



MANUAL DE MANEJO INTEGRADO DEL SUELO PARA MEJORAR SU FERTILIDAD

ELABORO:

Mtro. Eugenio Cedillo Portugal

Lic. Leova Pamela Martínez Hernández

Erika Yesenia Hernández Chávez

Ana Karina Galindo Alvarez

Ariadna Martínez García

Miguel Ángel Martínez Martínez

**“Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM DGPA PAPIME” Clave:
PE203023**

Enero de 2024

INDICE

INTRODUCCIÓN	4
1. EL SUELO	5
1.1 Concepto de suelo.	5
1.2 Formación del suelo.	7
1.3 Factores que intervienen en la formación del suelo.	8
1.3.1 Factores físicos.	9
1.3.2 Factores químicos.	9
1.3.3 Factores biológicos.	9
2. LA FERTILIDAD DEL SUELO	10
2.1 El concepto de la fertilidad del suelo.	11
2.2 Factores que inciden en la fertilidad del suelo.	12
2.2.1 Las rocas.	12
2.2.2 El clima y la vegetación.	12
2.2.3 La topografía.	12
2.2.4 Prácticas de manejo.	13
2.3 ¿Cómo medir la fertilidad del suelo?	14
3. METODOLOGÍAS PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO	16
3.1 El perfil del suelo.	16
3.2 El análisis de fertilidad del suelo (análisis físico, químico y biológico).	19
3.2.1 La toma de muestras para los análisis de fertilidad.	20
3.2.2 Equipo y material.	21
3.2.3 Subdivisión de unidades de muestreo.	22
3.2.4 Número de submuestras.	23
3.2.5 Ubicación de los sitios de muestreo.	24
3.2.6 Profundidad de muestreo.	25
3.2.7 Muestra compuesta.	26
3.2.8 Etiquetado de la muestra para enviar al laboratorio.	27
3.2.9 El análisis de laboratorio.	28
3.2.9.1 Propiedades físicas del suelo.	29
3.2.9.2 Propiedades químicas del suelo.	30

3.2.9.3	pH, carbonatos totales, salinidad, requerimientos de yeso, cal y requerimientos de lavado.	30
3.2.9.4	Fertilidad del suelo.	31
3.2.9.5	Porcentaje de relación de bases.	32
3.2.9.6	Propiedades biológicas del suelo.	32
3.2.9.7	Interpretación de los resultados de los análisis de fertilidad del suelo.	33
3.3.	Evaluación de los indicadores biológicos del suelo.	33
3.4	Evaluación de la compactación del suelo.	37
4.	RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO INTEGRAL DEL SUELO.	39
4.1	Generación de recomendaciones para el manejo integral del suelo para mejorar su fertilidad.	39
4.1.1	Aplicaciones prácticas del perfil del suelo.	40
4.1.2	Aplicaciones prácticas de los análisis de fertilidad del suelo.	40
4.1.3	Aplicaciones prácticas de la evaluación de la compactación del suelo.	43
4.2	Prácticas agrícolas para mejorar la fertilidad del suelo.	43
4.2.1	El subsoleo del suelo.	44
4.2.2	Los abonos verdes.	46
4.2.3	Incorporación de abonos orgánicos.	48
4.2.4	El uso de los biofertilizantes.	51
4.2.5	La labranza de conservación.	55
4.2.6	La rotación de cultivos.	59
	CONCLUSIONES	60
	Literatura y Cibergrafía citada	61

MANUAL DE MANEJO INTEGRADO DEL SUELO PARA MEJORAR SU FERTILIDAD

Introducción

El suelo, junto con el agua y la vegetación, son los recursos naturales renovables que más importancia tienen en la producción de alimentos. El suelo, como sostén y proveedor de nutrientes y agua para las plantas; el agua como elemento de vida para los procesos fisiológicos de las plantas como la fotosíntesis y la respiración, así como para junto con el suelo ser un medio de solución de los nutrientes que las plantas necesita. Y la vegetación, que es proveedora de materia orgánica para enriquecer y mejorar la fertilidad del suelo.

El suelo tiene un papel fundamental dentro de la biosfera, ya que, gracias a él, es posible el desarrollo de la vegetación y la conformación de los diferentes ecosistemas existentes, además de que se pueden realizar actividades productivas como las actividades industriales, la construcción, la ganadería y la agricultura, cumpliendo así funciones vitales para el planeta y todos los seres vivos que lo habitan. En términos generales, se puede considerar al suelo el sostén para el desarrollo de todos los seres vivos.

En los últimos años, debido al uso intensivo y exagerado de estos recursos, aunado a los efectos del cambio climático. Los recursos naturales se están agotando, de tal manera que, en el futuro, la producción de alimentos enfrentará nuevos retos.

Actualmente la agricultura en México, requiere mayor cantidad de información precisa y detallada para incrementar la producción por unidad de superficie. Ante a los efectos adversos de la cadena de suministro por la pandemia por el COVID-19, el incremento de los precios de los insumos, la guerra Rusia-Ucrania y los altos precios de los fertilizantes, es necesario generar nuevas alternativas de manejo de los recursos naturales como el agua y el suelo.

Ante esta situación es relevante plantear nuevas estrategias de manejo de los recursos naturales. Es por ello, que, en este trabajo, se establecen algunas consideraciones relevantes para el manejo del suelo, que permita su conservación y el mejoramiento de la fertilidad integral, que permita a la agricultura obtener buenos rendimientos sin la degradación del suelo y disminuyendo los costos de producción por el elevado precio de los fertilizantes químicos.

En los últimos años se empieza a utilizar un nuevo concepto en la agricultura, la agricultura regenerativa, cómo una respuesta a degradación de los recursos naturales como el agua y el suelo. La agricultura regenerativa implica una nueva forma de aprovechar los recursos naturales utilizados en la producción de alimentos, implica conservar la biodiversidad, el suelo, el agua y el ecosistema en general. En este tipo de agricultura, se prescinde de la quema de rastrojos, el excesivo uso de agroquímicos como los herbicidas, y, el cuidado de la naturaleza y la salud humana. De tal manera, el manejo integral del suelo para mejorar la fertilidad, se convierte una herramienta de suma importancia para la agricultura regenerativa.

Este manual, se enfocará principalmente, al manejo integral del suelo para la producción agrícola, entendiendo de antemano, que el suelo es importante para todas las plantas terrestres, pero por la complejidad del tema y las diferentes alternativas que pueden existir para el manejo del suelo en zonas con vegetación, es imposible abarcarlas en un solo documento.

El manual abarca primero conceptos, características y propiedades del suelo, así como aspectos de la fertilidad, enseguida continua con las metodologías para la evaluación del estado integral del suelo y, por último, algunas de las prácticas agrícolas más relevantes para conservar y mejorar la fertilidad de los suelos.

1. EL SUELO.

1.1 Concepto de suelo.

A lo largo del tiempo, se han establecido una gran variedad de conceptos de suelo, esto debido a los diferentes enfoques que se le ha dado a lo largo de su estudio. Sin embargo, resumiendo todos ellos podemos llegar a definirlo como: Un ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual se llevan a cabo una gran cantidad

de actividades y de igual forma se desempeña el crecimiento y desarrollo de la vegetación. (INFOAFRO, 2022).).

EL SUELO COMO ENTE (Tiene vida)		
TRIDIMENSIONAL ✓ Largo ✓ Ancho ✓ Profundidad	✓ TRIFÁSICO ✓ Fase solida ✓ Fase liquida ✓ Fase gaseosa	DINÁMICO ✓ Cambios físicos ✓ Reacciones químicas ✓ Procesos biológicos

Cuadro 1. El suelo y sus características

Fuente: Elaboración propia con datos de INFOAGRO, 2022

Como resultado de la investigación y estudio del suelo, éste se ha considerado un componente de gran importancia en la agricultura y en la producción de alimentos. A pesar de solo cubrir aproximadamente un 30% de la superficie terrestre. Su composición es tan amplia, debido a que, en él, se llevan a cabo, procesos biológicos, físicos y químicos. Todo esto en conjunto contribuye a regular los ciclos del agua, el ciclo del aire, el ciclo de los nutrientes, entre otros.

En base a lo mencionado anteriormente, se puede decir que existen numerosos tipos de suelos, esto debido a la manera en cómo es que se va formando. La vegetación, el agua, los procesos de intemperismo físico, químico y biológico (descomposición o degradación de las rocas minerales), el clima y la erosión natural e inducida dan características únicas a la constitución de cada tipo de suelo, dando como resultado la formación de los diferentes tipos de suelos que pueden ser muy variados en un lugar y otro.

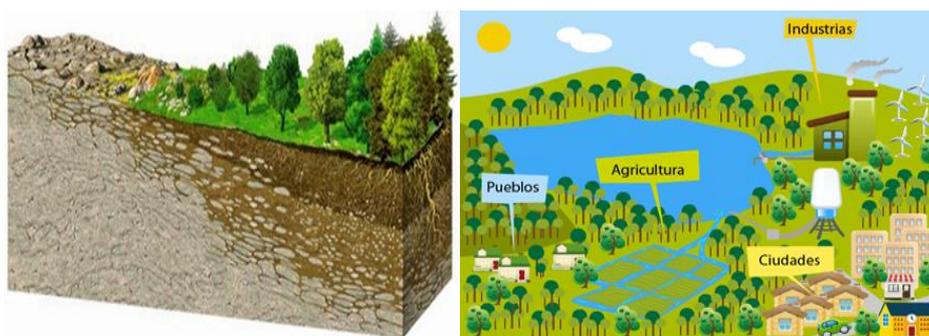


Figura 1. Distribución del suelo en la superficie terrestre y por organización social

Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2021

Debido a que existen diferentes tipos de suelos, se tiene la oportunidad de elegir cuál es el más apto para cada actividad que se desee realizar y en el caso específico de la agricultura, analizar qué condiciones requiere cada especie que se pretende cultivar y en cuál de los variados suelos existentes se puede tener un óptimo desarrollo de la planta. Por ello, es importante estudiar el suelo y conocer todas y cada una de las propiedades que lo componen.

1.2 Formación del suelo.

El suelo se forma a través de un proceso de la desintegración del material rocoso existente en el planeta, debido al intemperismo físico, químico y biológico de dicha roca. A este material rocoso también se le conoce como roca madre o roca generadora. La roca madre es una piedra de gran dureza conformada de varios minerales.

El intemperismo físico se refiere a la descomposición de las rocas por el efecto de la temperatura y el agua, esto quiere decir que los elementos climáticos juegan un papel determinante en ese fenómeno y es realizado a través del tiempo. Las lluvias y las altas y bajas temperaturas, así como los cambios bruscos de dichas temperaturas descomponen a las rocas en pequeños fragmentos.

En el intemperismo químico, la degradación de las rocas es causado por procesos químicos como la hidrólisis (el agua se combina con las sustancias químicas de las rocas) y la oxidación (el oxígeno del aire o de los espacios porosos se combina que las sustancias químicas de las rocas).

En el intemperismo biológico, las raíces de las plantas y los organismos que viven en el suelo, degradan mecánicamente a las rocas.

En términos generales, se puede decir que la formación del suelo implica todo un proceso químico, biológico y físico. La roca madre empieza su proceso de desintegración, generando así partículas que van esparciéndose en la superficie de la capa terrestre y se van acumulando y formando capas cada vez más gruesas hasta formar el suelo.



Figura 2. Proceso de formación del suelo.

Fuente: Universidad de Murcia, 2019

Cuando el suelo está en proceso de formación, se van formando capas, las cuales reciben el nombre de horizontes. Los horizontes del suelo son capas distintivas que se forman de manera natural a lo largo del tiempo en la superficie terrestre. Estas capas están compuestas por diferentes materiales y presentan características específicas que las distinguen unas de otras. La capa más profunda del suelo, generalmente está formada por fragmentos de rocas gruesas, esta capa es también conocida como horizonte C, la capa intermedia está formada por partículas más pequeñas y es donde la mayoría de las raíces de las plantas extraen los nutrientes y el agua que necesitan, a este horizonte se le conoce como horizonte B. En la superficie del suelo, en la mayoría de los casos, encontramos restos de materia orgánica de la vegetación circundante o de los residuos de cosecha, a este horizonte le denominamos horizonte A.

1.3 Factores que intervienen en la formación del suelo

Como se ha mencionado anteriormente, la formación del suelo depende de la interacción de tres factores principales, los cuales son: los factores físicos, los factores biológicos y los factores químicos.

1.3.1 Factores físicos

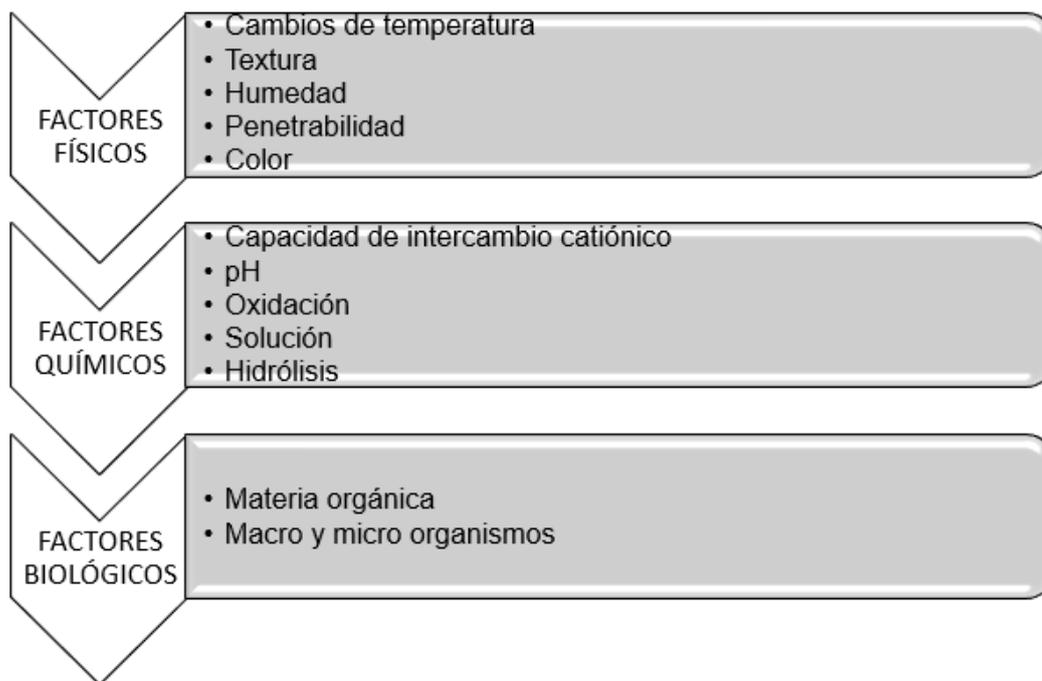
Los factores físicos tienen que ver directamente con los elementos climáticos como la temperatura, la lluvia, los vientos y la radiación. Estos elementos influyendo conjuntamente entre sí y con los factores químicos y biológicos y a través de tiempo van formando poco a poco el suelo que será un recurso natural vital para el desarrollo de las plantas.

1.3.2 Factores químicos.

Los factores químicos se refieren a la composición química de la roca madre. Y los procesos de intemperismo químico a los cuales este se ve influenciado. Así podemos tener suelos que por su origen son ricos minerales como calcio, magnesio y potasio, o en su caso ricos en bicarbonatos y sodio, lo que repercutirá en la calidad agronómica del suelo,

1.3.3 Factores biológicos

Los factores biológicos del suelo los podemos entender como todos aquellos organismos vivos que interactúan o que están relacionados con el suelo. Muchos de los organismos, contribuyen a la formación del suelo debido a las diferentes acciones y actividades que realizan. En este apartado incluimos a la vegetación, animales y microorganismos como hongos y bacterias. Los macro y microorganismos suelen formar parte fundamental para la formación del suelo ya que ayudan a que se puedan llevar a cabo otros factores físicos y químicos.



Cuadro 2. Factores y procesos de la formación del suelo.

Fuente: Elaboración propia con datos de INTAGRI, Los Factores de la Formación del Suelo, 2019

La interacción de los tres factores que intervienen en la formación del suelo son de suma importancia ya que, están relacionados entre sí, lo que provoca que los suelos sigan generando nuevos horizontes, dando la oportunidad de presentar nuevas características útiles para su aprovechamiento.

2. LA FERTILIDAD DEL SUELO.

Todos los agricultores y profesionales de la agricultura conocen o interpretan el concepto de fertilidad del suelo. Es un concepto que está relacionado con la capacidad que tiene el suelo para darles las condiciones óptimas de crecimiento y desarrollo de las plantas. Entonces, los agricultores y los profesionales de la agricultura, deben crear las condiciones físicas, químicas y biológicas para que esto suceda.

De forma natural, los suelos pueden poseer las condiciones necesarias para proveer a las plantas de nutrientes para su crecimiento y desarrollo. En el caso de la agricultura, el uso intensivo del suelo, las malas prácticas agrícolas, y la erosión hídrica y eólica (derivados de la acción climática como la temperatura, el viento y las precipitaciones), pueden disminuir dicha fertilidad.

2.1. El concepto de la fertilidad del suelo.

La mayoría de los expertos sobre el tema, definen a la fertilidad del suelo, como aquella condición física, química y biológica que permite a las plantas crecer y desarrollarse en condiciones óptimas. Ello implica que el suelo debe tener una textura adecuada, buena capacidad de aireación y retención de agua. Desde el punto de vista químico, el suelo debe tener un pH en un rango de 6.5 a 7.5, una baja conductividad eléctrica que indica un bajo contenido de sales, contener en las proporciones adecuadas los nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas; por otra parte, no existir un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos, así como mantener un nivel alto de intercambio catiónico. Desde el punto de vista biológico, mantener un porcentaje de materia orgánica por arriba del 3% y que en el suelo existan organismos y microorganismos que ayuden a la descomposición del suelo y fijar nutrientes.

Para poder obtener una buena calidad de suelo que nos ayude a tener un excelente nivel de productividad a través del tiempo es necesario proteger y mantener la fertilidad ante todo tipo de procesos que provocan su degradación en sus distintos tipos: Físico, químico y biológico.

En general, cuando hablamos de la fertilidad del suelo, lo abordamos desde una perspectiva agronómica, es decir, que buscamos que el suelo tenga las mejores condiciones para proveer de los recursos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, Ibáñez (2008), menciona que también es necesario incluir en la definición la rentabilidad y la sustentabilidad de los agrosistemas, es decir que es importante que exista una eficiencia económica en la parcela al cultivar y que sea amigable con el medio ambiente y pueda ofrecer beneficios sociales.

Debemos de considerar, que el suelo es un sistema dinámico de complejas interrelaciones recíprocas entre sus componentes físicos, químicos y biológicos. El suelo produce cuando todos los factores están equilibrados. La fertilidad del suelo, es tan solo uno de los factores de producción agrícola, aunque los minerales son básicos para la nutrición vegetal, la sola presencia de los elementos nutritivos no nutre a la planta, sino que estos deben ser retenidos durante cierto tiempo, para evitar su pérdida, y puestos a disposición de los vegetales. Estos, por su parte, deben

absorberlos y metabolizarlos, gracias al agua y el oxígeno del suelo y el desarrollo radicular. (Cerisola, 2015).

2.2. Factores que inciden en la fertilidad del suelo.

Como hemos visto en el tema anterior la fertilidad del suelo depende de varios factores, que deben de encontrarse en equilibrio y contribuir a crear las condiciones necesarias para el adecuado desarrollo, crecimiento y producción de las plantas. Podemos mencionar a los factores que contribuyen a la formación del suelo y a su erosión, como las rocas, la topografía del terreno, el clima y la vegetación, así como a las prácticas de manejo que hacen los agricultores con sus parcelas.

2.2.1. Las rocas.

Las rocas son el material sólido que dan origen a las partículas del suelo, dependiendo de su origen, se tendrán distintos tipos de suelo. Por ejemplo, las rocas ígneas darán origen a suelos arenosos, profundos, con poca retención de humedad y con pH ácido. En cambio, los suelos de rocas sedimentarias darán origen a suelos de textura arcillosa, profundos y por tener rocas calizas tendrán pH alcalinos. Por otra parte, las rocas metamórficas, darán origen a suelos arenosos, de pH ácidos, pero a diferencia de los de origen de roca ígnea, serán suelos superficiales y poco profundos.

2.2.2. El clima y la vegetación.

El clima y la vegetación serán otros elementos importantes para definir el tipo de suelo que se tendrá en un lugar determinado. En los climas cálidos y lluviosos, habrá más lavado de nutrientes y sales; por otra parte, se tendrá mayor vegetación arbórea y los contenidos de materia orgánica serán más abundantes, en consecuencia, el pH tenderá a ser ácido (pH menor a 7). En cambio, en los climas secos y con poca vegetación habrá una mayor acumulación de sales y menos lavado por la acción de las lluvias y entonces el suelo tenderá a ser alcalino (pH mayor a 7).

2.2.3. La topografía.

La topografía del terreno, junto con el tipo de roca que dio origen al suelo y el clima tendrá incidencia en la fertilidad natural del suelo. En suelos con topografía accidentada o con altas pendientes, la fertilidad natural dependerá de la cobertura

vegetal y si esta se encuentra bajo cultivo con malas prácticas agrícolas la fertilidad ser vera seriamente afectada. Por otra parte, los suelos que se encuentran en lugares planos tendrán la ventaja de acumular el arrastre de partículas de lugares con pendientes, por lo cual, la fertilidad debe ser mayor que en los terrenos con pendientes.

2.2.4. Prácticas de manejo.

Uno de los factores más importantes en la conservación de la fertilidad del suelo, especialmente cuando se tienen actividades agrícolas, es el manejo del suelo. Las prácticas que se realizan para el cultivo y cosecha de especies de importancia económica inciden directamente en la conservación o pérdida de la fertilidad.

El agricultor y los técnicos dedicados a la siembra y cultivo de especies agrícolas, deben de conocer al suelo, sus características físicas, químicas y biológicas para poder realizar recomendaciones para un adecuado manejo. Implica el conocimiento del clima, la topografía y el origen del suelo. Ya que, dependiendo de cada situación, el suelo se debe de manejar de una forma distinta



Figura 3 y 4. Siembra en terrenos con pendientes pronunciadas e hileras de cultivo paralelas a la dirección de la pendiente.

Fuente: Imagen propia



Figura 5 y 6. Quema de residuos de cosecha y contaminación química del suelo por residuos plásticos.

Fuente: Imagen propia

El laboreo intensivo del suelo, como el barbecho y el rastreo pueden ocasionar problemas de compactación y erosión eólica. Por otra parte, el cultivo en hileras en terrenos con pendientes pronunciadas, no es una práctica adecuada, y menos, si las hileras se colocan paralelas a dicha pendiente. Por otra parte, la quema de residuos de la cosecha anterior y la contaminación por plásticos es nociva para los organismos superiores y los microorganismos.

2.3. ¿Cómo medir la fertilidad del suelo?

Sin duda alguna, conocer la fertilidad del suelo es una de las necesidades más importantes para el éxito en la producción agrícola y el manejo a largo plazo de los suelos. Ya que como se mencionó anteriormente, la fertilidad del suelo es el estado ideal que guarda un suelo para aprovechar al máximo sus propiedades que permitan a las plantas obtener los nutrientes, el agua y el oxígeno para crecer y desarrollarse a su máximo potencial.

La fertilidad del suelo como se señaló anteriormente, depende de las características físicas, químicas y biológicas que dicho suelo posee, por lo cual, actualmente, los expertos hablan de la fertilidad física, química y biológica del suelo.

Fertilidad física. La fertilidad física está relacionada con las propiedades físicas del suelo, que permiten crear las condiciones para tener una buena aireación y excelente retención de humedad.

Fertilidad química. Se le relaciona con la capacidad del suelo para suministrar nutrientes a las plantas, esto implica el contenido de nutrientes, el valor de pH y el contenido de sales y bicarbonatos.

Fertilidad biológica. La fertilidad biológica se le relaciona con los contenidos de materia orgánica y los microorganismos, dichos microorganismos intervienen en los procesos físicos y reacciones químicas que mantienen la funcionalidad del suelo, ayudan a descomponer la materia orgánica, mejoran la absorción de algunos nutrientes y generan espacios porosos que sirven para la retención de humedad y la oxigenación del suelo.

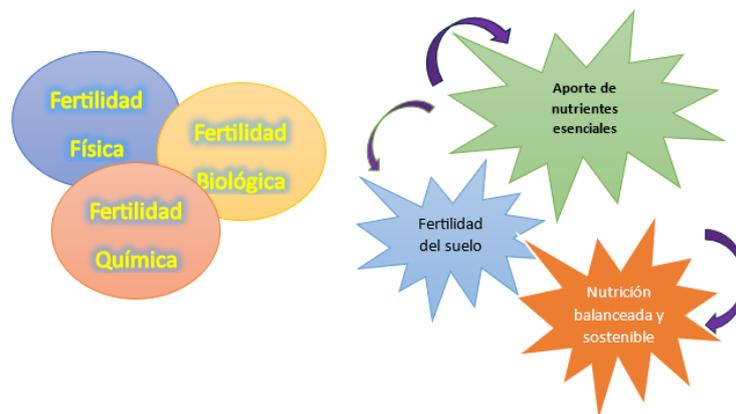


Figura 7. Tipos de fertilidad del suelo.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, para medir la fertilidad del suelo, se necesita conocer con mayor precisión cuales son los valores cualitativos y cuantitativos de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Si hablamos de valores cualitativos, los podemos obtener a través de la observación de los suelos, su color, su consistencia, profundidad, su topografía y la capacidad para obtener altos rendimientos en los cultivos. También se puede cuantificar la compactación del suelo y su influencia en el drenaje y la aireación. Para estudios más profundos y de mayor precisión es necesario realizar perfiles de suelo y toma de muestras para mandar analizarlos a laboratorios especializados y obtener estudios de fertilidad del suelo, grados de compactación y evaluación de indicadores biológicos.

3. METODOLOGÍAS PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO

Medir la fertilidad del suelo para la obtención de altos rendimientos en los cultivos y lograr la máxima eficiencia en el uso de los recursos e insumos utilizados, es uno de los objetivos más importantes de los agricultores y de los técnicos que se dedican a la producción agrícola. Pero para tener éxito en este objetivo es necesario conocer el estado actual del suelo que se quiere manejar, para ello, se cuentan con 4 herramientas fundamentales, el perfil del suelo, el análisis de laboratorio para conocer la fertilidad del suelo y actualmente la evaluación de los indicadores biológicos del suelo y la medición de la compactación del suelo.

3.1. El perfil de suelo.

Un perfil de suelo, es un corte vertical del mismo, donde pueden observarse los horizontes que la integran, entendiéndose como horizonte a una capa de suelo con características físicas, químicas y biológicas bien definidas.

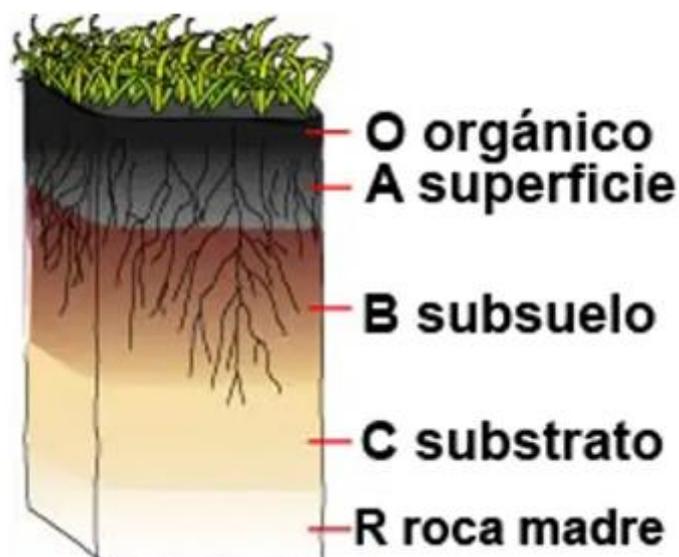


Figura 8. El perfil del suelo.

Fuente: Evaluación de la calidad del suelo: Por qué y cómo (Croft, 2020)

En un perfil del suelo, se pueden observar los horizontes (Figura 8) donde pueden existir varios horizontes, sin embargo, la mayoría de los suelos tienen entre 3 y 4, siguiendo un patrón O-A-B-C-R, que es un patrón aceptado por la mayoría de los expertos en los estudios del suelo. Donde el horizonte O se refiere a la capa más superficial del suelo y donde la materia orgánica puede observarse a simple vista, el horizonte A contiene materia orgánica descompuesta y generalmente tiene un color más oscuro que el horizonte B y C, mientras que el horizonte B contiene lixiviados de

los horizontes superiores y contiene arcillas que ayudan a retener a los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento, el horizonte C es una capa con rocas en proceso de desintegración y el horizonte R se refiere a la roca madre.



Figura 9. Perfil de suelo.

Fuente. Tomado de una práctica de campo de la Lic. en Planificación para el Desarrollo Agropecuario.

El estudio de los perfiles de suelo, ayuda a conocer la evolución y desarrollo de un suelo en particular, ya que, en los procesos de formación del suelo, dan lugar a una diferenciación de los horizontes según el efecto de lixiviación o acumulación de materiales o sustancias en un determinado lugar del perfil. De modo que el estudio del perfil del suelo puede brindar información sobre su génesis y desarrollo.

Por otra parte, los perfiles de suelo también permiten la planeación federal, estatal o municipal puesto que ayudan a generar mejores estrategias que beneficien a la población, así mismo los agricultores obtienen información de los suelos que brindan mayor seguridad en su producción al solucionar problemas de salinidad y sodicidad (Ortiz, 2019).

Otra aplicación práctica del estudio de los perfiles de suelo, es la observación del crecimiento de las raíces de las plantas cultivadas y el grado de compactación en las capas del suelo. Al observar el crecimiento de las raíces, podemos medir el nivel de

exploración que tienen en el suelo, entre más profundo estén, habrá más posibilidades de extraer nutrientes y agua y por lo tanto el cultivo tendrá mayores posibilidades de incrementar su rendimiento. También al realizar el perfil, podemos evaluar el grado de compactación de las capas más bajas del suelo, ya que es muy frecuente, que el piso de arado se encuentre alrededor de 30 cm y más abajo, las capas se encuentren compactadas.



Figura 10 y 11. Medición del crecimiento de las raíces y su desarrollo en el suelo.

Fuente: Imagen propia.

Para realizar perfiles de suelo es necesario contar con herramientas, de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, si se realizan muestreos para determinar la fertilidad de suelos, salinidad y/o sodicidad los materiales más utilizados son: barrena o pala recta, bolsas plásticas, marcadores, libreta, bolígrafo y mapa del área, no obstante para realizar muestreos con propósito de clasificación de suelos se requieren materiales adicionales como martillo pedológico (espátula o cuchillo de acero inoxidable), pico, etiquetas y GPS.

En dichos perfiles se hallarán materiales propios del suelo, Sánchez (2021) menciona que se encuentran acorde a su etapa específica, por ejemplo: minerales y materia orgánica en su fase sólida, poros que alojan oxígeno en su fase gaseosa, así como agua y sales en su fase líquida; precisando la textura y comportamiento de micro y macro nutrientes en las muestras.

De acuerdo a Alconada (2000) es necesario clasificar los perfiles de suelo analizados, para ello, existen dos medios de clasificación de suelos más difundidos en el mundo: Soil taxonomy (USDA) y la base referencial del recurso suelo WRB por

sus siglas en inglés (World Reference Base of Soil Resources) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés). De acuerdo a Castellanos (2000) estos criterios de clasificación, facilitan la descripción de los suelos, y nos permiten tener mayor información sobre su origen, desarrollo y características específicas de cada tipo de suelo muestreado. En México, el sistema de clasificación más utilizado es el WRB adaptada a las condiciones ambientales de nuestro país a partir de 1968 y reportada en las primeras cartas edafológicas del INEGI (Instituto de Geografía e Informática) (SEMARNAT, 2015).

Es importante aclarar que estos sistemas son útiles, pero no son suficientes pues solo dan una idea general de la fertilidad del suelo. Si queremos tener mayor información y precisión de la fertilidad de un suelo para su manejo agronómico y poder cultivar con éxito alguna especie de importancia económica, es necesario analizar a nivel parcelario por lo que es sumamente valioso realizar análisis físicos, químicos y biológicos para determinar el mejor plan de manejo y con ello maximizar la productividad del cultivo.

3.2. El análisis de la fertilidad del suelo (análisis físico, químico y biológico).

El análisis de la fertilidad del suelo, que contempla las características físicas, químicas y biológicas de un suelo en particular, es una de las herramientas más útiles para medir la capacidad que tiene un suelo para producir altos rendimientos en los cultivos con la mayor eficiencia posible y sirve además para mantener los niveles de fertilidad constantes a través del tiempo, aun utilizando de manera constante a dicho suelo. También ayuda a maximizar la aplicación de fertilizantes químicos y orgánicos, permite un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas, lo cual redundará en una mayor resistencia a los factores ambientales y a las plagas y enfermedades, así como hacer un uso más adecuado del recurso suelo y agua, por lo cual, permite un manejo sustentable de los recursos naturales.

El análisis de la fertilidad del suelo debe ser realizado por personal capacitado y con el equipo y las herramientas adecuadas antes de realizar la siembra del cultivo, para que su interpretación permita planear adecuadamente las mejoras que hay que realizar el suelo muestreado. En México, para su realización, se toma como referencia

la NOM-021-SEMARNAT-2000, que es la norma de uso obligatorio para realizar los análisis de fertilidad de suelos.

La realización del análisis de fertilidad de suelos consta de dos etapas muy importantes, la primera es la toma de muestras en campo, y la segunda su análisis en un laboratorio reconocido y certificado, que tenga un control estricto de la calidad de los procesos, que participe en programas de Inter calibración nacionales e internacionales y que indique los procedimientos analíticos que utilizó en los análisis de las muestras.

Posteriormente, el siguiente paso es la interpretación de los resultados y la generación de las recomendaciones, de acuerdo al tipo de especie agrícola a cultivar y al manejo del cultivo (riego o temporal). En algunos laboratorios, entregan los resultados con una interpretación y recomendaciones generales. Sin embargo, de preferencia, los resultados deberán ser analizados por personal capacitado para interpretar y dar las recomendaciones de manera más específica a los agricultores.

3.2.1. La toma de muestras para los análisis de fertilidad.

La toma de muestras para un análisis de fertilidad de suelos, es un procedimiento mediante el cual se obtienen una o más muestras representativas de un terreno, realizarlo de manera adecuada es de suma importancia ya que es el primer paso para generar un análisis de suelo confiable y con ello recomendaciones que beneficiarán al productor (económicamente), al cultivo (en su rendimiento) y al suelo mismo (en su calidad).

Hay que tener en cuenta que el análisis solo representa una mínima parte del total del suelo, por lo que es crucial tener cuidado en el procedimiento para tomar las muestras pues de no hacerse de manera adecuada se generarán errores en el análisis que repercutirán negativamente en las parcelas. Las plantas necesitan nutrientes, mismos que obtienen del suelo y/o de lo de los fertilizantes, cuando estos nutrimentos no se encuentran disponibles, los cultivos muestran deficiencias observables en sus hojas, tallos, frutos o raíces, reflejados en la calidad y cantidad de la cosecha, es por ello que analizar el suelo permite atenuar estas deficiencias.

Finalmente, es importante llevar a cabo un diagnóstico que involucre aspectos como: historia del terreno y del cultivo, datos de fertilización, épocas de aplicación, manejo del suelo y del cultivo, rendimientos, clima y todo aquello que consideremos relevante con el fin de conocer mejor el sitio y definir las unidades de muestreo.

Existe una metodología que se utiliza para tomar las muestras de suelo antes de ser enviadas a laboratorio para su análisis, a continuación, se describen los pasos y recomendaciones a seguir:

3.2.2 Equipo y material.

De acuerdo a la NOM-021 SEMARNAT 2000, el material y equipo mínimo necesario para la colecta de muestras de suelo en campo es:

1. Barrena de cilindro cerrado o pala recta.
2. Bolsas de plástico transparente con capacidad para dos kilogramos de suelo.
3. Marcadores de tinta indeleble.
4. Libreta de notas y bolígrafo.
5. Plano, mapa o fotografía aérea de la zona de muestreo.

y evidencia fotográfica.



Figura 12. Uso de barrena para la toma de muestras.

Fuente: Imagen propia



Figura 13. Bolsas de una empresa comercial para muestreo de suelos

Fuente: :Fertilab. Manual de Muestreo, 4° Edición (s/a).

<https://www.fertilab.com.mx/new/documentos/Manual%20de%20muestreo%204a%20edicion%20v2021.pdf>

3.2.3. Subdivisión de unidades de muestreo.

Antes de tomar las muestras es necesario dividir el terreno en áreas homogéneas (unidades de muestreo) donde se comparten ciertas características, para ello se consideran los siguientes factores:

El color del suelo, áreas con problemas de salinidad y/o Sodicidad, textura, pendiente del terreno, cultivo anterior, historial de cultivos y uso de mejoradores (yeso, cal o adición de materia orgánica).



Figura 14. Exploración del terreno para definir las áreas de muestreo

Fuente. Imagen propia

Esto se hace con el fin de no mezclar muestras de dos espacios con características diferentes, ya que los datos arrojados en los análisis pueden arrojar distintos valores y no es conveniente mezclarlos, pues el comportamiento nutrimental no es igual, por ejemplo, si se siembra maíz o se siembra tomate, si el cultivo anterior ha sido el mismo por años o se realiza rotación de cultivos; también deben considerarse las siguientes prácticas: riego, manejo del suelo y la fertilización.

Referente al tamaño de cada unidad de muestreo, la NOM-021 SEMARNAT 2000, menciona que se puede tener una extensión de 2 a 8 ha o más si el área en cuestión es muy homogénea.

3.2.4 Número de submuestras.

Una vez, que se han delimitado las áreas para realizar el muestreo, el siguiente paso es muestrear cada una de dichas áreas, para ellos se toman submuestras de cada una de estas áreas para realizar una mezcla compuesta, del cual se tomará la muestra que será enviada al laboratorio para su análisis.

A continuación, se muestra un cuadro establecido por INTAGRI (2000), que indica el número mínimo de submuestras de suelo a tomar para preparar la muestra compuesta de cada unidad de muestreo que se enviará a laboratorio:

Superficie del lote homogéneo o unidad de muestreo que se desea realizar	Número mínimo de submuestras a tomar para preparar la muestra compuesta
< 2 hectáreas	8
2-5 hectáreas	12
6-10 hectáreas	20
10-25 hectáreas	25

Cuadro 3. Relación superficie de la unidad de muestreo-submuestras a tomar.

Fuente: Castellanos (2000)



Figura 15. Toma de muestras individual

Fuente: Imagen propia

3.2.5. Ubicación de sitios de muestreo.

Para determinar de dónde se extraerán las muestras existen diferentes métodos, los más prácticos son: zig zag y cinco de oros, para ello se inicia por un lado del terreno al azar, es importante que se visualice todo el terreno para cubrir de manera uniforme la unidad de muestreo y la distancia entre los distintos puntos proyectados.

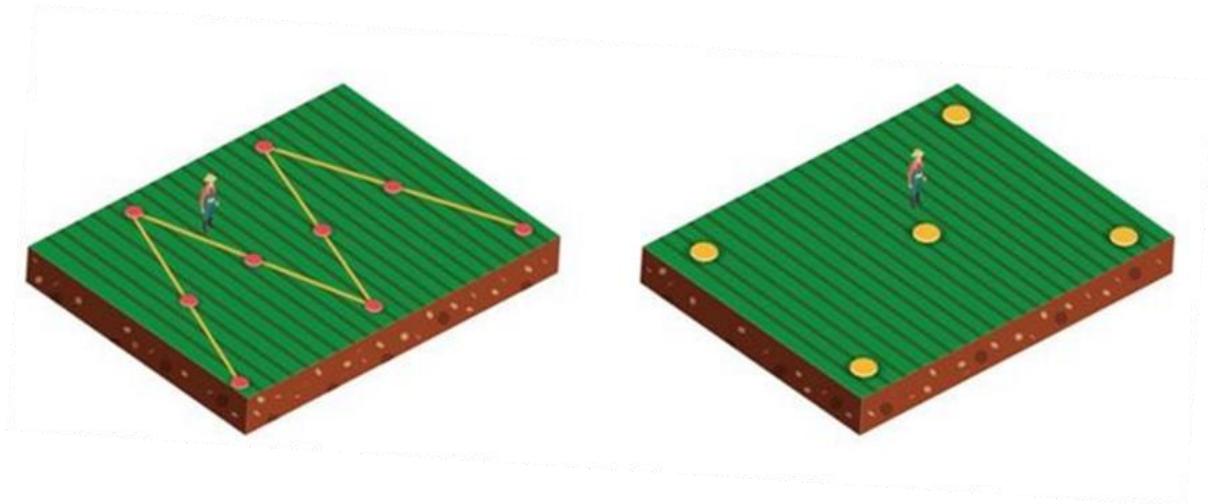


Figura 16. Ubicación de los sitios de muestreos.

Fuente: Programa MARI, 2017. Monitorea, controla y protege.
(<https://www.programamari.com/monitoreo-y-control/#1560893191039-332cdafd-2bdf>)

3.2.6 Profundidad de muestreo.

Generalmente el muestreo se realiza a una profundidad de 0 a 30 cm (capa arable) en ella se desarrolla la raíz de la mayoría de los cultivos anuales y se encuentra mayor cantidad de materia orgánica, sin embargo, cuando se trabaja como pastos o árboles frutales, la profundidad puede variar. A continuación, se sintetiza un cuadro recomendando la profundidad de muestreo de acuerdo al uso que se le da al suelo:

Uso de suelo	Profundidad de muestreo (centímetros)	Observaciones
Mayoría de los cultivos	0 a 20 o 0 a 30	Capa arable, cultivos de raíz superficial.
Pastos o prados	5 a 10	-
Frutales	A intervalos de 30 hasta llegar entre 90 a 120	Hasta el sitio de máxima densidad de raíces, según la especie.
Suelos con sales	0 a 5	A la profundidad donde germina la semilla.
Pastizales	0 a 10 y 10 a 20	-

Cuadro 4. Uso del suelo y profundidad de muestreo

Fuente: Elaboración propia, adaptado de la NOM-021-SEMARNAT, 2000. Castellanos, 2000 y Fertilab, s/a.

3.2.7. Muestra compuesta.

Para obtener la muestra compuesta, se mezclan las submuestras obtenidas del recorrido realizado en zig-zag o en cinco de oros del terreno muestreado. Cada submuestra debe tener el mismo volumen de suelo. La mezcla compuesta se hace en una tina de plástico y se procede a homogenizar la mezcla con una pala metálica. Una vez concluida la homogenización, se toma 1.5 kg de suelo, que será enviada al laboratorio. De preferencia, deben de utilizarse bolsas de plástico de cerrado hermético para evitar contaminación de la muestra.



Figura 17 y 18. Toma de muestras, mezclado para hacer la mezcla compuesta, pesado y envasado.

Fuente: Imagen propia

3.2.8. Etiquetado de la muestra a enviar al laboratorio.

Una vez que tenemos la muestra lista para ser enviada al laboratorio, es necesario incluir información relevante para identificar a cada una de las muestras enviada, estas deben de incluir los siguientes aspectos.

1. Nombre del productor o interesado.
2. Clave de identificación del lugar donde fue recolectada la muestra, si fuera posible sobre un plano o mapa referenciado.
3. Nombre del cultivo establecido o con qué fines se realiza el muestreo.
4. Identificación propia de la muestra.
5. Fecha de colecta de la prueba.



Figuras 19. Etiquetado de muestras de suelo

Fuente: Imagen propia

FOR-VE-07

Fertilab
Fertilidad de suelos S. de R. L.

Etiqueta de muestra de suelo

RFC: Código postal:

Razón social:

Motivo del análisis: Producción Investigación

Técnico:

Correo: Teléfono:

Productor / Empresa:

Identificación:

Predio:

Localidad: Municipio: Estado:

Coordenadas:

Profundidad: 0 - 30 30 - 60 60 - 90

Cultivo anterior:

Cultivo a establecer:

Meta de rendimiento:

Manejo de residuos: Incorporados Quemados Retirados

Edad de frutal:

Agricultura: Riego Temporal

Requiero recomendación: Sí No

Núm. cotización:

En caso de no contar con cotización, llene la siguiente información:

Análisis solicitado: Fertilidad Extracto de pasta

Metales pesados Ácidos húmicos y fúlvicos

Otro:

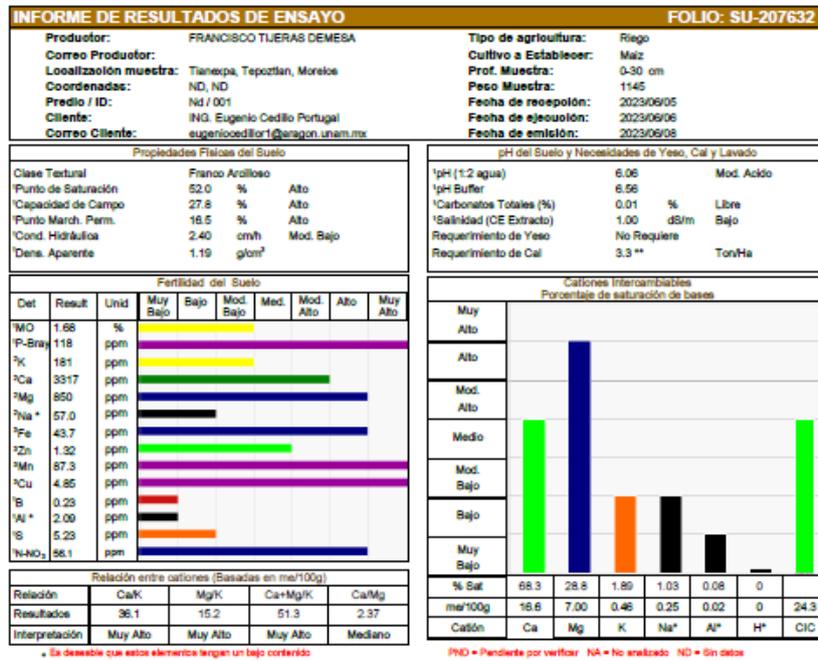
Figura 20. Ejemplo de etiqueta

Fuente: <https://www.fertilab.com.mx/Etiquetas/Genera-tu-etiqueta>

3.2.9 El análisis de laboratorio.

Una vez que las muestras llegan al laboratorio, inicia el proceso de análisis de la fertilidad del suelo, que consta de tres parámetros fundamentales. El análisis de las propiedades físicas, las propiedades químicas y las propiedades biológicas.

El laboratorio entregará al usuario un informe que contenga los valores de cada uno de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la muestra de suelo enviada, de preferencia, lo entregará con los valores obtenidos y en la mayoría de los casos, con los valores normales que deben encontrarse en un suelo fértil, ya que esta información será muy útil al momento de interpretar los resultados. Algunos laboratorios, también entregan un informe con las recomendaciones generales de manejo, mismo que debe ser analizado por un especialista para realizar las recomendaciones específicas de manejo para ese suelo en particular.



Realizó

 Jessica Yolanda Cadenas
 Signatario

Aprobó

 David Maldonado Romero
 Jefe de laboratorio

Realizó

 Brenda Selena Ramirez
 Signatario

Figura 21. Ejemplo de un informe de análisis de suelo

Fuente: Análisis de suelo para el proyecto PAPIME PE203023

3.2.9.1 Propiedades físicas del suelo.

Las variables físicas que se analizan son:

1. Clase textural. La textura indica las partículas de arena, limo y arcilla en porcentaje. Las arcillas (con tamaño de partículas de <0.002 mm), limo (de 0.002 - 0.02 mm) y arena (de 0.02 hasta 2 mm).
2. Punto de saturación. Se entiende como la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener.
3. Capacidad de campo. Es la cantidad de agua que queda en el suelo tras haberse filtrado después de llevarse a punto de saturación.
4. Punto de marchitez permanente. Cantidad mínima de agua que puede extraer la planta, en el cual los cultivos ya no se recuperan.

5. Conductividad hidráulica. Se refiere a la velocidad de infiltración (qué tan rápido pasa el agua a través del suelo). Ejemplo: Si el análisis en laboratorio indica “muy bajo” se traduce en un suelo compactado, “alto” por otra parte refiere buen drenaje; se representa en centímetros por hora.
6. Densidad aparente. La densidad aparente, expresa el contenido de sólidos por unidad de volumen (gramos/cm³) (Castellanos, 2000). Es el equilibrio entre la parte sólida y la gaseosa.

3.2.9.2 Propiedades químicas del suelo.

El suelo tiene muchas propiedades químicas, algunas van a hacer muy importantes para mantener en el suelo en condiciones óptimas de suministrar los nutrientes que las plantas necesitan (el pH, los carbonatos totales, la salinidad, los requerimientos de yeso, cal y los requerimientos de lavado), por otra parte, tenemos a los nutrientes esenciales que van a hacer importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la relación que existen entre los nutrientes en forma de catión (carga eléctrica positiva) y la capacidad que tienen las partículas del suelo (arcillas) para retener a esos nutrientes de carga eléctrica positiva (capacidad de intercambio catiónico) también conocida como CIC.

3.2.9.3 pH, carbonatos totales, salinidad, requerimientos de yeso, cal y requerimientos de lavado.

- a. pH: El potencial hidrógeno refleja el aprovechamiento de los nutrientes, mientras más ácido o alcalino el suelo menos se aprovechan los nutrientes, el pH es importante para la asimilación de nutrientes; va en intervalos de 0.0 a 14.0, un valor menor a 7.0 es ácido y mayor a 7.0 alcalino. Un pH menor de 4.0 indica la presencia de ácidos libres comúnmente producto de la oxidación de los sulfuros. El pH ideal del suelo, es aquel que va de 6.0 a 6.5, pues a este nivel muestran una razonable disponibilidad.
- b. pH buffer: Una solución buffer tiene la capacidad de resistir cambios de pH cuando se le adicionan pequeñas cantidades de un ácido o base fuerte; este

método permite determinar el requerimiento de cal necesaria para aumentar el valor de pH del suelo, según las necesidades del cultivo a producir. (Fertilab, 2023).

c. Carbonatos totales: Se refiere a la cantidad de carbonatos presentes en el suelo (CO_3), estos pueden tener un impacto positivo o negativo dependiendo del cultivo, en general suelen ser negativos ya que incrementan el pH del suelo y reducen la disponibilidad de algunos elementos:

d. Salinidad (CE Extracto): La conductividad eléctrica (CE) es una medida indirecta para medir las sales en una solución nutritiva o en el suelo, las plantas cultivadas tienen CE óptimas de acuerdo a la especie y a la etapa de crecimiento.

e. Requerimientos de yeso: Es un parámetro que se utiliza saber si es necesario para aumentar el calcio y eliminar el sodio, es conocido como mejorador de suelos,

f. Requerimientos de cal: Es un parámetro que se utiliza para mejorar suelos ácidos, también es conocido como un mejorador de suelos.

g. Requerimientos de lavado: Este valor se utiliza para conocer la cantidad mínima de agua de riego que debe ser drenada a través de la zona radical para controlar la salinidad del suelo a un nivel específico dado (Tijerina, 1999).

3.2.9.4 Fertilidad del suelo.

La fertilidad del suelo en los análisis de fertilidad, se refieren a la concentración de los nutrientes esenciales para las plantas presentes en el suelo. Entendiendo como nutriente esencial, a aquellos elementos que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo, y que, en ausencia de él, las plantas no pueden completar su desarrollo y que, además, dichos nutrientes esenciales, no pueden ser sustituidos por otros. En este apartado se consideran a los elementos que afectan la sodicidad o a la acidez del suelo.

Dentro de los nutrientes esenciales se analiza los contenidos de los macroelementos como el N en forma de nitratos (NO_3), fósforo (P) y potasio (K), siguiendo con los

elementos secundarios como el calcio (Ca), Azufre (S) y magnesio (Mg), así como los llamados microelementos como el fierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y boro (B).

Por otra parte, se analiza el contenido de sodio (Na) que indica el nivel de Sodicidad del suelo, y los contenidos de aluminio (Al) e hidrogeno (H), que influyen en la acidez del suelo.

El contenido de los elementos esenciales y otros presentes en el suelo se expresa en partes por millón (ppm) y el contenido de materia orgánica en porcentaje.

También en este apartado, se incluyen las relaciones que existen entre los cationes del suelo (elementos con carga positiva) expresados en miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo. Los cationes del suelo son el calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg). Los valores obtenidos son importantes para determinar si alguno está muy alto o bajo y pueda influir en la absorción de algunos de ellos.

3.2.9.5 Porcentaje de relación de bases.

Es parámetro, se refiere a la capacidad de intercambio catiónico de un suelo. Indica la cantidad de Ca, K, Mg, Na, Al e H adsorbido en las arcillas del suelo y expresadas en miliequivalentes por cada 100 gramos de suelo y también en se expresa en porcentaje, y como estos elementos tienen carga positiva también se les llama bases, de ahí el termino de porcentaje de relación de bases. Al igual que las relaciones entre cationes, es importante que estos elementos se encuentren dentro de un rango óptimo para evitar que alguno de ellos, impida adsorción de otro, especialmente de los elementos que son esenciales como el Ca, K y Mg.

3.2.9.6 Propiedades biológicas del suelo.

En los análisis de laboratorio, las propiedades biológicas del suelo, se evalúa a partir del contenido de materia orgánica presente en el suelo, expresado en porcentaje. Los residuos vegetales y los abonos orgánicos pasan a formar parte del suelo y pueden albergar una gran cantidad de microorganismos benéficos para las plantas cultivadas y además de contener nutrientes esenciales para las plantas y mejorar las propiedades físicas del suelo como mejorar la retención de humedad y la oxigenación

del suelo. Para más información sobre las propiedades biológicas del suelo, existe una metodología más particular y que se abordará más adelante y se refiere a los indicadores biológicos del suelo para conocer el estado de salud del suelo.

3.2.9.7 Interpretación de los resultados de los análisis de fertilidad del suelo.

Sin duda alguna, esta es una de las etapas más importantes y complejas del proceso de análisis de la fertilidad del suelo, ya que implica el conocimiento de los valores óptimos de los parámetros evaluados, de la capacidad para determinar el contenido de los nutrientes esenciales en una parcela determinada con una superficie de cultivo conocido, así como calcular las enmiendas (requerimientos de yeso, cal y lavado de suelos) que hay que realizar en la parcela para que ésta puede brindar las mejores condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas para obtener buenas cosechas.

Es importante también, conocer la especie cultivada, sus requerimientos nutrimentales y la meta de rendimiento deseada, así como las condiciones de cultivo, si es de temporal o riego, y que tipo de riego se va a utilizar. Se requiere que el personal que va a realizar la interpretación tenga pleno conocimiento del manejo del suelo, de la nutrición vegetal y de la metodología para calcular las mejoras que hay que hacer al suelo, para que éste exprese su máximo potencial al momento de recibir y mantener a la planta cultivada,

No es el propósito de este manual hacer interpretación de los resultados de un análisis del suelo, pero sí de reconocer la importancia del mismo, en un proceso de manejo integral del suelo para mantener la fertilidad a mediano y largo plazo.

3.3. Evaluación de los indicadores biológicos del suelo.

En los últimos años, se han incorporado nuevas metodologías para medir de manera integral la fertilidad del suelo, una de las más importantes que han surgido para manejar de manera integral al suelo para la producción agrícola, es la evaluación de los indicadores biológicos del suelo.

Esta metodología es una herramienta para el monitoreo de los indicadores biológicos del estado del suelo que permiten ampliar el entendimiento de sus procesos y las prácticas agrícolas que inciden sobre dicho suelo (Bracamontes et al. 2018).

En el suelo existe una gran biota, conformada por organismos mayores y microorganismos. Estos, interactúan con los agentes abióticos como el clima y las partículas del suelo y establecen una red compleja de relaciones que ayudan a descomponer la materia orgánica, a mejorar la absorción de nutrientes y a dar estabilidad a la estructura del suelo. Una característica interesante de los organismos y microorganismos del suelo, es su capacidad para adaptarse rápidamente a cambios en el ambiente, como las sequías, inundaciones, falta de alimentos y a la presencia de agentes contaminantes (USDA, 2015, citado por Bracamontes et al. 2018).

Todas las consideraciones anteriores se vuelven muy importantes, ya que las prácticas agrícolas pueden modificar la presencia de estos agentes bióticos, de tal manera, que el monitoreo de éstos, puede ayudar a conocer y entender el estado del suelo y a buscar el manejo más adecuado para evitar la degradación y la pérdida de la fertilidad.

De acuerdo a Doran y Parkin (1994), USDA (2015) y Bastida et al (2008) citados por Bracamontes et al, 2018, a la fecha se tienen los siguientes indicadores biológicos de la calidad del suelo.

- a. Respiración del suelo.
- b. Relación carbono total/carbono orgánico.
- c. Actividad enzimática.
- d. Población de lombrices.
- e. Colonización micorrízica.

Todos estos parámetros deben de realizarse en un laboratorio especializado, desgraciadamente en México aún no es muy común. Los únicos parámetros que realizan algunos laboratorios comerciales privados es la respiración del suelo y la presencia de hongos, bacterias y nemátodos presentes. Los indicadores anteriormente señalados se realizan en los laboratorios de algunas instituciones de educación superior como la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), que ya cuenta con un Manual de indicadores de la salud del suelo.

La respiración del suelo y la relación carbono total/carbono orgánico van de la mano, ya que la respiración microbiana se cuantifica midiendo la presencia de carbono orgánico en un tiempo determinado. A mayor captura y cuantificación de dióxido de carbono (CO₂), se tiene más actividad microbiana y entonces el suelo puede ser de mayor calidad.



Figura 22. Prueba de laboratorio para medir respiración a nivel cualitativo del suelo. Aplicación de HCl 0.1 M
Matraz de la izquierda, suelo con alto nivel de materia orgánica (m.o.) y microorganismo. Matraz derecho, bajo nivel de m.o. y bajo nivel microorganismos.

Fuente: Imagen propia

La actividad enzimática está relacionada también con la presencia de microorganismos y con las plantas, son proteínas constituyentes de todos los seres vivos y sirven para regular y acelerar los procesos químicos presentes en todos los procesos biológicos como la respiración, la fotosíntesis y la absorción de nutrientes. De tal manera, a mayor actividad enzimática, mayor presencia de microorganismos.

Una de las características más visibles y fáciles de evaluar, es la presencia o ausencia de lombrices en el suelo. Su presencia denota una buena calidad de la fertilidad del suelo y el alto nivel de materia orgánica presente. Para fines más precisos se utiliza una metodología de muestreo del suelo para su cuantificación y existen valores que van desde 10 lombrices por m², hasta más de 10 mil por m².



Figura 23. Presencia de lombrices en el suelo.

Fuente: Imagen propia

Las lombrices son importantes para la salud del suelo porque descomponen la materia orgánica, de tal manera que los nutrientes pueden quedar disponibles para las plantas más fácilmente, forman túneles o galerías en el suelo que ayudan a la oxigenación, drenaje y facilitan la penetración de las raíces y el almacenamiento de agua.

Las micorrizas son hongos que se asocian con algunas raíces de las plantas para establecer sinergias. En esta relación simbiótica, las plantas proporcionan carbohidratos y espacio para el crecimiento de dichos hongos, mientras que éstos auxilian a absorber nutrientes con problemas de disponibilidad como el fósforo, ayudan a absorber agua y pueden ser una excelente defensa contra algunos patógenos del suelo (Camargo-Ricalde, 2012, citado por Bracamontes et al, 2018).

De tal manera, que una excelente colonización micorrizica, es un buen indicador de la salud del suelo, ya que, a mayor cantidad de micorrizas, la planta tendrá mayor posibilidad de crecer en mejores condiciones y aprovechar mejor los recursos disponibles del suelo para su crecimiento.

Esperemos que, en el futuro, y a través de la capacitación y difusión de esta metodología, cada vez más técnicos y agricultores adopten esta metodología para la evaluación integral de la calidad del suelo.

3.4. Evaluación de la compactación del suelo.

Otra metodología que se ha incorporado para medir de manera integral la fertilidad del suelo, es la evaluación de la compactación.

La compactación del suelo, limita la absorción de agua y la aireación, esto a su vez, limita el crecimiento de las raíces a capas más profundas del mismo. Si las raíces pueden explorar a una mayor profundidad del suelo, estas pueden acceder a mayor contenido de humedad y absorber mayor cantidad de nutrientes presentes a esa profundidad.

Las prácticas agrícolas como el barbecho y el rastreo continuo en las parcelas pueden contribuir a la compactación del suelo, ya que se establece un piso de arado, por lo cual se hace imperativo conocer el grado de compactación para tomar medidas adecuadas para remover las capas profundas a través de un subsoleo.

La medición de la compactación de suelo puede hacerse por dos vías. Una directa con un aparato de medición como en las figuras 24,25, 26 y 27 o bien en los análisis de la fertilidad del suelo, en apartado de las propiedades físicas del suelo con la conductividad hidráulica.



Figura 24 y 25. Medidor sencillo de compactación del suelo en dos tipos de suelo (véase la diferencia en la penetración del aparato en el suelo).

Fuente: Imagen propia.

Los medidores de compactación del suelo, son aparatos que constan con una varilla de acero inoxidable graduada en pulgadas (la mayoría de ellas son de 24 pulgadas) con puntas intercambiables (dependiendo del tipo de suelo, arenoso o arcilloso) que

se insertan en el suelo y a través de su resistencia a la penetración se mide en pulgadas por centímetro cuadrado (PSI). Algunos aparatos ya son digitales y pueden leer la resistencia a la penetración a diferentes profundidades. El medidor de la compactación del suelo, constan con un medidor de presión, se considera que un suelo no tiene problemas de compactación cuando a más de 40 cm de profundidad se miden menos de 200 PSI, problemas ligeros de compactación de 200 a 300 PSI y a más de 300 PSI, el suelo tiene problemas severos de compactación. Las mediciones deben de realizarse de preferencia con el suelo húmedo, ya que es cuando se considera que las raíces de las plantas están creciendo y absorbiendo nutrientes. Las puntas intercambiables son para diferentes tipos de suelo, la punta delgada (½ pulgada) es para suelos arcillosos y la punta más gruesa (¾ de pulgada) es para suelos arenosos.

Los medidores de compactación digitales (figuras 26 y 27) registran y guardan los datos que se van obteniendo a medida que el medidor va penetrando en el suelo. Para ello se coloca una placa metálica en el suelo que rebota las ondas electromagnéticas que se van generando al ir penetrando en el suelo la varilla del medidor. De tal manera que se puede generar una gráfica de la compactación del suelo a diferentes profundidades.



Figura 26 y 27. Medidor de compactación del suelo digital

Fuente: Imagen propia

La medición de la compactación del suelo por medio de la conductividad hidráulica, se realiza en el laboratorio y establece la velocidad del movimiento vertical del agua en un tiempo determinado (cm/hora). Los laboratorios, establecen los parámetros adecuados para definir si el suelo está compactado, ya que a menor movimiento del agua se define como un suelo compactado y a mayor movimiento menor compactación.

4. RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO INTEGRAL DEL SUELO.

El manejo integral del suelo, de acuerdo a lo visto hasta este momento, es sin duda, un gran reto. Ya que implica el conocimiento del suelo, su formación, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las metodologías para el conocimiento integral del suelo, así como el manejo que realizan los productores para la obtención de productos agrícolas.

Es por ello, que en el presente apartado se presentan algunas alternativas que incluyen el manejo de los parámetros obtenidos de las evaluaciones aplicando las diferentes metodologías de análisis, para poder manejar el suelo de una manera sostenible, que evite su degradación y que ofrezca los mejores niveles de fertilidad para obtener mejores cosechas.

4.1. Generación de recomendaciones para el manejo integral del suelo para mejorar su fertilidad.

Sin duda alguna, el propósito fundamental de los agricultores y los técnicos que trabajan en el campo, es el manejo eficiente de todos los recursos utilizados en la actividad agrícola. Siendo el suelo, uno de los recursos naturales más importantes, pues es donde las plantas crecerán, obtendrán los nutrientes esenciales para su crecimiento y para obtener el agua necesaria para sus procesos fisiológicos como la transpiración, respiración y mantenimiento de su temperatura.

Es por ello, que las metodologías que ayudan a medir la fertilidad del suelo, pueden auxiliar en conocer qué tipo de prácticas será necesario realizar para mejorar las condiciones del suelo para brindar las mejores condiciones de crecimiento a las plantas cultivadas. El perfil del suelo, el análisis de la fertilidad del suelo, la medición

de la compactación y la evaluación de los indicadores biológicos, serán herramientas muy útiles para definir el tipo de prácticas agrícolas a realizar.

4.1.1 Aplicaciones prácticas del perfil del suelo.

El perfil del suelo puede ofrecer información sobre el desarrollo actual del suelo, la cantidad y tipo de horizontes presentes, el grado de compactación de las capas profundas, el desarrollo de las raíces en el corte vertical y la presencia de organismos que podemos ver a simple vista como las lombrices. Podemos deducir a partir de las pruebas realizadas, el nivel de contenido de materia orgánica en los diferentes horizontes. Con toda la información anterior y a través de un análisis integral, podemos recomendar algunas prácticas agrícolas que ayuden a mejorar las condiciones no deseadas.

4.1.2. Aplicaciones prácticas de los análisis de fertilidad de suelos.

El análisis del laboratorio de la fertilidad, es una de las herramientas más importantes y necesarias para el manejo integral del suelo que permite utilizar los insumos como fertilizantes y enmiendas de una manera racional y eficiente.

Propiedades Físicas del Suelo			
Clase Textural	Franco Arcilloso		
¹ Punto de Saturación	52.0	%	Alto
¹ Capacidad de Campo	27.8	%	Alto
¹ Punto March. Perm.	16.5	%	Alto
¹ Cond. Hidráulica	2.40	cm/h	Mod. Bajo
¹ Dens. Aparente	1.19	g/cm ³	

Figura 28. Algunas propiedades físicas del suelo

Fuente: Tomado de un análisis de la fertilidad del suelo hecho por la empresa Fertilab, 2023

Es importante para conocer las condiciones físicas del suelo como el nivel de compactación del suelo a través de la conductividad hidráulica, así como el nivel de humedad que puede retener por medio del punto de saturación, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La textura del suelo es importante para definir algunas prácticas de preparación del suelo como el barbecho y el rastreo y la frecuencia y cantidad del agua a aplicar en el riego. La densidad aparente se utiliza para calcular de manera más precisa el peso o el volumen del suelo a una profundidad

conocida, así como para conocer el espacio poroso del suelo y la presencia de materia orgánica de manera indirecta.

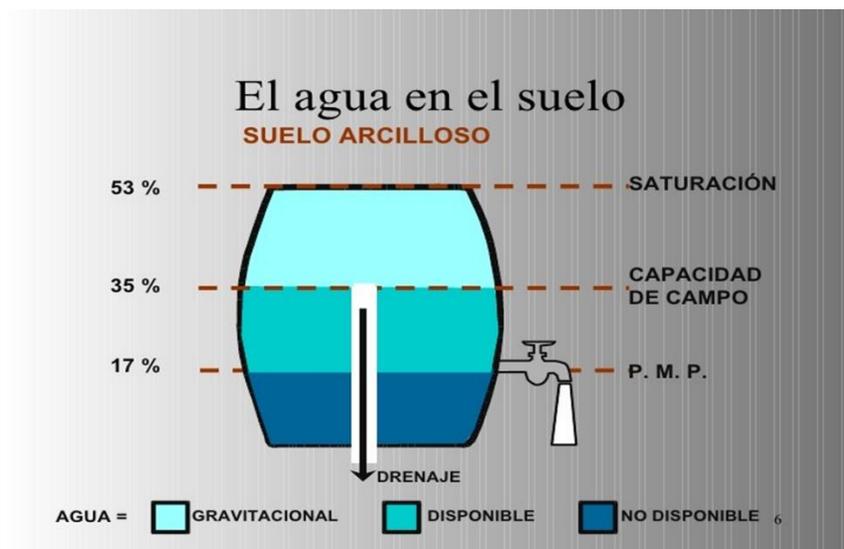


Figura 29. El agua en el suelo.

Fuente: <https://infoagronomo.net/capacidad-de-campo-y-punto-de-marchitez-permanente/>, s/a

Con las propiedades químicas del suelo, podemos conocer el nivel de pH, los niveles de salinidad, el contenido de nutrientes esenciales, la presencia de bicarbonatos, sodio y la relación entre los cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio, sodio, aluminio e hidrogeno).

Fertilidad del Suelo										
Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto	
¹ MO	1.68	%	██████████							
¹ P-Bray	118	ppm	██							
² K	181	ppm	██████████							
² Ca	3317	ppm	████████████████████████████████████							
² Mg	850	ppm	████████████████████████████████████							
² Na *	57.0	ppm	██████████							
³ Fe	43.7	ppm	████████████████████████████████████							
³ Zn	1.32	ppm	██████████							
³ Mn	87.3	ppm	████████████████████████████████████							
³ Cu	4.85	ppm	████████████████████████████████████							
¹ B	0.23	ppm	██████████							
¹ Al *	2.09	ppm	██████████							
¹ S	5.23	ppm	██████████							
¹ N-NO ₃	56.1	ppm	████████████████████████████████████							

Figura 30. Cuadro de análisis de la fertilidad del suelo con los nutrientes esenciales.

Fuente: Tomado de un análisis de la fertilidad del suelo hecho por la empresa Fertilab, 2023.

El contenido de materia orgánica expresado en porcentaje puede brindar información en torno a la presencia de microorganismos y la capacidad de retención de humedad y la oxigenación del suelo, a su vez, también puede brindar información sobre el contenido de nitrógeno útil para el crecimiento de las plantas.

pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado			
¹ pH (1:2 agua)	6.06		Mod. Acido
¹ pH Buffer	6.56		
¹ Carbonatos Totales (%)	0.01	%	Libre
¹ Salinidad (CE Extracto)	1.00	dS/m	Bajo
Requerimiento de Yeso	No Requiere		
Requerimiento de Cal	3.3 **		Ton/Ha

Figura 31. El pH y las necesidades de enmiendas al suelo.

Fuente: Tomado de un análisis de la fertilidad del suelo hecho por la empresa Fertilab, 2023.

El pH es un parámetro muy útil para conocer el grado de disponibilidad de nutrientes, los suelos ácidos y alcalinos no son muy propicios para el crecimiento adecuado de las plantas y por lo tanto será necesario realizar enmiendas como la aplicación de yeso o cal para llevarlo a un nivel adecuado (de preferencia de 6.0 a 7.0).

El valor de la salinidad, expresado como conductividad eléctrica es importante para saber si el suelo es apto para el cultivo de alguna especie de acuerdo a su tolerancia a la salinidad, o en su caso, de ser necesario realizar un lavado de suelo para eliminar a las sales presentes.

Relación entre cationes (Basadas en me/100g)				
Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	36.1	15.2	51.3	2.37
Interpretación	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Mediano

Figura 32. Relación de cationes del suelo.

Fuente: Tomado de un análisis de la fertilidad del suelo hecho por la empresa Fertilab, 2023.

Con la información obtenida de un análisis de la fertilidad del suelo, se puede realizar un plan de manejo que implique actividades desde antes de la siembra del cultivo, una nutrición balanceada durante de las plantas cultivadas y una mejora sustantiva de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

4.1.3. Aplicaciones prácticas de la evaluación de la compactación del suelo.

Esta medición es muy versátil, ya que se puede obtener del análisis de la fertilidad del suelo del parámetro conductividad hidráulica o bien directamente con un medidor de la compactación del suelo.

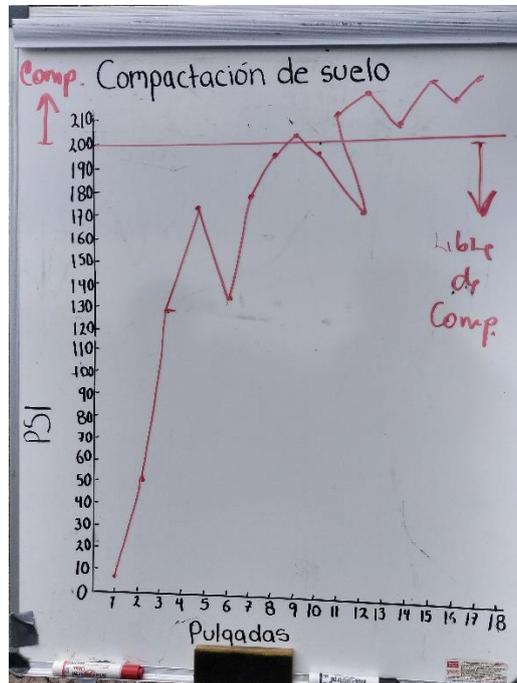


Figura 33. Gráfica de campo que ilustra la compactación del suelo a diferente profundidad.

Fuente: Imagen propia tomada de una plática de campo en del Centro de Desarrollo Tecnológico FIRA Villadiego.

La información que proporciona la compactación del suelo es muy útil para tomar la decisión de subsolar si este se encuentra compactado en la porción vertical donde crecen la mayoría de las raíces. En este tema, es importante que se relacione con el perfil del suelo y la observación del crecimiento de las raíces.

4.2 Prácticas agrícolas para mejorar la fertilidad del suelo.

Una vez que se ha estudiado y analizado el suelo con las herramientas descritas anteriormente, tomando en cuenta la experiencia del agricultor y si es posible de algún técnico de campo experto en el manejo de suelos, el siguiente paso es realizar las prácticas agrícolas necesarias para mantener, mejorar o enriquecer la fertilidad del suelo.

El orden en que se presentan estas prácticas agrícolas, no implica necesariamente su ejecución de forma consecutiva, es más, en algunos casos, ni siquiera será necesario realizar todas estas actividades en cada parcela. Será el análisis respectivo y la experiencia del agricultor y/o el técnico que apoye con la asesoría respectiva.

4.2.1. El subsoleo de suelos.

El subsoleo del suelo, es una práctica de preparación de suelos, es decir, se realiza antes de la siembra. Consiste en la utilización de un implemento agrícola a base de arados pequeños o también llamados cinceles, ya que tienen que penetrar al suelo a una mayor profundidad que el arado común para realizar el barbecho, el barbecho, generalmente se realiza a una profundidad de 25 a 30 cm.

El subsoleo de suelos, consiste en la remoción de capas profundas del suelo, generalmente a más de 40 cm de profundidad o más, para mejorar la capacidad de absorción de agua, mejorar la aireación y que las raíces de las plantas cultivadas puedan explorar a mayor profundidad para obtener agua y nutrientes, sin ver afectada su capacidad de respiración por la falta de oxígeno. El subsoleo se realiza de manera cruzada en el terreno, es decir primero se trabaja en una dirección, posteriormente, se trabaja en forma perpendicular al primer subsoleo, lo importante es remover mayor cantidad de suelo en las capas profundas.



Figura 34 y 35. Subsoleo del suelo a una profundidad de 40 cm o más.

Fuente: Imagen propia.

En la agricultura convencional, lo más común es realizar el barbecho, que se realiza con un arado de discos, sin embargo, este siempre trabaja a menor de 30 cm de

profundidad y el paso continuo de la maquinaria para realizar esta labor compacta las capas más profundas del suelo, que será necesario remover para obtener las ventajas descritas anteriormente del subsoleo.



Figuras 36 y 37. Arados subsoleadores Pinocchio-Terramak.

Fuente. <https://terramak.com.mx/productos/arado-subsoleador/pinocchio/>, s/a

Hay algunos tipos de subsoleadores más recientes y modernos que incluyen 3 cinceles con cuñas laterales (ver figuras 36 y 37) y una rotovaradora para en un solo paso descompactar el suelo y desmenuzar los terrones y los residuos de cosecha. Las cuñas laterales de los cinceles, van rompiendo el suelo en medio de los cinceles y evitan el trabajo cruzado (primero en un sentido del terreno, y luego en forma perpendicular).

La mayoría de los expertos en el manejo del suelo, recomiendan dejar de hacer el barbecho para evitar la compactación de las capas más profundas, y a través del análisis de la compactación se decide si se necesita realizarla o no.

Actualmente, el cambio climático está forzando a tomar medidas urgentes para evitar los daños que este ocasiona, por ejemplo, las sequías prolongadas en el periodo del crecimiento del cultivo. Descompactar el suelo, se convierte en una alternativa para disminuir los daños que las sequias ocasionan, ya que permite que el suelo absorba más agua y que las raíces puedan explorar mayor cantidad de suelo y obtener el agua necesaria y los nutrientes para amortiguar los efectos adversos del cambio climático.

El subsoleo del suelo es también conocido como labranza vertical, ya que el objetivo principal es remover o fragmentar la profundidad del suelo (en forma vertical). Debe

de realizarse con el suelo seco para evitar que el paso de la maquinaria compacte nuevamente al suelo.

4.2.2. Los abonos verdes.

El uso de los abonos verdes es una de las prácticas agrícolas para el mejoramiento de la fertilidad del suelo más económicas y fáciles de realizar. Consiste en la incorporación al suelo de especies vegetales en estado herbáceo, es decir cuando estas aún se encuentran verdes (de ahí su nombre de abonos verdes) y de preferencia antes de la formación de semillas para evitar que en el siguiente ciclo agrícola estén presentes y compitan con la especie a cultivar.



Figura 38 y 39. Incorporación de residuos de plantas de maíz después de cosechar el elote.

Fuente: Imagen propia.

Una de las ventajas más importantes de utilizar a las plantas verdes, es la posibilidad de incorporar mayor contenido de nutrientes al suelo y agua. Ya que las plantas al mantenerse aún en estado herbáceo, los niveles de nitrógeno en los tejidos aún son altos, cuando la planta se seca, el nitrógeno se pierde a la atmosfera y las aportaciones al suelo tienden a ser menores. Por otra parte, el contenido de agua en la planta, corresponde por lo menos a un 90% de su peso fresco, por lo cual, mucha de esa agua se incorpora al suelo y se tiene mayor retención de humedad.

Posteriormente, cuando los residuos de las plantas se descomponen y desintegran pasan a formar parte del humus del suelo, que incrementan notablemente los contenidos de materia orgánica, muy útiles para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Las propiedades físicas que se benefician son la estructura, ya que las raíces de las plantas fragmentan al suelo y permiten el paso de aire y agua, además de proteger contra la erosión por la acción de formar agregados con la formación de humus.

El humus formado incrementa notablemente el contenido de nutrientes y ayuda a fijarlos cerca de las raíces de las plantas para que estos los puedan asimilar en sus formas iónicas (nitratos, fosfatos, sulfatos, o como cationes como el Ca, K y Mg). De tal manera, que las propiedades químicas del suelo son mejoradas.

La presencia de materia orgánica en el suelo, propicia el crecimiento de organismos como las lombrices y microorganismos que ayudan a mejorar la absorción y fijación de ciertos nutrientes (en el tema de los biofertilizantes se abordara con más detalle este tema), de tal manera que las propiedades biológicas del suelo se mejoran.



Figura 40 y 41. Incorporación de abonos verdes al suelo.

Fuente: Imagen propia.

Los abonos deben incorporarse con maquinaria agrícola para desmenuzar, fragmentar y adicionarlos al suelo para que las partículas de arcillas entren rápidamente en contacto con las plantas y estas puedan descomponerse más rápidamente.

Lo ideal para el manejo de los abonos verdes, es utilizar a las plantas leguminosas, ya que este tipo de plantas fijan el nitrógeno atmosférico a través de los nódulos que tienen en la raíz, donde el trabajo es realizado por bacterias del género *Rhizobium*.

Sin embargo, cualquier tipo de planta herbácea puede ser utilizada, que sea de crecimiento rápido y que genere una gran cantidad de raíces para ayudar a descompactar el suelo.

4.2.3. Incorporación de abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos son todo tipo de residuos de cosecha o bien desechos animales, especialmente estiércoles, los cuales pueden ser incorporados de manera directa o bien procesados a través de la elaboración de compostas y vermicompostas.

Al igual que los abonos verdes, la incorporación de los abonos orgánicos, tiene la finalidad de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, facilita la absorción de agua y oxígeno, mejora el drenaje, adiciona nutrientes y la capacidad para retenerlos en la zona de raíces. También incrementa la población de microorganismos benéficos y ayuda a controlar algunos tipos de patógenos del suelo.



Figura 42. Estiércol de res listo para ser incorporado al suelo.

Fuente: Imagen propia.

Los abonos orgánicos más utilizados en México son los estiércoles de ganado vacuno, gallinaza, porcino, equino y caprino. Dependiendo de la región del país, se tendrá más abundancia de uno u otro estiércol y que podrá ser utilizado para incorporarlo al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Existen diferencias notables entre los tipos de estiércoles utilizados, algunos tienen más humedad, otros varían en sus contenidos de nutrientes, en sus valores de pH, relación C/N (carbono/nitrógeno) y en el índice de mineralización. Por otra parte, aún

dentro de un mismo tipo de estiércol, los valores anteriormente descritos pueden variar dependiendo de la edad de los animales, su alimentación y en la forma en que se recolecte y almacene. Por lo cual, siempre habrá de considerarse únicamente como un mejorador de suelos y una vez incorporado, es recomendable realizar un análisis de fertilidad para conocer los niveles de los nutrientes incorporados.

Determinaciones	Tipo de estiércol				
	Vacuno	Gallinaza	Porcino	Equino	Caprino
Humedad (%)	36.0	30.0	20.0	25.0	18.0
pH (relación 1:2)	8.0	7.4	7.2	7.0	7.5
Materia orgánica (%)	70.0	70.0	68.0	60.0	55.0
Nitrógeno total (%)	1.5	3.7	3.7	1.2	2.5
Fósforo (%)	0.6	2.2	2.0	0.2	0.6
Potasio (%)	2.5	2.7	30.0	2.5	2.2
Calcio (%)	3.2	5.7	7.5	6.0	8.0
Magnesio (%)	0.8	1.0	2.3	0.2	0.2
Sodio (%)	1.6	1.1	0.3	0.1	0.1
Zinc (ppm)	130.6	516.0	-	-	-
Manganeso (ppm)	264.0	474.0	-	-	-
Hierro (ppm)	< 354.0	4,902.0	-	-	-
Relación C/N	26.0	11.0	13.0	33.0	18.0
Mineralización (% 1er. año)	35.0	90.0	65.0	30.0	32.0

Cuadro 5. Contenido total de nutrientes en algunos estiércoles en México.

Fuente: Romero (1997), citado por SAGARPA (s/a).

También puede utilizarse la composta y la vermicomposta, que son abonos orgánicos que ya pasaron por un proceso de descomposición (a diferencia de los estiércoles que pueden estar aún sin descomponer) y están listos para utilizarse como abonos orgánicos para mejorar al suelo y nutrir a los cultivos. Tenemos al compostaje natural donde la materia orgánica es descompuesta en un periodo de 3 meses o más por efecto de la combinación de la temperatura y la humedad, y por el otro lado tenemos a la vermicomposta, donde las lombrices son las responsables de la descomposición, en condiciones totalmente aeróbicas, es decir, siempre en presencia de oxígeno.

Sin embargo, como en el caso de los estiércoles, la composición de las compostas puede variar, dependen mucho de los materiales utilizados y el proceso de elaboración. Por ejemplo, en cuando se utilizan estiércoles, como ya se señaló anteriormente, su composición química depende del tipo de animal, su alimentación y la forma de manejo del estiércol. Todo esto, una vez que se inicie el proceso de

composteo serán variables que influirán directamente en la calidad final de la composta obtenida.

De tal manera que es muy difícil establecer estándares de calidad química de las compostas, ya que la mayoría de los estudios que se han realizado sobre el tema, señalan una calidad cualitativa, más que cuantitativa, por ejemplo, se resaltan los beneficios que tendrá sobre el suelo como incrementar el contenido de materia orgánica, mejorar la estructura, la porosidad y retención de humedad, la capacidad para fijar nutrientes. La calidad también se le relaciona con el olor y la presentación física de la composta, la higiene del producto y libre de impurezas y contaminantes.

Variable	Composta 1	Composta 2	Composta 3
pH	6.81	7.76	---
C/N	16.5	15.47	16.80
Nitrógeno (%)	2.42	2.10	1.65
Fósforo (%)	1.02	1.08	0.49
Potasio (%)	0.88	1.63	1.24
Calcio (%)	3.84	6.56	4.15
Magnesio (%)	0.35	0.6	0.84
Fierro (ppm)	895	3000	0.086 (%)
Manganeso (ppm)	111	265	0.034 (%)
Zinc (ppm)	120	235	0.019 (%)
Cobre	----	----	0.005 (%)

Cuadro 6. Resultados de los análisis químicos de diferentes compostas

Fuente: Elaboración propia con datos de: 1 Dalsell et al, 1991 y 2 Trinidad, 1999 citados por SAGARPA s/a. Zaragoza et al, 2011.

En el Cuadro 6, se presentan los resultados los análisis químicos de algunos tipos de composta y como se puede ver, , a excepción de la relación carbono-nitrógeno (C/N) que son muy parecidos, la mayoría de los resultados son muy diferentes, inclusive hasta en la unidades de medida para algunos nutrimentos, por ejemplo, para Dalsell et al, 1991 y Trinidad, 1999, los resultados de los microelementos los presentan en ppm, mientras que Zaragoza et al, 2011, los resultados de estos elementos los presenta en porcentaje.



Figura 43. Proceso de vermicomposteo utilizando lombrices (*Eisenia sp.*)

Fuente: Imagen propia.

De todo lo anterior se deduce, que, si queremos utilizar abonos orgánicos para mejorar la fertilidad del suelo, es necesario conocer y analizar correctamente los materiales que serán utilizados. Ya que de ello dependerá en gran medida su composición final de nutrientes. Cada vez que quiera utilizar un abono orgánico, habrá que someterla a los análisis químicos correspondientes para conocer su contenido nutrimental, y si es posible a través del tiempo estandarizar su producción.

Existen otros abonos orgánicos, como la sangre seca y la harina de huesos, pero por su poca disponibilidad, sólo se llegan a utilizar a nivel de huerto familiar, por lo cual, su importancia en la agricultura es poco significativa.

4.2.4. El uso de los biofertilizantes

Una de las últimas técnicas agrícolas que se han empezado a utilizar para mejorar la fertilidad es el uso de los biofertilizantes, surge como una respuesta al elevado costo de los fertilizantes químicos y a un conocimiento mayor de las propiedades biológicas del suelo, donde conviven una gran cantidad de organismos y microorganismos que ayudan a absorber y fijar los nutrimentos que la planta necesita para su crecimiento y mejorar las propiedades físicas del suelo.

En realidad, los biofertilizantes, no proporcionan directamente los nutrientes esenciales que las plantas necesitan para su crecimiento, más bien son un cultivo de

microorganismos benéficos que ayudan a mejorar la absorción de los nutrientes que proporciona el suelo o la fertilización química y promueven el crecimiento de raíces.



Figura 44. Aplicación de biofertilizantes a semillas de maíz antes de la siembra

Fuente: Impacto del uso de los biofertilizantes en la producción de granos en Guanajuato. Presentación ppt. FIRA, 2023.

Aeron et al (2011), citado por Lira (2017), define a los biofertilizantes de la siguiente manera “Sustancias que contienen microorganismos vivos, que cuando se aplica a semillas, superficie de plantas o al suelo, colonizan la rizosfera o el interior de la planta, y promueven el crecimiento al aumentar el suministro o la disponibilidad de nutrientes, mediante la producción de hormonas o por la supresión de patógenos”

Otros autores definen a los biofertilizantes así: “Microorganismos que tienen la capacidad de proporcionar nutrientes biodisponibles y moléculas bioactivas para el crecimiento y desarrollo de las plantas incluyendo la protección contra fitopatógenos (Josh et al, 2019, citados por Cruz-Cárdenas et al, 2021).

Entonces lo que hacen los agricultores que ya está usando esta práctica agrícola es inocular a las semillas antes de la siembra con un preparado de microorganismos envasados. De tal manera, que para Boraste et al, 2009, citado por Lira (2017) la mejora definición de biofertilizante es: “Preparados sólidos o líquidos que contienen

cepas de células vivas o latentes, que son eficientes para la fijación de nitrógeno, solubilizadores de fosfato, o microorganismos celulíticos, para su aplicación a las semillas o en la rizosfera de las plantas, con el objetivo de incrementar el número de esos microorganismos y acelerar los procesos microbianos que aumentan el crecimiento radicular, así como la disponibilidad de nutrientes que pueden ser fácilmente asimilables por las plantas cultivadas”.

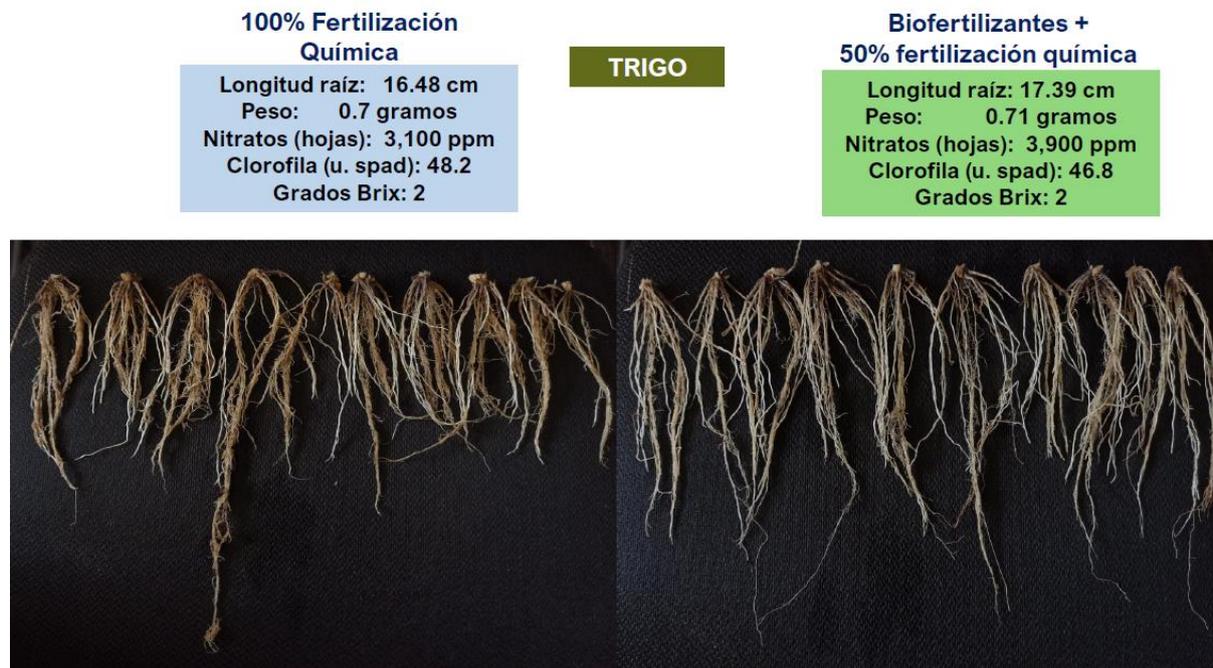


Figura 45. Crecimiento de las raíces de trigo sólo con fertilización química y con biofertilizante y 50% de fertilización química.

Fuente: Fuente: Impacto del uso de los biofertilizantes en la producción de granos en Guanajuato. Presentación ppt. FIRA, 2023.

También puede darse el caso, que se necesiten o sean complementarias dosis de refuerzo. Para ello necesariamente, el cultivo debe disponer de un sistema de riego por goteo, ya que los microorganismos deben de tener contacto inmediato con las raíces del cultivo.

De acuerdo a Lira (2017), la clasificación de los biofertilizantes es la siguiente:

- 1 Fijadores biológicos de nitrógeno: *Rhizobium* sp., *Bradyrhizobium* sp., *Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp.
2. Solubilizadores de fósforo: *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp.

3. Movilizadores de fosfatos: hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) como *Rhizophagus* sp., *Endogone* sp., *Gigaspora* sp., *Acualospora* sp., y *Scutellispora* sp.
4. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: *Pseudomonas* sp., *Agrobacterium* sp., *Bradyrhizobium* sp., *Azotobacter* sp., *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp., y *Xanthomonas* sp.

Los biofertilizantes comerciales deben de contener alguno o algunos de los microorganismos anteriores para beneficiar a las plantas cultivadas, para ello, es necesario realizar estudios de validación que ofrezcan los mejores resultados.

Lo anterior no quiere decir que los agricultores dejen de aplicar fertilizantes químicos, pero si pueden reducir hasta en un 50% la fertilización que recomienden para la región y el cultivo elegido.

Primero es recomendable realizar un análisis de fertilidad y posteriormente generar una fórmula de fertilización, donde básicamente es una fertilización química. Enseguida, se inocula a la semilla con algún producto que contenga el biofertilizante y se realiza la siembra. El FIRA, a través de su Centro de Desarrollo Tecnológico Villadiego, ha validado la tecnología del uso de los biofertilizantes y ha encontrado que se puede reducir hasta en un 50% la dosis de fertilización química, conservando un rendimiento muy bueno en el cultivo de maíz (ver Cuadro X), comparado con un testigo regional sin biofertilizantes y comparando diferentes dosis de fertilización química.

Tratamientos	Ciclo 2021	Ciclo 2022	Promedio
	Rendimiento (tons/ha)		
Testigo	14	12.6	13.3
100% fertilización + biofertilizantes	13.2	11.6	12.4
75% fertilización + biofertilizantes	13.1	11.9	12.5
50% fertilización + biofertilizantes	13.3	11.7	12.5

Cuadro 7. Rendimiento de maíz a diferentes dosis de fertilización química y el uso de biofertilizantes.

Fuente: Impacto del uso de los biofertilizantes en la producción de granos en Guanajuato. Presentación ppt. FIRA, 2023.

Estos resultados demuestran categóricamente los beneficios del uso de los biofertilizantes en la agricultura.

4.2.5. La labranza de conservación.

El símbolo del trabajo en la agricultura lo ha representado el arado, que desde la cultura egipcia y hasta la época actual ha sido utilizado, inclusive en forma indiscriminada e irracional, deteriorando el suelo y dejándolo expuesto a los efectos de la erosión hídrica y eólica. Por otro lado, la sobre mecanización en suelos con elevadas pendientes y altos índices de erodabilidad, amenaza seriamente la desertificación y la pérdida de la fertilidad natural del suelo.

Por otra parte, una práctica muy extendida entre los agricultores, es la quema de los residuos de cosecha del ciclo anterior, incrementando el calentamiento global por la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, y perdiendo todos los nutrientes y materia orgánica que pueden aportar los residuos de cosecha. Varios especialistas coinciden que existe una proporción semejante del rendimiento de la cosecha y los residuos del mismo, por ejemplo, si se cosechan 6 toneladas de maíz por hectárea, se tendrán también, 6 toneladas de residuos o rastrojos. Esto lo confirma Tollenaar et al, 2006, citado por Salinas et al, 2022, quien dice que el rastrojo llega a representar el 50% de la biomasa aérea de la planta. Ese rastrojo a su vez, de acuerdo al

CIMMYT, 2023, aporta 35% del nitrógeno, 12% de fósforo, 80% de potasio y hasta el 95% del calcio que aplicamos de la cantidad total del fertilizante.

La labranza de conservación es una de las prácticas agrícolas que más ha impactado de manera positiva en el manejo y conservación de los suelos. Ya que se sustenta en la incorporación constante al suelo de los residuos de cosecha, evitando la quema y mejorando la incorporación de materia orgánica, que como se ha señalado anteriormente, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Y algo muy importante, evita el paso continuo del arado en la parcela, evitando de esta forma la erosión y la compactación del suelo.

La labranza de conservación consiste en realizar la siembra y el cultivo de una especie de importancia agrícola sobre un suelo cubierto con los residuos de la cosecha anterior, con la finalidad de aprovechar la materia orgánica presente que evite pérdidas de agua por evaporación, que evite la erosión y que con la descomposición paulatina de dicha materia orgánica se mejore la fertilidad del suelo.



Figura 46. Cosecha de maíz, dejando los residuos en la parcela

Fuente: Imagen propia.

La labranza de conservación consiste en evitar el paso continuo de arado, primero en la cosecha se va dejando el rastrojo tirado para después ser incorporado con una rastra de discos o una desvaradora para desmenuzar hasta partículas finas el rastrojo para que la semilla de la nueva siembra no tenga dificultad para quedar enterrada en el suelo, si es necesario se hace un remarcado donde para ubicar muy bien la hilera donde se depositarán las semillas.



Figura 47. Parcela después de la cosecha.

Fuente: Imagen propia.

Es una técnica de cultivo que se utiliza mayormente en cereales como maíz, trigo y sorgo, ya que en la nueva siembra no se hacen surcos y la hilera de nuevas plantas queda al nivel del suelo. La mayoría de las hortalizas son muy susceptibles a la humedad, por lo cual necesitan surcos elevados y por lo tanto una labranza más convencional.

La labranza de conservación aumenta la retención de humedad en el suelo; disminuye la erosión hídrica y eólica; mejora la actividad biológica de los microorganismos benéficos al suelo; puede utilizarse en suelos con pendientes pronunciadas; mejora el crecimiento de las raíces, ya que disminuye la compactación y en consecuencia, la planta puede absorber más agua y nutrientes a mayor profundidad; por otra parte

disminuye la presencia de malezas, ya que los residuos de cosecha funcionan como un acolchado orgánico.



Figura 48. Suelo después de un rastreo donde ya se incorporó la materia orgánica

Fuente Imagen propia.



Figura 49. Parcela de maíz cultivada bajo labranza de conservación

Fuente: Imagen propia

A mediano y largo plazo, la labranza de conservación incrementa los rendimientos de los cultivos y disminuyen los costos de producción por el ahorro en la aplicación de fertilizantes químicos, y es más notable este ahorro cuando se combina con el uso de los biofertilizantes.

Las limitantes más frecuentes para adoptar el sistema de labranza de conservación, es la demanda de los residuos de cosecha para la alimentación del ganado, el acceso limitado a la maquinaria especializada por el alto costo y el rentismo de la tierra que no permite el manejo del suelo a mediano y largo plazo.

4.2.6. Rotación de cultivos.

La rotación de cultivos es una práctica agrícola utilizada desde los inicios de la agricultura y consiste en rotar por ciclo de cultivo, plantas de diferente especie para disminuir la presencia de plagas y enfermedades en el suelo y mejorar la fertilidad.

Desde épocas antiguas se ha utilizado esta técnica de producción, sin embargo, a partir de la revolución verde, al surgimiento de las semillas mejoradas, los fertilizantes y los plaguicidas, el monocultivo se fue estableciendo en la agricultura, hasta agotar la fertilidad natural del suelo.

Las plantas cultivadas de cada una de las especies de importancia económica, exudan diferentes componentes químicos por la raíz, estos componentes modifican la composición microbiana del suelo, de tal manera que pueden disminuir la presencia de patógenos y malezas en un suelo determinado.



Figuras 50 y 51. Cultivo de frijol (Leguminosa) y maíz (Gramínea) ideal en un sistema de rotación de cultivos.

Fuente: Imagen propia

Lo ideal al rotar los cultivos, es que en algún momento se puedan utilizar plantas leguminosas, ya que estos fijan el nitrógeno atmosférico por unas bacterias del género *Rhizobium* que tienen en las raíces, por lo cual, a mediano plazo favorece el crecimiento de otro tipo de plantas como las gramíneas.

Al rotar los cultivos, se deben de tomar en cuenta varios factores, que van desde los técnicos hasta los financieros. Dentro de los factores técnicos, es importante rotar cultivos de especies distintas, por ejemplo, la rotación gramíneas y hortalizas es muy recomendable para el control de plagas, la rotación gramíneas y leguminosas es otra excelente opción por la fijación de nutrientes. Desde el punto de vista financiero es importante, que los cultivos involucrados en la rotación generen ingresos a los agricultores para incentivar su aplicación, de otra forma, es muy difícil que los agricultores accedan a realizar este tipo de prácticas agrícolas.

Conclusiones

El manejo adecuado del suelo, siempre será importante para mantener los niveles de fertilidad óptimos para la obtención de cosechas. Por lo cual, es necesario primero, conocer las características del suelo, sus propiedades físicas, químicas y biológicas para entender su dinámica y evolución. Enseguida, es importante conocer y analizar las metodologías existentes actualmente para evaluar el estado integral del suelo, que permita conocer a profundidad las propiedades específicas de cada tipo de suelo, para de esa manera, poder recomendar las prácticas agrícolas más pertinentes según sea el caso. Sólo de esta manera, será posible mantener y mejorar la fertilidad del suelo a mediano y largo plazo.

El suelo, es uno de los recursos naturales más importantes para la vida del planeta, para los agricultores y productores de alimentos primarios, es fundamental. Es por ello, que tiene que cuidarse y manejarse correctamente. Sólo así, será posible mantener la producción agrícola en niveles altos de producción de una forma sustentable.

Literatura y Cibergrafía citada.

Alconada, M. (2020). *Clasificación y cartografía de suelos 2020*. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/63458/mod_resource/content/2/GUIA%20TAXONOMIA%202020%2C%20%20GENERAL%2C%20SOIL%20TAXONOMY%20Y%20FAO.pdf Consultado en agosto 2023.

Bracamontes N., L.; Fuentes P., M.; Rodríguez S., L. M. y Macedas J., J. 2018. Manual de Indicadores Biológicos del Suelo. Universidad Autónoma Metropolitana.

<https://www.biopasos.com/biblioteca/Manual-indicadores-biologicos-salud-suelo.pdf>

Consultado el 27 de septiembre de 2023.

Castellanos, J. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2° edición. INTAGRI. México.

Cerisola, C. I. 2015. Fertilidad química. Facultad de Ciencias Agrarias Y Forestales.

https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod_resource/content/1/UD_D%20D8.1%20Fertilidad%20Qu%C3%ADmica%20.pdf Consultado el 18 de agosto de 2023.

CIMMYT, 2023. La importancia del rastrojo en tu parcela. Portal de noticias del CIMMYT.

<https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-importancia-del-rastrojo-en-tu-parcela/#:~:text=%E2%80%9CEI%20rastrojo%20puede%20aportar%2035,el%20cultivo%20del%20ciclo%20siguiente>. Consultado el 25 de noviembre de 2023.

Croft M. 2020. Evaluación de la calidad del suelo: Por qué y cómo. ECHO Notas de Investigación. Volumen 1 No. 4.

<https://www.echocommunity.org/es/resources/ded105b4-d364-4c41-9d5e563722ec93a7> Consultado el 27 de septiembre de 2023.

Cruz-Cárdenas, C. I.; Celaya Molina, L. X.; Sandoval Cansino, G.; De los Santos Villalobos, S.; Rojas Anaya, E.; Chávez Díaz, I. F. y Ruiz Ramírez, S. 2021.

Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol. 12. UNIFAP. Edición impresa ISSN 2007-0934.

<https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2905>

Consultado el 27 de septiembre de 2023.

Fertilab, s/a. Manual de Muestreo, 4° Edición.

<https://www.fertilab.com.mx/new/documentos/Manual%20de%20muestreo%204a%20edicion%20v2021.pdf> Consultado el 23 de agosto de 2023.

Fertilab, s/a. Genera tu etiqueta. <https://www.fertilab.com.mx/Etiquetas/Genera-tu-etiqueta> Consultado el 22 de agosto de 2023.

Fertilab. (2023). *Cómo el pH buffer ayuda a determinar el requerimiento de cal en suelos ácidos*. México. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/pH-buffer-y-requerimiento-de-cal-en-suelos-acidos.pdf> Consultado en agosto 2023

FIRA, 2023. Impacto del uso de los biofertilizantes en la producción de granos en Guanajuato. Presentación ppt. Centro de Desarrollo tecnológico Villadiego, Guanajuato.

Ibañez, J.J.2008. ¿Qué es la fertilidad del suelo?: Fertilidad química, física y biológica. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/29/83481> Consultado el 17 de agosto de 2023.

INFOAGRO. 2022. El suelo como ente vivo: Organización y Características. https://www.infoagro.com/documentos/el_suelo_como_ente_vivo_organizacion_y_caracteristicas.asp Consultado el 12 de diciembre de 2023.

InfoAgronomo, s/a. ¿Qué es la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente? <https://infoagronomo.net/capacidad-de-campo-y-punto-de-marchitez-permanente/> Consultado el 18 de octubre de 2023.

INTAGRI, 2019. Los Factores de la Formación del Suelo. No. 27, Artículos Técnicos de INTAGRI. México. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/los-factores-de-formacion-del-suelo> Consultado el 22 de agosto de 2023.

Lira Saldívar, R. H. 2017. Uso de Biofertilizantes en la Agricultura Ecológica. Serie Agricultura Orgánica No. 14. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. [https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/uso-de-biofertilizantes-en-la-agricultura-ecologica#:~:text=Los%20fertilizantes%20son%20fundamentales%20para,\)%20y%20potasio%20\(K\)](https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/uso-de-biofertilizantes-en-la-agricultura-ecologica#:~:text=Los%20fertilizantes%20son%20fundamentales%20para,)%20y%20potasio%20(K).). Consultado el 26 de septiembre de 2023.

Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación (2021). Distribución del suelo. <https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2020/CAPITULOS%20PDF/AE20-C03.pdf> Consultado el 26 de septiembre de 2023.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana Que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. SEMARNAT. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf> Consultado el 15 de junio de 2023.

Ortiz, B. & Ortiz S. (1984). *Edafología*. Pág.11. 4° edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Ortiz, C. (2019). *Edafología*. Trillas. México.

Programa MARI: Manejo de Resistencia de Insectos. 2017. Monitorea, controla y protege. Manejo de Resistencia a Insectos. Colombia. <https://www.programamari.com/monitoreo-y-control/#1560893191039-332cdafd-2bdf> Consultado en agosto 2023.

SAGARPA S/A. Utilización de Estiércoles. Responsable de la Ficha Dr. Antonia Trinidad Santos. Colegio de Postgraduados. Instituto de Edafología. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Utilizaci%F3n%20de%20esti%E9rcoles.pdf> Consultado el 26 de marzo de 2015.

Salinas Vargas, D.; Maldonado Peralta, M. A.; Rojas García, A. R.; Graciano Obeso, A.; Ventura Ríos, J. y Maldonado Peralta, R. 2022. Evaluación de rastrojos y de grano en maíces nativos en Guasave, Sinaloa. Nota de investigación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 13, Núm. 8. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v13n8/2007-0934-remexca-13-08-1481.pdf> Consultado el 25 de noviembre de 2023.

Sánchez, P.; NASA AGRO ORGANICS. 2021. Cómo interpretar análisis de suelos: parte 1. [Video]. Recuperado de <https://youtu.be/LaLC5LeYYjk> Consultado el 10 de junio de 2023.

SEMARNAT. 2015. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf Consultado el 25 de octubre de 2023.

TERRAMAK, s/a. PINOCCHIO. Arado subsoleador. Preparador-MASHIO 1.30 m a 3.00 m 50 a 100 HP. <https://terramak.com.mx/productos/arado-subsoleador/pinocchio/> Consultado el 5 de diciembre de 2023.

Tijerina, L. (1999). *Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación*. UACH. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317308.pdf> Consultado en agosto 2023.

Universidad de Murcia. (2019). *Tema 6: La Edafosfera*. https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf Consultado el 28 de septiembre de 2023.

Zaragoza L., M. M.; Preciado R., P.; Figueroa V., U.; García H., J. L.; Fortis H., M.; Segura C., A.; Lagarda M., A. y Madero T., E. 2011. Aplicación de Composta en la Producción de Nogal Pecanero. Revista Chapingo Serie Horticultura No. 17. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60920104005> Consultado el 7 de abril de 2015