



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional



CAPTURA DE CARBONO Y SU RELACIÓN CON LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN CULTIVOS DE MAÍZ CACAHAZINTLE (*ZEAMAYS*, L) EN LA LOCALIDAD DE ZARAGOZA MUNICIPIO DE CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN CIENCIAS

AMBIENTALES PRESENTA

Azucena Coyote Cabañas

DIRECTORES

M. en C.A Abraham Agustín Torres

García Dr. en E. del D. Gabino Nava

Bernal



ÍNDICE

I. RESUMEN.	5
1 INTRODUCCIÓN.	6
1.3 Antecedentes.	6
1.4 Justificación.	8
1.5 Contribución de la propuesta.	9
1.6 Planteamiento del problema.	9
1.7 Hipótesis.	11
1.8 Objetivo general.	11
1.9 Objetivos específicos.	11
2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	14
2.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la agricultura.	14
2.2 Carbono orgánico del suelo (COS).	17
2.3 Planes para la creación de sumideros de carbono y reducción de GEI.	20
2.4 Agricultura de conservación como estrategia de almacenamiento de carbono.	24
2.5 Captura de carbono en suelos agrícolas (sumideros de carbono).	26
2.6 Captura de carbono en diferentes usos de suelo.	28
2.7 Relevancia del maíz en la zona de estudio.	31
2.8 Proceso de producción del maíz.	34
3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO: LOCALIDAD ZARAGOZA DE GUADALUPE, CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.	37
3.1 Localización.	37
3.2 Componente Natural.	38
3.2.1 Topografía.	38
3.2.2 Geología.	39
3.2.3 Edafología.	40
3.2.4 Clima.	42
3.2.5 Hidrología.	44

3.2.6	Flora y fauna silvestre.	46
3.3	Componente socioeconómico y demográfico.	47
3.3.1	Descripción de la población Total.	47
3.3.2	Descripción económica.	48
3.3.3	Actividades económicas.	48
3.3.4	Aportaciones del capítulo.	49
4	METODOLOGÍA.	51
4.1	Selección y relevancia de variables.	51
4.1.1	Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico del Suelo (COS).	51
4.1.2	pH (potencial de Hidrógeno).	52
4.1.3	Densidad Real (DR).	54
4.1.4	Densidad Aparente (DA).	54
4.1.5	Porosidad.	56
4.2	Selección de zonas y etapas de muestreo.	56
4.3	Materiales y método.	59
4.3.1	Método de muestreo:	59
4.4	Análisis de laboratorio.	61
4.4.1	Preparación de la muestra.	62
4.4.2	Densidad Aparente (DA).	62
4.4.3	Densidad Real (DR).	62
4.4.4	Porosidad.	63
4.4.5	pH (Potencial de Hidrógeno).	63
4.4.6	Materia Orgánica (MO).	64
4.4.7	Porcentaje de carbono.	65
4.4.8	Carbono por hectárea	65
5	RESULTADOS.	66
5.1	Características Físicas.	66
5.1.1	Parcela 1.	67
5.1.2	Parcela 2.	69

5.1.3	Parcela 3.	71
5.1.4	Parcela 4.	73
5.2	Características Químicas.	75
5.2.1	Densidad Real.	76
5.2.2	Densidad Aparente.	77
5.2.3	Porosidad.	79
5.2.4	pH.	81
5.2.5	Materia orgánica (MO).	82
5.3	Captura de carbono.	83
6	CONCLUSIONES.	90
7	Referencias.	93
8	ANEXOS	103

I. RESUMEN.

En este trabajo se identifican los elementos que influyen en la capacidad del suelo para almacenar carbono (C), el cual, contribuye con el efecto de calentamiento global.

Se tomó como área de estudio, la localidad de Zaragoza en el municipio de Calimaya, Estado de México, donde las condiciones físico-geográficas otorgan un nicho de crecimiento a la variedad de maíz cacahuazintle (*zea mayz*), una especie única.

Se realizó una caracterización física y química de cuatro parcelas cultivadas con maíz en el área de estudio. En el caso de la caracterización física el proceso de obtener información fue a través de dos cuestionarios de tipo abierto y estructurado aplicados en diferentes momentos del ciclo agrícola, con lo que se logró obtener información cualitativa sobre las prácticas agrícolas realizadas en cada parcela; por último, las respuestas se sintetizaron en un calendario agrícola que detalla las fechas y prácticas realizadas. Por otra parte, en la caracterización química se analizaron 5 variables del suelo: densidad aparente (DA), densidad real (DR), porosidad, pH y materia orgánica (MO), para lo cual fue necesario realizar 4 muestreos durante diferentes periodos del ciclo agrícola utilizando la técnica de zig zag y cuarteo para posteriormente analizar las muestras en laboratorio.

Los resultado indica que son 4 los factores que favorecen una mayor retención de C en los suelos, tales como, la presencia de arvenses, la reincorporación de materia orgánica la forma de abonado y la erosión y oxidación.

1 INTRODUCCIÓN.

1.3 Antecedentes.

Las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera han tenido un comportamiento creciente desde el inicio de la revolución industrial, como resultado se ha presentado un incremento de las temperaturas globales (Lal, 1999).

Altamirano y Medina (2018), reportan que México es el principal emisor de GEI en América Latina, y el noveno emisor a nivel mundial emitiendo cerca de 724 millones de toneladas de CO₂ que junto con China, EU, Unión Europea, India, Rusia, Japón, Brasil, Indonesia e Irán contribuyen al 72% de las emisiones totales anuales (World Resources Institute, 2012). De acuerdo con la última actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero establece que entre 1990 y el 2015 las emisiones de GEI en México aumentaron cerca del 54%, con una tasa de crecimiento anual (TCMA) de 1.7%. Y para el período de 2010 a 2015 la TCMA disminuyó un 0.8% (INECC, 2018).

Así también, se ha estimado que el manejo de los suelos agrícolas es responsable del 6.21% de la emisión de Gases de Efecto Invernadero (INECC-SEMARNAT, 2017) principalmente a causa de aplicación de fertilizantes o deforestación. A nivel mundial se estima que las actividades agrícolas emiten 25% de los flujos de CO₂ antropogénico, 55-60% del total de las emisiones de CH₄ y 65-80% de los flujos totales de N₂ O (Robertson, 2004). Sin embargo estos suelos también tienen la capacidad de secuestrar alrededor de 20 petagramos de carbono (un petagramo o Pg equivale a una giga tonelada (Gt)) en 25 años, más del 10 % de las emisiones antropogénicas. Por lo que los suelos tienen el potencial de ser sumideros de carbono removiendo gases de invernadero de la atmósfera (FAO, 2017).

En respuesta a esta problemática México ha firmado tratados que lo comprometen a la reducción de sus emisiones de GEI; tal como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992 y posteriormente

en 1995 se adoptó el Protocolo de Kioto el cual se basa en los principios de CMNUCC. Sin embargo, éste acuerdo sólo compromete a los países desarrollados, por lo que México en su condición de país en vías de desarrollo no tiene ninguna obligación de reducir estas emisiones.

Es notorio que no existen las suficientes políticas direccionadas a reducir las emisiones de GEI en ningún ámbito del sector productivo y menos aún políticas que reconozcan el papel del suelo como sumideros de carbono, pues, por ejemplo; se ha destinado el 2.2% del total del presupuesto de SAGARPA para actividades relacionadas con la conservación de suelos, en tanto que el 80% se destinó a obras hidráulicas, demostrando que no hay un reconocimiento hacia el suelo como medio para infiltrar y retener agua (Martínez, et al., s.f).

La actividad agrícola es de gran importancia para el sustento de la vida humana, además de también generar impacto en el sector económico, pues en 2012 la agricultura contribuyó 5% del producto interno bruto (PIB) de la región de América Latina y el Caribe. Asimismo contribuyó con 19% y 9% del empleo masculino y femenino respectivamente durante el período 2008-2011 (Banco Mundial, 2013).

El caso del cultivo de maíz es un caso relevante en México, pues representa la base de la alimentación mexicana y tiene un gran valor cultural, su producción se extiende por todo el país, aunque a pesar de esto México no es autosuficiente en su producción.

En 2018 México se posicionó en el 8° lugar de producción, siendo rebasado por Estados Unidos, China, Brasil, Unión Europea, Argentina, Ucrania y la India (CIMA, 2020). A nivel nacional, se estimó un total de 7, 366,967 hectáreas cultivadas con maíz (SIAP, 2018) lo cual representa el 3.75 % del territorio nacional sembrado únicamente con maíz. El Estado de México se encuentra en el séptimo lugar con mayor cantidad de hectáreas sembradas.

México es el centro de origen y diversificación de maíz, por lo cual existen variedades de semillas perfectamente adaptadas a condiciones ambientales muy específicas, tal es el caso del maíz cacahuazintle que crece únicamente en las zonas del valle de Toluca y regiones de Puebla y Tlaxcala.

El carbono orgánico en el suelo, es capaz de dar una mejor estructura y diversificación de minerales que permiten a los cultivos crecer y desarrollarse adecuadamente, lo cual puede beneficiar a los productores mejorando la calidad de sus productos y el rendimiento del suelo, aumentando así sus producciones.

Espinoza (2005) menciona que el almacenamiento del carbono en el suelo depende específicamente de las variables climáticas (temperatura y precipitación) y del contenido de arcilla en el suelo, por otra parte como lo menciona García y colaboradores (2014) el tipo de abono que se utiliza impacta de mayor manera, pues en su estudio encontraron que las parcelas abonadas con estiércol generan mayor captura de carbono.

Marcos et al. (2016) demostraron que en un ambiente de montaña a 2,750 msnm, con clima templado subhúmedo y precipitación media anual de 818.5 mm los cultivos pueden capturar más de 41 tCO₂/ha que representa el 1.4% más que los cultivos de valle y 3.6 % más que los de planicie, aunque por otra parte Torres (2013) concluye que si la zona posee una pendiente muy elevada el porcentaje de carbono será menor debido a que comúnmente en pendientes muy pronunciadas el suelo es poco profundo.

1.4 Justificación.

El maíz cacahuazintle es una variedad de maíz única en el valle de Toluca que requiere de condiciones biofísicas específicas para su desarrollo, tales como la calidad del suelo, porosidad y con abundante cantidad de materia orgánica, además se desarrolla mejor en temperaturas frías o semifrías y altitudes de entre 2,600 a

2,900 msnm (CONABIO, 2017) y la zona de estudio, cuenta con condiciones similares para el buen desarrollo de esta variedad.

El Carbono Orgánico del Suelo (COS) es el componente principal de la materia orgánica del suelo y uno de los principales indicadores para determinar su calidad, pues se encuentra vinculado con la cantidad y disponibilidad de nutrientes. La cantidad de COS es afectada fuertemente por el manejo del suelo (Martínez et al., 2008), por lo que es importante identificar las actividades agrícolas que retienen el carbono e implementar algunas otras para mantener la productividad del suelo a lo largo del tiempo y de esta forma poder continuar con el cultivo de maíz cacahuazintle que le da representatividad a la zona y evitar que se abran nuevos sitios de cultivo.

1.5 Contribución de la propuesta.

La presente tesis es un acercamiento para entender, como es que las prácticas agrícolas podrían influir en la cantidad de carbono almacenado en suelos con pendientes ligeramente inclinadas y cuáles de estas podrían contribuir a su retención.

Este proceso exploratorio, se lleva a cabo en cultivos convencionales de maíz cacahuazintle en una zona con tradición en su producción. La evidencia mostrada aquí, abrirá nuevas líneas de investigación y aportar información en torno al entendimiento de la captura de carbono en pro de la conservación del suelo a través de sistemas agrícolas convencionales; como el caso del maíz.

1.6 Planteamiento del problema.

Durante la última década las emisiones de GEI han aumentado en un 1.5% anual, en el 2008 se emitió un total de 55.3 giga toneladas de dióxido de carbono y para el 2019 la cifra se elevó a 59.1 (ONU, 2019; ONU, 2020). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) se estima que cerca del 25% de las producciones de dióxido de carbono son

emitidos por la agricultura, este carbono es principalmente emitido por combustibles fósiles utilizados en la maquinaria y también por actividades de laboreo que estimulan la emisión y acumulación de dióxido de carbono rompiendo los agregados del suelo.

Nacionalmente, el maíz es la semilla más cultivada y se encuentra presente en todos los estados de la república. De acuerdo con los datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en el 2018 se produjeron cerca de 27, 169,400 toneladas de maíz; de los que el 52.48 % de la superficie total sembrada se concentra en 7 estados que son: Chiapas (9.03%), Jalisco (7.9%), Veracruz (7.8%), Sinaloa (7.1%), Puebla (7%), Oaxaca (7%) y el Estado de México (6.7%). En el municipio de Calimaya se estima un total de 4,485 hectáreas cultivadas de maíz bajo temporal, que representa una producción de 20,514 toneladas.

Para esta investigación se seleccionó como zona estudio la localidad de Zaragoza de Guadalupe, en el municipio de Calimaya, Estado de México. Esta zona se localiza entre las cotas 2,850 y 2,900 sobre un relieve de lomerío, en roca ígnea extrusiva con una predominancia de suelo Phaeozem y menor presencia de Regosol, con un clima semifrío y templado subhúmedo (INEGI, 2010), estas son características específicas que necesita la semilla de maíz cacahuazintle para su crecimiento, por lo que en la comunidad es muy común su cultivo, aunque se da también en algunas zonas de los estados de Puebla y Tlaxcala.

El proceso de manejo del suelo previo a la siembra se realiza principalmente en tres momentos: el barbecho que es el periodo de descanso del suelo durante el que se deja desprovisto de vegetación, la rastra que se realiza con tractor y se voltea el suelo para eliminar raíces y en algunos casos integrar materia orgánica en forma de estiércol, y después la labranza que se realiza normalmente junto a la siembra y consiste en formar los surcos.

Las prácticas de labranza intensiva provocan la degradación continua de la estructura del suelo ya que rompe los agregados dejándolo propenso a la erosión

hídrica o eólica, además de eliminar macro fauna que ayuda a la degradación de la materia orgánica (Verhulst et al. 2015a) y de esta forma el suelo interviene en la emisión de carbono a la atmósfera. La agricultura de conservación propone la cero labranza, en la cual se conservan restos de la cosecha anterior que aportan materia orgánica y mantienen la humedad del suelo realizando la siembra directamente sin perturbarlo.

El tipo de abonado realizado es otro factor que influye, pues agregar residuos orgánicos, como lodos o estiércoles, se considera una buena opción para mejorar el almacén de carbono y mejor aún si es que estos están composteados (Hernández et al., s/f).

En general, es la acumulación de materia orgánica y su permanencia en el suelo la que determina el almacén de carbono, por lo que las diferentes prácticas realizadas en el suelo tendrán efecto sobre dicha propiedad.

1.7 Hipótesis.

Dentro de las prácticas de manejo del suelo realizadas bajo agricultura convencional en los cultivos de maíz cacahuazintle en la localidad de Zaragoza, se incluyen actividades tales como la preparación del terreno, aplicación de pesticidas o incorporación de estiércoles que pueden intervenir en la mejora del proceso de captura de carbono en el suelo.

1.8 Objetivo general.

- Identificar los factores que determinan la captura de carbono en el suelo agrícola.

1.9 Objetivos específicos.

- Identificar las características ambientales y sociales en la producción de maíz cacahuazintle de la localidad de Zaragoza.
- Caracterizar las prácticas de manejo que se utilizan en las parcelas.

- Obtener muestras de suelo de cada parcela para su análisis químico.
- Determinar la cantidad de carbono almacenado en cada parcela.
- Identificar los factores que intervienen en el almacén de carbono.

La presente tesis consta de 7 capítulos, los cuales aportan diferente información para contextualizar y comprender el tema de la captura de carbono en un suelo agrícola. Estos se dividen de la siguiente manera:

Primero se hace la descripción de los objetivos y aportes de la presente investigación, así como la hipótesis y algunos antecedentes.

En el capítulo dos se hace una recopilación de temas relevantes para la comprensión del tema principal, por ejemplo, de qué manera se realizan las prácticas agrícolas en la localidad de estudio, cómo es que el carbono ayuda a mejorar la salud del suelo, además de algunos de los esfuerzos políticos y prácticos que se han realizado para disminuir los gases de efecto invernadero atmosférico a través de la captura en el suelo.

El tercer capítulo contiene la caracterización ambiental, social y económica de la comunidad de estudio, con lo cual se da a conocer aspectos relevantes sobre la relación de actividades de la comunidad con su entorno natural

El capítulo 4 aborda la metodología que se siguió durante el proceso de investigación, describe la forma en que se seleccionaron las zonas de muestreo, las formas de recolección de información sobre prácticas agrícolas y la importancia de las variables químicas que se consideraron para el análisis en laboratorio.

El quinto capítulo se divide en tres apartados. Primero se muestra la información obtenida en cada parcela sobre las prácticas agrícolas que se realizan, forma y fechas, sintetizado en un calendario agrícola. Posteriormente se muestran los valores de las variables químicas analizadas en laboratorio a través de tablas en las que se muestran los promedios de cada variable dividiéndose por muestreo, las

gráficas muestran los puntos altos y bajos que hubo durante cada muestreo y cada parcela. Por último, relacionando la información de la caracterización física y química se muestran los posibles factores que pudiesen haber influenciado la captura de carbono en el suelo.

En el capítulo 6 se describen las conclusiones finales a las que se llegó después de haber analizado y relacionado las variables con el tema central de estudio.

El apartado 7, correspondiente a los anexos, incluye los formatos de las entrevistas que se aplicaron a los productores para que nos brindaran información sobre el proceso de producción.

2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se analizan ocho aspectos relevantes para comprender la importancia de la captura de carbono en el suelo. Se describe aquí la relación de los gases de efecto invernadero con la agricultura así como el contexto del C como GEI, la dinámica del carbono en el planeta, cómo funcionan los reservorios de carbono, algunas propuestas que mejoran la retención del C en el suelo como lo es la agricultura de conservación que propone la FAO y también lo significativo de la semilla de maíz cacahuazintle.

2.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la agricultura.

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) de acuerdo con Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013) son componentes gaseosos de la atmósfera emitidos de forma natural o por actividades humanas, absorben y emiten radiación con lo cual permiten la formación del efecto invernadero.

Los principales gases que podemos encontrar de forma natural en la atmósfera son: el vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y el ozono (O_3). En conjunto contribuyen de forma positiva al planeta manteniendo una temperatura de $15^\circ C$; propiciando condiciones favorables para el desarrollo de vida en el planeta. Además la atmósfera contiene gases que son completamente antropógenos como los halocarbonos o clorofluorocarbonos (Municipio de Chihuahua, 2019).

Si bien, la presencia de estos gases de manera natural es importante para la regulación de la temperatura global, el impulso de actividades antrópicas sucedido desde la Revolución Industrial implican el uso de combustibles para hacer funcionar la maquinaria, lo cual, incrementó de manera acelerada la producción de GEI. Según la WWF (2018) se estima que las emisiones de CO_2 han aumentado de 284 a 300 partes por millón (ppm) desde mediados de 1700 hasta los años 50, mientras

que para el 2010 las emisiones de CO₂ han incrementado las concentraciones atmosféricas de 388.5 ppm a 390.5 ppm para 2011.

Y de acuerdo con la FAO (2014) en la región de América Latina y el Caribe las emisiones provenientes de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra fueron más de 2800 millones de toneladas de CO₂, de los cuales se han almacenado 440 millones de toneladas de CO₂. Las emisiones de este gas provienen principalmente del uso de maquinaria, fertilizantes y cambio de uso de suelo. Otras emisiones generadas por la agricultura, además del CO₂, son las siguientes:

“Óxido nitroso (N₂O): producido en los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados de síntesis y/o abonos orgánicos (38%).

Metano (CH₄): generado en el proceso digestivo de los rumiantes (32%) y en la descomposición de la materia orgánica en campos de arroz encharcados (12%)” (IPCC, 2008).

De acuerdo con la misma fuente la quema de biomasa junto con los estiércoles y purines de animales emiten cantidades significativas de ambos elementos, al menos 11% y 7% respectivamente. Dichas emisiones son producidas por diferentes actividades dentro de la agricultura, en la Figura 1 se muestran los principales emisores de GEI en la agricultura.

Figura 1: Mayores emisores en la agricultura en el periodo 2001-2010.



Fuente: FAO, 2014

Para el 2010 todas estas emisiones se contaron en un total de 2,800 millones de toneladas de CO₂ eq (carbono equivalente) de las cuales solo se capturaron 440 millones de toneladas de CO₂ eq, es decir cerca de una sexta parte de la emisiones (FAO, 2014).

La FAO (2014), propone que para lograr una disminución de emisiones y aumentar el almacén en el suelo, es necesario reconvertir algunas de las prácticas que se llevan a cabo, considerando métodos alternativos como la agricultura ecológica o la agricultura de conservación, las cuales promueven técnicas que disminuyen las emisiones de C por la baja dependencia de fertilizantes, el adecuado manejo del suelo y los cultivos.

Los desajustes en los sistemas climáticos mundiales afectan negativamente a la producción agrícola a causa de sequías, lluvias torrenciales, vientos fuertes o heladas que podría generar un desabasto de alimentos (FAO, 2010). Por lo cual, la creación de sumideros de carbono ayudaría positivamente a la eliminación de un porcentaje de GEI de la atmósfera.

Los esfuerzos internacionales para mitigar los GEI con la creación de sumidero de carbono, se establecen en el Protocolo de Kioto, en el cual se comprometía a los

países más desarrollados a reducir sus emisiones, sin embargo, al no cumplirse los objetivos entró en vigor el Acuerdo de París que tiene la misma finalidad.

En la siguiente sección se describen algunos de los tratados que reconocen la importancia de la creación de sumideros de carbono en la agricultura.

2.2 Carbono orgánico del suelo (COS).

El carbono es la base de la vida en la Tierra, pues prácticamente todos los organismos lo contienen en su estructura, puede existir de dos formas: orgánica (en plantas y seres vivos y muertos) e inorgánica (en las rocas y minerales).

Conforma uno de los llamados ciclos biogeoquímicos, los cuales muestran el movimiento y transformación de elementos de la naturaleza mediante actividad biológica y reacciones químicas dentro de la atmósfera. El ciclo del carbono es uno de los más importantes en el ambiente junto con el azufre, fósforo y nitrógeno.

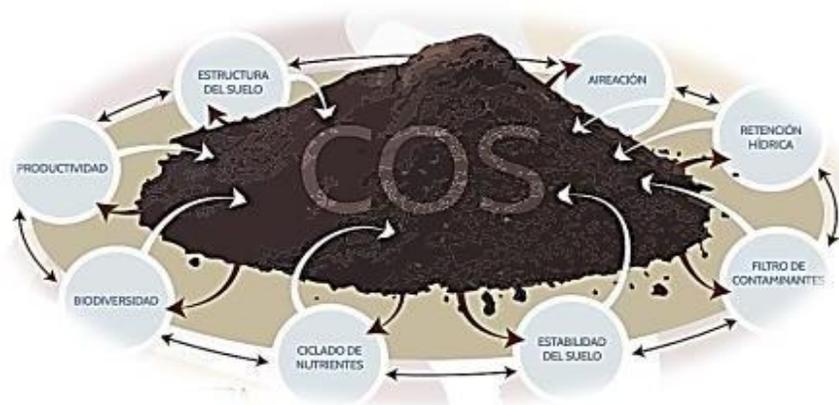
Este ciclo se conforma principalmente de dos fases:

- **Ciclo lento o geológico:** El cual inicia cuando el dióxido de carbono de la atmósfera se combina con agua de los océanos transformándose en ácido carbónico que al mezclarse pasa a formar parte del sedimento del suelo oceánico como roca caliza, posteriormente mediante procesos de subducción el sedimento empieza a ascender a la corteza, y una vez en la corteza el carbono es liberado cuando la lluvia deshace la roca o por procesos volcánicos. (Pérez, s/f).
- **Ciclo rápido o biológico:** Se estima que la renovación del carbono se hace cada 20 años, naturalmente el carbono existe en la atmósfera a causa de la descomposición de la materia orgánica, incendios forestales, actividad volcánica y emisiones de animales. Las plantas son el factor principal en este ciclo, pues capturan el CO₂ atmosférico y lo utilizan para formar sus estructuras, estas plantas sirven de alimento a animales pasando así el

carbono de plantas a animales y finalmente el carbono se devuelve mediante la descomposición de los organismos o la respiración (Benavidez y León, 2007).

En el suelo, el carbono es útil a partir de la descomposición de la MO, por lo que la reserva del mismo comprende dos componentes: Carbono Inorgánico del Suelo (CIS) y Carbono Orgánico del Suelo (COS) (Aguirre et al. 2018), donde este último es el carbono disponible que queda después de que los organismos descomponen el elemento, y es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS), además es fundamental para mantener una buena calidad del suelo (FAO, 2017), estas funciones se ilustran en la Figura 2.

Figura 2) Función del COS en el suelo.

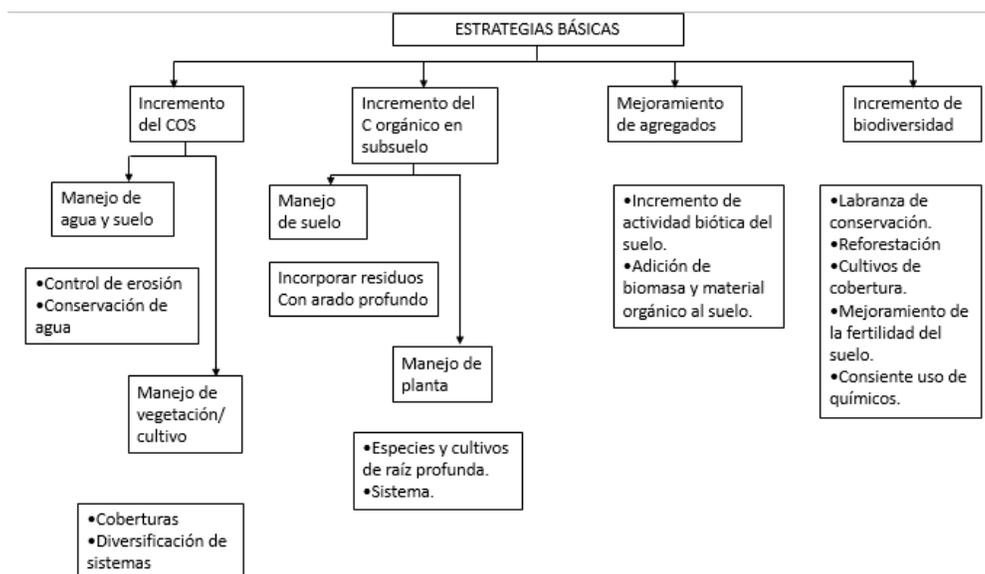


Fuente: FAO, 2017.

El papel fundamental de COS es el aporte de productividad, estabilidad, humedad, estructura y además promueve la actividad microbiana para el ciclado de nutrientes, por lo que tiene gran relevancia dentro de las actividades agrícolas. La pérdida de COS disminuye la calidad del suelo, el rendimiento agrícola y puede contribuir al calentamiento global. El COS puede aumentar o disminuir de acuerdo con las actividades que se realicen en el suelo.

La Figura 3 ilustra las actividades antrópicas que pueden favorecer la capacidad de almacenar carbono.

Figura 3. Estrategias para la captura de carbono en suelos.



Fuente: Lal, 1995.

Las estrategias mencionadas por Lal et al. 1995 (Figura 3) coinciden con aquellas mencionadas por Tate (1987), quien menciona que la labranza de conservación incrementa el COS, esto debido a que menos MO se oxida y descompone por lo que la temperatura del suelo desciende y así también la actividad microbiana.

Por otra parte, de acuerdo con Follet (2001) el aumento del COS en el suelo dependerá también de la tasa de descomposición de los residuos de las cosechas (raíces y otros materiales orgánicos) que retornan al suelo, así como de la cantidad y composición de los mismos.

Una razón importante de pérdida de COS es la erosión del suelo o intensidad de la labranza, pues la manera en que se realiza la labranza convencional en la cual se voltea el suelo dejándolo al descubierto produce una mayor aireación, que a su vez

promueve una mayor oxidación transformando el COS en CO₂ que se emite a la atmósfera promoviendo el calentamiento global (Campbell y Souster, 1982).

En contraste, la cero labranza puede aumentar la cantidad de carbono en el suelo aunque debe tener un control químico de las malezas (Reicosky, 2002). Se ha documentado que la conversión hacia sistemas de labranza de conservación ha impactado positivamente y en mayor medida la captura de carbono, mejorando la calidad del suelo, este tipo de labranza incluye la protección del suelo con los residuos del cultivo anterior, o con un cultivo de cobertura, asegurando el ingreso de materia orgánica para posteriormente realizar la siembra directamente.

2.3 Planes para la creación de sumideros de carbono y reducción de GEI.

El constante aumento de las emisiones de GEI y las alteraciones al sistema climático mundial han generado diversas propuestas internacionales para tratar de minimizar ambas situaciones, un ejemplo son los sumideros de carbono que de acuerdo con las Naciones Unidas se definen como:

“Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera.” (CMNUCC, 1992).

El Cuadro 1 ejemplifica los acuerdos en los que México es partícipe y alientan a la creación y mejora de sumideros de carbono, así como la disminución de emisiones de GEI mediante la creación de proyectos acotados a cada región geográfica que promuevan el desarrollo sostenible adecuando el modelo económico e innovando las prácticas agrícolas.

Cuadro 1. Tratados internacionales que fomentan la creación de sumideros de carbono y disminución de GEI.

Aprobación	Nombre	Objetivo	Relevancia
1992	La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	Estabilizar las emisiones de GEI a la atmósfera a un nivel que impida la interferencia con el sistema climático.	"Artículo 4, compromiso 2, apartado a): ...tomar las medidas correspondientes de mitigación del cambio climático, limitando sus emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero y protegiendo y mejorando sus sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero."
1997	Protocolo de Kioto	Se creó con base a los principios de la CMNUCC, tiene como objetivo reducir las emisiones de GEI causantes del calentamiento global.	"Artículo 3.4: Las variaciones ocasionadas por los sumideros de GEI creados por actividades humanas relacionadas con el cambio de uso de la tierra serán de utilidad para cumplir con el compromiso."
2015	Acuerdo de París	Complementario al Protocolo de Kioto, pretende crear un plan estratégico mundial que pone el límite del calentamiento global muy por debajo de 2 °C.	"Artículo 4: ... reducir las emisiones de GEI para alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros en la segunda mitad del siglo," "Artículo 5.1: ... adoptar medidas para conservar y aumentar los sumideros y depósitos de GEI."
2015	Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	Objetivo 2: Hambre cero. Transformar los alimentos y la agricultura. Objetivo 12: Producción y consumo responsable.	Uno de los proyectos del objetivo 2 sugiere considerar un enfoque holístico en la agricultura para abarcar aspectos como clima, energías renovables, manejo integrado de plagas y diversificación del ecosistema

Continuación Cuadro 1.

Aprobación	Nombre	Objetivo	Relevancia
		Hacia una agricultura sostenible.	que en conjunto logran disminuir emisiones y mejorar almacenes de C. Dentro de lo establecido en el objetivo 12 se considera un proyecto de prácticas agrícolas sostenibles para productores de soja en Paraguay con el que se pretende disminuir las tasas de deforestación a la par de mejorar las prácticas agrícolas que permitirán restaurar las funciones del suelo y conservarla biodiversidad.

Fuente: Elaboración propia.

En un principio con la creación de la CMNUCC se declara la importancia que tienen los sumideros y depósitos (principalmente) naturales de carbono para estabilizar las emisiones de GEI y permitir la adaptación de ecosistemas y sistemas agrícolas; ya en el Protocolo de Kioto se reconoce que así también las zonas alteradas por actividades antrópicas que han sufrido cambio de uso de suelo pueden contribuir a disminuir el carbono atmosférico y son útiles para el cumplimiento de objetivos del programa; en tanto que con el Acuerdo de París se establece que es prioritario la conservación de los sumideros y aumentarlos en número.

Sin embargo, de acuerdo con Ruz y Ulloa (2019) no se ha observado un avance claro en lo propuesto por el Acuerdo de París dado que este no establece objetivos cuantitativos claros y no informa sobre cómo serán ejecutadas las medidas y compromisos, por otra parte, para los países en vías de desarrollo la adecuación de su sistema económico a un sistema bajo en emisiones de GEI implicaría un riesgo al método extractivo del sector económico primario que genera gran cantidad de empleos.

Los ODS son una serie de 17 objetivos creados por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) que en su conjunto lograran mejorar la calidad de vida de la humanidad. Dentro de estos, dos de ellos consideran modificar las prácticas agrícolas convencionales por prácticas sustentables que ayuden a mejorar las funciones del suelo, entre las que se encuentra la capacidad de almacenar C. Respecto a esos dos objetivos, el Gobierno de México (2017) establece como metas los siguientes puntos:

1. “Ayudar a los países en desarrollo en el fortalecimiento de su capacidad científica y tecnológica a fin de avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles”
2. “Asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra”

Pese a todo lo establecido en los planes y proyectos mencionados no se tiene un registro claro sobre los avances y logros que se han tenido a nivel nacional o estatal. Si bien, existe reglamentación federal que da facultad a cada estado y municipios para crear su propio reglamento, de acuerdo a las condiciones de cada lugar y cumpliendo con los requerimientos del acuerdo, esto podría manejarse a conveniencia de los poderes estatales o municipales, por lo que sería necesario realizar esfuerzos transversales entre gobiernos, sector privado y ciudadanos para lograr metas y objetivos.

2.4 Agricultura de conservación como estrategia de almacenamiento de carbono.

La agricultura de conservación es una práctica agrícola sostenible que pretende recuperar y cuidar los recursos como el agua, suelo y aire; sin dejar de lado la productividad agrícola además de favorecer el almacén de carbono. Esta se basa en 3 grandes principios mencionados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Relación de los principios de agricultura de conservación con el COS.

Principio	Qué	Para qué	Influencia en el carbono
Cero labranza	Mantener al menos un 30% de la superficie cubierto con restos vegetales.	Evitar erosión, crea una estructura del suelo más estable, aumenta la fertilidad y evita compactación.	-El carbono orgánico atrapado dentro de los micro agregados del suelo contribuye al almacenamiento de carbono a largo plazo. -Si la densidad aparente es baja aumenta la protección del COS.
Cobertura del suelo	Siembra o conservación de plantas de cobertera.	Aumenta la cantidad disponible de agua, propicia mayor actividad biológica, mantiene una temperatura adecuada e incrementa la formación de agregados.	El mayor retorno de residuos del cultivo al suelo está asociado con un incremento en la concentración de COS.
Rotación de cultivos	Siembra de diferentes cultivos en un orden definitivo.	Reduce la aparición de plagas y malezas, distribuye adecuadamente los nutrientes en el suelo y los diferentes sistemas radiculares favorecen la creación de agregados del suelo	-Cambia la cantidad y calidad del aporte de materia orgánica. -Favorece el crecimiento de cultivos de cobertura adicionales. -Intensifica el sistema de producción debido a que el tiempo de espera para volver a cultivar es muy corto.

Fuente: Elaboración propia con base a Verhulst, et a., 2015a y Donovan, M. 2018.

Como se observa en el Cuadro 2, la aplicación de los principios favorece la conservación del suelo y el intercambio de nutrientes; que en consecuencia aumentará el contenido de materia orgánica y el carbono (principalmente en climas húmedos) (FAO, 2002). Estudios llevados a cabo por Calegari y Alexander (1998) demostraron un incremento de COS a profundidad de 0-5 cm y 5-15 cm, implementando cultivos de cobertura durante invierno en comparación con las parcelas en barbecho. Testa et al. (1992) encontraron que en un principio el incremento en el contenido total de carbono se limitó a las capas superiores del suelo (2-5 cm), pero posteriormente este efecto alcanzó a las capas más profundas hasta 7.5 cm, en tanto que Bayer y Mielniczuk (1997) encontraron que después de 5 años de introducir leguminosas al sistema de cultivo avena-trébol-maíz y avena-trébol-maíz-caupí (*Vigna unguiculata*), el COS había sido restaurado después de haber perdido 8.3 toneladas de Carbono orgánico por hectárea en los sistemas de producción anteriores.

La implementación de la agricultura de conservación debe ser contemplada en los países de tercer mundo donde son más notable los efectos negativos de la agricultura intensiva.

En México aún hacen falta esfuerzos para priorizar estas prácticas agrícolas, pues sólo se practica en 41 mil hectáreas, mientras que en Sudamérica ya ha sido adoptada en gran escala, con casi 20 millones de hectáreas en Argentina, más de 25 millones en Brasil y más de 700,000 en Bolivia (CIMMYT, s/f).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en conjunto con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) crearon un programa que pretende implementar la agricultura de conservación llamado MasAgro (Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional). Este programa está dirigido a pequeños productores que no tienen fácil acceso a la información o tecnología, pretende desarrollar prácticas agronómicas innovadoras (incluye agricultura de conservación) y el mejoramiento de las semillas

para aumentar la producción de maíz en 85% y de trigo en 10%. El estado de México se comprometió con MasAgro el 12 enero del 2012 (MasAgro, s/f).

Las ventajas que tiene la implementación de la agricultura de conservación la convierten en una estrategia clave para adaptar la agricultura ante los efectos del cambio climático y a su vez ayudar a disminuir la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera causantes del cambio climático.

2.5 Captura de carbono en suelos agrícolas (sumideros de carbono).

Sundermeier et al (2010) describen el secuestro de carbono con la siguiente definición. “Es un proceso en el que se transfiere dióxido de carbono proveniente de la atmósfera hacia el suelo o simplemente se almacena en este a través de los residuos de cultivos y otros sólidos orgánicos, esto puede suceder al implementar estrategias de manejo que agreguen grandes cantidades de biomasa al suelo.”

Al agregar y retener cantidades de materia orgánica (MO) en suelo este se beneficia de diferentes formas, pues tiene gran influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Cuando se aumenta la MO la fauna del suelo se vuelve más activa, pues abunda su principal fuente de energía poniendo a disposición del cultivo una mayor cantidad de elementos necesarios (Romanya et al. 2007). A su vez, se mejora la estructura del suelo propiciando una mayor capacidad de infiltración y retención de humedad (Reicosky, 2001). Junto con algunas prácticas de cultivo de cobertura el suelo es menos susceptible a la erosión hídrica y eólica.

La capacidad que el suelo tenga para secuestrar carbono dependerá de las variables físicas, químicas y biológicas del este, que a su vez están influidas por las prácticas agrícolas utilizadas por los agricultores quienes suelen desconocer de las labores que favorecen el almacén, por lo cual es importante la difusión y fomento por parte de diversas autoridades.

A continuación, se mencionan ejemplos en México y España sobre cómo se aborda esta temática.

En la ciudad de Murcia en España a través de la consejería de agricultura y agua (2009) se desarrolló la iniciativa “Agricultura Murciana como Sumidero de CO₂” el cual es un instrumento de mercado a favor de la agricultura sustentable para que los productores primarios contemplen formas eficientes y responsables de hacer uso de los recursos naturales y emisión de contaminantes, con esto se pretende contribuir en la lucha contra el cambio climático canalizando el mayor número de esfuerzos individuales posibles dirigidos hacia acciones que regulen el balance de emisiones y captura de C. De entre los puntos establecidos en dicho documento se pueden destacar 2 compromisos, que son:

“Utilizar prácticas agrarias que favorezcan la absorción neta o remoción de CO₂ tanto por el cultivo, como en el suelo y por tanto, incrementen su capacidad de sumidero.

Reducción del uso de combustibles fósiles y sustitución progresiva por energías renovables.”

En la ciudad de Catalunya, España de acuerdo con el “Mapa de las reservas de carbono orgánico en los suelos agrícolas de Catalunya” creado por la Institución Catalana de Estudios Agrarios (2018), los suelos de esta ciudad contienen cerca de 4.9 kg de C/m² (en los primeros 30 cm de suelo) que repartidos entre los 9,830 km² resulta en un total de 48 millones de toneladas de carbono almacenado. Los cultivos de la zona son principalmente de cereales, vid y arroz que contribuyen a la economía local, por lo cual se ha reconocido la importancia de retener el carbono en el suelo pues permite mejorar el crecimiento de los cultivos. Entre las prácticas agrícolas que han cambiado para lograr el secuestro de C están: la aplicación de fertilizantes naturales, reducción de la utilización de maquinaria y químicos y por supuesto, reducción de la labranza.

En tanto que en México se ha creado el “Programa Mexicano del Carbono” surgido en el año 2005, el cual pretende coordinar a nivel nacional las investigaciones y acciones referentes al ciclo del carbono y año con año publica una síntesis de los avances en cuanto a logros en investigaciones. En la publicación del 2019 menciona en referencia a las áreas agrícolas los siguientes aspectos:

- 1) Se debe considerar también las raíces del cultivo para el conteo de carbono en el suelo (Becerra et al., 2019).
- 2) Las plantaciones anuales presentan porcentajes de carbono similares a cultivos permanentes (De la Mora et al., 2019).
- 3) Las emisiones de CO² del suelo a la atmósfera son mínimas cuando el suelo por debajo del punto de marchitez y que la incorporación de residuos de cosecha aumentan el contenido de COS y a su vez disminuirá el valor de pH (Báez et al., 2019).

Con lo anterior se puede notar que en México aún no hay un intento claro por fomentar la creación de sumideros de carbono pero si se realiza investigación, en contraste con España que ya ha realizado esfuerzos concretos por la creación de sumideros.

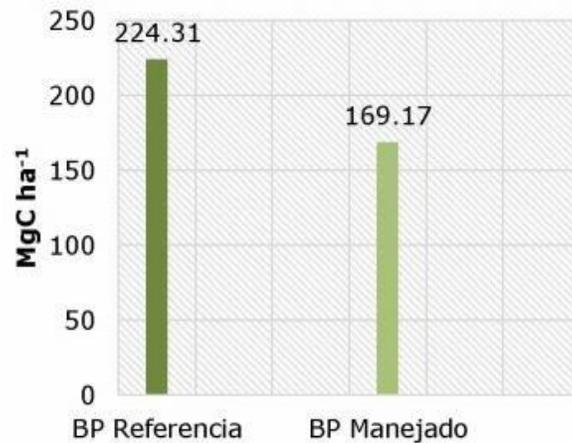
2.6 Captura de carbono en diferentes usos de suelo.

La capacidad de un suelo para almacenar el carbono depende de una diversidad de factores climáticos, manejo del suelo, material parental, pendiente, cobertura vegetal, etc. En este apartado, se aborda la capacidad de captura de carbono bajo diferentes usos de suelo, con lo cual se podrá hacer una comparación con los resultados del presente trabajo. Los siguientes valores presentados toman como unidad de medida el MgC ha⁻¹ (Megagramo de carbono por hectárea), lo cual es equivalente a tC/ha (tonelada de C por hectárea).

El primer estudio de referencia realizado por Martínez (2016) se llevó a cabo en un suelo forestal del municipio de Coatepec, Estado de México. En esta zona se presenta un sistema de topofomas de sierra, un suelo de tipo Andosol con clima

templado y semifrío. El estudio se realizó mediante un único muestreo en dos sitios de muestreo a profundidad de 1m; uno de los sitios es de Referencia destinado únicamente a la conservación y otro sitio es de Manejo en el que se hace aprovechamiento maderable. Los resultados del estudio se muestran en la Figura 4.

Figura 4: Captura de carbono en uso de suelo forestal.



Fuente: Martínez, 2016.

Los resultados indican que un suelo forestal bajo conservación captura más que un suelo con manejo. Esto debido a que el bosque ha crecido naturalmente sin intervención humana desde hace 30 años, en tanto que en el sitio manejado se realizan prácticas de manejo del suelo como la preparación del sitio, el cajeteo y brechas cortafuego las cuales implican la remoción de suelo y mantillo dejando el suelo descubierto y propenso a erosión.

El segundo estudio de referencia fue realizado por Céspedes et al. (2012) en suelos de pastizal y pradera de bajo pastoreo en la provincia del Chaco, Argentina. Este sitio presenta un tipo de suelo de la Serie Charadai (representativo de la zona) con clima húmedo. El pastizal no ha tenido intervención antrópica, en tanto que el de pradera ha servido como sitio de pastoreo, de este estudio se retomó solo un muestreo y los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3 y 4.

Cuadro 3: MgC ha-1 acumulado en pastizal.

Profundidad (m)	Inicio	Fin
0.1	24.35	29.05
0.2	19.87	23.58
0.6	9.04	8.52
Total	53.26	61.15

Fuente: Elaboración con base a Céspedes et al, 2012.

Cuadro 4: MgC ha-1 acumulado en pradera

Profundidad (m)	Inicio	Fin
0.1	15.68	17.15
0.2	14.27	18.95
0.6	8	10.06
Total	37.95	46.16

Fuente: Elaboración con base a Céspedes et al, 2012.

En este estudio se comprueba que un suelo de pastizal en el que no ha habido intervención humana captura mayor cantidad de carbono que un suelo de pradera con pastoreo.

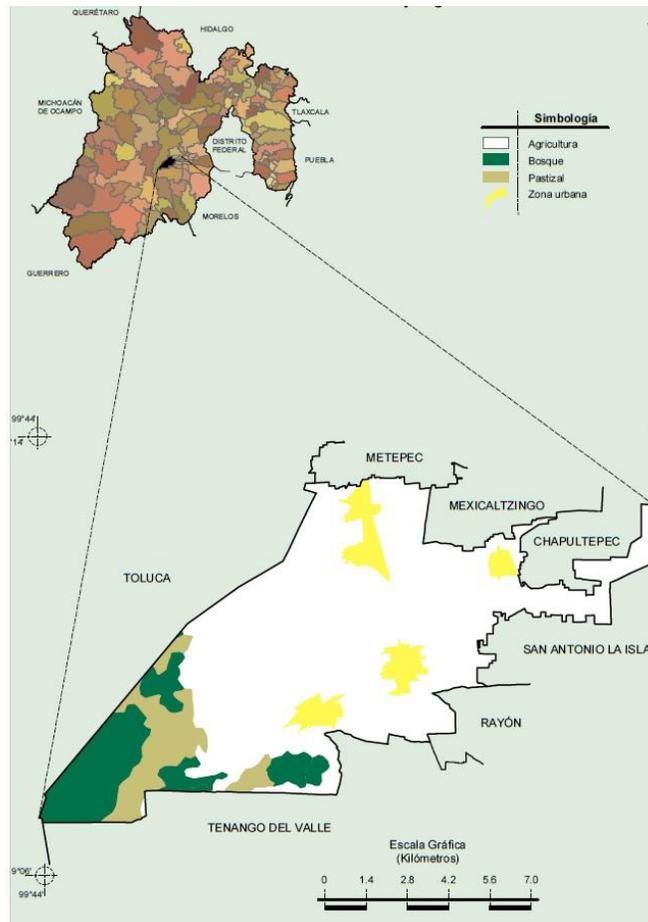
Por último, un estudio realizado por Vela et al (2011) en diferentes usos de suelo de la Ciudad de México encontraron que los suelos phaeozem con <5% de inclinación de uso agrícola tienen capacidad para almacenar hasta 46.1 MgC ha⁻¹ y en específico los suelos cultivados con maíz almacenaron 32.9 MgC ha⁻¹ este valor representa menos de la mitad en comparación con suelos forestales en este mismo estudio. El autor asume que estos valores tan bajos se deben a las prácticas de manejo del suelo, en específico a la labranza con la que se forman los surcos para el cultivo, pues en cultivos de cobertera como la avena en las que no se realizan estas prácticas el almacenamiento de carbono fue mayor.

De esta forma se puede concluir que los bosques forestales son los que capturan mayor cantidad de carbono en el suelo, seguido del pastizal; la pradera argentina y los suelos agrícolas de la Ciudad de México capturan cantidad similar, en tanto que los cultivos de maíz son los que retienen una menor cantidad de C.

2.7 Relevancia del maíz en la zona de estudio.

En la localidad de Zaragoza la agricultura de temporal es la actividad principal, pues según el Compendio de Información Geográfica Municipal el 74% del municipio y de la localidad tienen uso de suelo agrícola, tal como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Uso de suelo del municipio de Calimaya.



Fuente: Compendio de Información Geográfica Municipal Calimaya, 2010.

El maíz es una semilla muy importante en México y el mundo debido a que se puede adaptar a diferentes condiciones ambientales y producir diversos productos. La variedad de maíz cacahuazintle es una semilla muy valorada en el mercado debido a que tiene un sabor y textura muy agradable al paladar. Su centro de origen y distribución se localiza en la Mesa Central, a altitudes mayores de 2,500 msnm, la mayor diversidad genética se encuentra en localidades cercanas al Nevado de Toluca, entre los 2,600 y 2,900 msnm, se siembra también en el estado de Puebla, Hidalgo y Tlaxcala. Posee una alta fuente de energía, pues contiene 70% de carbohidratos, su contenido de proteínas es de entre 2 y 4% mayor a otros maíces

y tiene un poco menos de grasa que otras variedades (Secretaría de Desarrollo Rural Estado de Puebla, 2012).

Figura 6. Mazorca de maíz cacahuazintle.



Fuente: Trabajo de campo.

El municipio de Calimaya junto con Metepec, Tenango del Valle y Toluca son los principales productores de maíz cacahuazintle en el estado y particularmente en la localidad de Zaragoza la agricultura es una de las actividades más importantes pues al menos 228 personas se dedican a esta actividad (5% de la población total) en un total de 1,087.5 hectáreas de terreno, las semillas que más se siembran son el maíz cacahuazintle, chícharo, frijol, cebolla, haba, avena y papa, siendo el maíz la mayor superficie cultivada ocupa (Tarango, 2017), pues como se ha mencionado esta localidad cuenta con las características climáticas, altitudinales y edáficas necesarias para que la semilla crezca satisfactoriamente.

El ciclo agrícola comienza en fecha del 2 de Febrero cuando los agricultores llevan a bendecir las semillas que sembraran en el año, la fecha de siembra del maíz es

entre Abril y Mayo, en los meses siguientes se aprovecha la temporada de lluvia para el crecimiento de la planta y se concluye con la cosecha entre Julio hasta Octubre. Se utiliza para las necesidades básicas de alimentación de la familia pues con esta semilla se hacen diferentes productos como tortillas, tamales, pinole, gorditas, quesadillas y es el maíz de primera calidad que se utiliza para hacer pozole en el Estado de México.

Los productores comercian el grano directamente en comunidades cercanas, otros las llevan a la central de abastos de la Ciudad de México y Toluca y hay quienes la venden directamente a empresas. En el municipio existe un micro empresa que se dedica a procesar el grano para embolsarla como maíz pozolero. Otro aspecto importante es que en la localidad durante la siembra se utilizan abonos orgánicos obtenidos de las cabezas de ganado propiedad de las familias, con lo cual se reducen los gastos de productos para el abono del suelo.

2.8 Proceso de producción del maíz.

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta perteneciente a la familia Poaceae, al igual que la avena, caña de azúcar, trigo y el arroz, es de fácil desarrollo y producción anual. Es una planta monoica (ambos sexos en una planta), la parte masculina es la espiga que corona la planta y la femenina es la mazorca (Doebley e Iltis, 1980).

Los teocintles son plantas similares al maíz que posteriormente, mediante procesos de domesticación, dieron origen a este, después de su difusión por el territorio esta semilla se posicionó como la más importante en la alimentación y cultura mexicana. Según la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, s/f) han identificado al menos unas 600 formas de prepararlos de diferente manera como tortillas, quesadillas, tamales, atole y pozole.

De acuerdo con la información obtenida en campo, el ciclo agrícola inicia con un periodo de barbecho en el que se deja descansar el suelo posterior a haber cortado las plantas de maíz y almacenarlas para uso como forraje; a los dos meses, se hace

una rastra con lo que se consigue “desapretar” el suelo y eliminar raíces; la rastreada puede hacerse en más de una ocasión a una profundidad aproximada de 15 o 20 cm creando surcos de acuerdo con los agricultores de Zaragoza esto es necesario para que el suelo no comprimido permita el crecimiento de las raíces, una vez establecido el periodo de lluvia se realiza la siembra, preferentemente con semilla criolla de la comunidad.

Posteriormente, se realiza la labranza junto con la siembra, en la que primero con una yunta de animales se hacen surcos y después se hace un orificio sobre el surco colocando de 1 a 3 semillas que empezaran a germinar pasando 8 o 15 días, para este proceso es importante que exista una buena cantidad humedad en el suelo debido a que la semilla absorberá aproximadamente 30 a 35% de su peso en agua, una vez que las radículas empiecen a crecer será muy importante que exista una buena cantidad de radiación solar que mantenga el suelo a una temperatura mínima aceptable para la expansión de las radículas, la temperatura promedio oscila en 10 °C (Pioneer, 2015).

El desarrollo del maíz en los primeros 30 días son los más importantes (Agundis, 1934) por lo que es importante que crezca sin vegetación no deseada que cause competencia por espacio y nutrientes. Por esta razón es que se realizan las escardas limpiando los surcos de arvenses y agregando más suelo a las plantas para no descubrir las raíces tan fácilmente.

La correcta fertilización logrará como resultado plantas saludables y con frutos de calidad, los requerimientos principales del maíz como de cualquier otra planta son el nitrógeno, fósforo y potasio. Estos elementos se pueden agregar al suelo mediante fertilizantes químicos o abonos orgánicos, los abonos orgánicos agregan materia orgánica al suelo y nutrientes a la vez propiciando que el suelo tenga una buena composición, por otra parte los fertilizantes químicos agregados en demasiada cantidad generan el desgaste del suelo (Ciampitti et al. s/f).

Una vez que el maíz ha alcanzado su madurez fisiológica es momento de cosechar, un indicio de esto es la presencia de la capa negra que se forma en la inserción del grano con el olote, en este punto ya no puede ingresar más humedad al grano y tiende a la evaporación que consecuentemente hará secar la mazorca (Pioneer, 2015).

De esta forma una vez que ya se ha cosechado y el rastrojo recogido se procede a hacer la selección de las mejores semillas para sembrarlas en el próximo ciclo.

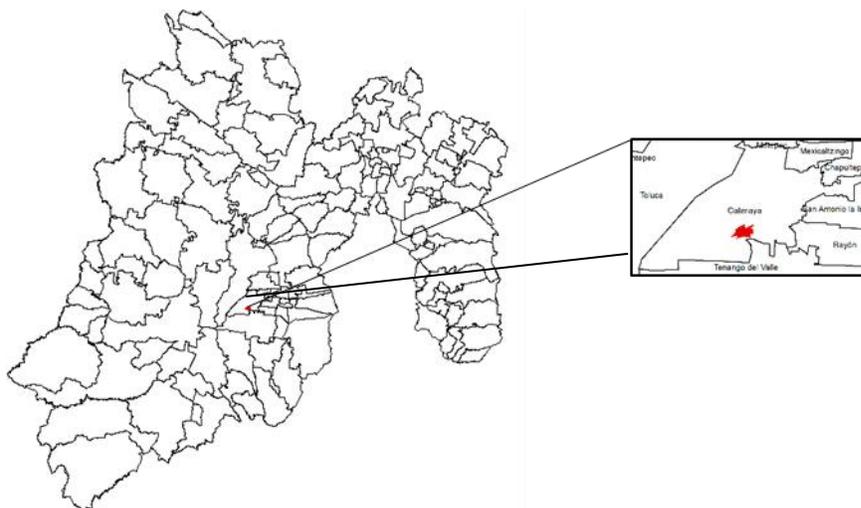
3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO: LOCALIDAD ZARAGOZA DE GUADALUPE, CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO.

3.1 Localización.

Zaragoza es una localidad ubicada en el Estado de México, al suroeste del municipio de Calimaya, en las coordenadas 993843 de longitud y 190846 latitud y una altitud de 2,858 msnm. Cuenta con una extensión territorial de 141 hectáreas de zona urbana y es una de las 8 comunidades que componen el municipio de Calimaya.

La ubicación de la localidad se muestra en la siguiente figura.

Figura 7: Localización de la localidad de Zaragoza, municipio de Calimaya.



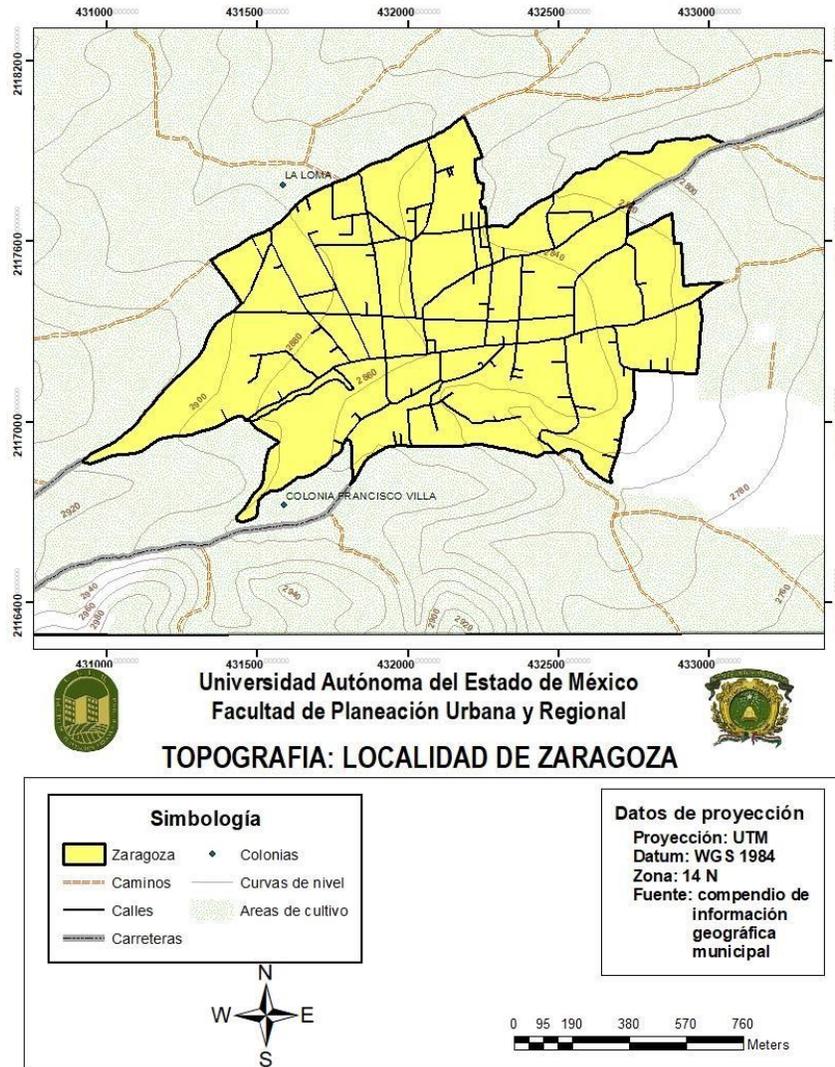
Fuente: Elaboración propia con base a marco geo estadístico nacional.

3.2 Componente Natural.

3.2.1 Topografía.

La localidad se ubica sobre pendiente ligeramente inclinada en la zona más baja del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT), aunque no es parte de este. Se encuentra entre las cotas de 2,780 y 2,920 msnm en un relieve de tipo lomerío. Al sur existe una elevación de 3,200 msnm en su máximo punto de altura. Las características topográficas del terreno se ilustran en el mapa de la Figura 8.

Figura 8: Topografía de la localidad de Zaragoza.



Fuente: Elaboración propia con base en Compendio de Información Geográfica Municipal Calimaya.

3.2.2 Geología.

De acuerdo al compendio de información geográfica, las unidades geológicas en Calimaya pertenecen al periodo neógeno en un 75% y cuaternario en un 18%, estos se describen a continuación.

- Periodo Neógeno (23.5-1.75 Ma): fue la etapa durante la cual se desarrollaron las mayores cadenas montañosas de México, el cinturón volcánico mexicano (al cual pertenece el volcán Nevado de Toluca), favoreciendo la diversificación de la biodiversidad. También se registraron descensos en las temperaturas globales y empezaron a diversificarse los climas.
- Periodo cuaternario (aprox 1 millón de años): Hubo un periodo de vulcanismo principalmente a lo largo del Eje Neovolcánico, produciendo rocas andesíticas y basálticas.

Zaragoza está edificada sobre roca de tipo ígnea extrusiva en un 100%, también es llamada roca volcánica y se generan por el enfriamiento rápido de la lava desarrollando pequeños cristales que forman rocas de grano fino, esto a razón de la última actividad volcánica del Nevado de Toluca hace aproximadamente 15,000 años (Espinosa, et al., 2013).

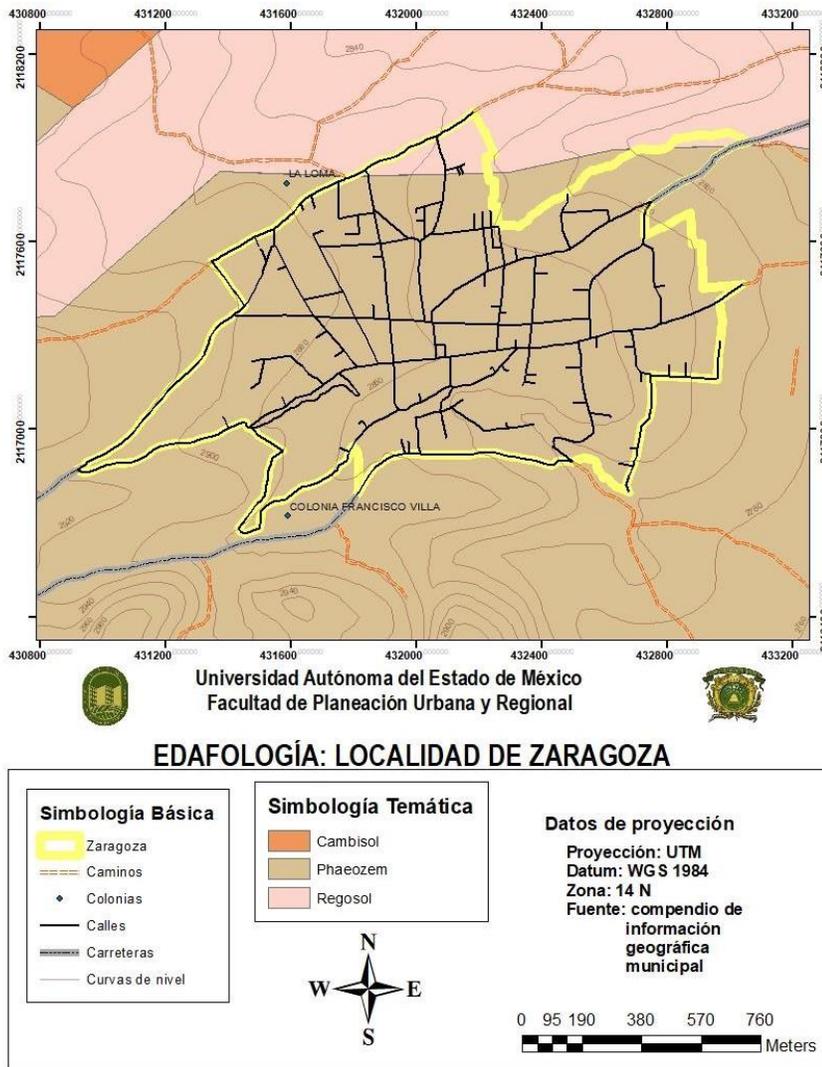
3.2.3 Edafología.

La localidad de estudio se encuentra sobre 2 tipos de suelo; el phaeozem que ocupa que 96% del total de la localidad y en menor medida el regosol que ocupa el 4%. Estos se describen a continuación:

- Phaeozem: Ocupa 136 hectáreas del total de la localidad. Son suelos oscuros, ricos en materia orgánica, con buen drenaje y ventilación, por lo que son muy utilizados en agricultura de temporal; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes. Se utilizan intensamente para la producción de granos y hortalizas.

- Regosol: Abarca 5 hectáreas al Noreste de la localidad. Es un grupo de suelos en el que se ubican los suelos que no pueden ser clasificados dentro de los grupos reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. En general estos son suelos muy jóvenes que se desarrollan sobre material no consolidado, de colores claros y pobres en materia orgánica. Se encuentran en todos los climas, con excepción de zonas de permafrost, y en todas las elevaciones, y son particularmente comunes en las regiones áridas, semiáridas y montañosas. Usualmente requieren de sistemas de riego para producción, pero para el caso de la zona de estudio no es necesario, pues el nivel de lluvia (1,000 mm/año) son suficientes para la producción.

Figura 9: Edafología de la localidad de Zaragoza.



Fuente: Elaboración propia con base en Compendio de Información Geográfica Municipal Calimaya.

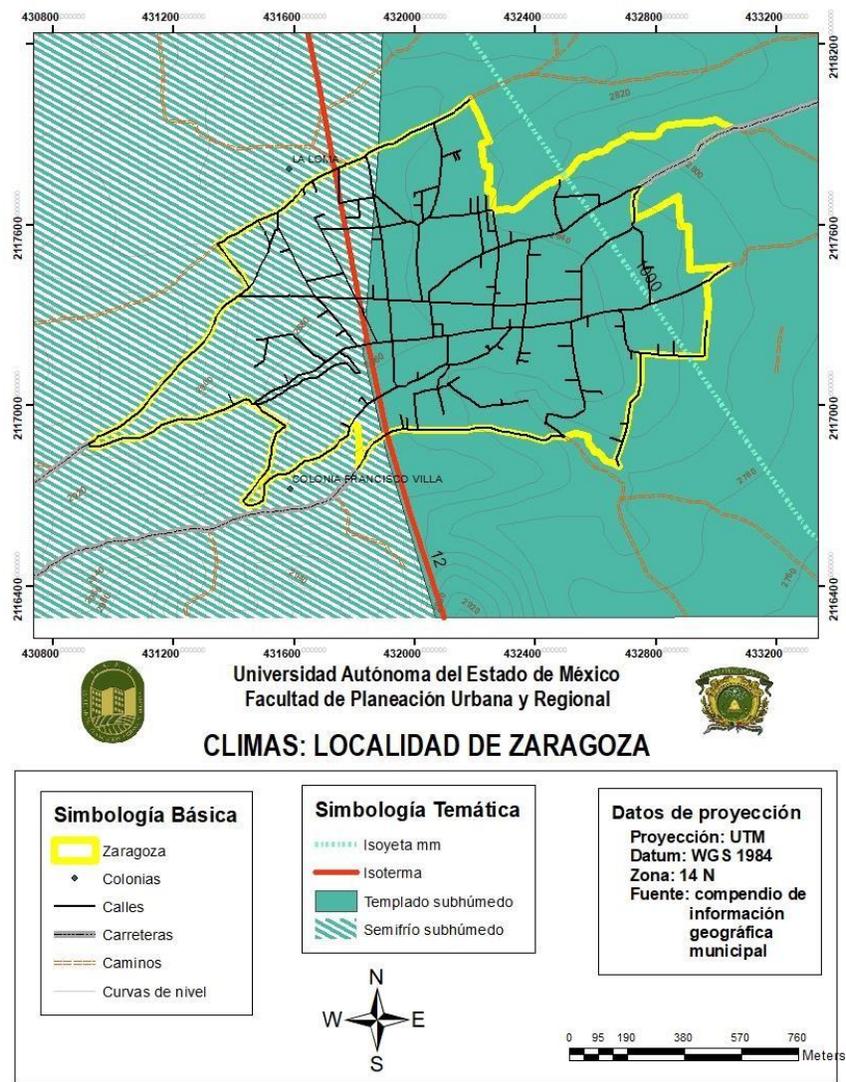
3.2.4 Clima.

El municipio de Calimaya cuenta con dos tipos de clima que justamente se intersectan en la zona de estudio, estos son el templado y el semifrío:

- Templado: C(w2)(w)b(i)g (en la clasificación de Köeppen): es un clima templado, subhúmedo con verano largo, lluvia invernal inferior al 5%, es isotermal y la temperatura más elevada se manifiesta antes del solsticio de verano, con lluvias en verano, de mayor humedad; el cual abarca una mayor proporción del terreno pues cuenta con 95 hectáreas al Este de la zona.
- Semifrío: C(E)(w2)(w)b(i)g (en la clasificación de Köeppen) es un clima semifrío, subhúmedo, con porcentaje de precipitación invernal menor a 5, el verano es largo, es isoterma, la temperatura más elevada se presenta antes del solsticio de verano, con lluvias en verano, de mayor humedad que se encuentra en la zona oeste de la localidad y ocupa un área total de 46 hectáreas.

En la zona de contacto de ambos climas se encuentra una isoterma (línea que une los puntos de igual temperatura) de 12°C. Y al Este se encuentra una isoyeta (línea que une puntos de igual precipitación) de 1,000 mm.

Figura 10: Climas de la localidad de Zaragoza.



Fuente: Elaboración propia con base en Compendio de Información Geográfica Municipal Calimaya.

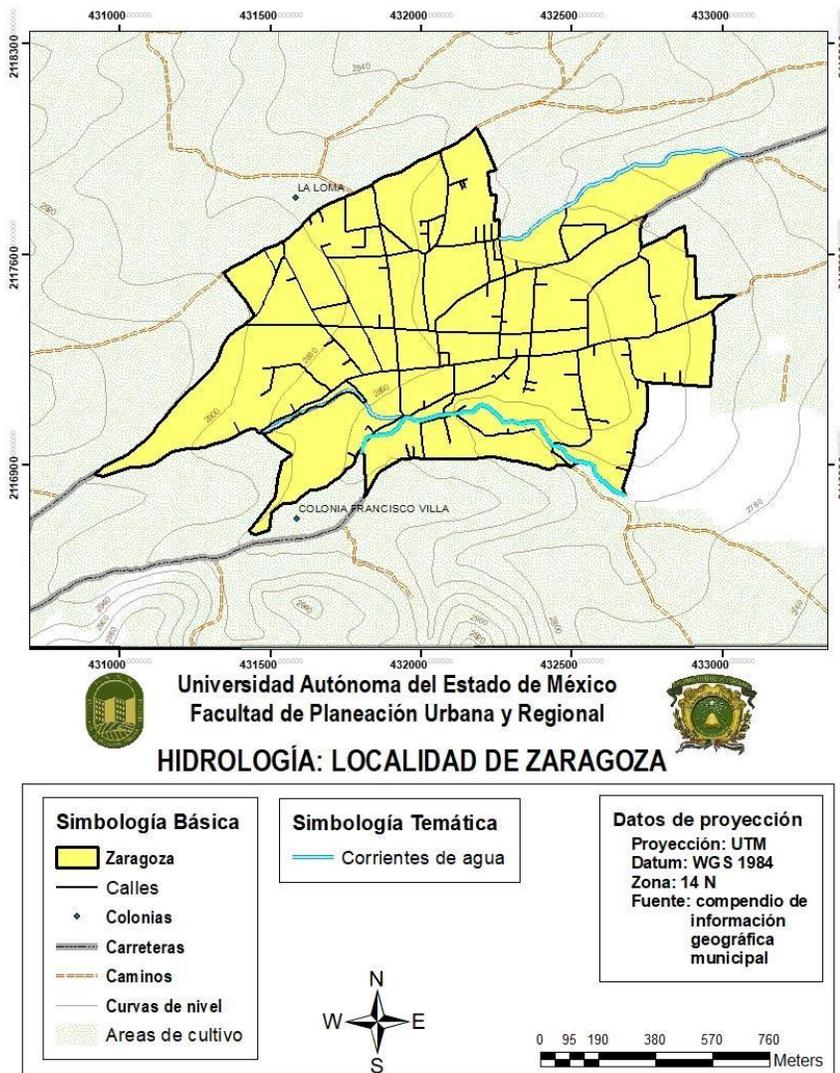
3.2.5 Hidrología.

Zaragoza se encuentra dentro de la Región Hidrográfica RH12Aa Lerma-Santiago y forma parte de la subcuenca Almoloya-Otzolotepec.

La corriente principal se ubica en la zona sur, es de tipo intermitente y se alimenta de dos corrientes; una desciende de los escurrimientos del Nevado de Toluca y otra que nace en la elevación existente en la zona. Anteriormente este río fue muy importante para los habitantes, pues les proporcionaba alimento y agua para uso, consumo y recreación, sin embargo, a causa del crecimiento demográfico actualmente se encuentra seco ya que se ha entubado para el abastecimiento del municipio en general.

La segunda corriente se ubica en la zona noreste y se forma principalmente por el escurrimiento de la zona urbana durante las lluvias.

Figura 11: Hidrología de la localidad de Zaragoza.



Fuente: Elaboración propia con base en Compendio de Información Geográfica Municipal Calimaya.

3.2.6 Flora y fauna silvestre.

Una parte del municipio pertenece al APFFNT; en esta porción, al este de la localidad se encuentran bosques de pino, constituido por comunidades de alta

montaña, dominados por *Pinus hartwegii* entre los 3,000 y 4,000 msnm. Las especies acompañantes del estrato arbóreo son *Salix oxylepis* y en menor proporción *Arbutus glandulosa* y *Buddleia parviflora*. El estrato arbustivo se presenta con baja densidad, encontrándose a menudo *Penstemon gentianoides*, *Eupatorium glabratum* y *Baccharis conferta* (Martínez, 1979).

De acuerdo con el trabajo de campo, en la localidad es común encontrar a la orilla de los caminos y cauces de los ríos, especies vegetales como: sauce llorón (*Salix babylonica*), yucas (*Yuca aloifolia*), saucos (*Sambucus nigra L.*) y tepozanes (*Buddleja cordata*). En el llamado cerro que está cercano a la localidad se encuentran especies como encinos, coníferas y diversos tipos de pinos.

En el caso de la fauna, anteriormente era común el avistamiento de venados, coyotes, conejos, ratones de campo y diversidad de aves, pero esta diversidad ha disminuido debido a procesos de cambio de uso de suelo por agricultura y extracción de materiales pétreos, pero por testimonio de los habitantes de la región se ha observado la presencia de algunas especies de serpientes, ardillas, aves, lagartijas, insectos y conejos.

3.3 Componente socioeconómico y demográfico.

3.3.1 Descripción de la población Total.

De acuerdo con la información emitida por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI,2010b) en los principales resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda 2010 se tiene un conteo de población total de 5,393 personas, de las cuales 2,633 (48%) son hombres y 2,760 (52%) son mujeres. Las personas que tienen entre y 6 y 11 años son las que tienen mayor representatividad con el 13% del total de la población, de los cuales 3% no van a la escuela, 4,623 personas cuentan con algún tipo de seguro médico, la mayoría cuenta con afiliación al seguro social.

Sólo hay 7 personas que hablan una lengua indígena y 214 personas tienen algún tipo de limitación para realizar actividades, que impidan moverse, falta de algún sentido o cuestiones de salud mental.

3.3.2 Descripción económica.

Según el ITER 2010, se registró que del total de la población hay 1,922 personas económicamente activas, es decir la población de 15 años y más con posibilidad de trabajar. En tanto que la población económicamente inactiva, que se refiere a las personas de 16 años y más que no participan en la producción de bienes o servicios, corresponde a 1,975 personas mientras que la población ocupada, que corresponde a las personas que tienen participación en actividades económicas, son 1,793 personas y la población desocupada corresponde a 129 personas.

Hay un total de 1,152 hogares, dando un promedio de 5 personas por vivienda, del total de las viviendas hay 1,055 que están dotadas con los servicios de agua, energía eléctrica y drenaje.

3.3.3 Actividades económicas.

El 73.72% del total de territorio municipal se utiliza para la agricultura de diferentes cultivos, particularmente en la zona de estudio hay 228 personas que se dedican a esta actividad (5% de la población total) en un total de 1,087.5 hectáreas de terreno (Tarango, 2017), siendo el maíz la semilla que más se cultiva porque es fácil de vender y tiene un mejor precio en el mercado, puede llegar a venderse hasta en 7 pesos por pieza.

La ganadería se realiza principalmente con ganado ovino, aunque también se realiza con bovinos, aves de corral y porcinos criados de manera convencional. También se realizan actividades de acuicultura en la zona colindante con el APFF Nevado de Toluca, donde se cría trucha arcoíris para comercio.

El sector forestal abarca un total de 12.63% del total del territorio municipal, ubicada en la zona oeste a las faldas del volcán. En esta zona se realizan actividades

extractivas diversas como: extracción de madera y hongos para consumo propio además de extracción de la llamada “tierra de monte” para venta, dichas actividades no son reguladas.

Otro sector de relevancia debido a que está disminuyendo el suelo forestal y agrícola es la minería extractiva de tepojal, roca ígnea utilizada para la elaboración de tabiques

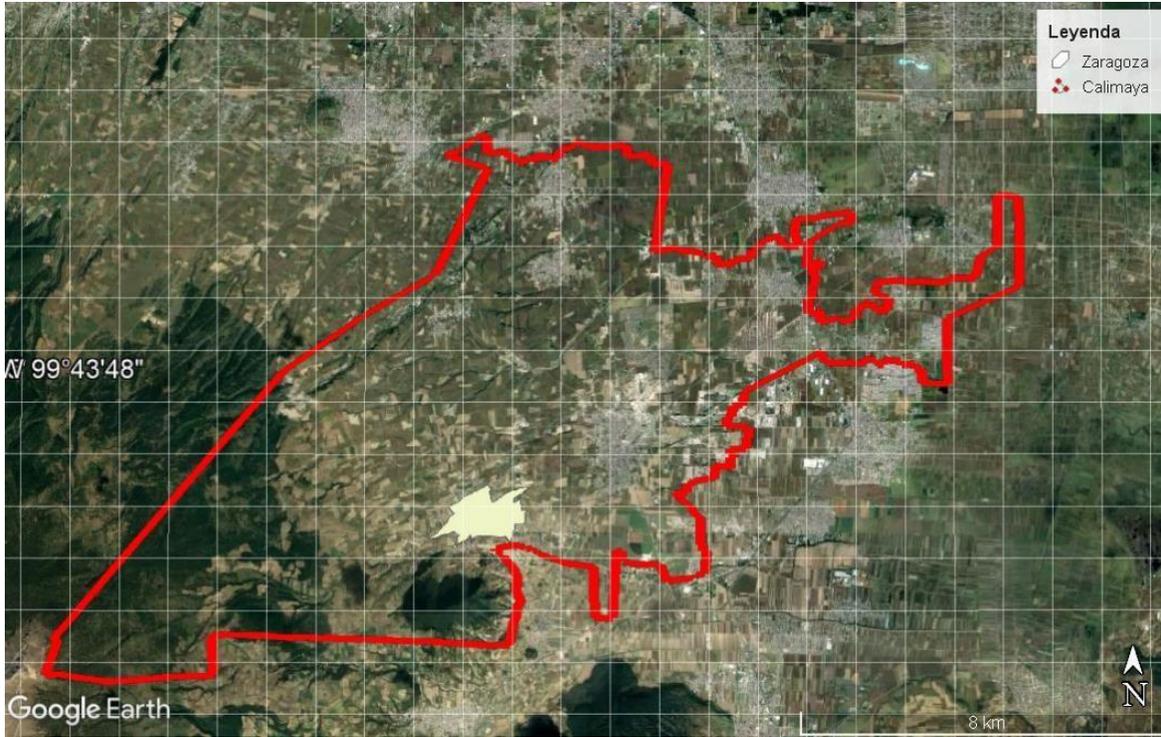
3.3.4 Aportaciones del capítulo.

La localidad de Zaragoza está situada sobre roca ígnea extrusiva, formada principalmente por silicatos, (oxígeno, silicio, aluminio, calcio, sodio, potasio, magnesio y hierro) elementos que enriquecen el suelo para crecimiento de vegetación. La roca con mayor presencia es el tepojal; el cual, ofrece diferentes beneficios al suelo como mejora del drenaje y retención de humedad, además de ser rico en nutrientes y tener un pH neutro (Riscarolli, 2020). Debido a la presencia de esta roca la minería de tepojal está muy presente en todo el municipio.

El suelo phaeozem es el que tiene mayor presencia en la localidad y es considerado apto para la agricultura debido que posee nutrientes, es poroso y cuenta con buena aireación, considerando la altitud de 2,858 msnm, el clima templado y semifrío y la precipitación de 1,000 mm se obtiene un sitio en el que se dan las condiciones apropiadas para el cultivo de temporal de maíz cacahuazintle.

Si bien, ahora sólo el 5% de la población se dedica a actividades de agricultura esta no deja de ser una actividad relevante si comparamos el área total de la localidad que son 141 hectáreas contra las 1,087.5 hectáreas cultivadas. La razón de este valor tan elevado respecto a la zona urbana es debido a que alrededor de la localidad existen grandes extensiones de cultivos, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12: Cultivos alrededor de Zaragoza.



Fuente: Google Earth.

4 METODOLOGÍA.

El diseño de la presente investigación se lleva a cabo bajo un enfoque no experimental, definiendo este como:

“La que se realiza sin manipular deliberadamente las variables. Es decir, se trata de investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se da en su contexto natural, para después analizarlos.” (Hernández, et al., 1997, p.184)

En este enfoque se consideran, también, los tiempos en los que los datos son recolectados, dividiendo el diseño no experimental en transversal y longitudinal. El primero considera la recolección de datos en una única ocasión y el segundo realiza la recolección de datos en tiempos diferentes con la intención de conocer los aspectos que son cambiantes e inferir sobre sus posibles causas o consecuencias. Para este estudio se consideró el diseño no experimental longitudinal.

4.1 Selección y relevancia de variables.

Una variable hace referencia a una cualidad que es susceptible a medirse u observarse (Hernández et al., 2010). Las variables a considerar en este trabajo de investigación son: materia orgánica del suelo y COS, densidad aparente, densidad real, porosidad y pH.

4.1.1 Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico del Suelo (COS).

El COS es el elemento principal que compone la materia orgánica del suelo, razón por la que se ha estimado a partir de esta última mediante el método de Walkley . (1947), en el cual el carbono orgánico del suelo es oxidado por una mezcla de $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$, (dicromato de potasio + ácido sulfúrico) produciendo una reacción exotérmica, logrando detectar entre un 70 y 84% de la cantidad de carbono

orgánico total, por lo que es necesario utilizar un factor de corrección. En la mayoría de los laboratorios se utiliza el factor de Van Benmelen de 1.724 que resulta de la suposición de que la MO contiene 58% de C (1/0.58).

En este trabajo se considera carbono orgánico del suelo a la fracción de carbono disponible después de que los organismos descomponen los restos de materia orgánica. Este componente es fundamental para mantener una buena calidad del suelo, pues genera buena estructura y porosidad obteniendo una buena capacidad de aireación e infiltración, retiene humedad propiciando el desarrollo de raíces, protege al suelo de la erosión y contaminación, aunque por otra parte en grandes cantidades generará acidificación del suelo lo que conlleva a un déficit de absorción de nutrientes.

Cuadro 5: Valores de referencia para la prueba de materia orgánica.

Clase	Materia orgánica
Muy bajo	< 4.0
Bajo	4.1 – 6.0
Medio	6.1 – 10.9
Alto	11.0 – 16.0
Muy Alto	> 16.1

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2002.

4.1.2 pH (potencial de Hidrógeno).

La medición de este parámetro se basa en la determinación de la actividad del ion H^+ mediante la utilización de un electrodo con una membrana sensible a dicho elemento. Este es el principal indicador para conocer la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que modifica el grado de solubilidad de los minerales presentes

en el suelo, pues las plantas solo pueden absorber los minerales si se encuentran disueltos en agua (Nutricontrol, 2020). A continuación se muestran los valores para interpretar los resultados de la evaluación del pH en el suelo:

Cuadro 6: Valores de referencia para prueba de pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Fuente: De la Cruz, 2015.

Según la FAO (s/f) para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5. Los suelos muy ácidos presentan problemas con la retención de macronutrientes (N, P, K, C, Mg y S), en contraste son capaces de absorber mejor los micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl y Mo), además de que reduce la mineralización y humificación impidiendo el desarrollo de microorganismos.

Una buena cantidad de materia orgánica en el suelo actúa como un amortiguador, evitando cambios drásticos en este parámetro aun cuando se agreguen sustancias ácidas o alcalinas, como fertilizantes (Romanya et al. s/f). Cuando la materia orgánica se encuentra en estado de degradación el suelo tendrá un pH oscilante cercano a neutro; si la cantidad de MO es baja el suelo será básico, como lo es en

los desiertos, en contraparte si la MO se encuentra más fresca el valor será más ácido (Julca et al. 2006).

Un pH adecuado facilita la acción de la fauna del suelo para descomponer la materia orgánica, pero cuando este valor indica mayor acidez es probable que la actividad microbiana se limite.

4.1.3 Densidad Real (DR).

La densidad se refiere a la cantidad de masa en cierta unidad de volumen y se mide en gr/cm^3 . Este parámetro considera sólo la fracción sólida del suelo (mineral y orgánica), se puede determinar a partir del conocimiento de la masa y el volumen de una cierta cantidad del suelo. La masa se determinada pesando directamente el suelo; el volumen se hace de manera indirecta calculando la masa y densidad del agua desplazado por la muestra de suelo (Diario Oficial de la Federación, 2002).

Determinar esta variable podría permitir estimar la composición mineralógica del suelo, el peso de sus componentes es variado, por ejemplo valores menores de $2,5 \text{ gr}/\text{cm}^3$ (humus y yeso), de $2,5$ a $3,0$ (arcillas, cuarzo, feldespatos, calcitas, micas), de $3,0$ a $4,0$ (limonitas, piroxenos, olivinos) y mayor de $4,0$ (hematitas y magnetitas). Se considera mayormente que los componentes del suelo poseen una densidad oscilante entre $2,6$ y $2,7 \text{ g}/\text{cm}^3$ y se toma un valor medio de $2,65 \text{ gr}/\text{cm}^3$ (Beltrán et al., s.f

Si el valor de DR obtenido es inferior a $2.65 \text{ gr}/\text{cm}^3$ indica presencia de yeso o de MO, si por el contrario el valor es superior se puede inferir un elevado contenido de óxidos de Fe o minerales ferro magnésicos (Mendoza, s/f).

4.1.4 Densidad Aparente (DA).

Este parámetro determina el volumen de una fracción de suelo considerando el espacio poroso existente y es importante para el manejo de suelo debido a que refleja el nivel de compactación, filtración y circulación de gases (Mendoza, s/f). La DA varía principalmente debido a la textura suelo y el contenido de MO y

estacionalmente varia a causa de labranzas y porcentaje de humedad sobre todo cuando existen arcillas expandibles (Taboada y Álvarez, 2008).

El efecto de la labranza y el manejo de suelo son más notorios en la capa superficial del suelo (capa arable); mientras que en las capas más profundas la DA tiende a ser similar que en los suelos de cero labranza y con labranza convencional (Verhulst et al., 2015a).

Cuadro 7: Valores de referencia para prueba de Densidad Aparente.

Clase textural	Densidad aparente gr/cm ³
Arenosos	1.9 – 1.7
Franco arenosos	1.7 – 1.5
Franco limosos	1.5 – 1.3
Arcillosos	1.3 – 1.1

Fuente: De la Cruz, 2015.

Una densidad aparente alta indica un suelo compacto que limita la capacidad de aireación, infiltración de agua y crecimiento de raíces, en tanto que si la DA es baja indica una adecuada capacidad de aireación, drenaje e intercambio gaseoso pues la presencia de poros es mayor haciendo el suelo más óptimo para las actividades agrícolas (Gerdel,s/f) . Así también, un valor bajo de DA indicará una mayor cantidad de espacio poroso y también una mayor cantidad de MO y viceversa.

4.1.5 Porosidad.

Una vez obtenidos los parámetros de DA y DR se puede obtener el porcentaje de porosidad. Este se refiere al volumen ocupado por las fases líquidas o gaseosas en el suelo.

Los suelos se componen de tres diferentes tipos de partículas minerales menores a 2 mm de tamaño, las cuales se clasifican en arena, limo y arcilla (de manera descendente), generalmente los suelos de texturas finas (arcillosos) contienen mayor cantidad de MO y un gran número de pequeños poros llamados microporos, teniendo así un mayor porcentaje de espacio poroso. En tanto que los suelos de textura arenosa tienen poros más grandes llamados macroporos pero en menor cantidad (Ibáñez, 2007).

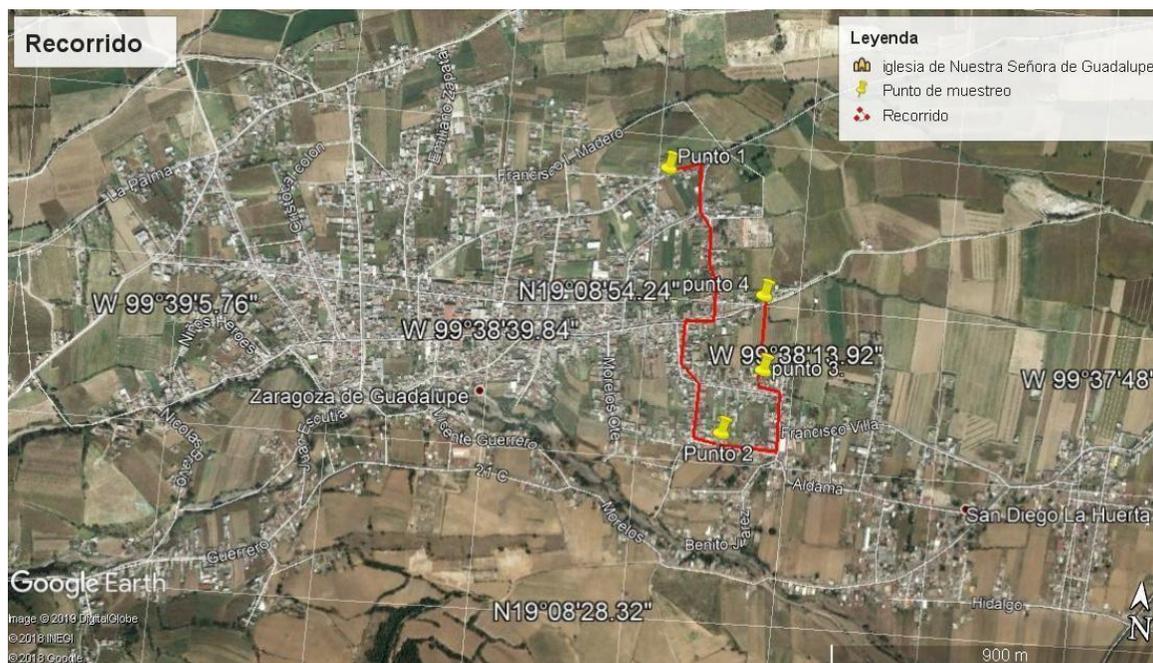
En los suelos hay una mezcla de los 3 tipos de partícula, por lo que existen macroporos y microporos en su conjunto. En los macroporos el flujo del aire es más constante aunque no retienen agua ya que esta se filtra rápidamente por lo que no poseen humedad, son los microporos los que logran conservar la humedad del suelo.

4.2 Selección de zonas y etapas de muestreo.

Para este estudio se eligieron de manera aleatoria 4 parcelas cultivadas con maíz cacahuazintle, no mayores a 1 hectárea para facilitar el trabajo de muestreo. El tamaño de la muestra seleccionada es representativa, dado que en toda la zona se tiene el mismo tipo de suelo (Phaeozem) y las prácticas agrícolas se realizan casi simultáneamente, además se podrá obtener información más detallada del manejo que se le da al suelo y así también se prevé la labor de tomar las muestras suficientes en cada terreno.

La Figura 13 ilustra la ubicación de los sitios de muestreo.

Figura 13) sitios de muestreo.



Fuente: Google Earth.

Para poder recabar la información necesaria sobre las prácticas agrícolas realizadas durante el ciclo agrícola se elaboraron dos cuestionarios de tipo abierto y estructurado, realizado a manera de tabla para facilitar la comprensión de la información (Ver Anexos), estos se aplicaron en dos momentos:

- Durante el primer muestreo, para identificar las próximas labores a realizar en el suelo y programar las siguientes fechas de muestreo. Quedando establecidas 3 fechas más desde septiembre 2018 a junio 2019. Dicho cuestionario se muestra en el Anexo 1.
- Por segunda ocasión el cuestionario se aplicó durante la última toma de muestras, que fue el 10 de agosto, para cotejar la información inicial y conocer otros detalles sobre las prácticas agrícolas realizadas e insumos utilizados. Este cuestionario tuvo algunas modificaciones respecto al primera

omitiendo algunos datos que para esta ocasión no eran relevantes y se muestra en el Anexo 2.

Con la realización del primer cuestionario se establecieron los meses en los que se harían los próximos muestreos, tomando en consideración las actividades más relevantes realizadas en el suelo que fueron: etapa final de crecimiento de maíz, período de descanso, rastra, labranza y crecimiento de maíz. El Cuadro 8 muestra las fechas y las observaciones realizadas.

Cuadro 8. Calendario de muestreo.

Muestreo	Fecha	Condición del suelo	Observaciones
1	25 de septiembre	Final de crecimiento de maíz	El estado de maduración del maíz se encontraba en la etapa final de su ciclo, se observó crecimiento de hierbas al pie de las plantas y plagas de gusanos
2	15 de marzo	Periodo de descanso	Los terrenos se encontraban aún en periodo de descanso, no se le había hecho ninguna labor, se observaron restos de heces fecales de ovino (principalmente), permanecían algunas raíces y rastrojo de las plantas de maíz, así como crecimiento de algunas hierbas.
3	05 de Mayo	Labranza	El suelo tenía apariencia de estar seco y fácilmente erosionable, estaban marcados los surcos y aún se percibía presencia de raíces.
4	10 de agosto	Crecimiento de maíz	Las milpas son completamente verdes, hay presencia de hierba y tepojales en la superficie a causa de las lluvias constantes, no hay presencia de plagas.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Materiales y método.

El material utilizado para realizar los muestreos del suelo fue el siguiente:

- Barrena
- Bolsas de 2 kilogramos para almacenar las muestras
- 2 cubetas para diferenciar las muestras de suelo y subsuelo.
- Marcador para identificar las muestras
- Bolsa de basura para revolver las muestras obtenidas
- Pala pequeñas

4.3.1 Método de muestreo:

Las muestras fueron obtenidas mediante el método de zig-zag; que consiste en tomar diversas muestras por todo el terreno tratando de abarcarlo en su totalidad en forma de zig-zag, lo que hace que sea un método eficiente para toma de muestras representativas. La cantidad de muestras por terreno depende de su extensión.

Para realizar el muestreo se tiene que estar alejado aproximadamente 1.5 m de las calles o carreteras cercanas a la parcela, pues esta parte se contamina fácilmente. Una vez elegido el sitio se limpia manualmente de rocas duras o vegetación para introducir la barrena sin complicación.

Figura 14) Utilización de la barrena.



Fuente: Trabajo de campo.

Los perfiles se realizaron a profundidad de 40 cm, introduciendo 2 veces la barrena, considerando que los primeros 20 cm corresponden al suelo y los siguientes 20 al subsuelo, de esta forma se tomaron aproximadamente 20 muestras por cada fecha de muestreo. Suelo y subsuelo se vierten por separado en cubetas identificadas para no confundirlos.

Una vez que se obtuvieron las muestras suficientes en la parcela, se homogenizaron las muestras de suelo y subsuelo por separado a través del método de cuarteo, el cual consiste en dividir la muestra en cuatro partes y de estas tomar una para almacenarla, dejarla secar y llevarla a laboratorio.

Figura 15) Método de cuarteo.



Fuente: Trabajo de campo.

Figura 16) Almacenamiento de muestras.



Fuente: Trabajo de campo.

4.4 Análisis de laboratorio.

A cada una de las muestras tomadas se les hicieron pruebas de Densidad Aparente (DA) y Densidad Real (DR) de acuerdo al Manual de laboratorio para el manejo

físico de suelos 1991; para la prueba de pH se utilizó la norma 021-RECNAT-2000; en tanto que para el cálculo de Carbono se utilizó la prueba de Walkley y Black 1947.

4.4.1 Preparación de la muestra.

- I. Las muestras se secaron a temperatura ambiente.
- II. Una vez secas se almacenaron en bolsas para ser trituradas con un mazo de madera y deshacer los terrones.
- III. La muestra triturada se pasó por un tamiz de 2 mm para DA, DR y pH, en tanto que para MO se utilizó un tamiz de 5 mm.

4.4.2 Densidad Aparente (DA).

- I. Pesar una probeta de 10 ml.
- II. Agregar suelo hasta los 10 ml y golpear sobre una franela.
- III. Volver a agregar el suelo restante hasta los 10 ml.
- IV. Pesar la probeta con el suelo.
- V. Restar el peso de la probeta y hacer los cálculos.

$$Densida\ aparente = \frac{Peso\ del\ suelo}{Volumen} = gr/ml$$

4.4.3 Densidad Real (DR).

- I. Se toma el peso de un matraz volumétrico de 25 ml.
- II. Se añaden 5 gr de suelo y se vuelve a pesar.
- III. Se agregan dos terceras partes de agua destilada.

- IV. Aplicar movimientos circulares suaves para desalojar el aire y dejar reposar por 30 min.
- V. Llenar el matraz con agua destilada y pesar.
- VI. Lavar el matraz, dejar secar en estufa, llenar con agua destilada y pesar.
- VII. Realizar los cálculos.

$$Densidad\ Real = \frac{S}{S + A - (S - a)}$$

Donde:

S: peso del suelo A: peso del agua

s+a: Peso del suelo y agua mezclados

4.4.4 Porosidad.

Una vez obtenidos los valores de ambas densidades el valor del porcentaje de porosidad se obtiene con la siguiente fórmula.

$$\%P = \frac{Dr - Da}{Dr} \times 100$$

4.4.5 pH (Potencial de Hidrógeno).

- I. Pesar 10 gr de suelo y agregarlos a un vaso de precipitado.
- II. Agregar 25 ml de agua destilada.
- III. Agitar 30 min en el agitador mecánico.
- IV. Calibrar el potenciómetro con solución buffer pH 7.

- V. Leer el pH de las muestras.
- VI. Seguir el mismo procedimiento con KCL 1N.

4.4.6 Materia Orgánica (MO).

- I. Pesar 0.5 gr de suelo y agregarlo a un matraz Erlenmeyer de 500 ml.
- II. Agregar 5 ml de dicromato de potasio 1N.
- III. Medir 10 ml de ácido sulfúrico concentrado y agregarlo lentamente.
- IV. Agitar 1 minuto y reposar 30 min.
- V. Agregar 100 ml de agua destilada y 5 ml de ácido fosfórico.
- VI. Agregar 5 gotas del indicador bariosulfonato de difenilamina.
- VII. Titular con sulfato ferroso 0.5 N.
- VIII. Realizar los cálculos.

$$\% \text{ de M.O.} = \frac{5 - (\text{ml. de } FeSO_4 \times N \text{ real})}{g} (0.69)$$

Donde:

5 = dicromato agregado

g = Peso de la muestra

0.69 = Constante

N= Normalidad real del sulfato ferroso. Que se obtiene de la siguiente manera.

$$N \text{ real} = \frac{10 \times 0.5}{\text{ml de } FeSO_4 \text{ (gastados en el blanco)}}$$

Donde:

10 = Volumen teórico

0.5 = Normalidad teórica

4.4.7 Porcentaje de carbono.

A partir de los datos obtenidos en la prueba de MO se evalúa el porcentaje de Carbono con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de } COS = \frac{\% \text{ M. O.}}{1.724}$$

Nota: El factor de corrección resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de Carbono ($1/0.58 = 1.724$).

4.4.8 Carbono por hectárea

Con base en la ecuación propuesta por Gonzales et al. (2008).

$$COS = (CO * DA * Ps)$$

Donde:

COS: Carbono Orgánico del Suelo (Mg ha^{-1}).

DA: Densidad Aparente.

Ps: Profundidad del suelo.

5 RESULTADOS.

Las características físicas y químicas observadas en cada una de las parcelas durante el trabajo de campo y laboratorio se describen a continuación. La información se ha sintetizando en dos partes; primero, se compiló en un calendario que muestra las actividades realizadas en las parcela durante el ciclo agrícola, se incluyen observaciones hechas a partir de las entrevistas semi-estructuradas aplicadas a los propietarios de los terrenos. En segundo lugar, a partir de los muestreos de suelo de las parcelas se realizaron las pruebas fisicoquímicas correspondientes, de las cuales se muestran los resultados a través de cuadros en la descripción de cada parcela.

Es necesario aclarar que hay un faltante de información en la parcela dos durante el tercer muestreo debido a que el productor temía que sus plantas fuesen maltratadas por el proceso de muestreo, por lo cual no se nos permitió realizar el respectivo muestreo.

5.1 Características Físicas.

Se registró información de las principales actividades agrícolas realizadas en cada una de las parcelas de estudio, además de fechas y características más relevantes y se presentan en matrices que sintetizan la información recolectada en el trabajo de campo. Se consideran clave los siguientes términos que los informantes mencionaron respecto a las actividades agrícolas, las definiciones se obtienen a partir de las referencias hechas por los productores.

Barbecho: periodo de descanso del terreno en el que se pretende recuperar humedad y materia orgánica.

Rastra: proceso con el cual se consigue voltear el suelo para descompactar y arrancar las raíces del cultivo anterior. Normalmente se hace con tractor.

Labranza: actividad mediante la que se crean surcos antes de la siembra. Comúnmente se utiliza arado con animales.

Escarda: Labor de reincorporar suelo a los surcos para evitar la exposición de las raíces y el acame¹ de las plantas.

5.1.1 Parcela 1.

Se localiza cercana a la carretera principal, con una vereda lateral comúnmente transitada, cuenta con una extensión de 2,200 m², ha sido cultivada por al menos 100 años, el propietario menciona que el rendimiento promedio es de 1.5 toneladas por superficie sembrada (6.8 toneladas por hectárea).

Una vez realizada la cosecha y el corte de zacate el suelo estuvo en barbecho alrededor de 3 meses, al concluir este periodo se realizó una rastra con tractor y posteriormente la labranza.

Se llevaron a cabo dos fertilizaciones; la primera con estiércol bovino durante la labranza y la segunda con nitrato de amonio, se aplicó también herbicida químico y se realizaron 2 escardas. En el Cuadro 9 se muestran las fechas y las tareas agrícolas que se realizaron.

Durante el primer muestreo se observó presencia moderada de arvenses y pastos entre las plantas de maíz, además de crecimiento uniforme en el cultivo y abundancia de tepojal en el subsuelo. Esta roca ígnea es común en el sitio y suele ayudar a la retención de humedad y aporte de nutrientes. (Figura 17)

¹ Se le denomina **acame** al dobléz o inclinación que sufre el tallo de las plantas, provocando el volcamiento del cultivo como el maíz, sorgo, trigo y muchos otros cereales, debido a los fuertes vientos.

Cuadro 9. Caracterización física de la parcela 1.

Parcela 1	2018						2019										
Actividad / mes	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Observaciones				
Día	25						15	20	28	7	5	12	26	26	20	10	
Barbecho																	Ocasionalmente se pastorea ganado ovino para terminar de limpiar el terreno
Rastra																	Con yunta de caballos se abrieron los surcos.
Siembra/labranza																	Con azadones se forman bien los surcos y se siembran 2 o 3 semillas en cada hueco a distancia de aprox. 20 cm.
Fertilización								1					2				¹ Con estiércol bovino en cantidad de un puño en cada planta. ² Con nitrato de amonio esparciendo los gránulos a lo largo del surco.
Aplicación de insecticida																	
Aplicación de herbicida																	Con hierbamina aplicada con aspersor en todo el terreno.
Escarda																	Las raíces se tapan con más suelo.
Cosecha																	Colectar el maíz fresco para consumo.
Pisca																	Recolectar las mazorcas secas para guardar la semilla.
Corte de zacate																	
Problemáticas		Crecimiento desigual.															

Fuente: Trabajo de campo (2018-2019).

Al final de los muestreos hubo mayor presencia de tepojal, por lo que se dificultó el trabajo de campo. De igual manera se observó un crecimiento irregular de las plantas de maíz las cuales variaron entre 1.50 y 2.15 metros.

Figura 17) Muestreo 1.



Fuente: Trabajo de campo.

5.1.2 Parcela 2.

Este terreno cuenta con área total de 7,900 metros cuadrados, ha sido utilizado por cerca de 50 años, se reporta que durante este periodo se ha registrado un rendimiento aproximado de 5 toneladas por superficie sembrada (6.3 toneladas por hectárea aproximadamente).

Posterior al corte de zacate se realizó una rastra con tractor seguido de un periodo de barbecho de aproximadamente 2 meses, antes de realizar la labranza utilizando arado de animales.

Se registraron cuatro fertilizaciones durante el periodo del cultivo en las cuales se aplicó fertilizante 18-46-00, gallinaza, urea y abono foliar, además de insecticidas y herbicidas químicos.

En el primer muestreo se observó crecimiento uniforme en el cultivo con una altura mayor a 2 metros y escasa presencia de arvenses. Algo relevante fue la utilización de una técnica de retención de suelo y agua llamada “botones” que consiste en agujeros de aproximadamente 40 cm de profundidad realizados de manera dispersa entre los surcos, los cuales cumplen con la función de acumular el suelo arrastrado por la escorrentía de lluvia para después volver a incorporarlo en la parcela, de esta forma se disminuye la cantidad de suelo perdido por erosión.

Cuadro 10. Caracterización física de la parcela 2.

Parcela 2	2018				2019												
Actividad / mes	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr		May	Jun	Jul	Ag	Observaciones			
Día	25				20		15	25	25	5	12	26	8	20	20	10	
Barbecho																	
Rastra																	Se realizó una rastra con tractor para descompactar el suelo.
Labranza/siembra																	Se forman bien los surcos con ayuda de un arado de animales y se siembran las semillas.
Fertilización								1	2		3		4				¹ Con fertilizante 18-46-00 esparciendo los gránulos por los surcos, tiene la característica de neutralizar el pH. ² Con gallinaza colocándola alrededor la planta. ³ Con urea aplicando con aspersor sobre las plantas. ⁴ Se aplicó foliar rociando directamente a las plantas.
Aplicación de insecticida																	Rogor
Aplicación de herbicida																	Antorcha con Gramocil
Escarda																	Las raíces se tapan con más suelo.
Cosecha																	Se recogen los elotes tiernos para consumo.
Pisca																	Recolectar las mazorcas secas para guardar la semilla.
Corte de zacate																	

Fuente: Trabajo de campo (2018-2019).

En contraste con la parcela 1 aquí se observó un crecimiento regular de las plantas de maíz teniendo una altura de aproximadamente 2.10 metros, con un tono verde uniforme y sin presencia de plagas.

Las Figuras 18 y 19 ilustran los “botones” y las condiciones de las parcelas.

Figura 18) botones.



Figura 19) Muestreo 1.



Fuente: Trabajo de campo.

5.1.3 Parcela 3.

La extensión es de 1,700 metros cuadrados, se ha cultivado por al menos 80 años durante los que se ha notado un rendimiento de 1.5 toneladas por superficie sembrada (8.8 toneladas por hectárea aproximadamente).

A este terreno después de limpiarlo se le dio un descanso de casi 3 meses hasta realizar la rastra con maquinaria y labranza con arado de animales, incorporando estiércol. Se realizaron adicionalmente tres fertilizaciones en diferentes momentos con 18-46-00, urea y abono foliar. Se aplicó además hierbamina y gesaprim para el control de malezas.

En el primer muestreo se notó la abundancia de pasto entre los surcos, presencia de plaga de gusanos peludos (*Estigmene acrea*), las milpas no crecían uniformemente y no rebasaban los 2 metros de alto y a la orilla del terreno se notaba una pérdida de suelo de 20 cm.

Las actividades agrícolas realizadas se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Caracterización física de la parcela 3.

Parcela 3	2018						2019						Ag	Observaciones			
	Actividad / mes	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul					
Día	10						15	20	15	5	15	23	23	10	10	10	
Barbecho																	Ocasionalmente se pastorea ganado ovino.
Rastra																	Se utiliza tractor para hacer una rastra para descompactar el suelo a la vez que se incorpora abono.
Labranza/ Siembra																	Con yunta de caballos se forman bien los surcos y se siembra la semilla.
Fertilización								1	2			3		4			<ol style="list-style-type: none"> 1. Con ayuda del tractor se esparce estiércol de vaca y caballo en el terreno. 2. Con 18-46-00 esparciendo los gránulos a lo largo del surco. 3. Con urea aplicando con aspersor a toda la planta, aporta nitrógeno. 4. Nuevamente se aplica urea.
Aplicación de insecticida																	
Aplicación de herbicida																	Hierbamina y Gesaprim.
Escarda																	Las raíces se tapan con más suelo.
Cosecha																	Se colectan los elotes tiernos para consumo.
Pisca																	Recolectar las mazorcas secas para guardar la semilla.
Corte de zacate																	
Resiembra																	Se siembra donde la plántula no haya crecido.
Problemáticas		Crecimiento desigual de plantas y abundancia de pastos y quelites.															

Fuente: Trabajo de campo (2018-2019).

En relación con el crecimiento de la planta se mostraron aquí alternancia de plantas de menor tamaño con abundancia de pastos y quelites como se muestra en las Figuras 20 y 21.

Figura 20) Vista del terreno.



Figura 21) Pasto entre las milpas.



Fuente: Trabajo de campo.

5.1.4 Parcela 4.

En este caso en particular hubo una carencia de información, debido a que la persona encargada rentó el terreno a una persona que no vive cerca de la comunidad, por lo cual no nos pudo proporcionar información suficiente sobre el proceso de cultivo; aun cuando en este sentido la información no es completa si se realizaron los muestreos de suelo para su análisis en laboratorio.

La parcela tiene una extensión de 4,600 metros cuadrados, que se ha cultivado por al menos 100 años en los que se ha notado un rendimiento aproximado de 2 toneladas (4.3 toneladas por hectárea aproximadamente).

No se aplican abonos orgánicos pero si se aplican químicos, la plaga que más abunda es la araña roja, la labranza se realiza con tractor y posterior a la cosecha al terreno no se le da ninguna utilidad.

Durante el primer muestreo era notoria la abundancia de hierbas, pasto y plaga de gusanos peludos. Las milpas tenían una altura aproximada de 2m y crecían de manera uniforme (Figura 22).

En el segundo muestreo se observaron restos de raíces y rastrojo de la cosecha, además de heces fecales de ovino debido a que se utilizaba para pastoreo, la labranza aún no se había realizado.

Durante el tercer muestreo se observó que ya se había realizado la labranza, el suelo lucía seco y sin hierbas.

Por último, en el cuarto muestreo se pudo notar que no había pasado mucho tiempo desde la siembra, pues las plantas tenían una altura de 40 a 60 cm, no había presencia de pastos ni quelites pero abundaba el tepojal en la superficie debido a que en el proceso de labranza o rastreo se remueve el suelo sacando el tepojal a la superficie.

Figura 22) presencia de hierbas.



Fuente: Trabajo de campo.

5.2 Características Químicas.

En este apartado se presentan los valores obtenidos en laboratorio de las variables consideradas en la caracterización química de las parcelas muestreadas. En primera instancia los cuadros presentados muestran los promedios de los valores de cada variable; y en segunda instancia a través de las gráficas se ilustran los valores más altos y bajos por parcela.

Los resultados se han analizado con los valores de referencia descritos en el apartado 4.1 del capítulo de Metodología.

5.2.1 Densidad Real.

En el Cuadro 12 se muestran los valores promedios obtenidos en cada muestreo para la DR. La mayoría de los valores obtenidos se encuentran por debajo del valor de referencia (2.65 gr/cm³) lo cual supone que los suelos muestreados favorecen la presencia de C, a excepción del muestreo 1 que indica una mayor presencia de otro tipo de minerales.

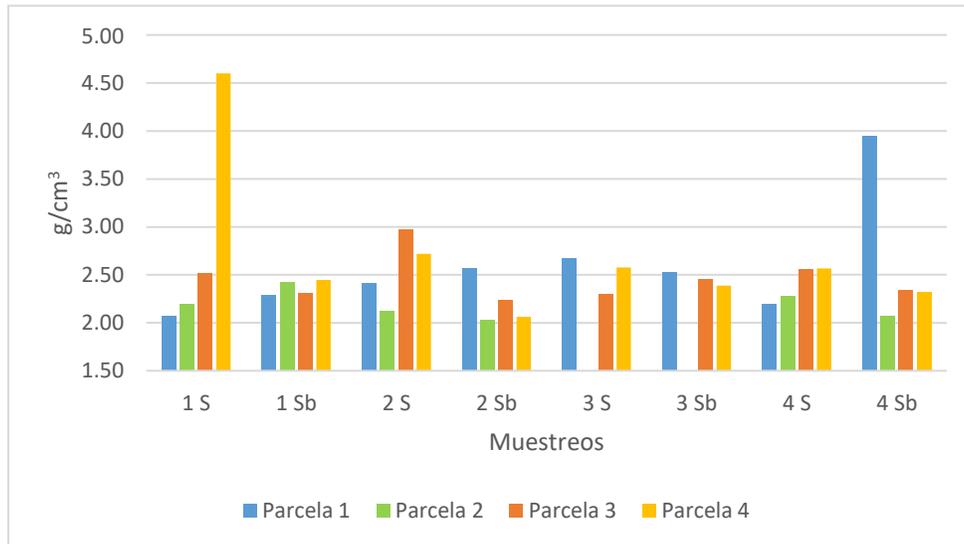
Cuadro 12. Promedio de Densidad Real por muestreo.

Densidad Real (g/cm ³)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
Suelo	2.85	2.56	2.52	2.40	2.58
Subsuelo	2.37	2.22	2.46	2.67	2.43

Fuente: Elaboración propia.

Los valores individuales por parcela y por muestreo son mostrados en la Gráfica 1, se identifican dos valores superiores en relación al rango de referencia, uno de 4.60 gr/cm³ que indica presencia de hematitas y magnetitas, y el segundo valor es de 3.95 gr/cm³ que implica presencia de limonitas, piroxenos y olivinos. En la bibliografía se desconoce la relación que existe entre dichos elementos ferromagnesianos y la agricultura, por lo cual podría este ser un tema para investigaciones a futuro.

Gráfica 1. Valores de Densidad Real por parcela.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: S = suelo; Sb-subsuelo; el número indica el orden del muestreo.

5.2.2 Densidad Aparente.

Los valores de DA se muestran en el Cuadro 13, los resultados indican que no hay una diferencia significativa respecto al valor de referencia (1.2 gr/cm^3), determinando una DA baja correspondiente a una clase textural Arcillosa tanto en suelo como en el subsuelo.

Cuadro 13. Promedios de Densidad Aparente por muestreo.

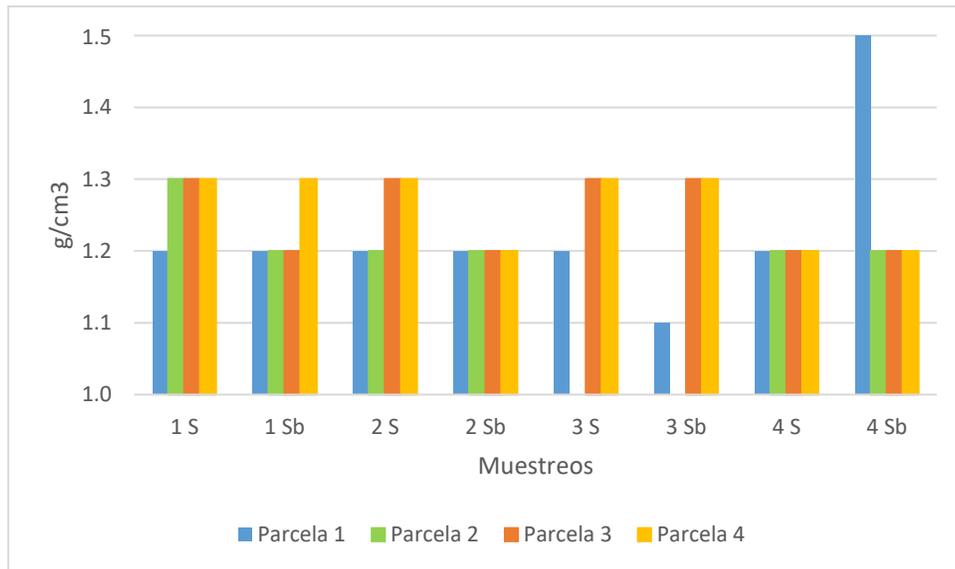
Densidad Aparente (g/cm ³)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
Suelo	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2
Subsuelo	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Fuente: Elaboración propia.

Los valores encontrados de DA sugieren que la compactación del suelo en todas las parcelas es mínima, pues no son labradas constantemente y tampoco hay sobrepastoreo que provoque compactación, por lo cual mantiene una buena capacidad de circulación de aire y filtración de agua lo cual es favorable para la agricultura.

La Gráfica 2 muestra las variaciones que hubo en cada una de las parcelas por muestreo, se puede notar que el valor mínimo obtenido fue de 1.1 gr/cm³ en la parcela número 1, este valor sigue en el rango para ser considerada una textura arcillosa. En tanto que el máximo valor registrado fue de 1.5 gr/cm³ igualmente en la parcela 1 representando una textura franco arenosa. La razón de este valor puede ser por dos causas; la primera de ellas (de la cual si se tiene sustento bibliográfico) es que en ese periodo se realizaron dos escardas en las cuales se removió el suelo aumentando la aireación y oxidación lo que en consecuencia disminuye el COS (Reicosky et al., 1995) y aumenta la compactación, la otra posible causa de la cual no se tiene referencia de estudios previos es por el uso del nitrato de amonio.

Gráfica 2. Valores para Densidad Aparente por parcelas.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: S = suelo; Sb-subsuelo; el número indica el orden del muestreo.

5.2.3 Porosidad.

Con los valores obtenidos de DA y DR se obtiene el porcentaje de porosidad, los valores de este parámetro se muestran en el Cuadro 14, en este se identifica que en general el valor promedio de porosidad es cercano al 50% en suelo y subsuelo, lo cual de acuerdo con Pico (s/f) es el valor mínimo aceptable para el desarrollo de plantas.

Cuadro 14. Promedio de porosidad por muestreo.

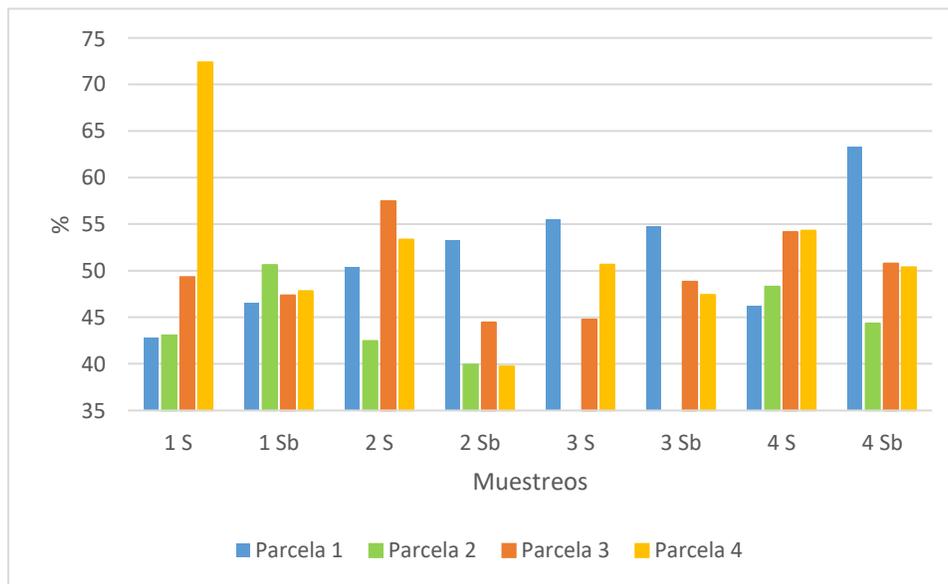
Porosidad %	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
Suelo	52	51	50	51	51
Subsuelo	48	44	50	52	49

Fuente: Elaboración propia.

El espacio poroso del suelo influye directamente la retención de humedad del suelo afectando la disponibilidad de agua, nutrientes y la aireación (Lal, 1994). Así también, Pikul y Almiaras (1986) encontraron que al agregar materia orgánica aumentaban los poros de mayor diámetro, que retienen el agua con menor energía.

En la Gráfica 3 se muestra el porcentaje de espacio poroso en cada muestreo y parcela. En general la mayoría de los muestreos van de 40 a 57% de porosidad, lo cual coincide con Brady (2010) quien afirma que los suelos arcillosos tienen alrededor de 40 y 60% de porosidad. Los valores máximos se presentan en la parcela 1 y 4 con valores de 72% y 63% respectivamente. Este incremento en el porcentaje de porosidad puede ser causa de la gran cantidad de arvenses presentes para el caso de la parcela 4, pues los sistemas radiculares mejoran la porosidad del suelo (FAO, 2005).

Gráfica 3. Valores de porosidad por parcela.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: S = suelo; Sb-subsuelo; el número indica el orden del muestreo.

5.2.4 pH.

El pH óptimo para un suelo agrícola debe ser cercano a neutro, los valores aquí reportados indican un pH moderadamente ácido, que van de 4.9 a 6.1. De acuerdo con Espinosa y Molina (1999) la acidez del suelo puede ser causado por factores como la adición de MO, fertilizantes nitrogenados o aluminio. Los promedios obtenidos para la variable de pH se muestran en el Cuadro 15 y no hay una diferencia significativa entre suelo y subsuelo.

Cuadro 15. Promedios de pH por muestreo.

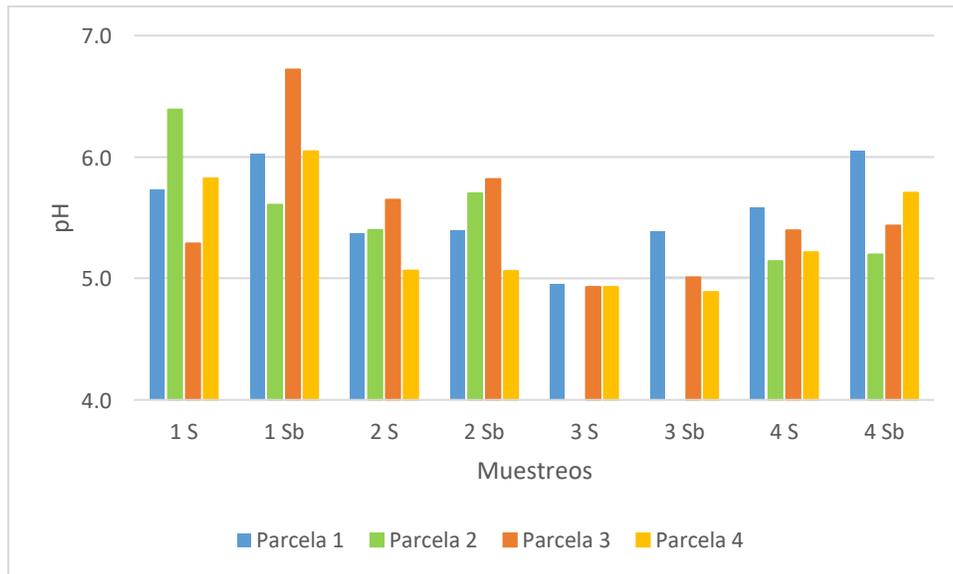
pH	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
Suelo	5.8	5.4	4.9	5.3	5.4
Subsuelo	6.1	5.5	5.1	5.6	5.6

Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 4 se muestran los valores por muestreo y se observa que todos los valores se encuentran por debajo de 7, mayormente ubicados en un rango de 5 a 6 siendo clasificados como Moderadamente Ácidos. Así también, es notorio que durante el muestreo 3 hubo una mayor acidificación, que corresponde al momento en que se agregó materia orgánica fresca en forma de diferentes estiércoles en las 3 parcelas además de un fertilizante nitrogenado en la parcela 2 y 3, lo cual coincide con lo dicho por Espinoza y Molina (1999) respecto a que la materia orgánica fresca libera iones de H^+ a la solución del suelo haciendo el pH del suelo más ácido.

Los valores más cercanos a 7 sucedieron en el muestreo 1 al final del ciclo agrícola, cuando el cultivo ya había alcanzado la madurez, indicando que la MO estaba en proceso de degradación, pues al haber adecuada humedad por lluvias la MO inicia con dicho proceso, además de que como lo explica Marjan (s/f) la lluvia lixivia los nutrientes básicos y los reemplaza por nutrientes ácidos.

Gráfica 4. Valores de pH por parcela.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: S = suelo; Sb-subsuelo; el número indica el orden del muestreo.

5.2.5 Materia orgánica (MO).

Como se muestra en el Cuadro 16 los valores de porcentaje de materia orgánica son menores a 4%, siendo clasificados como Muy Bajos de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000. Se identifica que la mayor cantidad de MO fue en suelo del muestreo 2 y en general el suelo es en donde hay mayor presencia de MO.

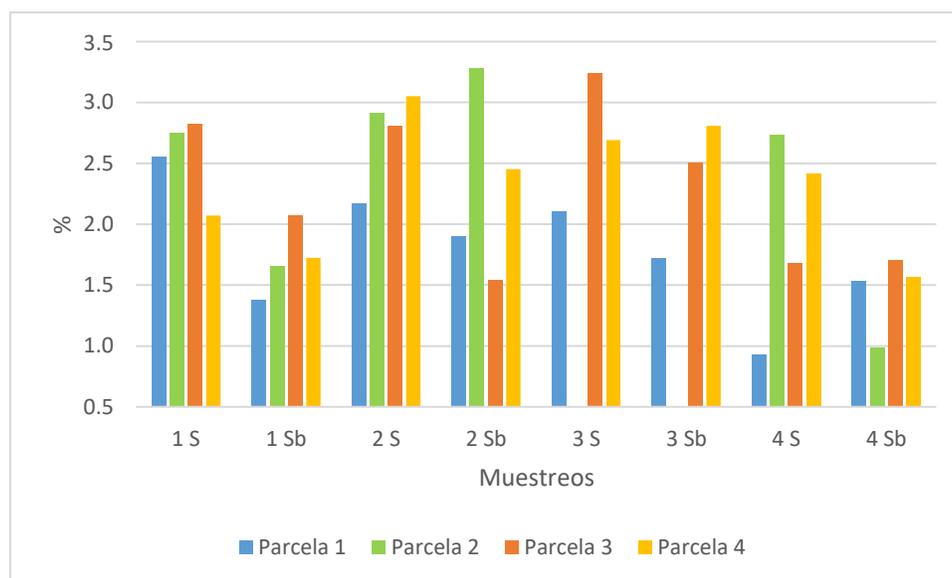
Cuadro 16. Promedios de porcentaje de materia orgánica por muestreo.

MO %	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Promedio
Suelo	2.55	2.74	2.68	1.94	2.48
Subsuelo	1.71	2.30	2.35	1.45	1.95

Fuente: Elaboración propia.

Con la Gráfica 5 se puede notar que la mayor cantidad de MO se obtuvo durante el muestreo 1 y 2 con un total de 17 y 20% respectivamente. Posiblemente a causa de que en el muestreo 1 había presencia de arvenses y en el muestreo 2 había una reincorporación de MO al suelo. Hubo menor cantidad de MO en último muestreo, a razón de 13.5%, periodo en el que no hubo incorporación de abonos orgánicos y solo se utilizaron fertilizantes químicos.

Gráfica 5. Valores de porcentaje de MO por parcela.



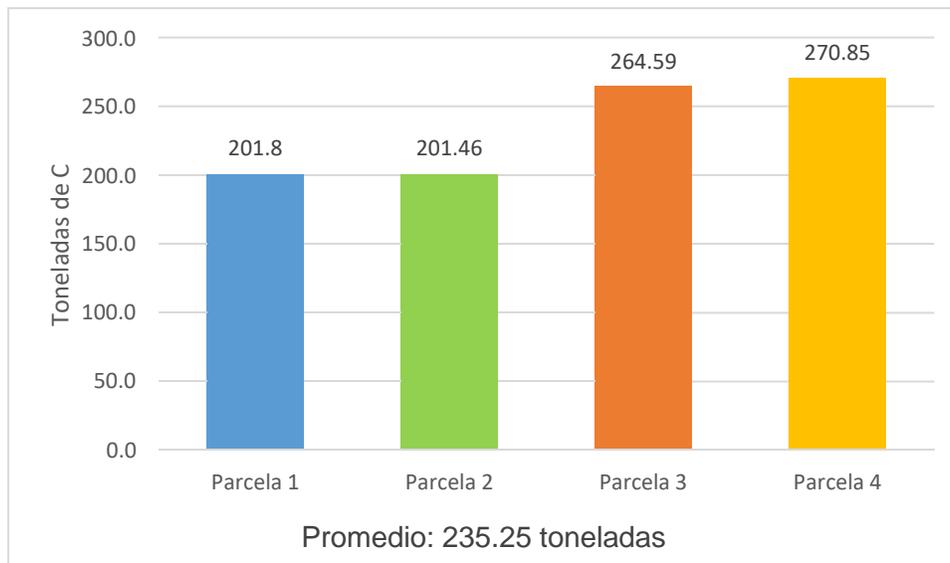
Fuente: Elaboración propia.

Nota: S = suelo; Sb-subsuelo; el número indica el orden del muestreo.

5.3 Captura de carbono.

A partir de la información anterior, se explican aquí las posibles causas que influyen en la captura de carbono de los terrenos de cultivo. Utilizando la fórmula del apartado 4.4.8 se estimó un promedio total de 235.25 toneladas de carbono por hectárea como se ilustra en la Gráfica 6.

Gráfica 6. Toneladas de Carbono por parcela.



Fuente: Elaboración propia.

La parcela número 4 fue la que obtuvo mayor captura de carbono, sin embargo, de esta no se logró obtener información completa en comparación con las otras parcelas, de manera hipotética podríamos asumir que dichos valores podrían ser causa de la abundante presencia de arvenses y pastos durante el periodo de crecimiento del maíz que posteriormente se reincorporaran al suelo.

En el Cuadro 17 se muestra la cantidad total de C almacenada en cada parcela durante cada muestreo.

Cuadro 17. Toneladas de C por muestreo.

T(C*Ha)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
Parcela 1	54.7	56.6	52.0	38.5
Parcela 2	62.9	87.9		50.6
Parcela 3	71.1	63.5	84.3	45.7
Parcela 4	56.1	80.3	80.6	53.9
Total	244.7	288.4	216.9	188.7

Fuente: Elaboración propia.

Durante todos los muestreos hubo variaciones en cuanto al almacén de carbono en todas las parcelas que no se pueden explicar completamente, sin embargo, se puede suponer que dichas variaciones del COS son a causa de la actividad y diversidad de organismos del suelo (Gardi y Jeffery, 2009). Por lo que, a grandes rasgos y tras analizar los datos e información obtenida podemos apuntar a cuatro posibles factores que pudieran determinar la captura de COS.

El factor más evidente, durante el muestreo 2, es que la integración de residuos orgánicos al suelo durante el periodo de barbecho modifica positivamente el almacén de C. Tal como lo asegura Espinoza et al (2007) el C del suelo depende mayormente de la cantidad y calidad de los residuos que regresen a este, durante los muestreos fue evidente que en el suelo se mantenían algunos restos vegetales del cultivo y crecían pastos y hierbas que eran eliminados introduciendo ganado ovino que adicionaba estiércol al suelo, dichos elementos se integraban a lo largo del periodo de descanso aumentando las reservas de carbono.

El segundo factor que pudiese influir es la presencia de arvenses entre surcos, pues la cantidad de C almacenado fue mayor durante el primer muestreo (sobre todo en la parcela 3), mientras que se observó una disminución en los últimos donde había menor presencia de estas especies. Esto coincide con lo reportado en trabajos bajo enfoques de la agricultura de conservación (Verhulst et al., 2015b), en donde se sugiere que contar con una cubierta de materia viva mejorará las condiciones físicas y químicas del suelo al protegerlo de la erosión, retener humedad propiciando actividad microbiana y por tanto un efecto en el almacén de carbono al

reincorporarse toda esta vegetación al suelo durante el periodo de barbecho, lo cual se vio reflejado en el aumento en la cantidad de COS durante dicho periodo.

Es importante mencionar que en este caso las arvenses que tienen presencia son identificadas por los agricultores como diferentes tipos de quelites, los cuales, crecen normalmente en asociación con el cultivo de maíz durante el periodo de lluvias, por lo que no son cultivados con la finalidad antes mencionada. El mayor beneficio de estos es su función alimentaria familiar y animal. En contra parte, si hay un crecimiento desmedido puede generar problemas de plagas o desventaja al cultivo primario, pues si durante los primeros 30 días de desarrollo del cultivo existe competencia se producirán plantas amarillentas, de poco vigor y altura, tal como sucedió en la parcela 1 y 3 en las que hubo un crecimiento irregular y en tonos amarillentos con lo cual se podría reducir hasta en 24% el rendimiento (Agundis, 1984).

El tercer factor son los abonos orgánicos y químicos utilizados. En el caso de la utilización de estiércoles como abono, de acuerdo a López (2016) el aporte que estos tengan sobre el suelo será siempre muy variable, debido a que intervienen factores como la especie, edad y alimentación del ganado, además de la forma de almacenamiento. Los valores del Cuadro 18 serán tomados como referencia para este caso y corresponden a estudios realizados por López (2016) y (2017).

Cuadro 18. Promedio de MO en heces de ganado.

Heces	% MO (López,2016)	% MO (López,2017)	Promedio
Bovino	76.34	87.45	81.9
Caprino	70.15	78.45	74.3
Equino	84.12	86.79	85.5
Ovino	70.07	84.95	77.5

Fuente: Adaptado de López (2016) y (2017).

En la parcela 3, la cual tuvo la mayor cantidad de C almacenado en el muestreo 3 (Cuadro 17), se realizó una fertilización orgánica combinando estiércol bovino y equino que son las heces con mayor cantidad de MO y con mayor duración en el suelo, mientras que en la parcela 1 se utilizó solo estiércol de bovino y para la parcela 2 se aplicó gallinaza, que de acuerdo con Estrada (2005) este último contiene cerca del 34% de MO, es decir el menor valor de todos los anteriores. Por lo que, se puede inferir que la combinación de dos estiércoles aumenta las reservas de carbono en el suelo.

Además, se realizaron fertilizaciones químicas en las parcela 3 y 2, durante el tercer muestreo en el que se aplicó Fosfato Diamónico 18-46-00, lo cual también pudo ser factor para aumentar las reservas de C, si se considera que el fósforo es un macronutriente requerido por las plantas y su deficiencia puede alterar la productividad del suelo y así también la capacidad de almacenar carbono. Aunque no hay suficiente evidencia sobre la relación de C:P de acuerdo a estudios realizados por Cleveland y Liptzin (2007) hay una relación promedio de 186:1, por lo cual se puede interpretar que al agregar P al suelo también se incrementará el C.

Situación similar se presenta con la aplicación de urea en las mismas parcelas durante el último muestreo (pues estas presentaron la mayor cantidad de C almacenado) posiblemente este factor aumento el COS; no obstante, en el caso de la parcela 3 hubo dos escardas durante ese mismo periodo aireando el suelo y oxidando la MO por lo que esta parcela presentó un valor menor de C respecto a la parcela 2 (Cuadro 17) en la que solo hubo una. Sin embargo, el efecto que los insumos químicos tengan sobre el almacén de carbono es un tema sobre el que no se ha abordado lo suficiente, por lo cual no se puede asegurar el efecto positivos de estos, además la aplicación de un componente químico en el cultivo siempre implicará costos de emisión de CO₂ como efecto de su fabricación, empaque y transporte (Verhulst et al., 2015b) por lo cual es un factor que posiblemente no pudiera considerarse para disminuir emisiones de la atmósfera.

Por último, el cuarto factor que puede intervenir en el proceso de almacenamiento de C en el suelo es la erosión y oxidación, tal como lo han propuesto Campbell y Souster (1982), Reicosky et al (1995) y la FAO (2002). De acuerdo a los autores mencionados ambos factores tienen gran influencia en la pérdida de carbono en un suelo agrícola; Kanninem (2001) asegura que la mayor parte del COS se encuentra en los primeros 30 cm de profundidad, siendo esta parte también la más susceptible a la erosión. A partir de la observación en campo se notó que en las parcelas existe erosión durante la temporada de lluvias, pues con la ligera pendiente es común la escorrentía que arrastra el suelo, por lo que posteriormente es necesario realizar escardas para volver a formar surcos y tapan las raíces de la planta. Así también, el viento tiene efectos erosivos en las ocasiones en las que el suelo es removido durante las prácticas de rastreo, labranza y escardas para la conformación de surcos y en general durante todo el ciclo, es también con estas prácticas que se aumenta la aireación del suelo provocando oxidación y liberación de C a la atmósfera.

Mann (1986) y Huggins et al. (2007) mencionan que un suelo no afectado por erosión puede perder hasta un 40% de carbono después de varias décadas de cultivo; las parcelas del presente estudio tienen entre 50 y 100 años de uso como terreno agrícola, durante los que se han utilizado las mismas prácticas de manejo que exponen el suelo a la erosión, oxidación y por ende la pérdida de carbono a través del tiempo, por lo que con esta información se podría explicar los bajos niveles de carbono en el suelo.

Por otra parte, según Verhulst et al. (2015b) los suelos viejos y gastados por la erosión podrían tener un mayor potencial de retener carbono cuando se manejan bajo labranza cero, pero esto aún es incierto por lo que hay oportunidad de investigación en torno a la antigüedad de un terreno cultivado y su relación con la captura de carbono.

Finalmente, para saber si las parcelas de la localidad de Zaragoza cultivadas con maíz cacahuazintle tienen potencial de almacén de carbono se tendría que realizar

trabajo de campo y laboratorio de larga duración, según Fontan del Junco et al. (2008) el estudio tendría que ser por lo menos de 20 años considerando variables climáticas, edáficas y geográficas (Reicosky, 2001). Así también habría que considerar el almacenamiento de C en los residuos del cultivo, las emisiones de las actividades agrícolas y de los fertilizantes aplicados.

6 CONCLUSIONES.

Los suelos de tipo phaeozem, con textura arcillosa y pendiente ligeramente inclinada cultivados con maíz cacahuazintle de la localidad de Zaragoza municipio de Calimaya capturan un promedio estimado de 235.25 toneladas de carbono por hectárea durante un ciclo agrícola, siendo mayor el almacén en el suelo que en el subsuelo.

La combinación de factores biofísicos como la altura de 2,780 msnm, un tipo de suelo phaeozem sobre roca ígnea extrusiva, el clima templado y semifrío y la precipitación de 1,000 mm resultan en un sitio que es apto para la agricultura y para el desarrollo de una variedad de maíz única, por lo que se han dedicado un total de 1,087.5 hectáreas de terreno para esta actividad, superficie que es casi 8 veces mayor que el área total de la localidad, razón por la que es relevante mantener y mejorar las prácticas agrícolas que favorezcan una buena dinámica de carbono para mantener la productividad del suelo a lo largo del tiempo, evitando que se tengan que abrir nuevos campos de cultivo en las cercanías del APFFNT.

Las propiedades químicas del suelo y subsuelo indican que posee las condiciones adecuadas para el uso agrícola, todos estos valores no difieren mucho en cuanto al suelo o al subsuelo. El valor de la DR menor a 2.65 gr/cm³ indica presencia de MO, la DA es baja con valor entre 1.2 y 1.3 g/cm³ indicando una textura de suelo arcillosa que posee una buena capacidad de flujo de aire y agua, para la porosidad se tiene un valor cercano al 50%. Los valores de pH oscilan de acuerdo al estado en el que se encuentre la materia orgánica, pero en general son valores ácidos que indican presencia de MO.

Con la información de campo y laboratorio obtenida se logró identificar los factores que modifican la dinámica de captura de carbono en el suelo, cumpliendo con el objetivo general del estudio.

Se demostró que la presencia de arvenses modifica positivamente la captura de carbono durante la etapa final de crecimiento del cultivo, sin embargo, es un factor

que se debe controlar para evitar daños en el maíz. La posterior reincorporación parcial de algunos restos de cosecha y arvenses al suelo durante el periodo de barbecho produce un aumento de carbono, pues fue durante este periodo que se observó el mayor incremento de dicho valor. Así también, la mezcla de estiércol de bovino y equino tuvo el mismo efecto en comparación con la aplicación de solo gallinaza y solo estiércol bovino.

En contra parte, es posible que sean la erosión del suelo y la oxidación de la MO los factores que afectan negativamente esta dinámica. En Zaragoza, durante más de 50 años se han realizado prácticas agrícolas que implican el volteo del suelo favoreciendo dichos procesos. Por lo que, de no modificar estas prácticas, a lo largo del tiempo el suelo del sitio continuará perdiendo carbono y en consecuencia también se disminuirá el rendimiento del suelo y la producción del grano.

En comparación con la captura de carbono de los sitios a los que se hizo referencia en el apartado 2.6 y considerando que el promedio de C capturado durante un solo muestreo en el presente estudio es de 58.81 toneladas de C por hectárea, se tiene que: los suelos de Zaragoza capturan 25.91 toneladas más que los suelos de cultivo de maíz de la Ciudad de México y 12.71 toneladas más que los sitios de cultivo de la misma ciudad. Pero han almacenado menor cantidad que los suelos de pastizal y pradera de Argentina, y almacenaron 4 veces menos carbono que los suelos forestales del municipio de Coatepec, Estado de México.

Sin embargo, para que a un suelo agrícola se le reconozca como sumidero de carbono como lo establece la CMNUCC es necesario considerar otros aspectos además de la captura de carbono en el suelo, tal como el carbono existente en los residuos de los cultivos y las emisiones de CO² de las diferentes actividades agrícolas realizadas, para verificar que en efecto se está colaborando a disminuir las emisiones de carbono más que a producirlas.

Durante la realización de este estudio se identificó que la mayor limitación fue la carencia de información debido a la poca disponibilidad de los participantes, lo cual

afecto parcialmente la obtención de resultados, por lo que para estudios posteriores se sugiere tratar de cubrir completamente esta variable.

Por último, a partir de la elaboración de esta investigación se logró identificar algunos otros temas de estudio relevantes para tener mayor comprensión sobre la dinámica de la captura de carbono en un suelo agrícola, tales temas son:

1. Si los minerales ferromagnesianos tienen alguna implicación con el COS o que actividades agrícolas favorecen la presencia de estos elementos.
2. Si los insumos químicos aplicados al suelo o al cultivo puede aumentar las reservas de carbono.
3. Cuanto carbono se pierde en un suelo agrícola con prácticas convencionales a través de un largo periodo de tiempo.

7 Referencias.

- Aguirre, S., Piraneque, N y Vázquez, J. (2018). Características edáficas y su relación con usos del suelo en Santa Marta, Colombia. *Ciencias Agrícolas*. 14(1). 244.
- Agundis, O., (1984). Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el combate de la maleza. México: INE.
- Altamirano, R. y Medina, O. (2018). México, principal emisor de GEI en América Latina. Tomado de <https://petroquimex.com/mexico-principal-emisor-de-gei-en-america-latina/>
- Asociación Española Agricultura de Conservación. (s/f). La agricultura y el cambio climático (1). Tomado de https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE_AGRICARBON_Ficha_Tecnica_Agricultura_Cambio_Climatico_ES.pdf
- Báez., A. Grageda., O. y Olivares, E. (2019). Evaluación de tres sistemas de cultivo en la acumulación de carbono del suelo y emisiones de CO₂ en un Vertisol. Programa Mexicano del Carbono. Síntesis 2019. 132-142
- Banco Mundial (2013). *World Development Indicators 2013*. Washington, DC: World Bank
- Bayer, C. y Mielniczuk, J. (1997). Características químicas do solo afectadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21: 105-112.
- Becerra, C., González, I., Vidal, V., De la Mora, C y Balderas.,G. (2019). Carbono en la raíz de genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en Nayarit, México. Programa Mexicano del Carbono. Síntesis 2019. 149-154.
- Beltrán, J., Huachi, L., León, E y Bonifaz, N. (s.f). Evaluación de la actividad microbiana en el suelo en respuesta a la aplicación de abono compost y su efecto en la producción en pastos. Tomado de <https://infortamboandina.co/apc-aa-files/a944b6c7b69099b8dc1b99fe7caafa96/articulo-ii-deber-curso.pdf>
- Benavidez, H y León, E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático. Tomado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Brady, N. C. (2010) "Elements of the Nature and Properties of Soils", Pearsons.

- Calegari, A. y Alexander, I. (1998). The effects of tillage and cover crops on some chemical properties of an oxisol and summer crop yields in southwestern Paraná, Brazil. *Advances in GeoEcology* 31: 1239-1246
- Campbell, C.A y Souster, W. (1982). Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. *Canadian Journal of Soil Science*. 62 (4).
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2018). Recomendaciones para protegerte de los efectos del viento. Tomado de <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/7-recomendaciones-para-protegerte-de-los-efectos-del-viento-si-estas-en-la-calle?idiom=es>
- Céspedes, F. E., Fernández, J. A., Gobbi, J. A., y Bernardis, A. C. (2012). Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Revista fitotecnia mexicana*, 35 (1).
- Ciampitti, I., Boxler, M y García, O. (s/f). Nutrición de Maíz: Requerimientos y Absorción de Nutrientes. *Informaciones agronómicas*. Tomado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/\\$FILE/14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/$FILE/14.pdf)
- CIMA Centro de Información de Mercados Agroalimentarios. (2020). Reporte del mercado de maíz. Tomado de: https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2020/Reporte_mercado_maiz_200120.pdf
- CIMMYT Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo. (s/f). La agricultura de conservación en México y más allá. Tomado de: conservacion.cimmyt.org/es/component/.../71-resumen-sobre-ac-y-cambio-climatico
- Cleveland, C. C. y Lipzitin, D. (31 de julio de 2007). C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? (85). P 235.
- CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (s/f). Maíces. México: CONABIO. Tomado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices>
- CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2017). Razas de maíz en México. México. CONABIO. Tomado de <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/grupos/cacahuacintle.html> [Accessed 26 Nov. 2017].
- Consejería de agricultura y agua. (2009). Agricultura Murciana como sumidero de CO₂. Tomado de: http://www.lessco2.es/pdfs/ORDEN_LESSCO2.pdf

- De la Cruz, B. (2015). Química agrícola informe de prácticas. (Tesis). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- De la Mora, C., V, Lucía., González I., Martínez, E., Iñíguez, S. y Santiago, N. (2019). Secuestro de carbono en terrenos cultivados con Agave azul (Agave tequilana Weber) en Arandas, Jalisco. Programa Mexicano del Carbono. Síntesis 2019. 143-148.
- Diario Oficial de la Federación. (2002). NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. México: Secretaría de Gobernación. Tomado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002
- Doebley, J. e Iltis, H. (1980). Taxonomy of Zea (Gramineae). I. A subgeneric classification with key to taxa. Amer. J. Bot. 67(6): 982-993.
- Donovan, M. (2018) ¿Qué es la Agricultura de Conservación (AC)? Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo. Tomado de: <http://conservacion.cimmyt.org/es/ique-es-ac>
- Espinosa, J. y Molina, E. (1999) Acidez y encalado de suelos. IPNI.
- Espinosa, L.M., Balderas, M. A. y Cabadas, H. V. (2013). Caracterización Geomorfológica del Área Natural Protegida Nevado de Toluca: Complejo de Volcanes Nevado de Toluca y San Antonio. Ciencia UAT, 9(1), 8-12.
- Espinoza, Y. (2005). Secuestro de Carbono en el Suelo. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, (1).
- Estrada, M.M. (2005). Manejo y procesamiento de gallinaza. Revista LASALLISTA de Investigación, 2 (1), 43-48.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma. FAO.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Roma: FAO.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). Mapa de carbón orgánico del suelo. Tomado de <http://www.fao.org/3/i8195es/l8195ES.pdf>
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.. (s/f). Portal de Suelos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas. Tomado

de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014). Emisiones de GEI de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra en América Latina y el Caribe. Tomado de <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/238841/>

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Tomado de https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=K-JwJZw1hMwC&oi=fnd&pg=PP10&dq=porosidad+del+suelo+agr%C3%ADcola&ots=gigPd8un1F&sig=vYc0mh1XLb3_IV0PwwvmfC18m8&redir_esc=y#v=onepage&q=porosidad&f=false

FAO. (2010). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Tomado de <http://www.2000agro.com.mx/analisis/cambio-climatico-amenaza-el-suministro-de-alimentos/>

Follet, R. (2001) Soil management concepts and carbon sequestration cropland soils. *Soil & Tillage Research* 61: 77-92.

García, B., Alvares, G., Mireles, P., Orozco, M., y Reyes, M. (2014). Estimación del carbono orgánico del suelo y su relación con prácticas locales de manejo en sistemas agrícolas. In: Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis 2014. México: Fernando Paz Pellat, Julio Wong González, pp.136-143.

Gardi, C. & Jeffery, S. 2009. *Soil Biodiversity*. Luxembourg: Joint Research Center; Institute for Environment and Sustainability.

Gerdel, L. (s/f). Densidad aparente del suelo: qué es, importancia, valores y más. Tomado de <https://magicanaturaleza.com/c-suelos/densidad-aparente-del-suelo/#Importancia>

Gobierno de México. (11 de septiembre de 2017). Objetivo de desarrollo sostenible 2: Hambre cero. Tomado de <https://www.gob.mx/agenda2030/articulos/objetivo-de-desarrollo-sostenible-2-hambre-cero>

Hernandez, R., Fernandez, C. y Baptista, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. México: Editorial Mc Graw Hill.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). *Métodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.

- Huggins, D. R., Allmaras, R.R., Clapp, R. E., Lamb, J. A. y Randall, G. W. (2007). Corn soybean sequence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 145-154.
- Ibáñez, J.J (2007). Poros del suelo: Tamaños y funciones. Madrid Blog. Tomado de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/20/61764>
- INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. México: Gobierno de México. Tomado de : <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- INECC Y SEMARNAT. (2017). México reafirma su apoyo y compromiso con el Acuerdo de París para detener los efectos del cambio climático global. México: Gobierno de México. Tomado de <https://www.gob.mx/inecc/articulos/mexico-reafirma-su-apoyo-y-compromiso-con-el-acuerdo-de-paris-para-detener-los-efectos-del-cambio-climatico-global-110277?idiom=es>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Compendio de Información Geográfica Municipal Calimaya. Tomado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010)b. Censo de población y vivienda 2010.
- Institución Catalana de Estudios Agrarios de Catalunya. (2018). Mapa de las reservas de carbono orgánico en los suelos =agrícolas de Catalunya. Tomado de: <http://blog.creaf.cat/es/noticias/los-suelos-agricolas-catalanes-contienen-tanto-carbono-como-el-que-catalunya-emite-en-4-anos/>
- IPCC Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (2008). Cambio Climático 2007. Informe de Síntesis
- IPCC. (2013).Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, p. 195.
- J, Romanya., P. Rovira y R. Vallejo. (2007). Análisis del carbono en suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión en el ámbito mediterráneo. *Revista científica de ecología y medio ambiente*, 16 (1), 50.

- Julca, A., Meneses, L., Blas y Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESIA. (24)1.
- Kanninem, M. (2001). Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. En: Conferencia Electrónica "Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales". CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Lal, R. (1994) Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph No. 21.
- Lal, R. (1999). Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. Prog. Env. Sci. 1: 307-326.
- Lal, R., Kimble, J., Levine, E y E.A Steward . (1995). Soil management and greenhouse effect. Adv. Soil Sci. CRC. Lewis. Boca Ratón. FL
- López, S. (2016). Comparación de las características físicas y químicas de compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos, equinos y ovinos durante las estaciones del año. (Tesis). Universidad Autónoma del Estado de México, Temascaltepec, México.
- López, S., Serrato, R., Castelán, O. A. y Avilés, F. (2017). Comparación entre dos métodos de ventilación en la composición química de compost de estiércoles pecuarios. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 34 (2), 263 - 271. doi: 10.20937/RICA.2018.34.02.07.
- Mann, L. K. (1986). Changes in soil carbon storage alter cultivation. Soil Sci. 142: 279-288
- Marcos, B., Martínez, A. R., López, G. A., López, C. A., y Arteaga, T.T. (2016). La biomasa de los sistemas de producción de maíz nativo (*Zea Mays*) como alternativa a la captura de carbono. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32(3), 362-366.
- Marjan, K (s/f). Former HGIC Horticulture Information Specialist, Clemson University
- Martínez, H. E., Fuentes, E.J.P., y Acevedo, H. E. (2008): Carbono orgánico y propiedades del suelo. - R.C. Suelo Nutr. Veg., vol.8, n.1, pp. 68-96.
- Martínez, M. (1979). Catálogo de Nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México.
- Martínez, Mario; Etchevers, Jorge D. (s.f). CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS AGRÍCOLAS DE MÉXICO: INVESTIGACIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS Terra

- Latinoamericana, vol. 34, núm. 1, enero-marzo, 2016, pp. 125-138 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Martínez, N. (2016). Manejo forestal y almacenes de carbono en el Ejido el Telar, Coatepec Harinas. (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- MasAgro. (s/f). A un año de MasAgro Agricultura de Conservación como base a una agricultura sustentable. Tomado de https://www.cofupro.org.mx/cofupro/images/contenidoweb/file/seminario_fertilizacion/presentaciones_10agosto/dia2_presentacion1_bram_goaverts.pdf
- Mendoza, H. (s/f). Densidad Real y Aparente y Porosidad del suelo. Tomado de https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO
- Municipio de Chihuahua. (2019). Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Tomado de <http://www.municipiochihuahua.gob.mx/transparenciaarchivos/4to%20Trimestre%202019/Desarrollo%20Urbano/CIMTRA/Inventario%20de%20emisiones%20de%20gases.pdf>
- Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Tomado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Nutricontrol. (2020). La importancia del control del pH en cultivos. Tomado de <http://nutricontrol.com/2015/la-importancia-del-control-de-ph-en-los-cultivos/>
- ONU. (2019). Informe sobre la disparidad en las emisiones de 2019. Tomado de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30798/EGR19ESSP.pdf?sequence=17>
- ONU. (2020). Informe sobre la brecha en las emisiones 2020. Tomado de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34438/EGR20ESS.pdf?sequence=35>
- Pérez, G. (s/f). Ciclo geológico del carbono. Tomado de https://www.ciclodelcarbono.com/ciclo_geolgico_del_carbono
- Pico, K. (s/f). Densidad aparente y real. Tomado de https://www.academia.edu/38231680/DENSIDAD_APARENTE_Y_REAL_RESULTADOS
- Pikul, J. y Allmaras, R. (1986). Physical and chemical properties of a Haploxeroll after fifty years of residues management. 50 (1).

- Pioneer. (2015). Maíz crecimiento y desarrollo. Tomado de https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- Reicosky, C. (2002). Long – Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage – Induced CO₂ Loss. In: J. M. Kimble, R. Lal and R. F. Follet (Editors), *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 87-96.
- Reicosky, D. C., Kemper, W. D., Langdale, G. W., Douglas Jr, C. L. y Rasmussen, P. E. (1995). Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil Water Cons.* 50:253-261.
- Reicosky, D.C (2001, 1 de octubre). Beneficios medioambientales del manejo del carbono en el suelo. *Dossier Agricultura de Conservación*. (18). p. 46.
- Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 7, núm. 3, abril-mayo, 2016, pp. 669-680 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México..
- Riscarolli, P. (2020). Piedra pómez para tus plantas: cómo aprovechar sus beneficios. Tomado de <https://www.ecoportel.net/econciencia/vida-consciente/piedra-pomez-para-tus-plantas/>
- Robertson, P. (2004). Abatement of nitrous oxide, methane, and other non-CO₂ greenhouse gases: The need for a system approach. pp. 493-506.
- Romanya, J., Rovira, P., Ramón, V y Sanz M.J. (s/f). La materia orgánica en el suelo. Tomado de <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Romanya-et-al.pdf>
- Ruz, C., y Ulloa, A. L. (2019). Reflexiones sobre el cambio climático y el acuerdo de París, la implementación en México. *Revista de derechos humanos y estudios sociales*. (21), 34-37.
- Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla (2012). “Cultivos del estado de Puebla 2005/2011”. Puebla: GEP. Tomado de <http://laotrasustentabilidad.org/index.php/es/cacahuacintle>
- SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). NOM-021-RECNAT-2000
- SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Protocolo de Montreal | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tomado

de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/protocolo-de-montreal>

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). Estadística de la producción agrícola 2018. Tomado de: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Roma. FAO.

Sundermeier, A., Reeder, R. y Lal, R. (2010). Soil Carbon Sequestration Fundamentals, Columbus, Ohio.

Taboada, M.A y Álvarez, C.R. (2008). Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Tarango, H. M. (2017). Padrón de productores de Zaragoza de Guadalupe. H. Ayuntamiento de Calimaya.

Tate, R. L. (1987). Soil organic matter. Biological and ecological affects. New York: Wiley.

Testa, V.M., Teixeira, L.A.J. y Mielniczuk, J. (1992). Características químicas de um Podzólico vermelhoescuro afetadas por sistemas de culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 16: 107-114

Torres, A. (2013). Estimación de captura de carbono en suelos, bajo diferentes sistemas productivos agropecuarios en el Municipio de Zacazonapan, Estado de México. Licenciatura. Facultad de Planeación Urbana y Regional.

Vela, G., López, J y Rodríguez, M. L. (2011). Niveles de Carbono Orgánico Total en suelos de conservación en el Distrito Federal. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, 77, 18–30. Obtenido de http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/docs/pdfs/publicaciones/inves_geo/boletines/77/bltn77_art_b.pdf

Verhulst, N., Francois, I., y Govaerts, B. (2015 a). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? CIMMYT. Pp. 9. Tomado de: <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/4408/56985.pdf>

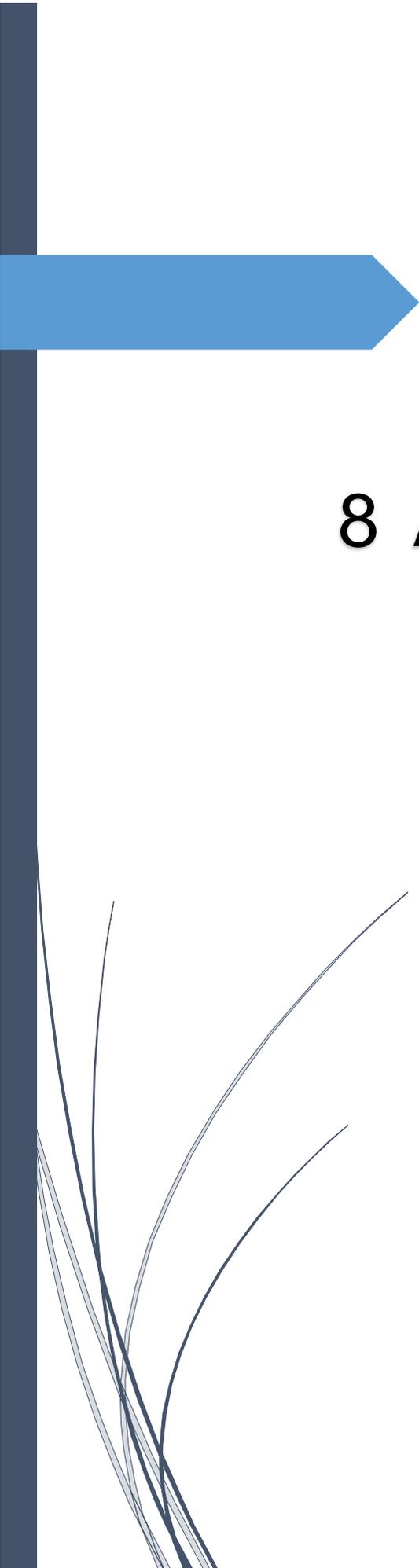
Verhulst, N., Francois, I., y Govaerts, B. (2015 b). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. CIMMYT – MasAgro.

World Resources Institute (2012). Emisiones totales de GEI 2012. Tomado de:
https://ceiba.org.mx/portfolio_page/mexico-noveno-emisor-mundial-2012-de-gei/

WWF World Wildlife Found. (2018) ¿Por qué nos importa el clima? WWF. Tomado de
https://wwf.panda.org/es/que_hacemos/cambio_climatico/_por_que_nos_importa_el_clima_/

Hernández, J., Tirado, D y Beltrán, R.I. (s/f). Captura de Carbono en Suelos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tomado de
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html>

-



8 ANEXOS



ANEXO 1: MATERIAL INICIAL PARA RECABAR INFORMACIÓN.

Familia	Superficie	Años de utilidad	Cantidad cosechada		Numero de terrenos sembrados	
Ubicación						
Terreno: _____	Fases	Fecha	Tipo			
Preparación de terreno					Material utilizado	
Labranza			Mecánica			
			Convencional			
Barbecho						
Siembra						
Escarda					Nombre	Cantidad
Fertilización			Química			
			Orgánica			
Cosecha						
Pisca						
Levantamiento de residuos						
Quema						
Problemáticas						



ANEXO 2: MATERIAL FINAL PARA COTEJAR INFORMACIÓN.

MES	DÍA	TRABAJO	CARACTERÍSTICAS
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			
Enero			
Febrero			
Marzo			
Abril			
Mayo			
Junio			