, dependiendo de las condiciones climaticas	Aproximadamente en Noviembre	Alrededor de 10 años	Si abono (un bulto) y lama de borrego.	No existe algún tipo de plaga.	Tractor	Solo se ha trabajado con el cultivo de maíz.	Heladas, Sequias, plagas.
SM4	Se hace un barbecho, después e utiliza la rastra y finalmente la viga	Aproximadamente en los meses de Marzo y Abril	Generalmente en el mes de Noviembre	Se utiliza cada año y se ha trabajado aproximadamente por más de 80 años.	Si abono (10 Un bulto) <i>sal y tierra y urea.</i> Utilización de pesticida <i>yervamina, gramason</i>	Gallinita ciega, Catarina o Mariuita, La langosta, Calabacilla, La enredadera	Tractor	Cada año se siembra Maíz y ocasionalmente trigo.	La temporalidad de las lluvias, las granizadas las plagas
SM5	Se utiliza el barbecho y posterior a esto, se ocupa la rastra, en el mes de noviembre	Generalmente en el mes de Abril	En el mes de Noviembre	Se trabaja anualmente y se ha trabajado por más de 50 años	Si, solo abono	Gallinita ciega, Catarina o Mariuita, se utiliza el plaguicida <i>yervamina</i>	Tractor	Solo se a sembrado maíz	La temporalidad de las lluvias, sequias, las plagas.