



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“CARACTERIZACIÓN PARA DETERMINAR EL ESTADO
DE SUELOS AGRÍCOLAS DE MAÍZ, EN EL MUNICIPIO
DE MÁRTIR DE CUILAPAN, GUERRERO CON BASE A
SU USO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA
KARLA ITZEL RIVERA NAVA**

**DIRECTORA DE TESIS
DRA. MARIBEL CASTILLO MORALES**

**CO-DIRECTORA DE TESIS
DRA. JANETTE ARRIOLA MORALES**

ABRIL 2024

Contenido

Planteamiento del problema.....	1
Justificación.....	2
Hipótesis	3
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Capítulo 1. Antecedentes	4
1.1 Información general del objeto de estudio.....	5
1.1.1 Cultivo de maíz en México	5
1.1.2 Cultivo de maíz en Guerrero	5
1.1.3 Cultivo de maíz en Mártir de Cuilapan, Apango, Gro.	6
1.2 Marco Teórico	7
1.2.1 Suelo	7
1.2.2 Suelos agrícolas.....	8
1.2.3 Fertilidad del suelo	9
1.2.4 Propiedades físicas del suelo.....	9
1.2.5 Propiedades químicas del suelo	14
Capítulo 2. Metodología	18
2.1 Localización del sitio	18
2.2 Toma de muestra y evaluación de las condiciones del sitio.....	19
2.3 Pruebas cualitativas	23
2.4 Preparación de las muestras.....	25
2.5 Determinación de propiedades físicas del suelo	26
2.5.1 Determinación de humedad por el método de gravimetría.....	26
2.5.2 Determinación de textura	27
2.5.3 Determinación de color	28
2.5.4 Determinación de densidad aparente	29
2.5.5 Determinación de densidad real.....	29
2.5.6 Determinación de estabilidad de agregados	30
2.5.7 Determinación de Coeficiente de Extensión Lineal (COLE)	31

2.6 Determinación de propiedades químicas del suelo.....	32
2.6.1 Determinación de pH del suelo en agua	32
2.6.2 Determinación de pH en el extracto de saturación.....	33
2.6.3 Determinación de conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación.....	33
2.6.4 Determinación de porcentaje de carbono y materia orgánica	34
2.6.5 Determinación de carbonatos	35
2.6.6 Determinación de bicarbonatos.....	35
2.6.7 Determinación de cloruros	36
2.6.8 Determinación de calcio	36
2.6.9 Determinación de magnesio.....	37
2.6.10 Determinación de acidez extraíble	37
2.6.11 Determinación de capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	38
2.6.12 Determinación de nitrógeno total	38
Capítulo 3. Resultados.....	40
3.1 Propiedades físicas.....	40
3.1.1 Resultados de humedad	40
3.1.2 Resultados de Textura	41
3.1.3 Resultados de estabilidad de agregados.	41
3.1.4 Resultados de materia y carbono orgánico.....	43
3.1.5 Resultados de color	44
3.1.6 Resultados de densidad aparente.....	45
3.1.7 Resultados de densidad real.....	46
3.1.8 Resultados de COLE	47
3.2 Propiedades químicas.....	48
3.2.1 Resultados de pH.....	48
3.2.2 Resultados de conductividad eléctrica	49
3.2.3 Resultados de cloruros.....	50
3.2.4 Resultados de carbonatos.....	51
3.2.5 Resultados de bicarbonatos.....	52
3.2.6 Resultados de calcio	53
3.2.7 Resultados de magnesio.....	54

3.2.8 Resultados de capacidad de intercambio catiónico	55
3.2.9 Resultados de acidez extraíble	56
3.2.10 Resultados de nitrógeno	57
Conclusiones.....	58
Recomendaciones	59
Bibliografía	61

Planteamiento del problema.

El maíz, es el tipo de cultivo que se da bajo características muy específicas; siendo la temperatura uno de los parámetros que influye en el rendimiento del maíz, pues, es una planta que requiere una temperatura adecuada para su crecimiento y desarrollo, un aumento de temperatura podría provocar una reducción en la producción de maíz (Lafitte, s.f.), asimismo podría aumentar la incidencia de plagas y enfermedades que empeoran el maíz, ya que las plagas y enfermedades pueden reducir la producción de maíz y aumentar los costos de producción. (Legesse & Beaumont, 2021)

En México, la producción se basa en maíz blanco y amarillo, donde, el maíz blanco está destinado principalmente a la alimentación mientras que el maíz amarillo se destina a la industria alimentaria. (CIMA,2018). En el 2017 según datos de la CIMA, hubo una producción de maíz de 27.8 millones de toneladas, por lo que, esto posiciona a México en el 8º lugar de producción de maíz a nivel mundial, de esta manera, el estado de Guerrero ocupa el 5 % en los principales estados productores.

Los cultivos de maíz en el estado de Guerrero tienen un gran impacto económico, sobre todo en los municipios donde su economía gira entorno a su producción, como es el caso del municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, que acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal (2021) menciona que hay tres productos clave en el sector económico de esta región; producción de agave, maíz para grano y sorgo, asimismo estos cultivos representan la mayor superficie de extensión sembrada, por lo que, la variedad de condiciones edafoclimáticas debido a su ubicación geográfica y relieve podrían involucrar otras variaciones en el pH, textura, estructura, contenido de nutrientes en las plantas que se podrían ver reflejados en el desarrollo de los cultivos y por lo anterior, podría afectar la economía de los productores.

Actualmente, en el municipio de Mártir de Cuilapan, son muy escasos los estudios de caracterización de suelo, debido a esto, no existe suficiente información acerca de prácticas agrícolas sustentables, lo que propicia las malas prácticas del uso de suelo, que se podría reflejarse en una gran pérdida económica y ambiental.

Por tal razón, es necesario, un estudio detallado, que nos permita, conocer las características físicas, químicas y biológicas del suelo como su relación con las características edafoclimáticas, para que estos parámetros nos den una pauta para poder interpretar la capacidad que tiene el suelo en su uso actual.

Del mismo modo, conociendo las características que tiene cada suelo podría implementarse alternativas para el uso adecuado de cada suelo, esto para ayudar a preservar y evitar pérdidas o alteraciones en las producciones actuales.

Justificación

El desarrollo del presente trabajo es fundamental para evaluar el rendimiento del uso de suelo en base a su uso actual, esto, mediante su análisis, que permite orientar sobre el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo, así como las condiciones adversas que pueden perjudicar a los cultivos, tales como la acidez excesiva, la salinidad y la toxicidad de algunos elementos (Cardarrelli & Tranier Pérez, 2022), esto se logra a través de la recopilación de información que nos proporcionan las características, biológicas, químicas y físicas, las cuales brindan una mayor información acerca de la capacidad del suelo, asimismo, presentar con base metodológica y haciendo un comparativo entre la capacidad real (datos de propiedades medidas) y potencial (información obtenida de referencias bibliográficas), acerca de los beneficios que puede tener el suelo sobre características específicas y por medio de ello, hacer más eficaz su uso.

La generación e interpretación del análisis de las mediciones de las propiedades en el suelo beneficia a los productores de la región, debido a que partir de esos parámetros se puede mejorar el trabajo del suelo e incrementar la producción, lo que dará paso a reducir las pérdidas, asimismo, evitar costos altos en la producción, en donde el principal enfoque es una agricultura productiva, con menor impacto ambiental evitando alteraciones que puedan dañar a los ecosistemas que coexisten en el mismo entorno, considerando que el suelo es un recurso limitado.

Por otra parte, el uso de suelo en los últimos años ha incrementado por distintos factores, pero el principal, la demanda alimenticia, el suelo agrícola es un recurso natural limitado, con tendencia al deterioro y que podría representar una baja en fertilidad, debido a sobreexplotación y disponibilidad de superficie, que afecta sus capacidades productivas y compromete la seguridad alimentaria interna. (Urquía-Fernández Robles, 2013). Asimismo la alta demanda del uso de suelos ha ocasionado, la degradación del mismo, lo que ocasiona un grave problema ambiental, que amenaza sobre todo la producción de alimentos, de ahí parte, la importancia de estudiar y reconocer los criterios del uso del suelo, además en el estado de Guerrero los suelos agrícolas tienen un alto impacto económico, pues en ellos se invierten recursos económicos y están destinados para distintos factores; construcción, agricultura, áreas verdes, etc., que año con año van en aumento, la principal razón; el aumento exponencial de la población mundial.

Finalmente es prioridad tener un suelo que garantice un buen balance de nutrientes para así asegurar su fertilidad, preservar los suelos para tener una sociedad sostenible es vital para el desarrollo de la vida.

Hipótesis

- Nula: El suelo utilizado para cultivo de maíz, en el municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, no presenta características químicas, físicas y biológicas favorables que permitan el rendimiento de la producción esperada.
- Alternativa: El suelo utilizado para cultivo de maíz, en el municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, presenta características químicas, físicas y biológicas favorables que permiten la producción esperada.

Objetivos

Objetivo general

Determinar las características físicas, químicas y biológicas de dos suelos, en el municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, para determinar el estado actual del suelo, implementando las metodologías de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los suelos de cultivos de maíz en el municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.
- Analizar los resultados obtenidos de forma integral para determinar el estado actual del suelo, a través de manuales de interpretación.
- Recomendar alternativas para la preservación del suelo.

Capítulo 1. Antecedentes

Durante los últimos años, tras el incremento exponencial de la población, se han buscado alternativas para satisfacer la demanda de alimentos, por lo que, se ha recurrido al uso de pesticidas y fertilizantes, que garanticen una producción en grandes masas y en lapsos de tiempo cortos, lo que ocasiona que los suelos pierdan la fertilidad que tienen y que los productos no contengan los nutrientes que se requieren.

El suelo es el fundamento del sistema alimentario, esto, porque el 95% de nuestros alimentos proviene del suelo. Los suelos son la base de la agricultura y el medio en el que crecen casi todas las plantas productoras de alimentos. Si están saludables, producen cultivos sanos que a su vez nutren a las personas y los animales (Palmer, 2018).

Hay muchos factores que causan la degradación y pérdida de los suelos, la principal es la sobreexplotación; hacen que los minerales esenciales en el suelo (nitrógeno, fósforo, magnesio, potasio y calcio) se reduzcan, lo que ocasiona que las raíces de las plantas no se desarrollen de una manera correcta, asimismo la erosión de los suelos; que afecta directamente a las propiedades químicas del suelo, teniendo consecuencias negativas en la producción agrícola y la inocuidad de los alimentos, del mismo modo la destrucción de los bosques, que es provocada por el convertimiento de los bosques en cultivo, sin dejar de lado los incendios, lo que provoca esta deforestación es un aumento directo a la temperatura del planeta, lo que pondría en riesgo diferentes cultivos, pues la mayoría de ellos se desarrollan bajo ciertas características específicas.

Por lo anterior, un suelo fértil puede acabar convertido en estéril ya que el proceso de degradación puede ser muy rápido. Los suelos cubiertos de vegetación, como los bosques, conservan su fertilidad a lo largo del tiempo, pero en los terrenos que se utilizan para el cultivo se va reduciendo la cantidad de nutrientes, además, son más fácilmente erosionables por la lluvia, el viento y la actividad humana. (Naturaliza, 2019). Por otra parte, los terrenos no fértiles provocan en la diversidad de especies las migraciones hacia otros territorios donde sus necesidades de nutrición se puedan ver cubiertas, lo que causaría una alteración en los ecosistemas. Cuidar de los suelos, sin duda es una labor muy importante, pues dependemos de ellos para alimentarnos, además, la regeneración de los suelos es un proceso lento.

Finalmente, es de suma importancia conocer e interpretar las características específicas de cada uno de los suelos, para que se puedan trabajar de una manera más sostenible, sin correr el riesgo de perder la fertilidad de los suelos en lapsos de tiempo cortos.

1.1 Información general del objeto de estudio.

1.1.1 Cultivo de maíz en México

En México, el maíz tiene un papel importante en la alimentación. El maíz (*Zea mays ssp. mays*) es un pasto de la familia botánica *Poaceae* o *Gramineae*, al igual que el trigo, el arroz, la cebada, el centeno y la avena. El proceso de domesticación del maíz inició hace aproximadamente 10,000 años, la cual está, muy asociada a la invención y desarrollo independiente de la agricultura en Mesoamérica (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2022).

El grano de maíz es el cultivo que genera mayor valor económico en México, por lo que se cultiva en los 32 estados del país, además México es el 7º productor de este grano a nivel mundial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

Cabe destacar que según datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020), el 60% de la producción del maíz viene de pequeños productores, por lo cual, la caracterización de los suelos agrícolas de maíz es importante, para comprender las necesidades a las que se enfrentan los productores de cada zona del país, que trabajan con estos cultivos.

La producción de maíz en México se basa en dos tipos de maíz principalmente, maíz blanco y amarillo, siendo el maíz blanco el que más se produce en México.

El volumen del maíz blanco satisface en su totalidad la demanda nacional y su principal uso es en el consumo humano, por otra parte, a nivel mundial, el maíz amarillo presenta el mayor porcentaje de superficie sembrada y volumen de producción, en contraste con México, donde el maíz blanco ocupa el primer lugar (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2019).

1.1.2 Cultivo de maíz en Guerrero

Los usos del maíz en el estado de Guerrero son muy variados, pues van desde la gastronomía hasta la agricultura. Hay que destacar que Guerrero ocupa diferentes tipos de maíz para la elaboración de pozoles, que son los principales atractivos en su gastronomía.

Guerrero ocupa el sexto lugar en producción de maíz a nivel nacional y durante el 2018 registró una cosecha de un millón 335 mil 918 toneladas, con 90 por ciento de grano blanco y el resto amarillo o maíz azul (Representación agricultura, Guerrero, 2019).

Aproximadamente en el estado de Guerrero 370 mil campesinos tienen al cultivo del maíz como su principal fuente de alimentación e ingresos, con cosechas de 2.7 a 3.5 toneladas por hectárea en promedio, del mismo modo los maíces nativos son considerados de carácter patrimonial y estratégico, reconociéndose como sistemas

genéticos regionales vivientes, donde su persistencia es un acto de resistencia y de autonomía local (Cortez & Reyes, 2020).

En el estado de Guerrero, las condiciones climatológicas son parte fundamental, pues presenta características de clima subhúmedo, que ayuda al desarrollo de los cultivos de maíz, del mismo modo, las temporadas de siembra van desde mayo hasta agosto y se cosecha en septiembre y octubre.

Por otra parte, según datos de la SIAP, (2020) en Guerrero, se obtuvo una producción de maíz en grano de 100,544 toneladas, a finales de julio de ese mismo año, lo cual representó una gran entrada económica al estado.

1.1.3 Cultivo de maíz en Mártir de Cuilapan, Apango, Gro.

La producción de maíz es uno de las más importantes en el municipio, debido a que es una de las actividades con mayor aporte económico, del mismo modo, casi todos los productores de la región han realizado esta producción de maíz por más de cuarenta años.

Según datos de Santos Cuadratín, (2020), Apango, cuenta con alrededor de 100 ejidatarios y casi 450 productores, en donde, las cosechas se dan en los meses de septiembre a octubre, que es cuando las lluvias se hacen presentes en la región.

Por otra parte, Santos Cuadratín, (2020) también mencionó que los representantes del grupo de productores demandan que es necesario que se envíen técnicos para realizar estudios de caracterización suelo y también para la orientación técnica del fertilizante, pues en el 2019 se tuvieron problemas con la producción, las principales razones; la reducción de sus cosechas, según informes de los productores antes se daban más de seis toneladas y en ese año apenas se dieron cuatro.

Por lo anterior, al desconocer cuánto pueden cambiar las características del suelo conforme a las condiciones climatológicas que se presentan y que van cambiando año con año representa un riesgo económico para los productores de la región.

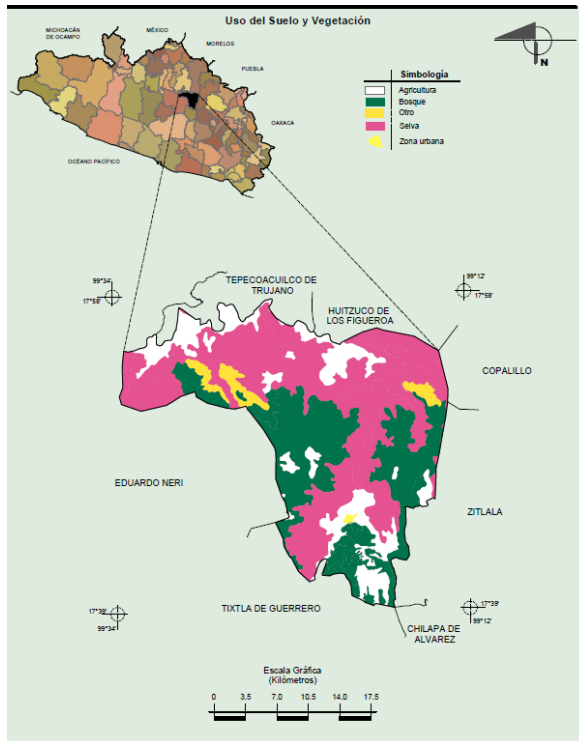
Cultivo de riego temporal

La producción de cultivos, en el municipio de Mártir de Cuilapan son principalmente de riego temporal, por lo que, la producción de estos cultivos depende de la presencia de lluvias y de la capacidad de retención del agua de los suelos.

Por lo anterior, esto beneficia de manera económica a los productores de la región, sin embargo, si se llega a producir una alteración con la temporada de lluvias, se perdería la inversión que se ha hecho.

Mapa 1

Uso de suelo y vegetación, en el municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, Guerrero.



Nota: INEGI. Marco Geoestadístico 2010, versión 4.3.
INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Serie III Escala 1:250 000.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Suelo

Como otras palabras comunes la palabra suelo tiene varios significados. Su significado tradicional se define como el medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas (FAO, 2023).

El suelo constituye un elemento fundamental para el desarrollo correcto de cualquier especie vegetal, pues en él se centran factores bióticos que bajo ciertas características forman un ecosistema, variado según el lugar donde se desarrolle.

Por otra parte, el suelo es tan importante como el agua, pues son una parte fundamental en el equilibrio de los ecosistemas, debido, a que funciona como filtro y amortiguador al retener sustancias, protege las aguas subterráneas y superficiales contra la penetración de agentes nocivos y transforma compuestos orgánicos descomponiéndose o modificando su estructura consiguiendo la mineralización (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015).

Por lo anterior, los suelos proporcionan materia primas renovables y no renovables, que son el sustento día a día de los seres vivos que coexisten en la tierra, asimismo, La salud del suelo es necesaria para que tengamos alimentos y para que los bosques, selvas, manglares y zonas áridas coexistan en entornos equilibrados que nos lo afecten.

1.2.2 Suelos agrícolas

Hoy en día, la mayoría de los alimentos que se consumen en el mundo se producen directa o indirectamente en el suelo, lo que representa el supuesto es que el suelo agrícola es un recurso natural limitado, con tendencia al deterioro y baja en fertilidad debido a sobreexplotación y disponibilidad de superficie, que inhibe sus capacidades productivas y compromete la seguridad alimentaria interna. Asimismo, estos factores dificultan garantizar la seguridad alimentaria de las naciones en el futuro (Rojas Martínez & Torres Torres, 2009).

Por lo tanto, el suelo agrícola, además de un medio de producción, es un factor estratégico para la seguridad alimentaria que representa de manera global, debido a esto, la suficiencia de este recurso y su capacidad en función de la fertilidad determina el volumen de alimentos.

La biota del suelo consigue a ser afectada en distintas formas, tanto positivas como negativas, de acuerdo con el manejo y sistemas agrícolas implementados en un campo y dependiendo en la localización de la biota en el suelo, esto por medio de las prácticas agrícolas que ejercen un impacto fundamental en la biota del suelo, sus actividades y diversidad (FAO, 2023).

Según datos de la FAO (2023), alrededor de 99% del suministro de alimentos en el mundo derivan de la producción basada en tierras agrícolas que comprenden cerca de 50-70% de las tierras globales, lo que representa un gran riesgo, si cada día va en incremento la producción de alimentos, puede alterar la fertilidad de los suelos agrícolas, debido a que con el ritmo actual de degradación los suelos pueden amenazar la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

Por lo anterior, una estrategia de seguridad alimentaria que busque atender la disponibilidad interna debe reconocer la importancia que tienen las capacidades del sustrato agrícola, que son aquellos, cuya fertilidad está respaldada por sus propiedades físicas, químicas y biológicas que no presentan limitaciones.

1.2.3 Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas y que consisten en la capacidad de suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y el desarrollo de las plantas, estas características no actúan independiente más bien armónicamente, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo (Sánchez V., 2007).

La productividad del suelo es su capacidad para producir cultivos. Para que el suelo sea productivo es necesario que sea fértil. Sin embargo, un suelo fértil no es necesariamente productivo, dado que las condiciones óptimas en la que produce alimento no son las correctas, además, la fertilidad del suelo, no es suficiente para el cultivo de los alimentos o plantas sino, el clima y las condiciones topográficas juegan un papel muy importante en el desarrollo, asimismo de las propiedades físicas, químicas no actuando independiente sino en armónica relación, que hacen que un suelo fértil tenga una estructura y profundidad adecuadas para proporcionar estabilidad al suelo y lo que se produzca en él.

Finalmente, la fertilidad del suelo depende de tres propiedades esenciales: su estructura física, su composición química y su diversidad biológica. Juntos garantizan la conservación de suelos agrícolas fértiles y saludables (Fertiberia, 2022).

La interpretación de cada una de las propiedades esenciales nos sirve para darle un mejor uso al suelo.

1.2.4 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo aportan información relevante acerca de los muchos usos a los que el hombre los sujeta. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso del suelo, conocer las propiedades físicas, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas y en la producción de alimentos en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004).

Las propiedades físicas incluyen color, textura, estructura, compactación, permeabilidad y la capacidad de retención, que son los que influyen en el desarrollo de los cultivos.

Humedad

El contenido de humedad del suelo se determina como la cantidad de agua presente en el suelo, asimismo, el potencial de humedad muestra el grado en que el agua se adhiere a las partículas del suelo (Proain tecnología agrícola, 2021).

Suelo arenoso

El suelo arenoso está compuesto por minúsculas partículas de piedra de 0.05 a 2 milímetros de diámetro y tiene una textura rasposa lo que hace a este tipo de suelo más ligero de todos los suelos, y por lo tanto es propenso a la erosión por el agua y el viento si no existen plantas vivas en él, (Grupo SACSA, 2015). Además de que es un suelo muy poroso asimismo estos suelos tienden a tener un pH ácido, lo cual no es factible para que se desarrollen ciertos cultivos.

Suelo francoso

Los suelos francos se caracterizan porque contienen más nutrientes, humedad y humus que los suelos arenosos, debido a esto, tienen mejor drenaje e infiltración de agua y aire que los suelos ricos en limo y arcilla, y son más fáciles de cultivar que los suelos arcillosos, (Academia Lab, 2023). Tienen un tamaño de partícula que va 0.05 mm – 0.002 mm.

Suelo arcilloso

Los suelos arcillosos son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos, (FAO, 2023). Tienen un tamaño de partícula menor que 0.002 mm, por lo que son las partículas más pequeñas.

La importancia de conocer la granulometría es que permite identificar características que están directamente relacionadas con la fertilidad; la aireación, la capacidad de retención del agua, capacidad de retención de los nutrientes.

Color

El color del suelo refleja distintos procesos edafogénicos, la cual está estrechamente relacionada con el material parental. Está determinado principalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca parental. (Vargas Rojas, 2009). Para comprender lo que representa el color del suelo, debe tenerse en claro, que viene estrechamente relacionada con la mineralogía de sus horizontes.

La determinación del color se toma a partir de una muestra en húmedo para cada horizonte, esto, por medio del uso de tabla de colores de Munsell (Munsell Soil Color Chart). Los colores deben ser designados de acuerdo con el matiz (*hue*), la luminosidad (*value*) y el croma (*chroma*) (Vargas Rodríguez, Cerón González, Olivares Martínez, Bobadilla Ballesteros, 2020). Esta determinación es profunda a la hora de observar, pues el color nos brinda información acerca de diferentes características del suelo; contenido de materia orgánica, debido a que estos

constituyen en primer lugar el color del suelo, del mismo modo, la clasificación del suelo, por destacar algunas.

De acuerdo con lo que mencionan Rucks et al., (2004), al color del suelo, los constituyen los siguientes minerales; óxidos, sulfuros, sulfatos y carbonatos. Tomando en cuenta las características por color, se reflejarán de la siguiente manera:

- Los colores claros como el blanco reflejan presencia de minerales blancos o incoloros.
- Color negro, presencia de manganeso
- Coloración que, desde rojo, beige, anaranjado y, por otra parte, del gris al verde, presencia de compuestos de hierro, estos pueden intervenir solos o en presencia de otros elementos.
- Los compuestos orgánicos, que se reflejan de color negro, gris o parda.

La determinación del color no siempre es exacta debido a que cada uno puede percibir el color de diferente manera, es por ello que el uso de la tabla de Munsell ayuda a determinar el color de una manera más exacta.

Densidad

La densidad es una propiedad importante de una sustancia, debido a que determina el cociente de la masa entre el volumen. De manera general se puede expresar en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

Por otra parte, la densidad del suelo está directamente relacionada con otras características; textura, estructura, color y consistencia.

Densidad aparente

Es la relación que existe entre la masa del suelo entre volumen total, esto quiere decir; el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por un espacio poroso (SEMARNAT, 2002).

En general, la densidad aparente se ve afectada por diversos factores, como el tipo de suelo, su estructura, contenido de materia orgánica, grado de compactación y humedad, del mismo modo, la densidad aparente del suelo influye en la disponibilidad de agua, la aireación y la penetración de las raíces de las plantas. (FAO, 2023). Los suelos con alta densidad aparente pueden tener dificultades para retener el agua y permitir el desarrollo de las raíces, lo que afecta negativamente el crecimiento de las plantas mientras que una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas.

Densidad Real

En base a Rucks et al., (2004) la densidad real se le considera cuando se determina obteniendo el peso seco de la muestra de suelo y el volumen de los sólidos de la muestra.

Asimismo, el valor de la densidad real tiene relación con la porosidad y densidad aparente. Es poco variable y en suelos minerales oscila alrededor de $2.65 \frac{g}{cm^3}$, además, al aumentar el contenido de materia orgánica se reduce la densidad real de los suelos (Departamento De Ambiente Y Recursos Naturales Facultad De Ciencias Agrarias Y Forestales, 2019).

Este parámetro es más constante y menos variable que la densidad aparente, ya que no se ve influenciada por los cambios en la porosidad debido a la compactación o contenido de agua del suelo.

Estabilidad de agregados

La estabilidad de los agregados es la capacidad que presenta el suelo para conservar el estado de su espacio sólido y poroso cuando se presenta a diferentes procesos de deterioro que afectan los procesos de floculación y cementación, tales como la labranza, el tráfico, la humectación y el secado (Lince Salazar, Castro Quintero, & Castaño, 2020).

La estabilidad de los agregados es un parámetro importante, porque se relaciona con la sostenibilidad del suelo.

Por otra parte, el tipo de uso de suelo y las prácticas agrícolas, influyen directamente en la estabilidad de los agregados del suelo pues estas prácticas su principal objetivo es aumentar y conservar la materia orgánica. La destrucción de los agregados reduce la porosidad, lo que hace más difícil la infiltración y a su vez aumenta la escorrentía de agua superficial (TECNAL, s.f.).

Porosidad

Los poros del suelo son espacios que alojan agua, gases y la actividad biológica del suelo, por lo que, la porosidad representa el volumen total de poros y esto se relaciona directamente con la capacidad de almacenamiento y movimiento del agua, ya sea en el suelo o en la relación agua - suelo - planta, la tasa de difusión de los gases del suelo y el crecimiento radicular, resultan no solo de este volumen total, sino también de la distribución por tamaño de estos poros (Departamento de ambiente y recursos naturales facultad de ciencias agrarias y forestales, 2019).

Existe una clasificación de poros de acuerdo con su tamaño, de manera general los poros que retienen el agua de las plantas oscilan entre $2\mu m$ y $5\mu m$ y entre las características particulares se encuentra:

- Se les considera Microporos a los que tienen un tamaño $< 2\mu m$ La microestructura es el arreglo de las partículas primarias para posteriormente formar las secundarias (Rucks et al., 2004). Además, los microporos son los encargados de retener el agua que no se encuentra disponible para los cultivos.
- Los macroporos son los que tienen un tamaño mayor $> 75\mu m$ es el arreglo de las partículas secundarias y primarias visibles a simple vista. Además, la macroporosidad es responsable de la aireación y drenaje del suelo, además de ser el espacio en que se desarrollan las raíces (Rucks et al., 2004).

Finalmente podemos decir que a medida en que los poros disminuyen su tamaño las fuerzas de retención del agua aumentan.

Coeficiente de Extensibilidad Lineal (COLE)

Se basa en la diferencia de longitud entre las muestras de suelo húmedo y la longitud de muestras de suelo seco.

El Soil Survey Laboratory (2014) considera la determinación del COLE puede usarse para hacer inferencias sobre la capacidad de contracción y mineralogía de la arcilla, por lo que, algunos suelos con contenidos relativamente altos de arcilla tienen la capacidad de hincharse significativamente cuando están húmedos y de encogerse y agrietarse cuando están secos, del mismo modo, este potencial de contracción es importante para las características físicas del suelo (grandes y profundas grietas en estaciones secas), así como para procesos genéticos y clasificación de suelos.

1.2.5 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas están estrechamente relacionadas con la calidad y conductividad eléctrica y con los elementos extractables (P, N y K), asimismo, en que las características físicas reflejan la manera como el suelo almacena y provee agua a las plantas y, permite el desarrollo de los cultivos. Calderón-Medina, et al., (2018).

pH

Es un parámetro que influye en gran medida al desarrollo de los cultivos; disponibilidad de nutrientes, actividad microbiana y procesos biológicos.

Con base en lo que menciona la NOM-021-SEMARNAT-2000, la clasificación de pH se interpreta de la siguiente manera. (Tabla 2)

Tabla 2. Interpretación del valor de pH

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Altamente alcalino	> 8.5

Nota: Método AS-02 determinación de pH NOM-021-SEMARNAT-2000

Los suelos con base al pH que tengan presentan características específicas, con fundamento a lo que menciona Andrades & Martínez, (2022).

Suelos ácidos: son desfavorables para el desarrollo de los cultivos, presentan poca actividad microbiana y pueden ser pobres en nutrientes Ca^{++} , M^{++} , K^+ .

Suelos neutros: Presentan las condiciones óptimas para el desarrollo de cualquier cultivo, además de la asimilación de la mayoría de los nutrientes.

Suelos alcalinos: Presentan alto contenido de nutrientes Ca^{++} , M^{++} , K^+ , lo que puede ocasionar presencia de carbonato sódico lo que trae problemas al suelo de impermeabilidad y compacidad.

Conocer e interpretar el pH del suelo, ayuda a saber que abono se puede utilizar además define el estado cálcico del suelo, por lo que, se puede decidir de se hace una enmienda.

Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad del suelo depende de las concentraciones de iones totales que están presentes en el agua, asimismo, de la movilidad de los iones disueltos (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002).

Esta propiedad nos ayuda a elegir el tipo de cultivo y a establecer de acuerdo con su tolerancia a los niveles de salinidad en el suelo la frecuencia del riego del cultivo (La salinidad del suelo y su fertilidad, 2019).

Materia orgánica

La materia orgánica (MO) está estrechamente relacionada con la actividad microbiana que tiene fijación nitrógeno y fósforo además de que protege al suelo de la erosión, del mismo modo, favorece la estructura del suelo y aumenta la capacidad de la reserva de nutrientes.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH₄ etc.) (FAO, 2023). De esto depende la cantidad de nutrientes que la planta tenga a su disposición.

Por lo anterior un suelo con un índice alto en CIC, tiene la capacidad de retener los nutrientes necesarios mientras que un suelo con índice bajo de CIC tiene baja habilidad de retener nutrientes o tiene bajos porcentajes en materia orgánica.

Referente a lo que menciona Andrades & Martínez, (2022), la clasificación de CIC se puede interpretar de la siguiente manera. (Tabla 3)

Tabla 3. Interpretación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

<i>meq/100g</i>	Clasificación
< 5	Muy bajo
5 – 10	Bajo
10 – 20	Medio
20 – 30	Alto
> 30	Muy alto

Nota: Andrades & Martínez, (2022)

Por lo anterior, los aportes de materia orgánica además de provocar un incremento en la CIC también mejoran las propiedades físicas del suelo ocasionando así, que se incrementa la infiltración de agua, mejorar la estructura del suelo, proveer de nutrientes a la planta y disminuir las pérdidas por erosión (Intagri, 2022).

Cloruros

El ión cloruro en el suelo está asociado a distintos cationes como sodio, potasio, calcio y magnesio, procedentes de la meteorización de las rocas, aguas de riego y fertilización mineral (Arrieché Luna et al., 2014).

Carbonatos y bicarbonatos

Las concentraciones de carbonatos y bicarbonatos en el suelo son una parte fundamental. El contenido de carbonatos de un suelo nos ayuda a definir clases carbonáticas, granulométricas y calcáreas del suelo, del mismo modo, a definir los horizontes cálcicos y petrocálcicos (USDA, Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual, 2014).

Por otra parte, los carbonatos están directamente relacionado con los bicarbonatos, que son constituyentes normales en los extractos acuosos de los suelos salinos.

Por lo anterior, son importantes debido a la tendencia de combinarse con los cationes de Ca y Mg. A medida que el Ca y el Mg disminuyen en la solución del suelo, la relación Na a (Ca + Mg) aumenta, favoreciendo la adsorción del sodio por el suelo y el desarrollo de las condiciones de suelos sódicos (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002).

Calcio

El calcio es uno de los micronutrientes encargado de nutrir a la planta, en el suelo, este elemento está presente en formas variadas; carbonatos y silicatos, por lo que el calcio es responsable de la agregación de las partículas en conjunto con las sustancias húmicas (Peña Datoli,s.f.).

Magnesio

El magnesio total se localiza en formas no disponibles (Mg^{2+} retenido en los coloides el suelo Mg^{2+} retenido en la estructura de minerales primarios y secundarios) para que, en un determinado momento, el Mg disponible para las plantas, dependiendo de algunos factores; humedad y temperatura del suelo, capacidad buffer amortiguadora o tampón (mantener constante el pH) (Vistoso Gacitúa & Martínez-Lagos, 2020).

El magnesio es un nutriente indispensable, debido a que el Mg les permite llevar a cabo el proceso de fotosíntesis además de que al tener niveles bajos de Mg en la planta representa una deficiencia en el crecimiento de la planta, puede presentar; retraso en el crecimiento y tallos delgados y largos.

Fósforo

En el suelo el fósforo puede aparecer de dos formas orgánica e inorgánica. De manera orgánica como restos vegetales, animales y humos, mientras que de manera inorgánica en formas aniónicas (son las que tienen cargas eléctricas negativas), esto es un factor importante para el desarrollo de la planta, (Pernett, 2006).

Además, en la planta tiene un papel importante en la fotosíntesis y el transporte de nutrientes.

Potasio

El potasio en el suelo desempeña actividades específicas como favorecer la formación de hidratos de carbono, factor de la calidad de los productos al aumentar el peso, coloración y el sabor de los productos además de aumentar la resistencia de altas y bajas temperaturas de las plantas (Andrades & Martínez, 2022). Asimismo, tiene incidencia en el balance del agua.

Nitrógeno

Los altos requerimientos de N de las plantas lo convierten en un factor limitante en todos los suelos del mundo. Este nutriente es absorbido principalmente en forma de nitrato (NO_3^-), aunque puede asimilarse como amonio (NH_4^+) (Fertilab, 2023). Es por ello por lo que el nitrógeno forma parte de las estructuras de las plantas, en los aminoácidos y las proteínas.

Acidez extraíble

En la solución del suelo, las altas concentraciones de Aluminio (Al^{3+}) e Hidrógeno activo (H^+) dan lugar a la acidez del suelo. Lo que nos da pauta que el pH, en términos de acidez puede afectar la disponibilidad de algunos nutrientes, por lo que, la producción de cultivos en suelos ácidos frena conseguir altos potenciales de rendimiento y buena calidad de las cosechas (Castellanos, 2021).

Capítulo 2. Metodología

Para la caracterización de las muestras, se tomó como base para el muestreo y determinaciones de las propiedades del suelo, la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, incorporando también, el manual de suelos y métodos de laboratorio del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2014). Asimismo, el trabajo se desarrolló por medio de duplicado en cada muestra y se trabajó con una muestra compuesta.

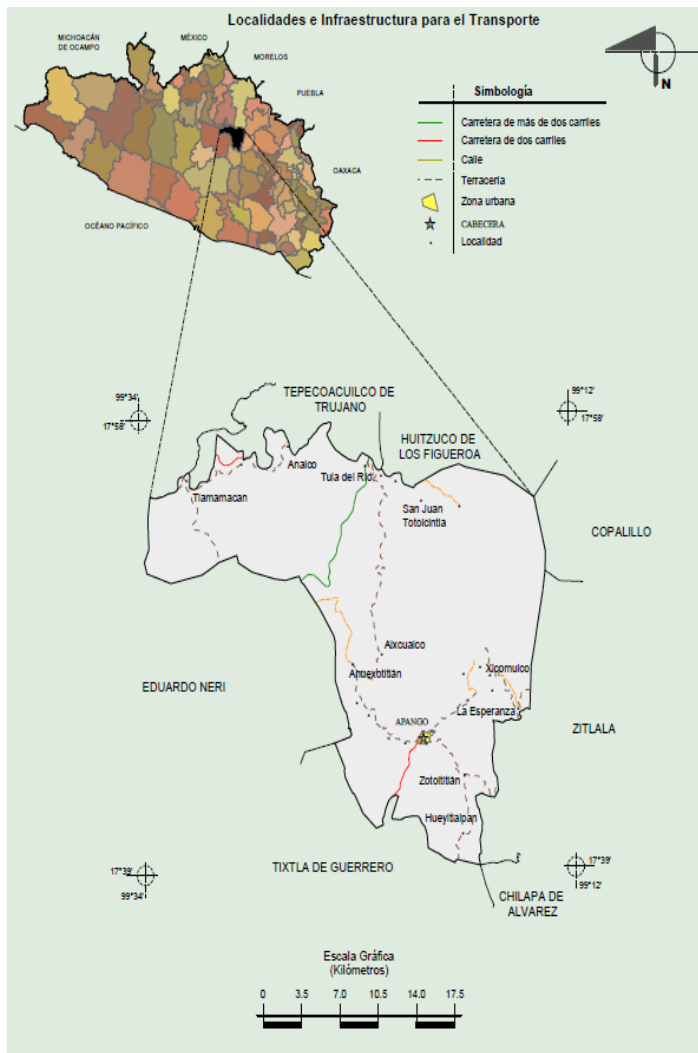
2.1 Localización del sitio

Tomando como referencia a lo que menciona INEGI, (2010) la zona de estudio del presente trabajo se ubica en el Municipio de Mártir de Cuilapan Apango, Gro. Que tiene colindancia en el norte con Tepecoacuilco y con Huitzuco de los Figueroa, mientras que al sur con Tixtla de Guerrero, al este con Zitlala y Copalillo y al oeste con Eduardo Neri.

El clima predominante de la región es caluroso en las riberas del Balsas y templado en las partes altas; la mayor parte del año, la temperatura oscila entre 25 a 37 °C; las lluvias son moderadas, se hacen presentes en los meses de mayo a octubre.

El terreno es montañoso.

Mapa 2. Compendio de información geográfica y localización del municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, Guerrero.



Nota: INEGI. Marco Geoestadístico 2010, versión 4.3
 INEGI. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.

2.2 Toma de muestra y evaluación de las condiciones del sitio.

Para llevar a cabo la parte experimental, se tomaron muestras de suelo de dos sitios agrícolas donde se produce maíz, se hicieron dos caracterizaciones en cada suelo, una antes de la siembra y la segunda después de que se dieron las primeras parcelas de maíz. Los dos sitios de muestreo presentan las características de riego temporal, además de que se han trabajado por medio de monocultivo, que es la práctica de cultivar un único tipo de planta (Silvia Emanuelli et al., 2009), en este caso particular, siendo el maíz, por último, se utiliza un abono orgánico a base de estiércol de vaca.

El abono de estiércol de vaca un recurso valioso, para el manejo orgánico y sustentable del suelo, el estiércol aporta al suelo nutrientes; Nitrógeno, Fósforo y Potasio, estos nutrientes mejoran la calidad del suelo y a mejoran su fertilidad. (NCAT, 2015)

Como dato importante, ambos terrenos han sido trabajados por más de cuarenta años, por lo que antes, la preparación de dichos terrenos se llevaba a cabo por medio de la técnica “fuego agrícola”, esta técnica consistía en prender fuego al terreno como tratamiento para eliminar cobertura vegetal de cosechas previas, eliminación de plagas, etc. En la actualidad esas prácticas ya no son utilizadas, pero pudieron ocasionar daños en la estructura de ambos suelos.

Muestra 1:

Se tomó en un terreno plano, a las afueras de la comunidad, en donde no hay presencia de algún cuerpo receptor de agua, este terreno está aledaño a casas de la misma comunidad.

Imagen Satelital 1. Terreno muestra 1



Nota: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro 7.3.6, (2024)

Figura 2. Vista de frente del terreno donde se obtuvo la muestra 1.



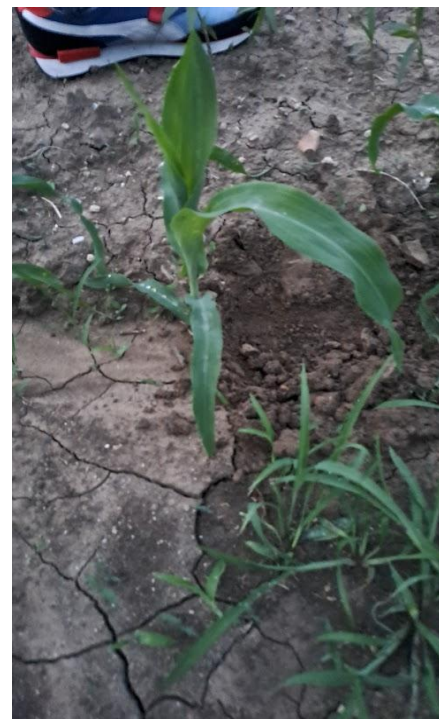
Figura 3. Vista lateral del terreno donde se obtuvo la muestra 1.



Figura 4. Parcelas de Maíz en el terreno de la muestra 1



Figura 5. Altura de las parcelas de maíz muestra 1



Muestra 2:

El terreno en base a los datos georreferenciales tiene un ángulo de inclinación 132.47 grados, tiene aledaño, una barranca que en los últimos años se ha visto muy deteriorada por las actividades antropogénicas, además en este terreno, se usa en una parte para criar ganado y en la otra se renta a una gasera que tiene operando desde el año 2019.

Imagen Satelital 2

Terreno muestra 2



Nota: Elaboración propia con datos de Google Earth Pro 7.3.6, (2024)

Figura 6. Vista de frente terreno donde se obtuvo la muestra 2.



Figura 7. Vista lateral del terreno donde se obtuvo la muestra 2.



2.3 Pruebas cualitativas

Durante la visita de campo, se realizaron pruebas cualitativas previo a la parte experimental con el fin de tener una idea previa a lo que se vería reflejado en las determinaciones posteriores.

Se obtuvieron los siguientes resultados y anotaciones

Tabla 4. Pruebas cualitativas antes de la siembra de maíz

Muestra 1 (terreno plano)	Muestra 2 (terreno con pendiente)
Manganeso Prueba positiva, se observó presencia de Manganeso de manera muy prolongada. Hubo presencia de humo blanca pero muy rápido.	Manganeso Se observó la presencia de Manganeso, pero fue muy rápida. Hubo presencia de humo, pero fue muy poco.
Cloruros No hubo presencia de cloruros	Cloruros No hubo presencia de cloruros
Sulfatos No se encontró presencia de sulfatos	No se encontró presencia de sulfatos.
Carbonatos Si hay presencia de carbonatos en alta concentración.	Carbonatos Hay una alta concentración de carbonatos.
Alcalinidad	Alcalinidad

No hay presencia	No hay presencia
Materiales alifáticos	Materiales Alifáticos
Si hay presencia	Si hay presencia
Materia Orgánica	Materia orgánica
Hay una gran presencia de materia orgánica.	Si hay presencia de materia orgánica.
Infiltración en seco	Infiltración en seco
24 segundos	29.37 segundos
Infiltración en húmedo	Infiltración en húmedo
3: 33 min	57 segundos

Nota: Elaboración propia

Tabla 5. Pruebas cualitativas después de la siembra de maíz

Muestra 1 Terreno Plano	Muestra 2 Terreno con pendiente
Manganeso	Manganeso
No hubo presencia de Manganeso.	No hubo presencia de Manganeso.
Cloruros	Cloruros
Si hubo presencia de Cloruros	Si hubo presencia de Cloruros
Sulfatos	Sulfatos
Se encontró presencia de sulfatos	Se encontró presencia de sulfatos.
Carbonatos	Carbonatos
Si hay presencia de carbonatos en alta concentración.	Hay una alta concentración de carbonatos.
Alcalinidad	Alcalinidad
No hay presencia	No hay presencia
Materiales alifáticos	Materiales Alifáticos
Si hay presencia	Si hay presencia
Materia Orgánica	Materia orgánica
Hay una gran presencia de materia orgánica.	Si hay presencia prolongada de materia orgánica.
Infiltración en seco	Infiltración en seco
11:55 segundos	15 segundos
Infiltración en húmedo	Infiltración en húmedo
22 segundos	26.9 segundos

Nota: Elaboración propia

2.4 Preparación de las muestras

Siguiendo el requerimiento que indica la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 se llevó a cabo el traslado, recepción, registro, secado, molienda, tamizado y almacenamiento de cada una de las muestras analizar.

Para el secado, se extendió en una plancha en donde se dejó secar de 2-3 días y posteriormente se comenzó con el tamizado. Una vez tamizadas las muestras, se almacenaron en bolsas herméticas y etiquetaron las muestras.

Figura 9. *Secado de las muestras*



Figura 10. *Molienda de las muestras*



Figura 11. *Tamizado de las muestras*



2.5 Determinación de propiedades físicas del suelo

2.5.1 Determinación de humedad por el método de gravimetría

Para la determinación de la humedad del suelo se utilizó como referencia el método AS-05 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

El método se basa en la determinación de la diferencia del peso, entre la masa del suelo húmedo y la masa del peso seco. Se utilizaron cilindros de aluminio, en donde se procedió a tomar su peso y el diámetro, posteriormente se agregó la muestra, aproximadamente entre 30 a 50 g.

Una vez recolectada la muestra se selló herméticamente para ser transportada, después se introdujo la muestra a la estufa a una temperatura de 105°C, se dejó secar durante 24 horas y se pasó a un desecador de vacío hasta enfriar.

Finalmente se procedió a tomar el peso final.

Figura 12. *Medición del diámetro del cilindro*



Figura 13. *Obtención del peso del cilindro*



Figura 14. Secado de las muestras



Figura 15. Obtención del peso final de las muestras.



2.5.2 Determinación de textura

Con base en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000 mediante el método AS-09, por el procedimiento de Bouyoucos.

En este método se elimina la presencia de materia orgánica, para eliminar la materia orgánica, se agregó agua oxigenada al 30% a cada una de las muestras.

Se pesaron 100 gramos de cada una de las muestras, y se agregaron en un vaso de precipitado de un litro, posteriormente se fueron agregando de 40 ml de agua oxigenada para eliminar la materia orgánica. El volumen utilizado de agua oxigenada fue alto, debido a que las muestras presentaban una concentración muy alta de materia orgánica.

Una vez eliminada la materia orgánica se pasaron las muestras a parrillas de agitación, se agregó el agitador magnético y se tuvo en agitación, al terminar la agitación se pasó el contenido a una probeta de 1000 ml, se agregó agua destilada para llegar al volumen de 1000 ml.

Una vez teniendo el volumen de 1000 ml, se hizo la agitación con un agitador de mano, posteriormente se tomaron las lecturas con el hidrómetro.

Finalmente, una vez calculados los porcentajes se hace uso del triángulo de las texturas.

Figura 16. Dispersion de partículas

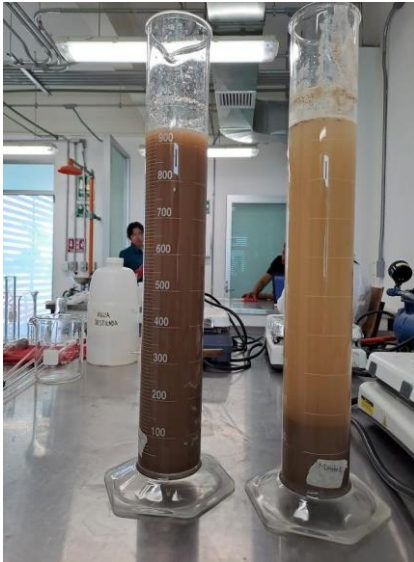
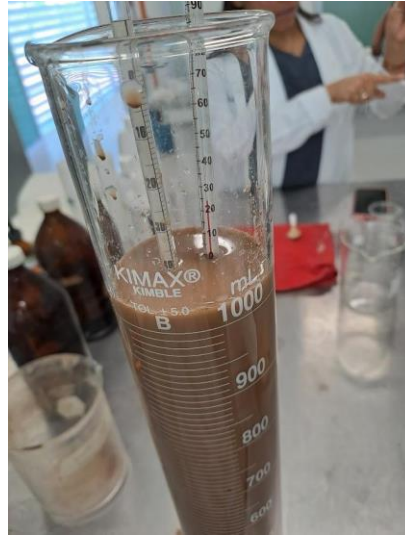


Figura 17. Lectura de hidrómetro y temperatura



2.5.3 Determinación de color

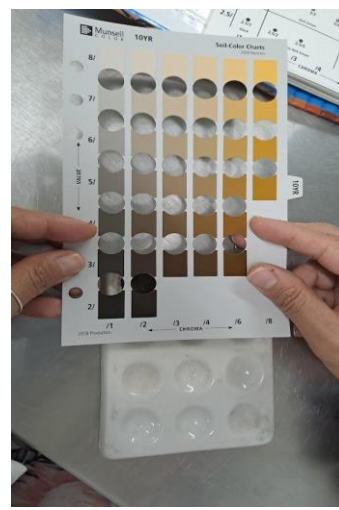
El método utilizado AS-22 para determinar el color del suelo de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021- SEMARNAT-2000, utilizando la carta de Munsell de colores de suelos.

La determinación se basó en el igualamiento del color observado en el suelo, en seco como en húmedo, respecto al color registrado, en cada una de las páginas de la Tabla Munsell, donde se manejan los parámetros de matiz (Hue), brillo (Value) e intensidad (Chroma).

Figura 18. Determinación de color en seco



Figura 19. Determinación de color en húmedo



2.5.4 Determinación de densidad aparente

Método de la probeta.

Para la determinación de la densidad aparente, fue necesario; una balanza y una probeta aforada.

Se peso la probeta limpia y seca, posteriormente se colocó suelo, previamente pesado en la probeta graduada, se golpeó un número determinado de veces y se pesó, el resultado fue, cuanto descendió el peso final del nivel original del volumen (Rosales Neri, 2019).

Figura 20. *Peso de la probeta.*

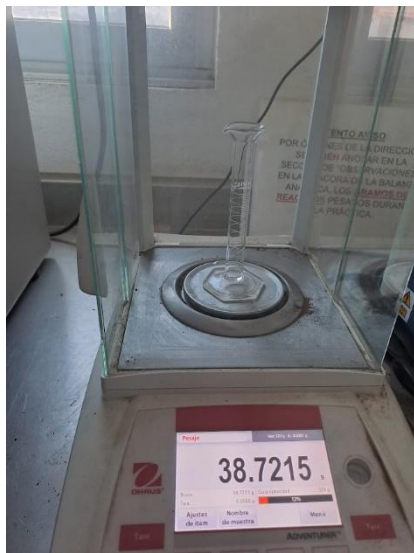


Figura 21. *Volumen final obtenido*



2.5.5 Determinación de densidad real

Determinación de la densidad real con el picnómetro conforme al método AS-04 de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000.

La masa se determinó pesando directamente el suelo y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua (o cualquier otro fluido) desplazado por la muestra de suelo.

Se pesó el picnómetro limpio y seco, posteriormente se agregó 5 g de suelo, se anotó el peso, manteniendo el picnómetro limpio, es indispensable el uso de guantes. Posteriormente se adiciona agua destilada hervida y fría hasta la mitad del volumen.

Se pesó el matraz con agua y se tomó la temperatura y anotar.

Figura 22. *Peso del picnómetro vacío*



Figura 23. *Picnómetro con suelo y agua destilada*



Figura 24. *Toma de temperatura*



Figura 25. *Picnómetro con agua destilada*



2.5.6 Determinación de estabilidad de agregados

Para la determinación de la estabilidad de agregados se utilizó el método del tamizado o método de Yoder, descrito en el manual “Soil Survey Investigations Report No. 51 Versión 2, 2014 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, retomado del Instituto de Calidad del Suelo (1999).

Se colocaron 50 g de suelo seco en el tamiz, para posteriormente humedecerlo. Se llenó el recipiente con agua, donde se introdujo el tamiz y se hicieron oscilaciones.

Una vez finalizadas las oscilaciones, en un vaso de precipitado, se colocó el suelo que quedó en tamiz, se dejó secar la muestra en la estufa a una temperatura de 105°C, para posteriormente tomar el peso.

Figura 26. Arenas en el tamiz



Figura 27. Estabilidad de agregados



2.5.7 Determinación de Coeficiente de Extensión Lineal (COLE)

Para esta determinación se utilizó el método del manual de campo de estudios del suelo y métodos de laboratorio; "Soil Survey Investigations Report No. 51 Versión 2,2014 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, por Robert B. Grossman del Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Personal del Estudio de Suelos.

Se utilizaron cajas petri, en donde se midió el diámetro, posteriormente se le agregó la muestra de suelo a cada una de las cajas petri, se humectó hasta la saturación y consecuentemente se dejó secar.

Una vez seco, se midió la anchura de cada una de las grietas, en donde finalmente, se hizo la sumatoria del ancho de las grietas para determinar el COLE.

Figura 28. Saturación de la muestra



Figura 29. Muestras en seco



2.6 Determinación de propiedades químicas del suelo

Para la determinación de la mayoría de las propiedades químicas del suelo fue necesario obtener el extracto de saturación, para lo cual se utilizó el método AS-16 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

En recipientes de plástico con tapadera hermética se pesaron 120 g de suelo preparado de cada muestra y se registró el peso del recipiente de plástico más suelo. Se agregó agua destilada a las muestras, hasta alcanzar el punto de saturación, posteriormente, se ajustó el embudo büchner al matraz kitazato uniéndose mediante un tapón de plastilina para evitar pérdidas de vacío.

Se puso una poca de la pasta saturada al embudo büchner y se extrajo la solución mediante la activación de la bomba de vacío, una vez recolectado el extracto, se midió el volumen.

Figura 30. *Obtención de pasta saturada*

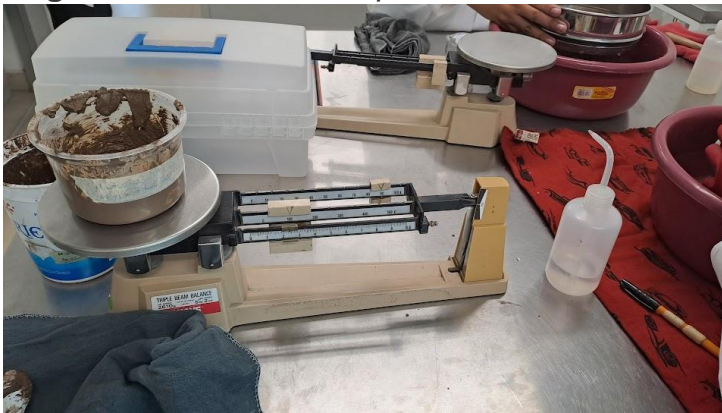


Figura 31. *Obtención del extracto*



2.6.1 Determinación de pH del suelo en agua

Con fundamento en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021- SEMARNAT-2000, el pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo.

Esta determinación se realizó por el método electrométrico. Se pesaron 10 g de suelo y se adicionaron 20 ml de agua destilada agitando por 30 minutos para dejar reposar 15 minutos más.

Una vez calibrado el potenciómetro, se tomó la lectura y se registró.

Figura 32. Determinación *del pH en suelo*



2.6.2 Determinación de pH en el extracto de saturación

Siguiendo el fundamento de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000, mediante el método AS-02, por el método electrométrico.

Una vez calibrado el potenciómetro, se procedió a tomar lectura para determinar el pH.

Figura 33. Determinación *de pH en extracto*

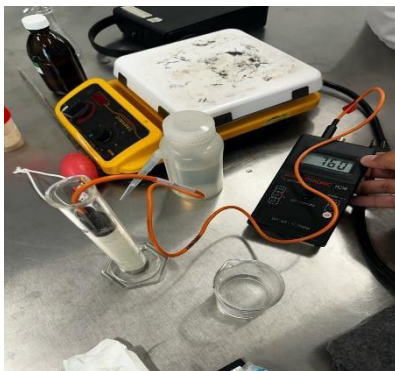


2.6.3 Determinación de conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación

Siguiendo el fundamento de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000, con fundamento en el método AS-18.

Se utilizó el potenciómetro para determinar la conductividad eléctrica.

Figura 34. *Determinación de conductividad eléctrica*



2.6.4 Determinación de porcentaje de carbono y materia orgánica

Con fundamento en el método AS-07 de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021- SEMARNAT-2000, la determinación de materia orgánica del suelo se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black.

Se pesó 0.001g de suelo seco y se colocó en un matraz. Se hizo un blanco con reactivos por duplicado. Se adiciono $K_2Cr_2O_2$ girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo, posteriormente se agregó H_2SO_4 , se agitó y se dejó reposar. Se añadió H_3PO_4 , posteriormente de 3 a 5 gotas de fenolftaleína.

Finalmente se tituló con disolución de sulfato ferroso hasta obtener un verde claro.

Figura 35. *Agitación de reactivos* **Figura 36.** *Determinación de Carbono y materia orgánica.*



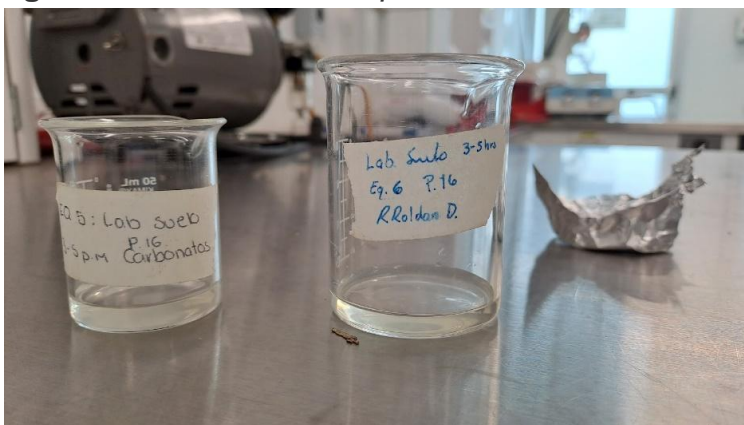
Carbonatos y bicarbonatos

La medición de la concentración de carbonatos y bicarbonatos se realizó conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, conforme el método AS-20.

2.6.5 Determinación de carbonatos

En un vaso de precipitado, se colocó un agitador magnético y se pipeteó una alícuota del extracto de saturación, lo que llevó a agitación. Se añadieron 5 gotas de fenolftaleína, pero al agregar no hubo un cambio de color por lo que se concluyó que este método no percibe la presencia de carbonatos en las muestras, por la baja cantidad que tienen.

Figura 37. No se encontró presencia de carbonatos en las muestras



2.6.6 Determinación de bicarbonatos

A las muestras anteriores de carbonatos se le añadieron gotas de naranja de metilo y se agitó. Se titula la muestra con ácido sulfúrico, hasta para tener de amarillo a un vire color canela.

Figura 38. Muestra con el indicador naranja de metilo



Figura 39. Determinación de bicarbonatos



2.6.7 Determinación de cloruros

El método AS-20 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 también fue utilizado para determinar la concentración de cloruros presentes en el extracto de saturación.

Se preparó un blanco. Se tomo una alícuota del extracto, se agregó indicador de cromato de potasio y se tituló con nitrato de plata al vire de amarillo a rojo vinoso.

Figura 40. *Indicador cromato de potasio*

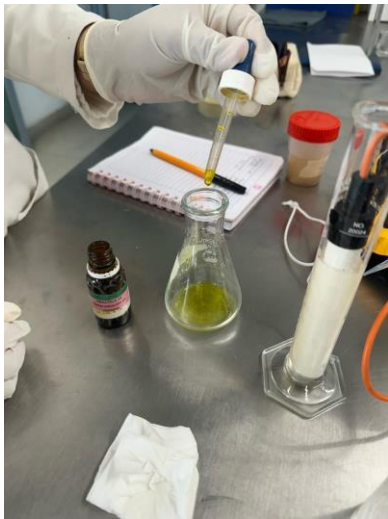


Figura 41. *Cloruros en el suelo*



2.6.8 Determinación de calcio

Para la determinación de calcio se utilizó el procedimiento establecido en el Manual del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), por el método de Titulación EDTA.

Se preparó un blanco. En un matraz erlenmeyer se colocó un agitador y se añadió una alícuota de muestra, que se dejó en agitación. Se agregaron gotas del carbamato y posteriormente se agregó una gota de hidróxido de sodio.

Finalmente se añadió murexida se continuó mezclando, se tituló con EDTA, de rosa hasta un vire de color lavanda.

Figura 42. *Determinación de calcio*



2.6.9 Determinación de magnesio

Para la determinación de magnesio se utilizó el método de titulación EDTA, establecido en el Manual del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

A las muestras anteriores para la determinación de calcio, se le agregaron gotas de HCl, se agitó hasta que la murexida se eliminó.

Posteriormente, se agregó solución buffer y se continuó agitando, se añadió el indicador de Eriocromo T, y se implementó el método titulado con EDTA.

Figura 43. Determinación de magnesio **Figura 44. Magnesio en el suelo**



2.6.10 Determinación de acidez extraíble

Se utilizó el método AS-32, conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 a partir de la adición de BaCl_2 -TEA a pH 8.2

Se hizo un blanco para el lote de las muestras. Se pesó el suelo y se colocó la muestra en el embudo con papel filtro. En un matraz Erlenmeyer se coloca el embudo y la muestra de suelo, posteriormente se agregó BaCl_2 -TEA, se dejó que reaccionara y se infiltró en el suelo. Se colectó hasta el extracto se retiró el embudo y se agregaron gotas de indicador rojo de metilo, finalmente se tituló con HCl, el color de vire de amarillo a rojo.

Figura 45. Infiltración



Figura 46. Vire de las muestras



2.6.11 Determinación de capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se tomaron las muestras de acidez extraíble, y se hicieron lavados con agua desionizada al embudo hasta que ya no se formará precipitado blanco al agregar unas gotas de carbonato de sodio. Una vez terminados los lavados, se hizo pasar una solución de acetato de sodio que se recolectó en el matraz Erlenmeyer.

Posteriormente se agregó solución buffer, se agregaron unas gotas de indicador negro de eriocromo T y se tituló con EDTA.

2.6.12 Determinación de nitrógeno total

Para la determinación de nitrógeno, se utilizó el método micro-Kjeldahl, conforme al método AS-25 de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Se colocaron 0.1 gramos de suelo en un tubo de destilación microKjeldahl seco, se agregó 1.1 gramos de catalizadores y solución de H_2SO_4 , se agitaron para incorporar los elementos. Se colocó y calentó en una unidad digestora hasta que los vapores de H_2SO_4 se condensaron hasta el tercio inferior del cuello del tubo digestor. Una vez terminada la digestión, se agregó en el tubo agua destilada.

Se colocó el tubo en el destilador microKjeldahl y se añadió solución de NaOH. Se inició la destilación utilizando un vaso de precipitado para recoger el destilado, que contenía H_3BO_4 con indicador. El H_3BO_4 tomó un color verde al fijar el amoniaco condensado. Se titula con H_2SO_4 . El punto final de la titulación será indicado por el viraje de la solución a un color rosado fuerte.

Figura 47. Digestión



Figura 48. Infiltración



Figura 49. Destilación

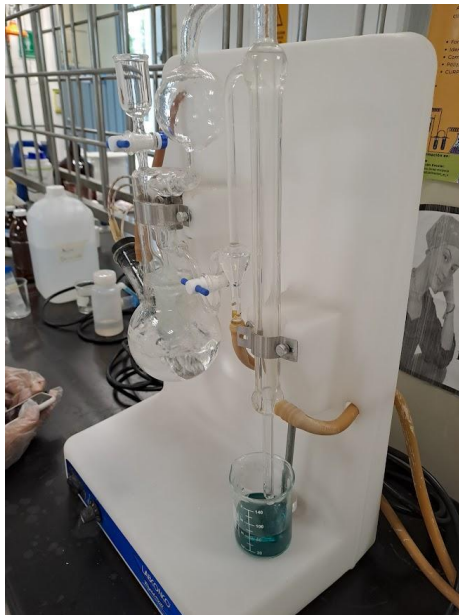
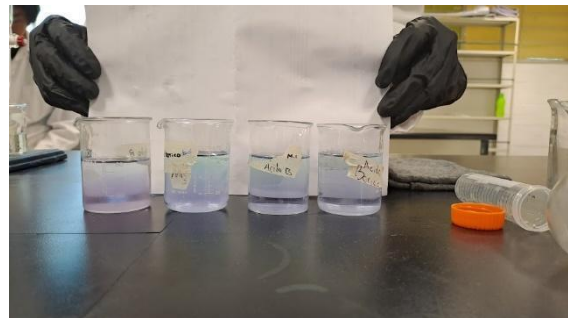


Figura 50. Nitrógeno Total



Capítulo 3. Resultados

3.1 Propiedades físicas

3.1.1 Resultados de humedad

En la agricultura de riego temporal, el tiempo de crecimiento y desarrollo de las plantas tienen factores limitantes a la disponibilidad de humedad en el suelo, pues su fuente principal es el agua de lluvia, (Flores L. Ruíz C., 1998). El porcentaje de humedad en los suelos agrícolas varía con respecto a sus características meteorológicas y los cambios climáticos.

El contenido de agua en el suelo no debe bajar o llegar al punto de marchitez permanente, que es cuando, el contenido de agua en el suelo al cual las plantas ya no se recuperan aun cuando se les adiciona suficiente agua, (M. Enciso, Porter, & Périés, 2007) por lo anterior, y con base a los resultados obtenidos en los niveles de humedad, el porcentaje obtenido por medio de la media de ambos suelos están en el rango de 20% – 25% y haciendo referencia a lo que menciona M. Enciso, Porter, & Périés, (2007) la tabla que muestra el porcentaje de déficit permitido de manejo de riego, observamos que para un cultivo de maíz, se debe tener un rango entre 50% – 55%, estos suelos están muy por debajo de ese rango.

Tabla 6. Déficit permitido de manejo del riego (DPM, %) y profundidades de las raíces(pies) para algunos cultivos.

Cultivo	Déficit permitido de manejo del riego (%)	Profundidad de la raíz (pies)
Cultivos de fibra		
Algodón	65	3.3–5.6
Cereales		
Cebada y avena	55	3.3–4.5
Maíz	50–55	2.6–6.0
Sorgo	50–55	3.3–6.6
Arroz	20	1.6–3.3
Legumbres		
Frijoles	45	1.6–4.3
Soya	50	2.0–4.1

Nota: M. Enciso, J., Porter, D., Périés, X. (2007). Uso de sensores de humedad en el suelo para eficientar el riego. *Cooperativa de Texas*, 2-11.

Un porcentaje bajo de humedad podría representar poca infiltración en el suelo, esto afecta al rendimiento de los cultivos, en este caso el del maíz. Es importante

destacar que, durante la siembra y la germinación, es crucial mantener un nivel de humedad más alto para favorecer el desarrollo de las parcelas, por lo que, porcentajes bajos de humedad pueden propiciar presencia de mohos e incluso reproducción de insectos.

3.1.2 Resultados de Textura

El porcentaje de humedad obtenido es característico de los suelos franco-limosos, que representan la textura de los suelos analizados.

Los suelos franco-limosos se caracterizan por ser suelos suaves a firmes, cuando están húmedos y son ligeramente duros cuando están secos, tienen una alta capacidad para retener agua y los nutrientes, por lo anterior, son suelos ideales para la producción agrícola (Z. Castellanos, 2000). Sin embargo, un incremento en la proporción de limo podría afectar su manejo. Como se puede notar en la tabla, no hubo cambio de texturas para ambos suelos, antes y después de la siembra.

Tabla 7. *Parámetros de textura obtenidos*

		Textura			Clase Textural	
		%Arena	%Limo	%Arcilla		
Antes de la siembra	Muestra 1	24	68	8	Franco- limoso	
	Duplicado Muestra 1	26	70	6	Franco-limoso	
	Muestra 2	39	61	6	Franco- limoso	
	Duplicado Muestra 2	35	60	8	Franco-limoso	
	Después de las primeras parcelas de maíz	Muestra 1	35	60	20	Franco- limoso
		Duplicado Muestra 1	35	60	8	Franco-limoso
Muestra 2		28	69	3	Franco-limoso	
Duplicado Muestra 2		28	61	6	Franco-limoso	

3.1.3 Resultados de estabilidad de agregados.

Tabla 8. *Parámetros de estabilidad de agregados obtenidos.*

		Estabilidad de agregados	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	13%	3.53
	Muestra 2	8%	2.82
	Muestra 1	21%	1.41

Después de las primeras parcelas de maíz	Muestra 2	9%	2.12
--	-----------	----	------

Los resultados mostrados en la tabla son producto de la media para ambas muestras de suelo,

Tomando de referencia la tabla 9, con el método de tamizado de Kemper y Koch (1966). La estabilidad representa agregados muy pocos estables, aunque el porcentaje de estabilidad de agregados aumenta después de las primeras parcelas para ambos suelos, este cambio podemos asociarlo, con los sistemas de labranza, debido a que modifican la agregación del suelo y su estabilidad, un incremento en la estabilidad de agregados en superficie podría deberse a un mayor contenido de materia orgánica (MO) (Florencia Roldán et al., 2014).

Asimismo, un porcentaje bajo de agregados podría provocar que haya poca infiltración, estos porcentajes bajos, podríamos asociarlo a la quema a la que estuvieron expuestos ambos suelos hace algunos años como método para preparar el terreno, antes de optar por usar abono. Retomando lo anterior, el fuego produce cierta fragmentación de agregados y pérdida de estabilidad, dependiendo de la severidad del fuego, los cambios serán más evidentes, además, hay otros parámetros (además de la materia orgánica), tienen un peso importante en la resistencia física asociada a la estabilidad de los agregados (Cerdá et al., 2019). Otro factor, se debe, al laboreo de los suelos en su preparación como cama de siembra, o en una condición de sobrepastoreo sin vegetación y con la porción superior del horizonte A muy pulverulenta, que puede limitar, el crecimiento de plantas (Benito Rueda, E & F Díaz Fierro, 1989). Parte de la importancia de la estabilidad de agregados es que entre mayor estructura porosa tenga, hay un nivel más alto de retención.

Tabla 9. Interpretación de los valores de estabilidad estructural del suelo, según el método de tamizado en húmedo de Kemper y Koch (1966).

% Agregados estables	Interpretación
80-100	Agregados muy estables
60-80	Agregados estables
40-60	Agregados moderadamente estables
20-40	Agregados poco estables
0-20	Agregados muy poco estables

Nota: Cerdà, A., Rein, G., Mataix-Solera, J., Pereira, P., & Úbeda, X. (2019). Fire Effects on Soil Properties. Australia: CSIRO PUBLISHING.

3.1.4 Resultados de materia y carbono orgánico.

Tabla 10. Parámetros de materia y carbono orgánico obtenidos.

			Materia orgánica y carbono orgánico	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1		<i>C orgánico</i> : 8% % <i>Materia orgánica</i> : 13%	<i>C orgánico</i> : 0.07 % <i>Materia orgánica</i> : 0.70
	Muestra 2		<i>C orgánico</i> : 23% % <i>Materia orgánica</i> : 40%	<i>C orgánico</i> : 0.62 % <i>Materia orgánica</i> : 0.70
Después de las primeras parcelas	Muestra 1		<i>C orgánico</i> : 12% % <i>Materia orgánica</i> : 20	<i>C orgánico</i> : 0.53 % <i>Materia orgánica</i> : 0.70
	Muestra 2		<i>C orgánico</i> : 8% % <i>Materia orgánica</i> : 13%	<i>C orgánico</i> : 0.07 % <i>Materia orgánica</i> : 0.70

Los resultados mostrados en la tabla son producto de la media para ambas muestras de suelo.

Con base en la tabla 11 que representa el porcentaje de MO, ambos suelos presentan un porcentaje alto de MO, que podemos relacionarlo con la preparación el suelo, con el abono orgánico, que es a base de estiércol de ganado, que presenta un aporte de materia orgánica, además, mejora la estructura del suelo y es una fuente de elementos nutritivos para la planta (N, P, K) (Iglesias Martínez, 1995).

Por otra parte, el suelo de la muestra 2, presenta una disminución en el porcentaje de MO, esto se puede asociar, al laboreo del suelo, que, por un lado, determina el grado de mezcla y la estratificación de las fuentes carbonadas, asimismo este suelo presenta un grado de inclinación que incide sobre la oxigenación y la temperatura del suelo, mientras que la muestra 1, al ser un suelo plano, la materia orgánica aumento.

La concentración de carbono orgánico es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición de cualquier material producido por organismos vivos, estos a su vez influyen directamente con otros minerales de arcillas que mejoran la estructura del suelo, al haber un alto nivel de materia orgánica la densidad aparente disminuye (Izquierdo Bautista & Arévalo Hernández, 2021).

Tabla 11. Interpretación de resultados de materia orgánica.

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0

Nota: Procedimiento para la determinación de materia orgánica del suelo a través del método AS-07, de Walkley y Black NOM-021-SEMARNAT-2000

3.1.5 Resultados de color

Tabla 12. Parámetros de color obtenidos

		Color				
Antes de la siembra	Seco	Muestra 1	10 YR 5/2	Café grisáceo		
		Duplicado Muestra 1	10YR 4/2	Café oscuro grisáceo		
		Muestra 2	7.5 YR 6/1	Gris		
		Duplicado Muestra 2	10 YR 5/2	Café grisáceo		
		Muestra 1	10 YR 2/2	Café muy oscuro		
	Húmedo	Duplicado Muestra 1				
		Muestra 2	7.5 YR 2.5/2	Café muy oscuro		
		Duplicado Muestra 2	10 YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro		
		Después de las primeras parcelas	Seco	Muestra 1	7.5 YR 4/2	Café
				Duplicado Muestra 1	7.5 YR 2.5/2	Café
Muestra 2	10 YR 4/2			café grisáceo oscuro		
Duplicado Muestra 2	10 YR 5/2			Café grisáceo		
Muestra 1	10 YR 2/2			Café muy oscuro		
Húmedo	Duplicado Muestra 1	7.5YR 3/2	café oscuro			
	Muestra 2	10YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro			

Duplicado Muestra 2	10 YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro
------------------------	-----------	-----------------------------

Conforme a los resultados obtenidos, en el caso de la muestra 1 en seco y húmedo, podría representar un suelo con horizonte antrácuico, debido, a que se cumple, la especificación a) un matiz de 7.5 YR o más amarillo, un brillo de ≤ 4 y un croma de ≤ 2 , tomando de referencia lo que se menciona en el capítulo 3 “Horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico” de la WRB (2014), además menciona que este horizonte superficial es modificado por la actividad humana (cultivo húmedo) que comprende una capa enlodada, fertilización intensa y un piso de arado.

Para el caso de la muestra 2 en húmedo cumple con el punto anterior, sin embargo, en seco, presenta un color grisáceo que con base a el capítulo 3 “Horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico” de la WRB (2014), podría un horizonte cálcico, pues cumple con colores blanco, rosado a rojizo, o gris (si no está sobrepuesto con horizontes ricos en carbono orgánico), asimismo, presentan una baja porosidad y el contenido de carbonato de calcio puede disminuir con la profundidad.

Por otra parte, en suelos grisáceos claros y blancos el color se presenta principalmente a depósitos de carbonato de calcio, afloración de sales o como resultado de la remoción de hierro (Fertilab, s.f.).

3.1.6 Resultados de densidad aparente

Tabla 13. *Parámetros de densidad aparente obtenidos.*

		<i>Densidad aparente</i>	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	$1.13 \frac{gr}{cm^3}$	0.014
	Muestra 2	$1.15 \frac{gr}{cm^3}$	0.007
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	$1.14 \frac{gr}{cm^3}$	0.007
	Muestra 2	$1.4 \frac{gr}{cm^3}$	0.014

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

La densidad aparente, es un rango que varía con las texturas. Ambos suelos presentan una textura francosa, la densidad se encuentra en un rango bajo para ambos suelos. Una densidad aparente baja podría representar, suelos porosos, aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces (Rubio Gutiérrez, 2010).

Aunque un nivel bajo de densidad aparente no necesariamente implica un buen desarrollo para las plantas, asimismo los valores de densidad para la muestra 1, no tuvieron un cambio significativo antes y después de la siembra.

Mientras que para la muestra 2, la densidad aumentó, en suelos que presentan problemas de compactación el valor de densidad aparente aumenta, estos cambios podrían estar relacionados con la acción del hombre (cultivos, laboreo a la misma profundidad, pisoteo del ganado y circulación de maquinarias, entre otras) (Departamento de ambiente y recursos naturales facultad de ciencias agrarias y forestales U.N.L.P., 2019)

Rubio Gutiérrez, (2010), menciona que, puede representar que la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios podrían limitar el crecimiento de las raíces a valores críticos debido a que son suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua. Por lo anterior, las raíces presentan dificultades para alcanzar el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento.

Tabla 14. Interpretación de la densidad aparente

Tipos de suelos		g/cm ³	
Orgánicos y volcánicos		Menor de 1.00	
Minerales			
	Arcillosos	1.0	1.19
	Francosos	1.20	1.32
	Arenosos	Mayor a 1.32	

Nota: Método AS-03 para determinar la densidad aparente NOM-021-SEMARNAT-2000

3.1.7 Resultados de densidad real

Tabla 15. Parámetros para densidad real obtenidos.

		Densidad real	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	1.87 $\frac{g}{cm^3}$	0.07
	Muestra 2	2.04 $\frac{g}{cm^3}$	0.06
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	2.50 $\frac{g}{cm^3}$	0.06
	Muestra 2	2.18 $\frac{g}{cm^3}$	0.05

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

Los suelos minerales poseen una densidad real que oscila entre los $2.65 \frac{g}{cm^3}$, que corresponde a un valor a la densidad promedio de las distintas partículas presentes en un suelo (Fertilab, s.f.). Los minerales pesados (óxidos de Fe o minerales ferromagnésicos), presentes en las partículas de suelo, generan una densidad real mayor, mientras que un suelo con altos contenidos de materia orgánica posee una densidad real menor (Antúnez B. et al., 2010). Por lo anterior, y con base a los datos obtenidos, las dos muestras aumentaron su densidad real, sin embargo, el rango sigue estando por debajo del parámetro $2.65 \frac{g}{cm^3}$. Conforme a lo que menciona, Ruehlmann (2020) este cambio de densidad podría estar relacionado con un contenido de materia orgánica alto en estos suelos, que es una de sus principales características.

3.1.8 Resultados de COLE

Tabla 16. *Parámetros obtenidos para COLE*

		Coefficiente de Extensión Lineal (COLE)	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	$0.042 \frac{cm}{cm}$	0.0014
	Muestra 2	$0.078 \frac{cm}{cm}$	0.004
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	$0.061 \frac{cm}{cm}$	0.0014
	Muestra 2	$0.30 \frac{cm}{cm}$	0.028

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

Conforme a los resultados obtenidos por la media, y tomando de referencia la tabla 17, Rangos de COLE McCormick y Wilding (1975), el valor obtenido en los suelos analizados es de medio a alto. En suelos utilizados para la producción agrícola, con un coeficiente de expansión lineal alto, es más probable que las partículas individuales se expanden significativamente con cambios de temperatura. En el caso de los suelos, especialmente aquellos con alto contenido de arcilla; debido a esto podría explicarse el incremento de ambos suelos, donde las partículas individuales pueden experimentar cambios en volumen debido a la variación térmica. Esta expansión y contracción pueden afectar la estabilidad de los agregados en el suelo (Geeks, 2023).

Tabla 17. Rango de COLE.

Suelos	COLE _{total}	Potencial de hinchamiento contracción
Suelo 1	0.030	Bajo
Suelo 2	0.043	Moderado
Suelo 3	0.064	Moderado
Suelo 4	0.094	Alto

Nota: Commegna, M., Aguirre, M., & Santamaría, R. (2005). Recuperación natural de la estructura en arizudoles bajo siembra directa. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 71-83.

3.2 Propiedades químicas

3.2.1 Resultados de pH

Tabla 18. Parámetros obtenidos de pH

		pH en agua	Valor de la desviación estándar	pH en el extracto	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	8.60	0.17	12.33	0.81
	Muestra 2	8.46	0.09	13.33	0.64
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	8.55	0.06	6.50	1.34
	Muestra 2	8.14	0.14	6.24	1.27

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

En los suelos agrícolas, el pH óptimo oscila entre 6.0 y 7.0, esto para obtener un mayor rendimiento en el cultivo (Ibarra Castillo et al., 2009).

Con base en la tabla 19, de acuerdo con los resultados obtenidos, en el pH en agua y el pH en el extracto de los suelos antes de la siembra, son fuertemente alcalinos, los cuales se caracterizan por altas concentraciones de iones OH⁻ asociados con altos contenidos de bicarbonatos y carbonatos (American water chemical, Inc, 2024). Asimismo, los suelos sódicos tienen una baja estructura y estabilidad a causa del alto contenido de sodio (Casanova Pinto et al., 2004). Por lo anterior al tener suelos alcalinos, podría aumentar la toxicidad por aluminio, debido a que el aluminio

al estar en ambientes alcalinos puede volverse más soluble y por ende estar biodisponible para las plantas (Espinoza, Valdivia, Pilarte, 2019).

Mientras que el pH en el extracto después de la siembra está en el rango normal; que representa la condición óptima para la mayoría de los cultivos además de una buena asimilación de nutrientes (Andrades & Martínez, 2022).

De acuerdo con lo que menciona, Martínez H. et al., (2008), la materia orgánica, afecta la reacción del pH del suelo, cuando el pH es alcalino, la materia orgánica tiende a disminuir, que es justamente esta disminución la que se observa en las muestras analizadas.

Tabla 19. Clasificación del suelo de acuerdo con su 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

Nota: Método AS-02 determinación de pH NOM-021-SEMARNAT-2000

3.2.2 Resultados de conductividad eléctrica

Tabla 20. Parámetros obtenidos de conductividad eléctrica.

			Conductividad eléctrica	Valor de desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1		$4.61 \times 10^{-3} dS m^{-1}$	0.0021
	Muestra 2		$7.61 \times 10^{-3} dS m^{-1}$	0.0020
Después de las primeras parcelas	Muestra 1		$5.77 \times 10^{-3} dS m^{-1}$	0.0013
	Muestra 2		$7.61 \times 10^{-3} dS m^{-1}$	0.0010

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

Con respecto a la tabla 21, los suelos analizados, presentan un índice de conductividad eléctrica (CE) despreciable, por lo que no tienen restricción para ningún cultivo, sin embargo, para cultivos de maíz el rango de CE oscila entre $1.7 - 10 \frac{dS}{m}$ (Fertilab, 2019), lo que podría representar un rendimiento bajo en la producción de maíz en los suelos analizados.

Con base en lo que menciona Fertilab, (2019), un aumento en la CE, que es el caso de la muestra 1, podría deberse a la calidad del agua de riego, así como prácticas de riego y condiciones de drenaje del suelo.

Tabla 21. Interpretación de la conductividad eléctrica (CE)

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

Nota: Determinación de conductividad eléctrica por el método AS-18 NOM-021-SEMARNAT-2000

3.2.3 Resultados de cloruros

Tabla 22. Parámetros obtenidos de cloruros.

		Cloruros	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	$1 \frac{meq}{l}$	0.04
	Muestra 2	$2 \frac{meq}{l}$	0.07
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	$1 \frac{meq}{l}$	0
	Muestra 2	$1 \frac{meq}{l}$	0

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

De acuerdo con la tabla 23, los niveles de cloruros son bajos, sin embargo, el cloruro en pequeñas cantidades es necesario, porque, ayuda en el metabolismo de las plantas, la fotosíntesis, la ósmosis (movimiento de agua hacia dentro y fuera de las células de las plantas) (Chen López, 2023).

Aunque, la deficiencia de cloruros que presentan los suelos analizados podría ocasionar marchitamiento en las parcelas de maíz pudiendo generar clorosis (que es el color amarillento en la planta), las plantas son ya que las principales fuentes de cloro provienen de abonos orgánicos y las aguas de lluvia. (Fertilab, s.f.), que, en el caso de los suelos evaluados, son el principal aporte y no se tiene control sobre los niveles de cloro que estos tienen presentes.

Tabla 23. Valores máximos de concentración de cloruros en la solución del suelo a partir de los cuales aparecen síntomas de toxicidad en los cultivos.

Cultivo	Límite de tolerancia para la concentración de Cl^- en la solución del suelo $\frac{meq}{l}$
Maíz	14.7
Arroz	29.5
Fresa	9

Nota: Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies, Texas Agricultural Extensión Service, The Texas A&M University System, 1996.

3.2.4 Resultados de carbonatos

Tabla 24. Parámetros obtenidos de carbonatos

Carbonatos			Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	4 % $CaCO_3$	0.07
	Muestra 2	4 % $CaCO_3$	0.03
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	<i>No se encontró presencia</i>	<i>NA</i>
	Muestra 2	<i>No se encontró presencia</i>	<i>NA</i>

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

Con base en la tabla 25, las muestras antes de la siembra pertenecen a una clase de carbonatos medianos, los carbonatos tienen una acción positiva sobre la estructura del suelo y en la actividad de los microorganismos (Andrades & Martínez, 2022).

Mientras que después de la siembra, la clase de carbonatos presentes es muy baja, por lo que, con el método empleado no fue posible determinarlo, esto en base a la NOM-021-SEMARNAT-2000, son suelos no calcáreos.

La reducción en los niveles de carbonato que se presentó antes y después de la siembra, con base USDA, (2014) puede presentar problemas en la disponibilidad de nutrientes de las parcelas de maíz, ya que está influenciado por la cantidad de carbonatos en el suelo, como resultado de los efectos del carbonato en el pH del suelo.

Tabla 25. Determinación de carbonatos de calcio

Clase	% CaCO ₃	
Muy bajo	<0.5	
Bajo	0.5	2.0
Mediano	2.1	15
Alto	16	40
Muy alto	> 40	

Nota: Determinación de carbonatos de calcio por el método AS-30 por el método de Horton y Newson. NOM-021-SEMARNAT-2000

3.2.5 Resultados de bicarbonatos

Tabla 26. Parámetros obtenidos de bicarbonatos

Bicarbonatos			Valor de desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	8 %CaCO ₃	0.06
	Muestra 2	9 %CaCO ₃	0.07
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	1 %CaCO ₃	0
	Muestra 2	1 %CaCO ₃	0

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

Con base en los resultados en la tabla 27, en las primeras determinaciones los niveles de bicarbonatos se encuentran en el rango normal, sin embargo, como existe una estrecha relación de carbonatos con los bicarbonatos, y al obtenerse un nivel muy bajo de carbonatos después de las primeras parcelas, los bicarbonatos presentes también disminuyen. Lo que podría afectar los nutrientes para las parcelas de maíz.

El nivel de bicarbonatos presentes posterior a la cosecha podríamos atribuirlo, al manejo hídrico, pues al ser un cultivo de riego temporal, ya que no se tiene control sobre la salinidad del agua, y también al CO₂, proveniente de las interacciones de las actividades biológicas del suelo (microorganismos), que es generadora de bicarbonatos por procesos propios de la naturaleza. (Ruiz Sch. et al., s.f.)

Tabla 27. Determinación de carbonatos de calcio

Clase	% CaCO ₃	
Muy bajo	<0.5	
Bajo	0.5	2.0
Mediano	2.1	15
Alto	16	40
Muy alto	> 40	

Nota: Determinación de carbonatos de calcio por el método AS-30 por el método de Horton y Newson. NOM-021-SEMARNAT-2000

3.2.6 Resultados de calcio

Tabla 28. Parámetros obtenidos de calcio

		Calcio	Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	4 $Cmol(+)kg^{-1}$	0.70
	Muestra 2	8 $Cmol(+)kg^{-1}$	0.71
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	5 $Cmol(+)kg^{-1}$	0.07
	Muestra 2	6 $Cmol(+)kg^{-1}$	0.07

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

Con base en la tabla 29, el porcentaje de calcio presente en el suelo de la muestra 1 antes de la cosecha es baja, aunque presenta un ligero aumento después de la siembra, no se puede tomar como un cambio representativo, porque sigue en los rangos bajos, tomando como referencia la tabla, asimismo, esta falta de calcio en el suelo, podría ocasionar, con base a lo que menciona Peña Datoli,(s.f.) coloración oscura en las hojas o reducción del crecimiento radical, necrosis (muerte) en las zonas de crecimiento, deformación de las hojas y algunos frutos podrían partirse.

Por otra parte, el suelo de la muestra 2, se encuentra en un porcentaje de calcio media, lo que podría representar formación de agregados, que, al unir arcillas y ácidos húmicos, ayudan a mantener la forma para evitar y no se destruyan por el paso de la maquinaria o por otros efectos de la erosión, además mejora la infiltración del agua y podría ayudar a elevar el pH del suelo, que se reflejaba en el aumento de la disponibilidad de algunos nutrientes (Peña Datoli, s.f.).

Para el caso de la muestra 2, la reducción del porcentaje de calcio de antes y después de la siembra, podríamos asociarlo a la absorción que tuvieron las plantas después de la siembra, por eso el porcentaje de calcio disminuyó.

Tabla 29. Interpretación de resultados de calcio, magnesio y potasio.

CLASE	Ca	Mg Cmol (+) Kg ⁻¹	K
Muy baja	menor - 2	menor - 0.5	menor - 0.2
Baja	2 - 5	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	mayor - 10	mayor - 3.0	mayor - 0.6

Nota: Interpretación de resultados de calcio, magnesio y potasio NOM-021-SEMARNAT-2000

3.2.7 Resultados de magnesio

Tabla 30. Parámetros obtenidos de magnesio

magnesio			Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	2.8 Cmol(+)kg ⁻¹	0.56
	Muestra 2	2 Cmol(+)kg ⁻¹	0.10
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	0.36 Cmol(+)kg ⁻¹	0.02
	Muestra 2	0.101 Cmol(+)kg ⁻¹	0.07

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo.

De acuerdo con los resultados obtenidos y en base a la tabla 31, los porcentajes de Magnesio son muy bajos, las pérdidas de Mg en ambos suelos se podrían asociar a la lixiviación, la absorción de los microorganismos, poca retención de cationes del suelo, y la precipitación por minerales secundarios y/o por una fertilización poco frecuente o ineficaz (Cakmak & M. Yazici, 2010). Esto último de la fertilización que se realiza en los sitios en cuestión es ciertamente poco eficiente pese a ser a través de enmiendas orgánicas.

Ross (2020), menciona que, la asimilación de Mg es importante durante la etapa de crecimiento de las plantas, del mismo modo, el contenido bajo de Mg, tiene relación con diferentes cationes (Ca, Mg, K, Na), lo cual nos permite suponer que la disponibilidad del magnesio y los demás cationes estará limitada, en la absorción de estos nutrientes para las parcelas de maíz, lo cual se observa a lo largo del proceso de crecimiento de la planta e inclusive al momento de la cosecha con un tamaño pequeño en los frutos.

Tabla 31. Interpretación de resultados de calcio, magnesio y potasio

CLASE	Ca	Mg Cmol (+) Kg ⁻¹	K
Muy baja	menor - 2	menor - 0.5	menor - 0.2
Baja	2 - 5	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	mayor - 10	mayor - 3.0	mayor - 0.6

Nota: Interpretación de resultados de calcio, magnesio y potasio NOM-021-SEMARNAT-2000.

3.2.8 Resultados de capacidad de intercambio catiónico

Tabla 32. Parámetros obtenidos de Intercambio Catiónico

Capacidad de Intercambio Catiónico			Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	0.08 Cmol(+)kg ⁻¹	0.02
	Muestra 2	0.92Cmol(+)kg ⁻¹	0.04
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	0.04 Cmol(+)kg ⁻¹	0.14
	Muestra 2	0.02 Cmol(+)kg ⁻¹	0.0012

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo

Con base en la tabla 33, el porcentaje de CIC es muy bajo, Universidad Nacional Noroeste Buenos Aires, (s.f.) menciona, que la CIC, es la suma total de los cationes intercambiables de un suelo (Ca, Mg, Na, K). Cuanto mayor es la CIC mayor es la cantidad de cationes que puede retenerse. Por lo anterior, y con los resultados obtenidos en los cationes previamente, se puede asociar, porqué del rango tan bajo de CIC para ambos suelos.

Por lo que la mayor proporción de cationes están adheridos a las superficies de las partículas del suelo, y los cuales cuando están en equilibrio con la solución del suelo, proporcionan una reserva de nutrientes para reponer aquellos nutrientes que fueron absorbidos por las plantas o lavados de la zona radical (Fertilab, s.f.) y los suelos presentados al no tener esa característica, hace que las raíces y los tallos de las parcelas de maíz sean delgados y no tengan una altura óptima para su desarrollo, que es lo que se observó en la visita de campo.

Tabla 33. Interpretación de la CIC

Clase	CIC (Cmol(+) Kg ⁻¹)
Muy alta	> 40
Alta	25 - 40
Media	15 - 25
Baja	5 - 15
Muy baja	> 5

Nota: NOM-021-SEMARNAT-2000

3.2.9 Resultados de acidez extraíble

Tabla 34. Parámetros obtenidos de acidez extraíble

<i>Acidez Extraíble</i>			Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	4 Cmol(+)kg ⁻¹	1.14
	Muestra 2	4.8 Cmol(+)kg ⁻¹	0.81
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	11 Cmol(+)kg ⁻¹	0.07
	Muestra 2	11.4 Cmol(+)kg ⁻¹	0.05

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo

Tomando como referencia la tabla 35, el valor de acidez está por arriba del rango normal, Molina & Alvarado, (s.f.) mencionan que, cuando el valor es mayor a 0.5 cmol (+)l⁻¹ la mayoría de las plantas pueden presentar problemas en su crecimiento. Esto debido a la limitada presencia de las bases (Ca, Mg y K).

Las bases son elementos que neutralizan las cargas negativas y neutralizan la acidez del suelo. Aunque un exceso de ellas podría causar toxicidad en las plantas (Olivar Escobar, 2009).

Por otra parte, podemos asociar el incremento de la acidez de ambas muestras de antes y después de la siembra con la pérdida de cobertura vegetal y la preparación mecanizada del suelo previo a la siembra, ya que, podría incrementar la lixiviación de cationes hacia las capas inferiores del suelo y así aumentar el grado de acidez del suelo (Molina & Alvarado, s.f.).

Tabla 35. Parámetros para diagnosticar problemas de acidez del suelo

Parámetro	Bajo	Medio	Adecuado u	Alto o
		o moderado	óptimo	excesivo
pH	< 5.5	5.5-6	> 6	
Suma bases (cmol(+) l ⁻¹)	< 5	5-12	> 12	
Acidez Inter. (cmol(+) l ⁻¹)	< 0.5	0.5-1	< 0.3	> 1
% Saturación acidez	< 15	15-30	< 10	> 30

Nota: Molina, E., & Alvarado, A. (s.f.). *Manejo de la acidez y el encalado del suelo*.

3.2.10 Resultados de nitrógeno

Tabla 36. Parámetros Obtenidos de nitrógeno.

Nitrógeno				Valor de la desviación estándar
Antes de la siembra	Muestra 1	0.00014%	1.41x10 ⁻⁵	
	Muestra 2	0.028%	0.0014	
Después de las primeras parcelas	Muestra 1	0.00014%	1.39x10 ⁻⁵	
	Muestra 2	0.042%	0.0021	

Los resultados mostrados en la tabla se obtuvieron por medio de la media para ambas muestras de suelo

Con respecto en la tabla 37, para ambas muestras, tenemos un porcentaje de nitrógeno extremadamente pobre, aunque para la muestra 2 después de las primeras parcelas aumenta, sigue estando pobre en nitrógeno.

Por lo tanto, Fernández Linares et al., (2006) menciona que, la deficiencia de nitrógeno puede ocasionar que las plantas tengan una altura elevada, pero sean débiles, raquíticas y se tornan pálidas, al perder su color verde. Asimismo, podríamos asociar estos porcentajes tan bajos con el drenaje constante al que están expuestas los suelos, pues el nitrógeno se encuentra principalmente en los horizontes superiores del suelo (Costa Martín & Ocete Soto, s.f.).

Tabla 37. Criterios para evaluar un suelo con base en su contenido de nitrógeno

Categoría	Valor (%) de nitrógeno en suelo
Extremadamente pobre	< 0.032
Pobre	0.032 - 0.063
Medianamente pobre	0.064 - 0.095
Medio	0.096 - 0.126
Medianamente rico	0.127 - 0.158
Rico	0.159 - 0.221
Extremadamente rico	> 0.221

Nota: Fernández Linares, L., Rojas Avelizapa, N., Roldan Carrillo, T., Ramírez Islas, M., Zerraga Martínez, H., Uribe Hernandez, R., . . . Arce Ortega, J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de suelos contaminados*. México.

Conclusiones

De acuerdo con los datos presentados y el análisis realizado anteriormente, los dos suelos objeto de estudio presentan un alto grado de degradación, podrían asociarse los parámetros obtenidos, con aspectos como las prácticas de monocultivo que se han llevado a cabo en estos suelos, la falta de medidas de mitigación en el uso del suelo en actividades agrícolas, del mismo modo, el rendimiento de ambos suelos, se ve afectado por diversos fenómenos; salinidad, alcalinidad y el mal drenaje, esto producto de las actividades antropogénicas del lugar, la labranza excesiva y la mecanización que tienen impactos negativos sobre la fragmentación del suelo. Estos suelos al ser de monocultivos podrían presentar un incremento de plagas, así como cambios adversos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que se asocian con los resultados mostrados.

En el caso específico del suelo que se encuentra en ladera con alta pendiente sin implementarse opciones como el uso de terrazas y otras técnicas para combatir el proceso de erosión eólica e hídrica debido a las condiciones de fisiografía del lugar.

Por otra parte, la presencia de una textura franco-limosa en ambos suelos representaría una buena disponibilidad de nutrientes para las especies vegetales del suelo, sin embargo, se presentan diferentes limitaciones.

Comenzando por la limitada capacidad de infiltración que presentan ambos suelos, así como, la falta de un nutriente esencial para los microorganismos como es el nitrógeno. Estas deficiencias pueden atribuirse a varios factores, la regularidad del patrón de las lluvias durante la temporada de sembradíos, particularmente significativa en estos suelos que son de riego temporal, asimismo, haciendo énfasis para el caso de la muestra 2, el drenaje constante debido al grado de inclinación que presenta el suelo, por lo anterior, esto tiene un impacto mayor en la pérdida en los niveles de nitrógeno y todos los iones presentes, así como de la propia fase sólida del suelo.

Otro aspecto importante es la adversidad de las arcillas y materia orgánica que intervienen como elementos importantes en estructura y cementación entre los minerales y fracción orgánica del suelo, sin embargo, al tener una alta presencia de elementos defloculantes (sodio), esto debido al pH alcalino presentado puede generar un déficit en las poblaciones microbianas y en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Esta condición se ve reflejada en los bajos niveles de acidez extraíble y capacidad de intercambio catiónico (CIC), contribuyendo a la escasa disponibilidad de cationes principales (Ca, Mg, N). Esta se manifiesta en las parcelas de maíz, pues no tienen una coloración totalmente verde, ni tienen la altura acorde para un buen desarrollo, lo cual, se refleja en una producción baja de maíz.

La presencia de pH alcalinos en ambos suelos podría estar limitando, su disponibilidad en nutrientes para la planta, debido a los altos niveles de salinidad, asimismo, la capacidad de retener nutrientes, el desarrollo de las raíces de las parcelas de maíz se ven afectadas en su altura, asimismo, lo que podría verse reflejada en su toxicidad por aluminio.

Estos suelos han sido trabajados por más de cuarenta años, y las prácticas agrícolas en ambos suelos han cambiado con el paso del tiempo, teniendo que enfatizar la ausencia de un conocimiento sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, lo que ha limitado la implementación de estrategias efectivas de manejo y conservación. Esta carencia de datos precisos ha dejado a los agricultores en una posición desventajosa, que ha dificultado la adopción de medidas preventivas y correctivas para abordar los problemas que presenta el suelo.

Se cumple la hipótesis nula: El suelo utilizado para cultivo de maíz, en el municipio de Mártir de Cuilapan, Apango, no presenta características químicas, físicas y biológicas favorables que permitan el rendimiento de la producción obtenida, por lo que existen sugerencias que pueden mejorar esta condición.

Para finalizar, esta tesis podría servir como referencia y comparación para estudios futuros.

Recomendaciones

Rotación de cultivo es una herramienta que podría ayudar en la prevención de la degradación del suelo, además de evitar plagas de insectos, problemas de malezas y cuidar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, asimismo, podría ayudar a manejar las deficiencias o excesos de nutrientes en las plantas (ATTRA agricultura sustentable, 2015).

Al hacer una rotación de cultivos se deben tener en cuenta diferentes aspectos como la disponibilidad agua, que en este caso al ser de riego temporal sería un cultivo que no demande mucha disponibilidad de esta, del mismo modo, los

aspectos climatológicos de la región, que en la mayor del año son climas secos y también se debe tomar en cuenta los plaguicidas que se pueden utilizar, la comercialización y rentabilidad. Por lo anterior se podría hacer una rotación maíz-trigo-calabaza, con base a lo que menciona Morales Flores & Martínez Menez, (s.f.). Esta rotación de cultivo podría ser en un período de dos años entre cada cultivo. Existe un menor potencial de daño por roña en trigo, del mismo modo, la leguminosa en la rotación provee nitrógeno para el maíz que es el cultivo siguiente, por lo anterior esto ayudaría a ambos suelos a incrementar los niveles de nitrógeno que son esenciales en el cultivo de maíz.

Asimismo, podría implementarse una rotación de maíz- frijol, esto tendría impacto económico mayor en las ganancias por cosecha en los productores de la región, además de que el frijol incrementa los niveles de nitrógeno y azufre para las plantas, lo que mantendría los niveles de materia orgánica en el suelo que a su vez reduciría el uso de fertilizantes químicos. (Espinoza, Valdivia, & Pilarte, 2019)

Por otra parte, mejorar las condiciones del pH de ambos suelos, podría mejorar los niveles de los nutrientes (Ca, Mg, N, P) y ponerlos a disposición de las plantas. Para el pH alcalino que presentaron ambos suelos antes de la siembra, podría ser viable agregar yeso (*gypsum*), pues este puede reemplazar el sodio intercambiable por calcio o podría aplicarse sulfuro elemental de grano que, con la actividad microbiana del suelo, se oxida en el suelo húmedo formando ácido sulfúrico que disuelve la cal.

La necesidad de uso de enmiendas que cuenten con altas fuentes de nitrógeno y magnesio, para incrementar el magnesio en las plantas podría utilizarse sulfato de magnesio, ya que ayuda a aumentar la absorción de la planta de otros nutrientes y mejora la eficiencia de la alimentación de la planta (Vadecultivo, 2022).

Finalmente, llevar a cabo un seguimiento constante de los niveles de cationes y pH del suelo para evaluar la efectividad de las prácticas de manejo implementadas.

Bibliografía

- American water chemical, Inc. (2024). *¿Cuál es la relación entre pH y alcalinidad? ¿En qué se diferencian? ¿Cómo les afecta la temperatura?* Obtenido de <https://www.membranechemicals.com/es/faqs/relationship-ph-alkalinity-different-temperature-affect-spa/>
- Casanova Pinto, M., Vera Elizondo, W., Luzio Leighton, W., & Salazar Guerrero, O. ()
- Cerdà, A., Rein, G., Mataix-Solera, J., Pereira, P., & Úbeda, X. (2019). *Fire Effects on Soil Properties*. Australia: CSIRO PUBLISHING.
- FLORENCIA ROLDÁN, M., ALBERTO STUDDERT, G., DEL CARMEN VIDELA, C., SAN MARTINO, S., & INÉS PICONE, L. (2014). Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en molisoles bajo labranzas contrastantes. *Asociación Argentina Ciencia del Suelo (AACS)*, 247-257.
- Ibarra Castillo, D., Ruiz Corral, J., González Eguiarte, D., Flores Garnica, J., & Díaz Padilla, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 267-276.
- Lesmes-Suárez, J. C., & González-Escobar, C. H. (2022). Cambio climático y cuidado de la naturaleza: percepción de pequeños productores campesinos de Jesús María Santander, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 25(1). doi: <https://doi.org/10.15446/ga.v25n1.102695>
- Martínez H., E., Fuentes E., J., & Acevedo H., E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegeta*, 68-96.
- Representación de Agricultura Guerrero. (31 de octubre de 2019). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/guerrero/articulos/el-maiz-en-guerrero-un-tesoro-en-la-gastronomia?idiom=es#:~:text=Guerrero%20ocupa%20el%20sexto%20lugar,resto%20amarillo%20o%20ma%C3%ADz%20azul>.
- Rubio Gutiérrez, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural de los arconocales*. Sevilla.
- AcademiaLab. (2023). *Suelo franco*. Obtenido de <https://academia-lab.com/enciclopedia/suelo-franco/>
- Andrades, M., & Martínez, M. (2022). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN*. Universidad de la Rioja.

- Antúnez B., A., Ferlmer E., S., Vidal S., M., Morales J., R., Coz L., E., & Fuentes F., F. (2010). *Capítulo 2. Propiedades Físico-Hídricas del suelo en el cultivo de maíz grano*.
- Arrieche Luna, I., Ruiz Dager, M., & León Rodríguez, M. (2014). Interferencia de cloruros en la determinación. *MULTICENCIAS*, 13(4), 381-388. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90430055006>
- Cakmak, I., & M. Yazici, A. (2010). Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops*, 94(2), 23-25.
- Calderón-Medina, C., Bautista Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia [online]*, 22(2), 141-157. doi:0121-3709
- Cardarelli, F. O., & Tranier Pérez, E. A. (7 de marzo de 2022). *La importancia del análisis de suelos*. Recuperado el 29 de marzo de 2023, de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: <https://inta.gov.ar/noticias/la-importancia-del-analisis-de-suelos>
- Castellanos, J. Z. (2021). *Intagri*. Obtenido de Manejo y Corrección de la Acidez de los Suelos: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>
- Chen López, J. (7 de septiembre de 2023). *La función del sodio y del cloro en el cultivo de plantas*. Obtenido de PRO-MIX: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-sodio-y-del-cloruro-en-el-cultivo-de-plantas/#:~:text=El%20cloruro%20es%20necesario%20en,el%20interior%20de%20sus%20c%C3%A9lulas>.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (12 de diciembre de 2022). *Biodiversidad Mexicana*. Obtenido de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices>
- Commegna, M., Aguirre, M., & Santamaría, R. (2005). Recuperación natural de la estructura en argiudoles bajo siembra directa. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 71-83.
- Cortez, M., & Reyes, P. (29 de Agosto de 2020). *ADN Cultura*. Obtenido de <https://www.adncultura.org/maiz-nativo-en-guerrero-patrimonio-biocultural>
- Costa Martín, J., & Ocete Soto, C. (s.f.). *Nitrógeno*.

DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES. (2019). POROSIDAD Y AIREACIÓN DENSIDAD REAL Y APARENTE.

DEPARTAMENTO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES U.N.L.P. (2019). *Porosidad y aireación; densidad real y aparente.*

FAO. (2023). Obtenido de <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s24.htm#:~:text=Normalmente%20el%20ma%C3%ADz%20se%20recoje,solar%20o%20el%20secado%20artificial.>

FAO. (2023). *Definiciones | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

FAO. (2023). *Definiciones | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/conservacion-del-suelo-y-agricultura/es/>

Fernández Linares, L., Rojas Avelizapa, N., Roldan Carrillo, T., Ramirez Islas, M., Zerraga Martinez , H., Uribe Hernandez , R., . . . Arce Ortega , J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de suelos contaminados.* México.

Fertiberia. (5 de mayo de 2022). *Agricultura activa Nutrición vegetal y fertilidad del suelo.* Obtenido de <https://www.fertiberia.com/es/blog/2022/mayo/nutrici%C3%B3n-vegetal-y-fertilidad-del-suelo/>

Fertilab. (s.f.). *El color del suelo como indicador de su fertilidad.*

Fertilab. (2019). *La salinidad del suelo y su fertilidad.*

Fertilab. (2023). **COMO AUMENTAR LA EFICIENCIA DEL NITRÓGENO EN EL SUELO.**

Fertilab. (s.f.). *Capacidad de Intercambio catiónico en el suelo.* Obtenido de [fertilab.com.mx](https://www.fertilab.com.mx)

Fertilab. (s.f.). *Comportamiento del cloro (Cl) en los suelos y plantas.* Obtenido de [fertilab.com.mx](https://www.fertilab.com.mx)

Flores L., H. E., & Ruíz C., J. A. (1998). Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 210-229. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57316305>

- Grupo SACSA. (30 de Julio de 2015). *Propiedades de los suelos arenosos*. Obtenido de <https://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos-arenosos/>
- Iglesias Martínez, L. (1995). *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente*. Madrid: Rivadeneyra.
- Intagri. (2022). *La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Intagri S.C. (2022). *Intagri*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- Izquierdo Bautista, J., & Arévalo Hernández, J. (2021). Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. *Revista Ingeniería*, 20-28. doi:10.25054/22161325.2527
- La salinidad del suelo y su fertilidad. (2019). *FERTILAB*.
- Lafitte, H. (s.f.). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción*. Recuperado el 29 de marzo de 2023, de EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción: <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s12.htm>
- Legesse, T., & Beaumont, D. (2 de junio de 2021). *El cambio climático aumentará el riesgo de propagación de plagas, que ya destruyen un 40% de la producción de cultivos*. Recuperado el 29 de marzo de 2023, de UN News: <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492762>
- Lince Salazar, L. A., Castro Quintero, A. F., & Castaño Castaño, W. A. (2020). ESTABILIDAD DE AGREGADOS DE SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA. *Cenicafé*, 73-91.
- M. Enciso, J., Porter, D., & Périés, X. (2007). Uso de sensores de humedad en el suelo para eficientizar el riego. *Cooperativa de Texas*, 2-11.
- Maíz grano cultivo representativo de México*. | Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios | Gobierno | gob.mx. (23 de agosto de 2018). Recuperado el 29 de marzo de 2023, de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico>
- Molina, E., & Alvarado, A. (s.f.). *Manejo de la acidez y el encalado del suelo*.

- Naturaliza. (3 de Julio de 2019). *Ecoembes Naturaliza*. Obtenido de <https://www.naturalizaeducacion.org/2019/07/03/suelos-espacio-de-biodiversidad-y-generacion-de-vida/>
- NCAT. (2015). Hoja de Datos: Estiércol en Sistemas de Producción Orgánica. *ATTRA Agricultura Sustentable- Un programa del Centro Nacional de Tecnología Apropiaada*, 1-4.
- Olivar Escobar, D. (2009). *Determinación de la acidez intercambiable a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los suelos de la cuenca del Pacífico en el Salvador, Honduras y Nicaragua*. Tesis, Zamorano, Honduras.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Base referencial mundial del recurso del suelo*.
- Palmer, N. (5 de diciembre de 2018). *UNEP*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/es-el-suelo-tan-importante>
- Peña Datoli, M. (s.f.). Importancia del calcio en la agricultura. *Fertilab*.
- Pernett, X. (2006). *Proceso para cuantificar e interpretar las características físicas y químicas del suelo que reglan su función en relación con el agua, el almacenamiento de nutrientes y la infiltración: Caso de la cuenca de la laguna Fuquene*. Perú: International Potato Center.
- PROAIN TECNOLOGÍA AGRÍCOLA. (30 de septiembre de 2021). *La humedad del suelo y como monitorearla*. Obtenido de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-y-como-monitorearla>
- Rojas Martínez, A., & Torres Torres, F. (enero de 2009). Suelo agrícola en México: retrospección y prospectiva para la seguridad alimentaria. *REALIDAD, DATOS Y ESPACIO REVISTA INTERNACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA*, 139-143. Obtenido de <https://rde.inegi.org.mx/index.php/2019/01/25/suelo-agricola-en-mexico-retrospeccion-prospectiva-la-seguridad-alimentaria/>
- Rosales Neri, Y. (2019). *Densidad aparente y cuantificación de carbono y nitrógeno en los suelos con caña de azúcar en Morelos y Puebla, México*. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Ross, M. (2020). EL MAGNESIO – CLAVE ESENCIAL EN UNA FERTILIZACIÓN BALANCEADA DE LOS CULTIVOS. K+S KALI GmbH.

- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo, Uruguay.
- Ruiz Sch., R., Ferreyra E., R., & Barrera M., C. (s.f.). Manejo del suelo y nutrición con problemas de aireación. *INIA-La Platina*, 93-106.
- SAGARPA. (25 de agosto de 2017). Recuperado el 29 de marzo de 2023, de Caracterización por tipo de suelo: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/251540/Mapa_de_caracterizaci_n_tipo_suelo_nacional_Metodolog_a.pdf
- Sánchez V., J. (2007). *FERTITEC* S.A. Obtenido de <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>
- Santos Quadratin, E. Y. (05 de marzo de 2020). Cayó 50% la producción de maíz en Apango, denuncian ejidatarios. Obtenido de <https://guerrero.quadratin.com.mx/cayo-50-la-produccion-de-maiz-en-apango-denuncian-ejidatarios/>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (22 de Julio de 2020). *Maíz el cultivo de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (marzo de 10 de 2023). *Maíz, cultivo de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-cultivo-de-mexico#:~:text=Cultivo%20de%20ma%C3%ADz%20en%20M%C3%A9xico&text=Se%20cultiva%20en%20los%2032,de%20hect%C3%A1reas%20par a%20su%20cultivo.>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (5 de diciembre de 2015). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sabes-cual-es-la-importancia-de-los-suelos>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. NOM-021-SEMARNAT-2000. (D. O. Federación, Ed.) México. Obtenido de <http://www.semarnat.gob.mx/node/18>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (15 de agosto de 2019). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/articulos/maiz-grano?idiom=es>

- TECNAL. (s.f.). *TECNAL BLOG*. Obtenido de https://tecnal.com.br/es/blog/308_determinacion_de_la_estabilidad_de_los_agregados_del_suelo
- Universidad Nacional Noroeste Buenos Aires. (s.f.). *Calidad ambiental de los suelos- Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico*. Buenos Aires.
- USDA. (2014). *oil Survey Field and Laboratory Methods Manual; Soil Survey Investigations Report No. 51; Version 2*.
- Vargas Rodríguez, Cerón González, Olivares Martínez, & Bobadilla Ballesteros. (2020). *MANUAL DE EVALUACIÓN DE SUELOS-ÉNFASIS EN MEMORIA EDÁFICA, MATERIA ORGÁNICA E HIDROEDAFOLOGÍA*. Ciudad de México.
- Vargas Rojas, R. (2009). *GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS*. Roma.
- Vistoso Gacitúa, E., & Martínez-Lagos, J. (2020). Magnesio disponible y fertilización en los suelos de la Región de los Ríos. *INIA Remehue*.
- Z. Castellanos, J. (2000). *Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua*. Guanajuato: INTAGRI.