



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

LA PÉRDIDA DE FERTILIDAD DEL SUELO, CAUSAS Y CONSECUENCIAS.

TRABAJO MONOGRÁFICO
PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA

ALUMNO: NALLELY GUADALUPE PANIAGUA RODRÍGUEZ



SUPERVISORES

DRA. PATRICIA FRAGOSO SERVÓN
DR. ALBERTO PEREIRA CORONA
M. C. BENITO PREZAS HERNÁNDEZ
DRA. JENNIFER DENISSE RUÍZ RAMÍREZ
DRA. LUCELLY MARIANELA ROLDÁN CARRILLO



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

TRABAJO MONOGRÁFICO TITULADO "LA PÉRDIDA DE FERTILIDAD DEL SUELO, CAUSAS Y CONSECUENCIAS."

ELABORADO POR NALLELY GUADALUPE PANIAGUA RODRÍGUEZ



BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE SUPERVISOR

SUPERVISOR PROPIETARIO: DRA. PATRICIA FRAGOSO SERVÓN

SUPERVISOR PROPIETARIO: DR. ALBERTO PEREIRA CORONA

SUPERVISOR PROPIETARIO: M. C. BENITO PREZAS HERNÁNDEZ

SUPERVISOR SUPLENTE: DRA. JENNIFER DENISSE RUIZ RAMÍREZ

SUPERVISOR SUPLENTE: DRA. LUCELLY MARIANELA RODÁN CARRILLO



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2023

INDICE

| | |
|---|----|
| Introducción..... | 8 |
| Antecedentes..... | 10 |
| Objetivos..... | 14 |
| Capítulo 1. El Suelo..... | 15 |
| 1.1 Definición de suelo..... | 15 |
| 1.2 Definición de fertilidad del suelo..... | 18 |
| 1.3 Definición de la pérdida de fertilidad del suelo y ganancia de fertilidad de suelo..... | 20 |
| Capítulo 2. Función de los nutrientes..... | 24 |
| 2.1 Clasificación de nutrientes..... | 24 |
| 2.1.1. Los macronutrientes esenciales para el desarrollo de la planta..... | 25 |
| 2.1.2. Micronutrientes..... | 33 |
| 2.3 Fuentes de nutrientes de las plantas..... | 51 |
| Capítulo 3. Factores que afectan la fertilidad del suelo..... | 60 |
| 3.1 Factores naturales..... | 60 |
| 3.1.1 Factores físicos..... | 61 |
| 3.1.2 Factores químicos..... | 64 |
| 3.2 Factores antropogénicos..... | 68 |
| Capítulo 4. Consecuencias de la pérdida de la fertilidad del suelo..... | 69 |
| 4.1 Consecuencias para el suelo..... | 69 |
| 4.2 Consecuencias para los ecosistemas..... | 71 |
| 4.3 Consecuencias para la agricultura..... | 72 |
| Conclusiones..... | 74 |
| Bibliografía..... | 78 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 DEFORESTACIÓN POR ECOREGIONES | 11 |
| Tabla 2 FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES EN LAS PLANTAS | 41 |
| Tabla 3 BACTERIAS RESPONSABLES DE LA NITRIFICACIÓN | 45 |
| Tabla 4 CLASIFICACION SIMPLE DE PH..... | 64 |
| Tabla 5 TEXTURAS DEL SUELO | 67 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Ilustración 1 PRINCIPALES CAUSAS DE PÉRDIDA DE ECOSISTEMAS FORESTALES | 12 |
| Ilustración 2 SUPERFICIE RELATIVA DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE SUELO EN MÉXICO, 2007 | 13 |
| Ilustración 3 DEFICIENCIA DE NITROGENO EN LAS HOJAS DE MAIZ. | 27 |
| Ilustración 4 DEFICIENCIA DE FOSFORO | 28 |
| <i>Ilustración 5 SINTOMAS DE DEFICIENCIA POTÁSICA.</i> | 30 |
| Ilustración 6 DEFICIENCIA DE CALCIO EN FRUTOS. | 31 |
| Ilustración 7 DEFICIENCIA DE Mg EN CULTIVO DE FRIJOL..... | 32 |
| Ilustración 8 SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE AZUFRE EN EL CULTIVO DE MAIZ. | 33 |
| Ilustración 9 SINTOMAS TÍPICAS DE DEFICIENCIA DE MANGANESO EN HOJAS NUEVAS DE SOYA..... | 34 |
| Ilustración 10 CULTIVO DE TRIGO CON SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE COBRE. | 35 |
| Ilustración 11 DEFICIENCIA DE Zn EN EL CULTIVO DE MAIZ..... | 36 |
| Ilustración 12 FUNCIONES DEL MOLIBDENO EN LA NUTRICIÓN DE LOS CULTIVOS. | 37 |
| Ilustración 13 SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE BORO. | 38 |
| Ilustración 14 EL PAPEL DEL CLORO EN A NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS. | 39 |
| Ilustración 15 CARENCIA DE HIERRO EN LOS CULTIVOS..... | 40 |
| Ilustración 16 PAPEL DEL COBALTO EN LAS PLANTAS. | 41 |
| Ilustración 17 DEFICIENCIA DE MACRONUTRIENTES. | 43 |
| Ilustración 18 CICLO DEL NITROGENO | 46 |
| Ilustración 19 DIFERENCIAS DE DEFICIENCIA DE MAGNESIO Y MANGANESO..... | 49 |

Introducción

El suelo es un recurso natural que se encuentra en la parte superficial de la corteza terrestre y es el resultado de la acción conjunta de cinco factores formadores: roca, relieve, clima, organismos y tiempo.

El suelo es una parte muy importante para las condiciones de la vida sobre la Tierra. Es el principal soporte de la infraestructura natural, la vegetación, y el hábitat de la biodiversidad, es un elemento esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema. El suelo es un recurso limitado que forma parte del capital estratégico natural de cualquier país, al igual que los bosques, el agua, e incluso los depósitos minerales, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] 2023.)

La fertilidad del suelo es la capacidad que tiene el suelo para contribuir al crecimiento de las plantas y garantizar el desarrollo de las cosechas. Se puede mejorar haciendo uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos que ayudan a nutrir el suelo. (Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA] 2023)

La pérdida de fertilidad de los suelos puede poner en peligro el abastecimiento de alimento para las generaciones futuras. Según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el **2015** el 33 % de la tierra se encontraba de moderada a altamente degradada, esto debido a la erosión, la salinidad, la compactación, la acidificación y la contaminación química que tienen los suelos.

Es de gran importancia conocer los suelos y sus necesidades en cuanto a sus nutrientes, para lograr un manejo adecuado y con ello, aprovechar de manera racional este recurso vital para los seres humanos.

La presente investigación es una monografía en donde se abordarán temas acerca de la pérdida de fertilidad de los suelos de manera global, tanto de las causas que provocan esta pérdida como de las consecuencias que trae consigo para el suelo, para el ecosistema y para la agricultura. Se consideran los factores

físicos y químicos que posee el suelo que contribuyen a la pérdida de la fertilidad del mismo, así como los ocasionados por las actividades humanas.

Toda la información de esta monografía fue obtenida de diversas consultas bibliográficas y documentos oficiales de internet correspondientes al tema principal de la investigación.

El presente trabajo está desarrollado en cuatro capítulos de los cuales se desprenden diversos subtemas.

En el primer capítulo abordamos los conceptos de relevancia en la investigación como es la definición de suelo, de fertilidad de suelo, pérdida y ganancia de fertilidad de suelo, los cuales nos ayudarán a la comprensión del tema tratado.

El segundo capítulo trata de las funciones que tienen los principales nutrientes en el suelo, la clasificación de los mismos, y una breve descripción de los macronutrientes y micronutrientes, como obtienen las plantas sus nutrientes y las diversas fuentes de donde provienen los mismos.

En el tercer capítulo se abarcarán los factores que afectan la fertilidad del suelo, de manera directa como indirectamente, se describen los factores naturales tanto físicos como químicos y los factores antropogénicos que han contribuido a la afectación tanto positiva como negativamente a la fertilidad del suelo.

El cuarto y último capítulo nos dará a conocer las consecuencias de la pérdida de fertilidad, las consecuencias para el suelo, para nuestro ecosistema y las consecuencias que trae para la agricultura.

Esta investigación monográfica pretende describir las causas y las consecuencias que podrían sufrir los suelos por la pérdida de su fertilidad, con ello resaltar la importancia de hacer un manejo adecuado del mismo y evitar las consecuencias que traerá consigo la pérdida de la misma.

Antecedentes.

En los estudios realizados por Bornebisza y Fassbender (1975) se plantea que la pérdida de fertilidad del suelo se debe a diversos procesos como la falta de restos vegetales para la mineralización, los cambios de propiedades físicas del suelo, pérdida de elementos nutritivos, pérdida de humus por erosión y escorrentía y los cambios del ambiente microbiológico del suelo; estos procesos ocurren por lo general en forma colectiva, la degradación de la fertilidad es por tanto el resultado del comportamiento colectivo de ellos.

En el año **2005**, la SEMARNAT reporta que los suelos afectados por algún tipo de degradación representan el **45.2%** de la superficie total del territorio nacional, en el **2003** el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI) reportó que la superficie degradada total asciende a 88.1 millones de hectáreas, de las cuales la degradación química cuenta con 34.97 millones de ha (17.9%), la degradación física son 11.61 millones de ha (5.9%), la erosión hídrica afecta a 23 millones de ha (11.8%) y la eólica 18.5 millones de ha (9.5%).

Se ha identificado que la mayor causa (51.3%) de la degradación de los suelos del país se debe a la deforestación asociada a cambios de uso del suelo (hacia actividades agropecuarias principalmente), aproximadamente la mitad de las zonas deforestadas o que cambian de uso, se dedican a la actividad ganadera, lo cual alcanza un 25% de la superficie del país (SEMARNAT, 2005). Algunos años antes de **1995**, se perdieron más de 11 millones de hectáreas de vegetación natural en México.

Nuestro país ocupa uno de los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo según la FAO (S.f.). Los estudios sobre deforestación se han enfocado en la cuantificación de este proceso, existe una enorme cantidad de estimaciones sobre tasas de deforestación, cuyos rangos fluctúan entre 75,000 hectáreas/año a cerca de 1.98 millones de hectáreas.

Con base estudios metodológicos se ha calculado que, en promedio, México tiene registrado una tasa anual de deforestación con un promedio de **208 mil 850 hectáreas** por año durante los años 2001-2021, lo que representa el 0.31% de la superficie forestal arbolada a nivel nacional (66.65 millones de hectáreas) (CONAFOR, 2022).

La tasa anual más alta de deforestación bruta se registró en el año 2016 con 350 mil 298 hectáreas.

En el año 2019 la tasa de deforestación fue de 226 mil 581 hectáreas, la cual en el 2020 logró reducirse a 174 mil 190 hectáreas y a 167 mil 811 hectáreas en **2021**; en porcentajes la reducción es equivalente al 23.12% y 25.94% cada una.

La deforestación por ecorregión se registró principalmente en:

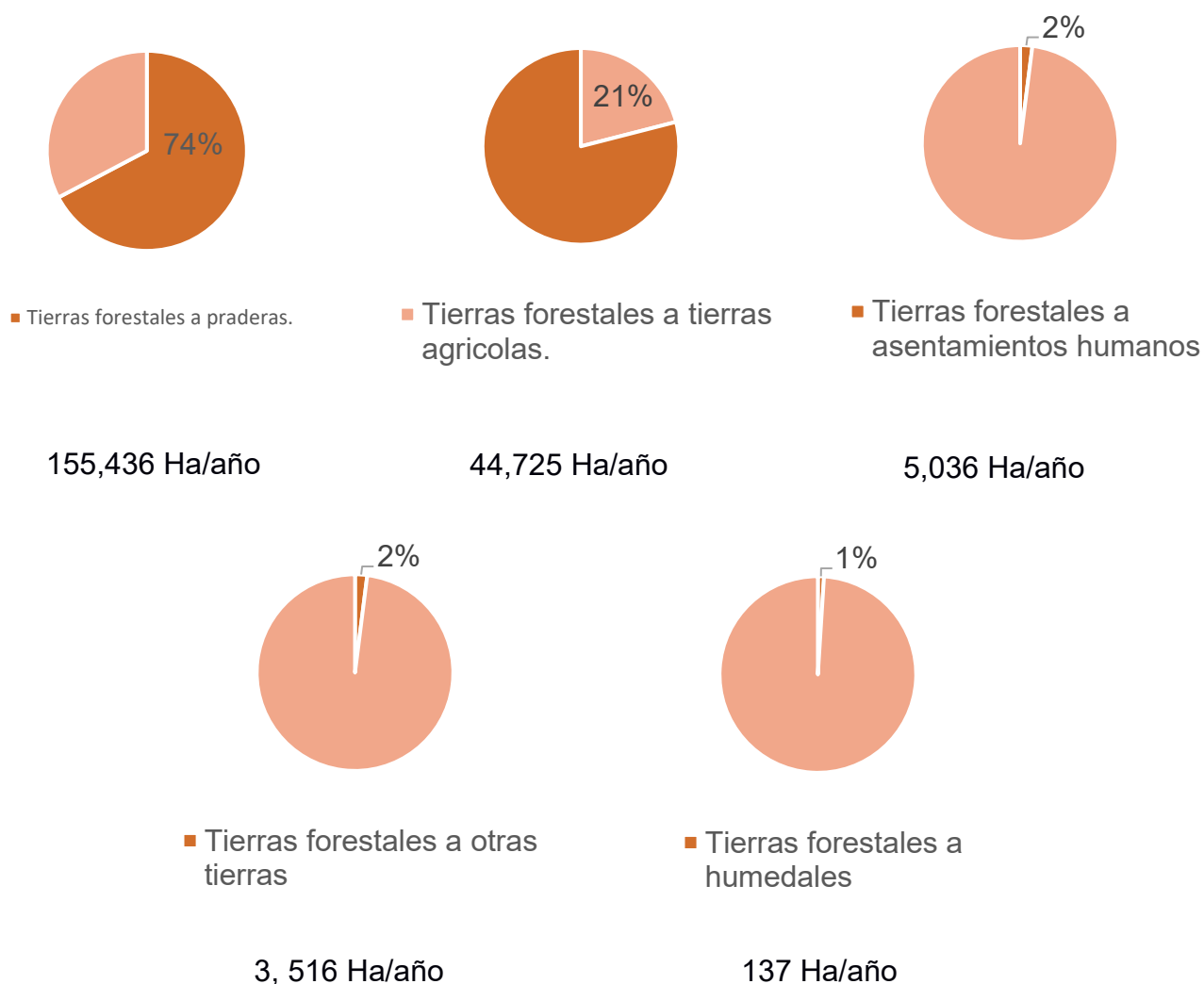
Tabla 1 DEFORESTACIÓN POR ECOREGIONES

| Ecorregión | 2020 | 2021 |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Selvas cálido húmedas | 28.85% 50 mil 250 hectáreas | 51.97% 87 mil 209 hectáreas |
| Selvas cálido secas | 31.91% 55 mil 583 hectáreas | 18.64% 31 mil 280 hectáreas |
| Sierras templadas | 21.23% 36,986 hectáreas | 29.39% 49 mil 321 hectáreas |

Se concluyó que en **2020** la conversión de tierras forestales a praderas fue la causa del 87.70% de la deforestación bruta (152 mil 760 hectáreas); mientras tanto que a tierras que son usadas para el cultivo fué la causa del 9.17% (15 mil 966 hectáreas). (CONAFOR, 2022).

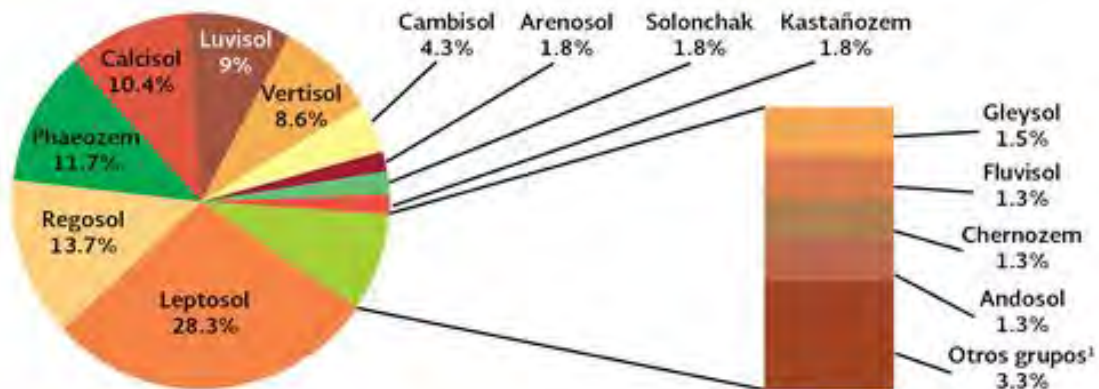
Según El Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (SNMF, 2021) Las principales causas de la pérdida de ecosistemas forestales en el periodo 2001 a 2021 son:

Ilustración 1 PRINCIPALES CAUSAS DE PÉRDIDA DE ECOSISTEMAS FORESTALES



De acuerdo con el INEGI (2007), en México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Dominan los Leptosoles (28.3% del territorio), Luvisoles (9%) Regosoles (13.7%), Calcisoles (10.4%), Vertisoles (8.6%) y Phaeozems (11.7%), en conjunto, ocupan 81.7% de la superficie nacional.

Ilustración 2 SUPERFICIE RELATIVA DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE SUELO EN MÉXICO, 2007



Fuente: Instituto Nacional de estadística y geografía. Conjunto vectorial Edafológicos. México, 2007.

El 52.4% está cubierto por tres grupos: Leptosoles, Regosoles y Calcisoles, que son suelos someros y poco desarrollados, en estos suelos es difícil su aprovechamiento agrícola y son vulnerables a las actividades productivas. En cambio, los suelos que poseen mayor fertilidad, son los Phaeozems, Luvisoles y Vertisoles, los cuales son utilizados con mayor frecuencia en la producción agrícola, en total, el 29.3% del país. En el resto del territorio se presentan los 20 grupos edáficos restantes (INEGI, 2007).

El 44% de la superficie del suelo en México, no presenta una actividad ganadera, el 32% presenta actividad ganadera sin sobrepastoreo, y el 24% representa la actividad ganadera con sobrepastoreo, lo que acelera la degradación del suelo dejándolo expuesto a agentes erosivos como el aire y el agua, el pisoteo del

ganado impide la infiltración de agua, lo que contribuye a su erosión (SAGARPA, 2010).

El manejo inadecuado de los suelos incrementa el riesgo de degradación, lo que altera sus características físicas, químicas y biológicas. La degradación del suelo tiene impactos negativos en los ecosistemas y en las actividades agrícolas, principalmente por la pérdida de fertilidad y productividad del suelo. En México el 17.8% de los suelos presenta una degradación química, el 11.9% erosión hídrica, el 9.49% erosión eólica. El 5.68% erosión física y el 55.1% sin degradación aparente (SAGARPA, 2010).

Los químicos conforman el proceso más importante de degradación del suelo en México. Las consecuencias más grandes se presentan por la disminución de la fertilidad y la limitación del contenido de materia orgánica. Se ha logrado identificar que la mayor forma de degradación de los suelos de México se debe a la deforestación que está asociada a los cambios de uso del suelo hacia actividades agropecuarias. El desgaste de los suelos que han sufrido por estas actividades se debe a prácticas de producción inapropiadas tales como la aplicación excesiva de riego, la falta de prácticas de conservación de suelo, la quema de residuos de cosecha, el exceso de labranza y falta del cuidado del agua (Compendio de estadísticas ambientales, 2008).

Objetivos

Objetivo general

- Analizar cuáles son los factores que causan la pérdida de fertilidad del suelo y sus consecuencias.

Objetivos específicos

- Identificar y describir los factores físicos y químicos que producen la pérdida de la fertilidad de los suelos.
- Determinar cuáles son los factores antropogénicos que contribuyen a la pérdida de fertilidad.
- Analizar las consecuencias de la pérdida de fertilidad de los suelos.

Capítulo 1. El Suelo

1.1 Definición de suelo

Existen en la actualidad diversas definiciones de suelo, esto depende del punto de vista del autor o del área de estudio al que nos queremos enfocar, por ello algunos autores nos definen el suelo dependiendo de su área de investigación.

De acuerdo a Aguilera (1989) se puede definir el suelo como un medio en el cual se desarrollan las plantas y muchas formas de vida animal. Para él, el suelo está constituido por una parte mineral, una de aire, una acuosa y una orgánica incorporada a ellos por plantas y animales.

Gavande (1972) considera el suelo desde el punto de vista físico, y lo define como un sistema complejo, sólido, líquido y gaseoso. El sistema suelo muestra, como característica fundamental, una gran dinámica determinada por los efectos que provocan agentes tales como la temperatura, la luz, la presión total, el agua, los solutos y los organismos.

De acuerdo con la FAO (2009) el suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, organismos, agua y aire. Es una capa delgada que se ha ido formado muy lentamente, con el paso del tiempo, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y del viento. Los animales y las plantas que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son

descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo. Los suelos son sistemas complejos en donde ocurren muchos procesos físicos, químicos y biológicos, con lo cual nos da una gran variedad y tipos de suelos en todo el mundo.

Mientras que para Lugo (2011) el suelo es una capa superficial de la corteza terrestre que posee fertilidad y vegetación. Para este autor el suelo consiste en varios horizontes que surgen de una transformación de la roca madre por la acción combinada del clima, la vegetación, organismos como las bacterias y el relieve.

Dockuchaiev, en 1886 propone la palabra “suelo” para que se use como un término científico que se refiere a: lechos o capas descansando sobre la superficie de la tierra o cercana a ella, que son cambiadas por procesos naturales bajo la influencia del agua, del aire y de la materia orgánica viva o muerta (Ortiz, 2010).

Brady y Weil (1999) expresan el papel que desempeña el suelo en el mundo y lo enfocan en cinco papeles fundamentales, el primero es considerado como el medio natural para el desarrollo de las plantas, con o sin horizontes, que soporta a las raíces y que suple de elementos nutritivos a toda la planta, en este punto hace énfasis en lo que el suelo es capaz de mantener, enfocados a todos los seres vivos, que están presentes en él, incluyendo al hombre. El segundo papel, está referido a que las propiedades de los suelos son el factor principal que controla el destino del agua en el Sistema Hidrológico, debido a que las pérdidas, los usos, la contaminación y la purificación del agua están estrechamente relacionados con el suelo. El tercer papel, se relaciona con el funcionamiento del suelo como un sistema natural de reciclado; dentro del suelo, productos de desecho y restos de plantas, animales, son asimilados y sus elementos básicos en los que se transforman se vuelven disponibles y son usados nuevamente por la siguiente generación viva. Como cuarta función, los suelos proporcionan el hábitat para un gran número de organismos vivos, desde pequeños mamíferos y reptiles, diminutos insectos hasta células microscópicas de un número y

diversidad inigualable. Finalmente, como quinta función, en los ecosistemas contruidos por el hombre, el suelo se convierte en el medio ingenieril, no solo como un importante material de construcción como rellenos, adobes o tabiques, sino también como el cimiento de cada carretera, aeropuerto o casa que sea construida. Este punto de vista se dirige a todas las partes importantes en las que el suelo está presente y abarca en gran medida toda su área de uso y contribución como parte de un sistema.

Para Ortiz (2010) el suelo es un cuerpo natural formado por sólidos (material mineral y material orgánico) líquidos y gases, que está sobre la superficie de las tierras, que ocupa un lugar en el espacio y que presenta una o ambas de las siguientes características: horizontes o capas que se diferencian del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones y transformaciones de materia y energía; o, por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural (Ortiz, 2010).

Según la FAO, el suelo es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por los cambios de temperatura, la acción del agua, y el viento. La descomposición de las plantas y animales sobre el suelo, estos son descompuestos por los microorganismos y son transformados en materia orgánica y después son mezclados con el suelo (FAO, S.F.).

El suelo es clasificado por la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) 2006 como: Cualquier material que se encuentre dentro de los 2 metros de la superficie de la Tierra y que esté en contacto con la atmósfera, sin tomar en cuenta a los organismos vivos, a las zonas con hielo continuo que no estén cubiertas por otro material, así como las masas de agua más profundas de 2 metros. Lo que la definición incluye es la roca dura continua, los suelos urbanos que están pavimentados, los suelos que tengan áreas industriales, los suelos donde haya cavernas, así como los suelos submarinos. Los suelos bajo roca continua, excepto aquellos que ocurren en cavernas, no son considerados para

su clasificación. En casos especiales, la WRB puede ser utilizado para catalogar suelos bajo la roca (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, 2014).

El suelo es de gran importancia para la vida del ser humano, el suelo es un gran sistema y un medio donde se genera vida, sus características físicas, biológicas y químicas contribuyen a la gran variedad de suelos en la tierra y a diferenciarlos entre sí.

1.2 Definición de fertilidad del suelo

La fertilidad de suelo se refiere a la concentración, balance y disponibilidad de los nutrimentos del suelo (Rodríguez, 1983).

La fertilidad del suelo consiste en la capacidad de éste para producir frutos, es decir, para propiciar en su entorno natural la producción vegetal. Está basada en determinadas propiedades y se denomina también productividad del suelo o capacidad productiva (Fink, 2021).

La fertilidad del suelo es considerada como la habilidad del suelo para proveer los nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas (Jurgen, 1997).

Los suelos, por si solos poseen nutrimentos que los caracterizan y contribuyen a que sean favorables para el crecimiento de las plantas, la fertilidad es un punto muy importante para definir su potencial. La fertilidad que posee el suelo depende en gran medida de las necesidades de las plantas, debido a que cada planta necesita suministrarse de nutrientes, las cantidades que necesita cada una es diferente (Fitzpatrick, 1996).

Afif *et al.* (2006) concuerda en que la fertilidad es la capacidad que tiene el suelo de suministrar a la planta el conjunto de elementos nutritivos que le son necesarios, divide a la fertilidad en Fertilidad física, química y biológica:

- La fertilidad física: Hace referencia a la misión del suelo como soporte de las raíces y a su capacidad para almacenar y permitir el paso del agua y

el aire, se refiere a sus características: textura, estructura, porosidad, permeabilidad, etc.

- La fertilidad química: La define por las propiedades químicas y mineralógicas del suelo, que condicionan su capacidad de reserva de elementos asimilables, este aspecto viene indicado por el pH del suelo, su porcentaje de saturación de bases, etc.
- La Fertilidad biológica: La enfoca a la actividad de los organismos del suelo (microorganismos, microfauna, raíces, etc.) que determina, sobre todo, el estado de la materia orgánica del suelo.

Otro concepto a considerar es la fertilidad potencial de un suelo que viene dada por un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas, determinantes para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales que soporta y que viven de él. El término fertilidad de suelo en los términos más antiguos se utilizaba para describir la capacidad del suelo para alimentar a las cosechas mediante sus propias reservas de nutrientes (Bello *et al.* 2003).

En su mayoría, los autores concuerdan que la fertilidad del suelo es sin lugar a dudas la capacidad que posee el suelo para la generación de nutrientes con lo cual alimentará a las plantas. Su importancia radica en que si el suelo es fértil podrá brindar a la planta los nutrientes necesarios para su desarrollo exitoso.

Un suelo es fértil de acuerdo a la (FAO, S.F.) cuando:

- Su consistencia y profundidad permiten un buen desarrollo y fijación de las raíces.
- Contiene los nutrientes que la vegetación necesita.
- Es capaz de absorber y retener el agua, conservándola disponible para que las plantas la utilicen.
- Está suficientemente aireado.
- No contiene sustancias tóxicas.

La fertilidad del suelo hace referencia a la disposición del mismo sostener el crecimiento de las plantas, produciendo los nutrientes que ellas necesitan (Diversidad del suelo, 2021).

1.3 Definición de la pérdida de fertilidad del suelo y ganancia de fertilidad de suelo.

Perdida de fertilidad del suelo

Cuando un suelo pierde sus nutrientes se vuelve estéril, lo que significa que no se podrá desarrollar ningún tipo de vegetación o será muy escasa.

Para Bornebiszaet *al.* (1975), las pérdidas de fertilidad de suelos se deben a diversos factores entre ellos, la falta de restos vegetales para la mineralización, aumento de las enfermedades y parásitos, cambios de propiedades físicas del suelo, las pérdidas de elementos nutritivos, las pérdidas de humus por erosión y escorrentía y los cambios de ambiente microbiano del suelo. Sin embargo, existen otros factores que afectan la fertilidad del suelo relacionadas con las actividades humanas, las cuales contribuyen directa o indirectamente en la pérdida de fertilidad como son las actividades agropecuarias y otras actividades humanas que pueden causarla como:

- La compactación del suelo por ganadería.
- Los monocultivos.
- El sobrepastoreo.
- El riego y sobreexplotación de recursos hídricos.
- La expansión urbana y el desarrollo comercial.
- La contaminación del suelo
- La deforestación.
- El movimiento, despeje y desbrozado de tierras, incluyendo la tala de árboles.

- Las malas prácticas agrícolas, como un mal uso de la rotación de cultivos
- La actividad minera, entre muchas otras

Otros factores que afectan indirectamente en la pérdida de fertilidad son los insecticidas, herbicidas, fungicidas, plaguicidas, entre otros.

También contribuyen a la pérdida de fertilidad:

1. Pérdida de nutrientes por erosión, las pérdidas por erosión pueden ser grandes o pequeñas sin embargo son provocadas todas por la acción del viento y el agua principalmente.

2. Pérdidas de nutrientes por lavado, depende mucho del tipo de suelo, pero la pérdida por lavado es provocada por el agua de lluvia o riego.

3. Remoción de nutrientes por cultivos cosechados, el objetivo principal de la agricultura, es la cosecha para el consumo humano y de los animales.

4. Pérdida de nutrientes en forma gaseosa, es la pérdida que resulta de una transformación química en el suelo, lo que ocasiona que se pierdan los nutrientes en forma de gas (Ortiz et al, 1980).

La pérdida de fertilidad y la contaminación se atribuye a diversos cambios en la estructura del suelo. Hay que tomar en cuenta que para que la vegetación crezca necesita los nutrientes suficientes de los que se alimenta, pero también hay que considerar que existen sustancias y elementos que son nocivos para las plantas, los cuales son tóxicos y actúan como veneno.

Algunos elementos son absorbidos por las raíces de las plantas, que son de gran importancia para su desarrollo. Estos minerales disminuyen en el suelo con los cultivos. Por lo que deben ser repuestos con abono y materia orgánica, ya que al no hacerlo la fertilidad del suelo disminuye hasta agotarse.

Otra forma de deterioro y desgaste del suelo debido a sustancias químicas dañinas y tóxicas es la contaminación. Puede ser provocada por el agua de los riego que se encuentra contaminada pozos negros, letrinas, desechos en la industria minera y fábricas. También contaminan ciertos insecticidas y herbicidas (FAO. S.F).

Ganancia de fertilidad

La ganancia de fertilidad está constituida por el aumento en la cantidad de nutrientes que tiene un suelo.

De manera natural un suelo gana nutrientes principalmente a través de la materia orgánica.

La materia orgánica, está constituida por los restos vegetales, animales y biomasa que se degrada e incorpora al suelo por la actividad biológica (Fuentes, 2007).

La materia orgánica que está descompuesta y bien mezclada con el material mineral de los horizontes superficiales del suelo forma el humus, se puede definir como el producto de la descomposición vegetal y de la síntesis microbiana.

El humus posee características únicas, las cuales determinan las propiedades de los horizontes superiores, como la capacidad de absorber grandes cantidades de agua con lo cual ayuda a aumentar la capacidad de retención de líquido del suelo y tienen una gran capacidad de adsorber nutrientes e intercambiarlos (alta capacidad de intercambio catiónico). La importancia y el valor de la materia orgánica ha llevado a algunos agricultores a usar únicamente abonos, de este modo, la fertilidad del suelo se mantiene mediante la aplicación de materia orgánica.

El humus en el suelo de acuerdo a FitzPatrick (1996):

- Mejora las condiciones para el crecimiento microbiano.
- Sirve como reserva de nutrientes.

- Mejora la capa de cultivo
- Absorbe y desactiva pesticidas orgánicos
- Mejora y estabiliza la estructura del suelo
- Aumenta la capacidad de retención de agua
- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico

El suelo también puede adquirir sus nutrientes de forma no natural, esto es en base a incorporar abonos y fertilizantes pues gracias a estos se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobreexplotados y que carecen de nutrientes.

Los abonos orgánicos, incluyen los abonos verdes, el humus y los biofertilizantes o fertilizantes orgánicos, estos abonos son el resultado de la descomposición o fermentación de la materia orgánica que es producida por los seres vivos.

Los abonos orgánicos son saludables, no contaminan ni dañan a los seres vivos, aportan nutrientes al suelo y también favorecen a la absorción de nutrientes, debido a que propician el desarrollo de microorganismos encargados de transformar estos elementos en formas asimilables para las plantas.

Se le puede llamar fertilizante a cualquier material ya sea natural o industrializado, que tenga por lo menos el 5% de uno o más de los tres nutrientes primarios.

Los fertilizantes simples son aquellos que contienen sólo un nutriente primario. Los fertilizantes que contienen dos o tres nutrientes primarios se les llama fertilizantes multinutrientes, fertilizantes binarios los que contienen dos nutrientes o ternarios los que contienen tres. (FitzPatrick, 1996).

Un manejo ideal del suelo contribuye a su mantenimiento, restauración y a mejorar su calidad. Debemos informarnos y utilizar prácticas de cultivo que eviten la pérdida de fertilidad del suelo. Los procedimientos practicados para prevenir la

erosión ayudan a retener el suelo, lo que contribuye a reducir el impacto del agua y del viento, con ello evitar el arrastre. La pérdida de la fertilidad se puede combatir reemplazando los nutrientes y la materia orgánica del suelo, que los cultivos y erosión se llevan (FAO, S.F).

Capítulo 2. Función de los nutrientes

Los nutrientes cumplen diversas funciones importantes para el suelo y la planta, cada elemento contribuye al crecimiento y desarrollo primordial de la misma.

2.1 Clasificación de nutrientes

Las plantas necesitan agua y determinados nutrientes para su crecimiento. Los absorben del suelo por medio de sus raíces, un suelo es fértil cuando tiene los nutrientes necesarios para que las plantas tengan un óptimo desarrollo.

Los nutrientes que se encuentran en el suelo se dividen en dos conjuntos: los macronutrientes que se encuentran en niveles importantes en la biomasa y fluidos de las plantas y los micronutrientes que son esenciales, pero se encuentran en niveles muy bajos en la planta. Se define el nutriente esencial como aquel cuya ausencia impide a la planta completar su ciclo vital, la disponibilidad de este nutriente y la energía de la luz del sol permite a las plantas la síntesis de todos los compuestos que son necesarios para su crecimiento normal (Taiz y Zeiger, 2006).

La mayor parte de estos nutrientes provienen de la meteorización de los minerales y de la descomposición de la materia orgánica, luego las raíces los absorben (Fitzpatrick, 1996).

Las plantas obtienen del aire y del agua algunos elementos que necesitan, como el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. El resto de los nutrientes los obtienen del suelo: aquellos nutrientes que los vegetales requieren en grandes cantidades se llaman nutrientes principales o macronutrientes, son el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio y el magnesio (FAO, 2002).

Aquellos que las plantas requieren en menor cantidad son llamados micronutrientes, son: Manganeso, Cobre, Zinc, Molibdeno, Boro, Cloro, Hierro y Cobalto.

Los nutrientes deben estar siempre presentes en las cantidades y proporciones adecuadas para que la planta pueda obtenerlos de acuerdo a sus necesidades (FAO, 2002).

2.1.1. Los macronutrientes esenciales para el desarrollo de la planta.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, y grandes cantidades tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser pobres en nutrientes de manera natural, también llegan a carecer de ellos por la extracción de los nutrientes debido a los cultivos a lo largo de los años, o cuando se utilizan diversidad de rendimientos altos que son más usados en nutrientes que las variedades locales (FAO, 2002).

Los nutrientes primarios son el grupo de los macronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades, el nitrógeno, calcio, fósforo potasio y magnesio (FAO,2002).

Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial de todos los seres vivos, forma parte de las proteínas y la clorofila, es el que le da a la planta un color verde oscuro, contribuye al desarrollo de las hojas y tallos, ayuda al desarrollo rápido en el primer ciclo del desarrollo de la planta. Este elemento es consumido en mayor cantidad, indispensable para el follaje y es la base de la fertilización.

Una excedencia de este elemento retarda la maduración de la planta, la debilita, puede disminuir la calidad de los cultivos y provocar menor resistencia a enfermedades de la planta.

El nitrógeno se origina de la atmosfera o de los tejidos muertos. En cualquiera las bacterias que se encuentran en el suelo lo transforman en amonio y nitrato, que son las sustancias que se absorben por las raíces de las plantas (Fitzpatrick, 1996).

El Nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de la planta es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). Se combina con los componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos de la planta para formar amino ácidos y proteínas. Siendo el constituyente principal de las proteínas, está relacionado en todos los procesos importantes del desarrollo de las plantas y en la preparación del rendimiento. Es importante un buen suministro de nitrógeno para la planta y la absorción de los otros nutrientes (FAO, 2002).

El nitrógeno es un componente esencial para la clorofila, unidad básica en la absorción de energía lumínica para el proceso de fotosíntesis.

Las funciones del nitrógeno son:

- Estimula el crecimiento vegetativo y el desarrollo de un verde oscuro en las hojas.
- Incrementa la masa protoplasmática, sustancia que se hidrata fácilmente y produce succulencia foliar (FAO, S.F).

Ilustración 3 DEFICIENCIA DE NITROGENO EN LAS HOJAS DE MAIZ.



Deficiencia de nitrógeno en Maíz

Deficiencia de nitrógeno en Maíz

(Fuente: Proain tecnología agrícola, 2020)

Fósforo

El abastecimiento adecuado de Fósforo (F) contribuye a desarrollar la formación de las partes reproductivas de las plantas, ayuda al crecimiento y estimulación inicial de la plántula, produce la madurez temprana de las plantas, contribuye y estimula a la floración y ayuda a la formación de semilla. Es absorbido como fosfato PO_4^{3-}

Es uno de los constituyentes de todas las células vivas, está presente en el protoplasma y se encuentra con mayor concentración en las semillas y en consecuencia aumenta la producción de esta (Fitzpatrick, 1996).

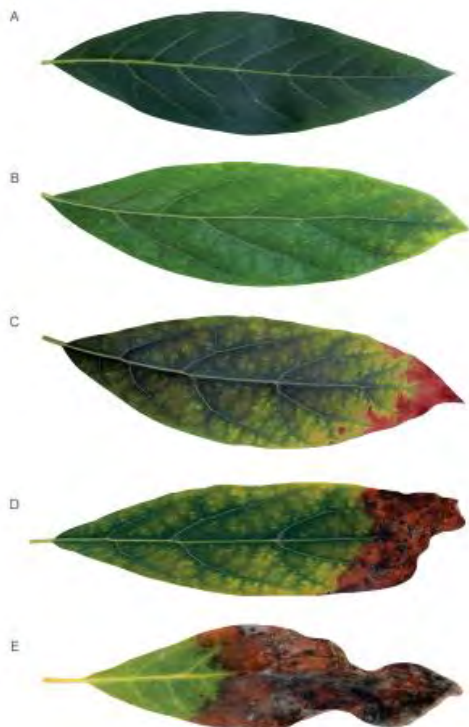
El Fósforo (P), que suple de 0,1 a 0,4 % del extracto seco de la planta, tiene un papel esencial en la transmisión de energía. Por lo que es de gran valor e importancia para el proceso de la fotosíntesis y otros procesos químico-fisiológicos. Es imprescindible para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman el crecimiento de la planta. En la mayoría

de los suelos naturales o agrícolas o dónde la fijación limita su disponibilidad el fósforo es deficiente (FAO,2002).

Es el elemento nutritivo más limitante del rendimiento de los cultivos después del Nitrógeno. Contribuye a que las plantas a tengan un desarrollo rápido mejorando su resistencia a las temperaturas bajas y en algunas plantas, su resistencia a determinadas enfermedades.

También actúa en diversos procesos bioquímicos a nivel celular y aumenta la eficiencia del uso del agua. Su escasez se puede ver en las hojas viejas con un color verde pálido, los bordes secos y afectan también a la floración y al desarrollo de las raíces (G.J. Álvaro, 2019).

Ilustración 4 DEFICIENCIA DE FOSFORO



A)Hoja sana con optimo nivel de fosforo. B) Deficiencia leve C) Deficiencia moderada D) y E) Deficiencia severa (Fuente: Agroproductores, 2020).

Potasio

El Potasio contribuye a la resistencia de la planta para las enfermedades, aumenta el tamaño de granos y semillas, ayuda a la formación de proteínas, regula las condiciones de agua (Fitzpatrick, 1996).

Las plantas que presentan deficiencia de potasio son muy fáciles de identificar por que se marchitan en días secos o soleados. La planta presenta marchitez o flacidez. Las plantas con deficiencia de potasio tienen un aspecto compacto con internodos cortos. Se inhibe el crecimiento de las hojas jóvenes, y tienen casi a menudo, láminas foliares pequeñas. Las hojas pueden ser color oscuro o azul-verdoso, tener un brillo metálico bronceado o pueden tener aspecto ondulado. En algunas plantas se puede observar clorosis en algunas partes o manchas (Department of Plant Science, S.f.).

El Potasio (K), que supone del 1 al 4 % del extracto seco de la planta, tiene varias funciones. Este activa más de 60 enzimas que son las sustancias químicas que regulan la vida. Por lo que son parte vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El potasio (K) ayuda a mejorar el régimen hídrico de la planta y aumenta su resistencia a la sequía, salinidad y las heladas. Las plantas que son favorecidas con K sufren menos de enfermedades (FAO, 2002).

Después del nitrógeno, el potasio (K) Es el segundo mineral más abundante en la planta. El potasio está involucrado en la actividad de más de 60 enzimas, en la fotosíntesis y en el movimiento de sus productos (fotosintatos) a los órganos de almacenamiento (semillas) y en ocasionar tolerancia contra varias plagas, enfermedades y condiciones de estrés.

El síntoma general de deficiencia de K es la clorosis a lo largo del borde de la hoja, seguido por una quemadura de las hojas viejas. Los síntomas aparecen en

las hojas viejas debido a la movilidad de este nutriente. Las plantas muestran crecimiento achaparrado y entrenudos acortados (González M. y Tapia M., 2017).

Ilustración 5 SINTOMAS DE DEFICIENCIA POTÁSICA.



(Fuente: Proain tecnología agrícola, 2020)

Calcio (Ca)

El Calcio, ayuda al crecimiento de las raíces, ayuda al desarrollo de las puntas de las raíces, fomenta la producción de semillas. Es esencial para la estructura de las paredes de las células.

El calcio, se obtiene de los minerales del suelo. Una deficiencia produce la deformación de las partes en desarrollo (Fitzpatrick, 1996).

La concentración de calcio en el suelo es diez veces más alta a la del potasio, sin embargo, la tasa de absorción es más baja esto es debido a que el calcio es absorbido solo por la punta de raíces jóvenes donde la pared celular no está endurecida.

El calcio es utilizado por la planta para la tensión celular, para la permeabilidad y la estabilidad de la membrana celular y también forma parte de la pared celular (Arias J. Ana Cecilia, 2007).

Ilustración 6 DEFICIENCIA DE CALCIO EN FRUTOS.



(Fuente: Proain tecnología agrícola, 2020)

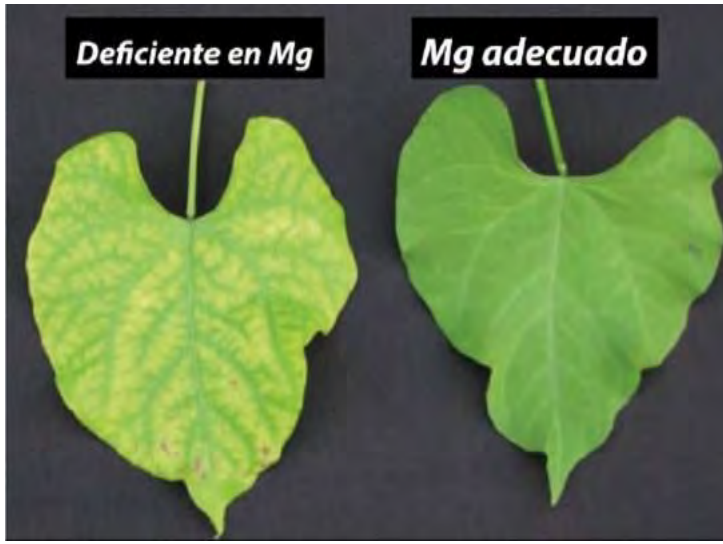
Magnesio

Las funciones de este elemento en las plantas están relacionadas con su movilidad dentro de las células y su capacidad para interactuar con otros compuestos a través de enlaces iónicos y convertirse en elemento puente en la formación de complejos. Una alta proporción del magnesio absorbido contribuye a la regulación del pH celular y al balance electroquímico (Silva, 2001).

El Magnesio, constituyente un elemento esencial de la clorofila, responsable de la fotosíntesis, regula la absorción de otros nutrientes. Forma parte de la clorofila, su deficiencia produce la decoloración de las hojas (Fitzpatrick, 1996).

Éste nutriente forma parte de la molécula de clorofila, por ello está muy involucrado en el proceso de la fotosíntesis. El síntoma de carencia más notorio se ve como clorosis internerval en las hojas viejas, también es muy común ver la deficiencia de Magnesio en suelos arenosos o suelos de baja concentración de intercambio catiónico al ser un elemento móvil (Andina, Dorcas, S.F).

Ilustración 7 DEFICIENCIA DE Mg EN CULTIVO DE FRIJOL.



(Fuente: Cakmak, and Kirkby, 2008.)

Azufre

El azufre es uno de los macronutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento sano de las plantas, es fundamental para diversas reacciones que se manifiestan en las células vivientes y es un componente básico de las proteínas. Las deficiencias del mismo se traducen en inhibición de la síntesis proteica que regula actividades tales como fotosíntesis y fijación de nitrógeno. Las plantas que sufren deficiencia de azufre tienden a retrasar su crecimiento y la maduración. También se puede observar que hay una apariencia clorótica color verde clara o amarillenta (Sanzano, 2019).

El Azufre, fomenta el desarrollo vegetativo de la planta, es un constituyente de muchas proteínas, estimula la formación de semillas. Está presente en algunos aminoácidos (Fitzpatrick, 1996).

El síntoma que se caracteriza con la escasez del azufre en la planta es la clorosis, esta se da mayormente en las hojas jóvenes con las venas en su mayoría más pálidas que el tejido interveinal; las hojas son delgadas y la planta da un aspecto

arbustivo; con crecimiento limitado. Como dato curioso la clorofila no contiene azufre, por lo tanto, la clorosis por deficiencia de azufre es indirecta (por una limitada síntesis de proteínas) (INTAGRI, 2020).

Ilustración 8 SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE AZUFRE EN EL CULTIVO DE MAIZ.



(Fuente: INTAGRI, 2017)

2.1.2. Micronutrientes

Los elementos de esta categoría reciben este nombre debido a que son aquellos elementos indispensables para que las plantas puedan completar su ciclo vital, aunque las cantidades necesarias para que las plantas sean muy pequeñas (Thompson et al, 1988).

Manganeso

El manganeso (Mn) es un elemento no metálico que se encuentra presente en los suelos y un micro elemento fundamental para las plantas. Forma parte de las enzimas que cumplen diversos roles en el metabolismo de las plantas, en particular las enzimas involucradas en el ciclo de Krebs o en la fotosíntesis. Los síntomas de carencia de manganeso se presentan primero en hojas nuevas y varían entre las distintas especies. En los casos más extremos, las zonas de color verde claro adquieren un color gris medio blanquecino (Sierra, 2020).

Ilustración 9 SINTOMAS TÍPICAS DE DEFICIENCIA DE MANGANESO EN HOJAS NUEVAS DE SOYA.



(Fuente: INTAGRI, 2017)

Cobre

El cobre (Cu) es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas; sin embargo, éstas mismas lo requieren en pequeñas cantidades, la función principal del Cu en la planta es la de funcionar como una coenzima en varios sistemas enzimáticos implicados en la creación y conversión de aminoácidos, así como en la desintoxicación de radicales superóxidos. Es componente de los cloroplastos y participa en la síntesis de clorofila y proteínas. Se le asigna un papel muy importante en el desarrollo del color y sabor a los frutos. Está involucrado en la formación de la pared celular y, como otros micronutrientes, en el transporte de electrones y reacciones de óxido-reducción (INTAGRI, 2020).

Ilustración 10 CULTIVO DE TRIGO CON SINTOMAS DE DEFICIENCIA DE COBRE.



(Fuente: INTAGRI,2011)

Zinc

Las plantas requieren del zinc en pequeñas pero significativas concentraciones para cumplir con varias funciones clave, incluyendo: funciones en la membrana, fotosíntesis, síntesis proteica y de fitohormonas, vigor de la plántula, formación de azúcares y defensas contra factores de estrés abióticos (ejemplo: sequías) y enfermedades. La escasez de zinc imposibilita que las plantas logren su potencial productivo (Zinc en los fertilizantes, 2011).

Ilustración 11 DEFICIENCIA DE Zn EN EL CULTIVO DE MAIZ.



(Fuente: Cakmak, I. V. 2014)

Molibdeno

La mayor parte del molibdeno contenido en el suelo, es inaccesible para las plantas, las formas del molibdeno accesibles son las solubles en agua y las absorbidas. Es el único cuya escasez es favorecida por la acidez del suelo o pH, en la movilidad y asimilación de este microelemento del suelo a las plantas. El molibdeno cumple una función esencial en el intercambio de nitrógeno en las plantas y microorganismos. El capacita la fijación del nitrógeno por

las bacterias nodulares (*Rhizobium, Azotobacter*) y otros microorganismos fijadores de nitrógeno, lo que contribuye a aumentar la productividad de fijación de éste, participa en los procesos de reducción de los nitratos en células vegetales, tiene influencia en la síntesis de los aminoácidos y las proteínas, ayuda a un mejor aprovechamiento del nitrógeno por las plantas.

Su escasez retiene la formación de la clorofila y disminuye el contenido del ácido ascórbico (Molibdeno en las plantas, 2020).

Ilustración 12 FUNCIONES DEL MOLIBDENO EN LA NUTRICIÓN DE LOS CULTIVOS.



(Fuente: INTAGRI, S.f.)

Boro

El boro asimilable consiste básicamente en ácido bórico, y representa una pequeña cantidad respecto al boro total. Los suelos son arenosos, con textura ligera y que presentan menos boro asimilable que los suelos que son arcillosos, también el boro se lava fácilmente de los suelos de textura ligera. El boro asimilable se encuentra concentrado en las capas superficiales de los suelos bien drenados, donde está estrechamente vinculado con la materia orgánica. El boro juega un importante papel en la fertilización de las plantas, teniendo necesidades particularmente elevadas cuando el crecimiento en peso de las hojas es más alto

y durante la floración y cuajado de frutos. Los órganos reproductivos (anteras, estilos, ovarios, estigmas) poseen alto contenido de boro. Tiene también un importante efecto que influye de manera positiva en el cuajado de frutos, así como en el proceso de formación de semillas (Alarcón, S.F).

Ilustración 13 SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE BORO.



(Fuente: INFOAGRO 2023)

Cloro

Es un elemento que interviene en la fotosíntesis, así como en el desarrollo de las raíces. Lo absorbe la planta en mayores cantidades que cualquier otro micronutriente, con excepción del hierro. La mayor cantidad de cloro en el suelo está como ion Cl⁻, que se lava fácilmente en los suelos de las regiones húmedas (Sanzano, S.f.).

La deficiencia de cloro provoca apariencia de marchitamiento y bronceado de las hojas (Fitzpatrick, 1996).

Ilustración 14 EL PAPEL DEL CLORO EN A NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS.



(Fuente: GOOGLE, S.f.)

Hierro

La facilidad del hierro para cambiar de estado de oxidación y formar quelatos estables y solubles hace que esté implicado en un gran número de funciones fisiológicas de la planta. La deficiencia da lugar a varios cambios morfológicos y fisiológicos en la raíz, aumento del diámetro de la zona apical radicular, y abundante formación de pelos radiculares. El principal efecto de la deficiencia de hierro en las hojas se produce en los cloroplastos, donde se ven alterados su estructura y funciones, también se ve reducido el transporte fotosintético de electrones. La carencia de hierro en los suelos se caracteriza en la planta con hojas amarillentas (Juárez, Cerdán, Sánchez-Sánchez, 2007).

Ilustración 15 CARENCIA DE HIERRO EN LOS CULTIVOS.



(Fuente: Sembralia, 2020)

Cobalto

El cobalto es requerido por las bacterias *Rhizobium* para la fijación de nitrógeno en su relación simbiótica con las leguminosas que producen nódulos. El cobalto no se incluye en la lista de elementos esenciales porque las leguminosas al igual que otras plantas, pueden utilizar nitrógeno de otras fuentes o no dependen exclusivamente de la fijación por *Rhizobium* (Thompson et al., 2002).

Para que el suelo tenga a su disponibilidad estos nutrientes depende de diversos factores como son el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, la actividad microbiológica, la textura del suelo, la humedad del suelo, su contenido de carbonato de calcio y su interacción con otros macronutrientes y micronutrientes (Muñiz, 2008)

Ilustración 16 PAPEL DEL COBALTO EN LAS PLANTAS.



(Fuente: Ecosostenible, 2022)

Tabla 2 FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

| Funciones de los nutrientes en las plantas y sus síntomas de deficiencia. | | |
|--|--|---|
| Nutriente | Función | Síntomas de deficiencia |
| Nitrógeno (N) | Estimula el crecimiento rápido; favorece la síntesis de clorofila, de aminoácidos y proteínas. | Crecimiento atrofiado; color amarillo en las hojas inferiores; tronco débil; color verde claro. |
| Fósforo (P) | Estimula el crecimiento de la raíz; favorece la formación de la semilla; participa en la fotosíntesis y respiración. | Color purpúreo en las hojas inferiores y tallos, manchas muertas en hojas y frutos. |

| | | |
|-----------------------|---|---|
| Potasio (K) | Aporta resistencia a las enfermedades, da fuerza al tallo y calidad a la semilla. | Oscurecimiento de los bordes de las hojas inferiores; tallos débiles. |
| Calcio (Ca) | Constituyente de las paredes celulares; ayuda en la división celular. | Hojas terminales deformadas o muertas; color verde claro. |
| Magnesio (Mg) | Componente de la clorofila, de las enzimas y de las vitaminas; ayuda en la incorporación de nutrientes. | Amarilleo entre los nervios de las hojas inferiores (clorosis). |
| Azufre (S) | Esencial para la creación de aminoácidos y vitaminas; aporta el color verde a las hojas. | Hojas superiores amarillas, crecimiento atrofiado. |
| Boro (B) | Esencial en la floración, creación de frutos y división celular. | Yemas terminales muertas; hojas superiores quebradizas con plegamiento. |
| Cobre (Cu) | Componente de las enzimas; ayuda en la síntesis de clorofila y en la respiración. | Yemas terminales y hojas muertas; color verdeazulado. |
| Cloro (Cl) | No está bien definido; colabora con el crecimiento de las raíces y de los brotes. | Marchitamiento; hojas cloróticas. |
| Hierro (Fe) | Catalizador en la formación de clorofila; componente de las enzimas. | Clorosis entre los nervios de las hojas superiores. |
| Manganeso (Mn) | Participa en la síntesis de clorofila. | Color verde oscuro en los nervios de las hojas; clorosis entre los nervios. |
| Molibdeno (Mo) | Ayuda con la fijación de nitrógeno y con la síntesis de proteínas. | Similar al nitrógeno. |
| Zinc (Zn) | Esencial para la formación de auxina y almidón. | Clorosis entre los nervios de las hojas superiores. |

(Fuente: INFOAGRO, 2017)

Ilustración 17 DEFICIENCIA DE MACRONUTRIENTES.

Boro (B)
Es necesario para el crecimiento y desarrollo de nuevas células en las zonas de crecimiento más recientes. El Boro también es necesario para la floración y el desarrollo de los frutos, el transporte de azúcares, la división celular y la síntesis de aminoácidos, además favorece la germinación.

Calcio (Ca)
Es un elemento clave en la estructura y la resistencia de la pared celular. Previene fisiopatías como las quemaduras de la punta, la necrosis apical, el agrietamiento y la caída de los frutos.

Azufre (S)
Es necesario para la creación de aminoácidos y proteínas en la planta, así como para la fotosíntesis.

Hierro (Fe)
Es fundamental para la producción de clorofila y actúa como portador de oxígeno en la fotosíntesis.

Manganeso (Mn)
Es utilizado por las plantas como parte de sus sistemas enzimáticos. Participa especialmente en la conversión de los nitratos a una forma asimilable por la planta y participa en la producción de cloroplastos.

Cobre (Cu)
Desempeña una función importante en la fotosíntesis, el metabolismo de las proteínas y los hidratos de carbono, además ayuda a la producción de clorofila.

Zinc (Zn)
Juega un papel vital en muchos de los sistemas enzimáticos de las plantas. La actividad de las auxinas y el balance hormonal de la planta dependen de este compuesto de numerosas enzimas.

Molibdeno (Mo)
Es primordial para la fijación y asimilación del nitrógeno. La planta lo requiere para crear y activar el nitrato reductasa para convertir el nitrato en amonio en la planta.

Magnesio (Mg)
Es uno de los componentes de la clorofila y es esencial para la traslocación del almidón. Es también conocido por ser el nutriente que mas activa el sistema enzimático de las plantas.

Potasio (K)
Regula procesos esenciales, como la activación de enzimas, la madurez del cultivo y la producción de carbohidratos, la fotosíntesis, la eficiencia hídrica, el crecimiento de las raíces, la síntesis de proteínas, la producción de flores y las semillas, además mejora la resistencia de las plantas.

Fósforo (P)
Es un componente importante en la capacidad de las plantas para convertir la energía solar en alimento, forraje y fibra. Impulsa el crecimiento temprano, el desarrollo de las raíces, la producción de semillas y la resistencia de las plantas.

Nitrógeno (N)
Es el bloque de construcción de proteínas de la planta y es muy importante para el desarrollo vegetativo. Ayuda de forma rápida al desarrollo de las plantas, así como a conseguir y mantener un color verde saludable.

Síntesis de síntomas:
 - **Boro (B):** Decoloración del brote de la hoja. Deformación y muerte del tejido joven.
 - **Calcio (Ca):** Hojas jóvenes retorcidas de color oscuro y muerte del ápice de crecimiento.
 - **Azufre (S):** Hojas de color verde amarillento. Tallo leñoso, duro y de pequeño diámetro.
 - **Hierro (Fe):** Amarillamiento generalizado y coloración pálida. Clorosis intervenal en las hojas jóvenes.
 - **Manganeso (Mn):** Hojas pálidas y rizadas, puntas rojas-violáceas en carencias graves. Clorosis intervenal (hojas viejas).
 - **Cobre (Cu):** Puntas blancas y decoloración de las hojas jóvenes que se marchitan y caen. Retraso, reducción o distorsión del crecimiento de la planta.
 - **Zinc (Zn):** Hojas pálidas con clorosis intermedia. (hojas jóvenes) reducción del tamaño de las hojas y deformación.
 - **Molibdeno (Mo):** Hojas viejas amarillentas con posible necrosis marginal. Bordes de las hojas curvados. Secreciones pegajosas bajo la hoja.
 - **Magnesio (Mg):** Decoloración desde los bordes de las hojas (necrosis intervenal). Hoja curva y frágil.
 - **Potasio (K):** Acorchamiento o quemado de los bordes de las hojas. Retraso en el crecimiento.
 - **Fósforo (P):** Hojas violáceas. Zonas necróticas en casos graves. Color bronceado bajo la hoja. Reducción de la tasa de crecimiento y retraso en la fructificación.
 - **Nitrógeno (N):** Hojas de color verde amarillento; vena púrpura en casos graves. Crecimiento atrofiado. Brotes florales amarillentos que caen.

(Fuente: Alltech Crop Science, s. f.)

2.2 Como obtienen las plantas sus nutrientes.

La planta necesita los nutrientes para su crecimiento y desarrollo y estos son obtenidos de distintas maneras, como a través de sus hojas o de las raíces.

Los nutrientes que las plantas absorben por las raíces son el agua, el oxígeno, sustancias minerales y orgánicas; por las hojas (por las estomas y micro poros de la epidermis) son absorbidos el dióxido de carbono, el oxígeno, agua y soluto (Finck, 2021).

Las plantas toman los nutrimentos absorbiéndolos del suelo, al igual que el agua.

Para que una planta tenga los nutrientes suficientes, el suelo debe contar con algunas características que ayuden a que los nutrientes lleguen a cada planta como es debido. El suelo debe tener los nutrientes suficientes y una alta concentración de estos, el suelo debe estar bien airado que permita la difusión de oxígeno al suelo y dióxido de carbono a la atmosfera, debe estar suficientemente húmedo. Las hojas de las plantas deben estar expuestas a la luz adecuadamente, todas estas características son importantes para que la planta obtenga los nutrientes que necesita, crezca adecuadamente y su desarrollo se logre con éxito (Ortiz et al, 1980).

El Nitrógeno se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+).

Debido a que la solubilidad de los compuestos nitrogenados es alta, su disponibilidad para las plantas y microorganismos normalmente también es alta bajo determinadas condiciones.

La nutrición nitrogenada se basa en "optimizar el balance del nitrógeno en el suelo", maximizando las entradas y minimizar las salidas, las que varían según: los cultivos, el suelo, la fertilización, el nivel de materia orgánica y las prácticas agronómicas.

Las entradas de N al suelo se le denomina: Fijación Biológica.

Este proceso consiste en atrapar el nitrógeno que se encuentra en el aire en forma de N_2 y transformarlo en $NH_3 - NH_4^+$.

La mayor reserva de nitrógeno en el suelo está en los microorganismos que habitan en ella: las bacterias, los hongos y los nemátodos.

Después de que el nitrógeno se incorpora en la materia orgánica del suelo, la mayor parte de las veces se vuelve a convertir en nitrógeno inorgánico a través de un proceso que se llama mineralización.

Al morir los organismos del suelo, las bacterias nitrificantes descomponen la materia orgánica y parte del nitrógeno se convierte en amonio, lo que queda disponible para ser usado por las plantas o para transformaciones posteriores en nitrato (NO_3^-) a través de un proceso que se llama nitrificación (Campo et al., 2002).

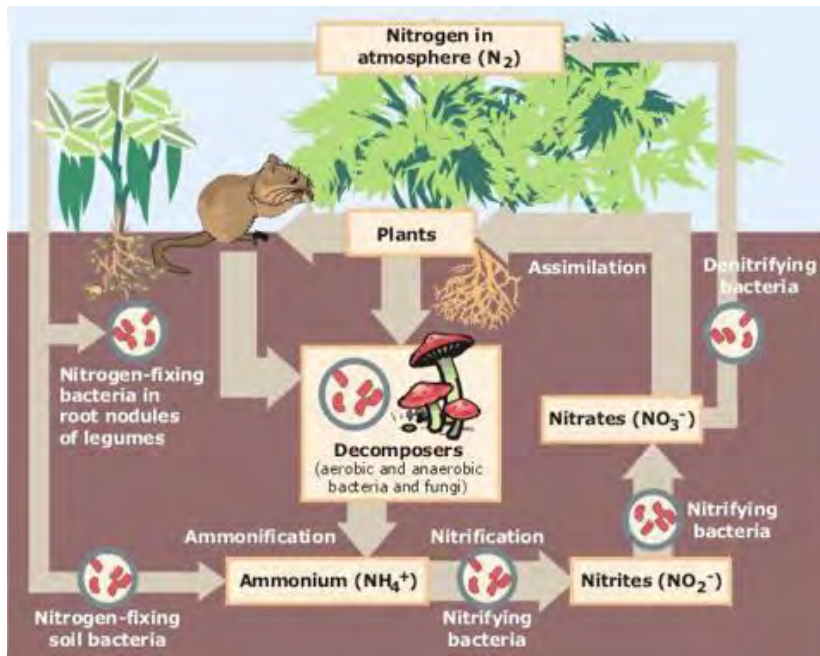
Tabla 3 BACTERIAS RESPONSABLES DE LA NITRIFICACIÓN

| TIPO DE BACTERIA | GÉNERO | HABITAD |
|------------------------|---------------|-----------------------------------|
| OXIDADORAS DE AMONIO | Nitrosomonas | Suelo, marinas, agua dulce. |
| | Nitrospira | Suelos, no crecen en agua de mar. |
| | Nitrosococcus | Suelo, marinas, agua dulce. |
| | Nitrosolobus | Suelos |
| OXIDADORAS DE NITRITOS | Nitrobacter | Suelo, marinas, agua dulce. |
| | Nitrospira | Marina |

| | | |
|--|-------------|--------|
| | Nitrococcus | Marina |
|--|-------------|--------|

(Fuente: GOOGLE, S.F)

Ilustración 18 CICLO DEL NITROGENO



(Fuente: Google, s.f)

El **fósforo** es absorbido como $H_2PO_4^{-1}$ o HPO_4^{-2} por un proceso activo que requiere energía.

El fósforo es muy móvil en la planta. Las deficiencias por lo tanto aparecen en las hojas más viejas de la planta, ya que el fósforo se traslada desde estas hojas para satisfacer las necesidades del nuevo crecimiento. La deficiencia de fósforo se manifiesta como retraso del crecimiento y una coloración rojiza como resultado de mayores niveles de pigmentos de antocianina.

Las hojas deficientes tendrán sólo un 0,1% de fósforo en la materia seca. Lo normal en las hojas recién maduras de la mayoría de las verduras contiene de 0,25 a 0,6% de fósforo sobre la base del peso seco. El exceso de fósforo en la zona de las raíces puede dar lugar a un pobre crecimiento de las plantas,

probablemente como resultado de que el fósforo retarda la absorción de Zinc, hierro y cobre.

La absorción del Fosforo puede ser reducida por el pH alto en la zona de la raíz o por temperaturas frías del sustrato (menos de 60 °F). Es esencial tratar de mantener el pH en la solución de fertilización entre 5,6 y 6,0 para ayudar en la absorción del Fosforo. Si el agua de que tenemos es alcalina, la acidificación se logra con el uso de varios ácidos como el ácido sulfúrico, nítrico o fosfórico y si es demasiado ácida con el uso del hidróxido de potasio.

El potasio se absorbe en grandes cantidades por un proceso de captación activo. Una vez en la planta, el Potasio es muy móvil y se transporta a los tejidos jóvenes rápidamente.

Los síntomas de deficiencia de Potasio aparecen primero en las hojas inferiores como pecas o manchas marginales. Lo que resulta de la escasez prolongada es la necrosis en los márgenes de las hojas y la marchitez de planta. Las hojas de las plantas deficientes en general contienen menos del 1,5% de Potasio. Las deficiencias de Potasio dan lugar a manchas durante la maduración de los tomates, en los que los frutos no producen el color rojo normal en algunas zonas de la fruta. Los niveles excesivos de Potasio en el sustrato, podrían inhibir la absorción de otros cationes como magnesio o calcio (Xu et al., 2002).

El azufre es absorbido principalmente en forma de sulfato (SO_4). El azufre no es muy móvil en la planta, por lo general la deficiencia se inicia en el nuevo crecimiento. Los síntomas de escasez se perciben las hojas amarillas. Las deficiencias de Nitrógeno y Azufre parecen similares, pero la deficiencia de Nitrógeno se produce en las hojas inferiores mientras que la deficiencia de S se produce en las hojas superiores.

Las hojas de las plantas por lo general contienen entre 0.2% y 0.5% de Azufre en base a peso seco. Este rango es similar al del Fosforo. Una gran cantidad de plantas pueden soportar niveles muy altos de Azufre en el sustrato y debido a

esto hay una gran variedad de usos de materiales que tienen azufre para suministrar los nutrientes (como el magnesio) y micro nutrientes en forma de sulfatos (Torri et al., 2010).

El calcio, a diferencia de la mayoría de los elementos, es absorbido y transportado por un mecanismo pasivo. El proceso de transpiración de las plantas es un factor importante en la absorción de calcio. El calcio cuando se encuentra en la planta se mueve hacia las zonas de alta tasa de transpiración, como las hojas en rápida expansión. La mayor cantidad de la absorción de calcio se produce en una región de la raíz detrás de la punta. Las enfermedades de la raíz limitan considerablemente la absorción de calcio por la planta. Si el suelo tiene un pH elevado, el calcio estará presente en el suelo, si no habrá que fertilizarlo, lo que se efectuará agregando calcio de forma sistemática. Se ha demostrado que aplicar calcio soluble junto con urea aumenta sustancialmente el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, los fertilizantes más comunes son el nitrato de calcio que es soluble en agua, el superfosfato de calcio simple y el superfosfato de calcio triple. Además de su aportación de calcio, estos también aportan azufre y fósforo.

Los cultivos mejorarán notablemente incrementando el calcio en el suelo, lo que logra que los frutos sean más ricos y llamativos, que no haya hongos ni bacterias en las plantas, ni ningún tipo de agente nocivo y que la planta no envejezca de forma prematura, sino que tenga más vitalidad.

El magnesio es muy móvil en el suelo, llega hasta la raíz principalmente por difusión, pero también por flujo en masa. La planta lo absorbe como (Mg^{2+}). La cantidad de magnesio que se desplaza por difusión se enlaza con la intensidad del elemento en la solución del suelo, con sus propiedades físicas como la textura y la porosidad, la temperatura, la humedad del suelo, el pH y la capacidad de intercambio catiónico.

La asimilación del magnesio por las plantas está influenciada por la concentración de otros nutrientes cationes como calcio y potasio. Es de gran

importancia en un programa de fertilización motivar a conservar una relación idónea calcio/magnesio, magnesio/potasio y calcio + magnesio/potasio. Esto contribuyen en gran medida a un balance favorable en el suelo para dar un óptimo equilibrio nutricional a las plantas y a su vez excelentes producciones y calidades en las cosechas (Campo et al., 2002).

MICRONUTRIENTES

El manganeso es absorbido como iones Mn^{+2} y la absorción se ve afectada por otros cationes tales como Calcio y Magnesio. El manganeso no tiene movilidad en la planta y los síntomas de su escasez se pueden percibir en las hojas superiores. La deficiencia de este elemento es parecida a la del Magnesio; la de Magnesio aparece en las hojas inferiores de la planta. La deficiencia de manganeso se manifiesta y se puede observar como clorosis, pero, la clorosis es más pinta en apariencia comparada con la deficiencia de magnesio. Las concentraciones de manganeso que se consideran normales en las hojas varían desde 30 a 125 ppm (partes por millón, mide el nivel de concentración) para la mayoría de las plantas. Las concentraciones elevadas pueden ser nocivas para las plantas. La toxicidad consiste en necrosis marginal de la hoja en muchas plantas. La acumulación de manganeso en el orden de 800 a 1000 ppm puede causar toxicidad en muchos cultivos. La alta concentración de manganeso en la solución de nutrientes reduce la absorción de Fe.

Ilustración 19 DIFERENCIAS DE DEFICIENCIA DE MAGNESIO Y MANGANESO.



(fuente: INTAGRI, 2017)

Las situaciones que conducen a la deficiencia son en su mayoría debido al inadecuado suministro de manganeso en la solución nutriente o por efecto de la competencia con otros iones (Torri, 2010).

Las plantas absorben el cobre en muy pequeñas cantidades. El proceso y absorción parece ser un proceso activo y se afecta fuertemente por el zinc y el pH. El cobre no es muy móvil en las plantas, pero algún cobre puede ser trasladado desde las hojas viejas a las nuevas. El nivel normal de cobre en las plantas es del orden de 5 a 20 ppm.

La escasez del cobre en las hojas jóvenes da lugar a la clorosis y cierta elongación de las hojas. El exceso de cobre, especialmente en un medio ácido, puede ser tóxico. Ídem.

La absorción del zinc se piensa que es un proceso activo y puede ser afectado por la concentración de fósforo en el sustrato. El zinc no es muy móvil en las plantas. Los resultados de la deficiencia de zinc son las hojas con clorosis. A veces, la deficiencia de zinc dará lugar a plantas con entrenudos acortados.

Las hojas normales contienen alrededor de 25 a 50 ppm de zinc. Las altas concentraciones de zinc pueden causar toxicidad y producirse una reducción en el crecimiento de las raíces y las hojas son pequeñas y cloróticas. La deficiencia de zinc puede ser aumentada por los sustratos fríos y húmedos o por estos con un pH muy alto o con exceso de fósforo.

El molibdeno se absorbe como molibdato MoO_4^{+2} y la absorción puede ser suprimida por los sulfatos. El contenido de Mo en los tejidos es por lo general menos de 1 ppm.

Una deficiencia de Mo aparece primero en las hojas de vida media y las hojas más viejas. Las hojas se tornan cloróticas y los márgenes de ellas se enrollan. A diferencia de otros micronutrientes, la deficiencia de Mo se produce sobre todo en condiciones ácidas.

Es poco entendible la absorción del boro. El Boro no es móvil en la planta y parece que la captación y otras características son comunes a las del calcio.

La deficiencia de boro afecta a los puntos de crecimiento jóvenes en primer lugar, por ejemplo, las yemas, puntas de las hojas, y sus márgenes. Sólo pequeñas cantidades de B son necesarias para las plantas y el suministro de B excesivo de las soluciones de fertilizantes o de pulverizaciones foliares conduce a la toxicidad (Campo et al., 2002).

2.3 Fuentes de nutrientes de las plantas

Las plantas obtienen sus nutrientes de diversas fuentes: de la materia orgánica de forma natural o a través de los abonos y fertilizantes que el hombre le proporciona.

El **humus** constituye una reserva importante de materia orgánica en el suelo y su influencia en el suelo es tanto física, química como biológica. Física ya que da consistencia tanto a los suelos ligeros como a los compactos, evita la formación de costras, ayuda a la retención de agua y al drenado de la misma, y química por que contribuye a la regulación de la nutrición vegetal, ayuda a mejora el intercambio de iones, así como la asimilación de abonos minerales, también aporta productos nitrogenados al suelo dañado, y biológica ya que funciona a su vez como un soporte y como alimento para los microorganismos (AEFA, S.F.).

Las plantas y animales que crecen en el suelo y mueren dentro de este, son descompuestos por los microorganismos, y son transformados en materia orgánica, por lo que después de eso mezclados con el suelo. Todos los organismos vivos que habitan en el suelo y las plantas necesitan agua para poder subsistir. Para las plantas es necesario para mantener sus tejidos, transportar sus nutrientes y realizar la respiración y nutrición. El agua del suelo es utilizada en el proceso de fotosíntesis, esta es absorbida por las raíces. La disolución de minerales y materia orgánica en el agua contribuye a que sean captados por las plantas.

Al momento de escasez de agua, el crecimiento de las plantas se detiene, lo que ocasiona que lleguen a marchitarse y morir. Tener un exceso de agua ocasiona que el aire del suelo se desplace. Su importancia radica en que aporta oxígeno para la respiración de las raíces. También, es la fuente del nitrógeno que transforman las bacterias, lo que hace que sean aprovechados por las plantas.

Los microorganismos y la materia orgánica aportan nutrientes y los liberan, lo que propicia que se unan las partículas minerales entre sí. Con esto, crean las condiciones favorables para que las plantas respiren, absorban agua y nutrientes y desarrollen sus raíces. Bacterias, lombrices, y hongos también producen humus, que es una forma continua de materia orgánica. El humus retiene el agua y los nutrientes lo que contribuye a prevenir la erosión y ayuda a lograr un suelo fértil (FAO, 2002).

Hay distintas fuentes de nutrientes que pueden ser proporcionada por el ser humano (fertilizantes y abonos) y con ello poder contribuir a mejorar el desarrollo de las plantas cuando el suelo no tiene los nutrientes necesarios.

Para poder alimentar adecuadamente la planta es necesario abonarla con sustancias útiles, cuando el suministro por parte del suelo no es suficiente. Desde mucho tiempo atrás de han empleado muchos esfuerzos por mejorar los suelos deficientes, para ello han utilizado diferentes métodos (Fink,2021).

Algunas fuentes de nutrientes esenciales para los cultivos pueden ser fertilizantes orgánicos; pero, en diversas ocasiones, estos nutrientes no pueden ser absorbidos por la planta. Por ello, es fundamental conocer muy bien los nutrientes que el suelo y el cultivo necesitan para no afectar la productividad ni la salud del suelo. El uso de fertilizantes orgánicos debe ser moderado, pues aplicarlos en exceso puede generar problemas en los suelos y cultivos. Cualquier tipo de fertilización debe aplicar las 4C: fuente correcta, dosis correcta, tiempo correcto y lugar correcto (AGRONET, 2022).

Los fertilizantes comerciales inorgánicos más utilizados son:

Nitrato de amonio, nitrato de calcio, nitrato de potasio y ácido nítrico, para el nitrógeno.

Fosfato de amonio, superfosfato triple, fosfatomonopotásico, ácido fosfórico, para aportar fósforo. Los fertilizantes de fosfato incluyen: piedra de fosfato molida, escoria básica (un subproducto de la fabricación de hierro y acero), superfosfato (se produce al tratar la piedra de fosfato molida con ácido sulfúrico), triple superfosfato (producido al tratar la piedra de fosfato con ácido fosfórico), y fosfato mono y diamónico. Las materias primas básicas son: la piedra de fosfato, el ácido sulfúrico (que se produce, en su mayoría, en el sitio con azufre elemental), y agua.

Los fertilizantes de potasio se fabrican con salmueras o depósitos subterráneos de potasa. Las formulaciones principales son cloruro de potasio, sulfato de potasio y nitrato de potasio.

Se pueden producir fertilizantes mixtos, mezclándolos en seco, granulando varios fertilizantes intermedios mezclados en solución, o tratando la piedra de fosfato con ácido nítrico, es decir, los nitrofosfatos (Fancelli, 2006).

Los abonos orgánicos voluminosos y concentrados como el estiércol de establo, heces fecales sólidas y líquidas, sangre seca y molida etc., suministran materia orgánica en determinadas cantidades y nutrientes que la planta necesita en pequeñas cantidades.

También se utilizan los cultivos de abonos verdes, que son todas las plantas preferentemente en estado de floración que se entierran en el suelo para mejorar la fertilidad y el contenido de carbono orgánico de los suelos. Se pueden utilizar la planta herbácea como abono verde y la incorporación de las hierbas que nacen junto con el cultivo, son las que mantienen en cierta medida el nivel de materia orgánica del suelo. Por lo general, se requiere un abono verde que aporte

nutrimentos o bien materia orgánica y se recomienda emplear plantas que tengan mejor desarrollo y que aporten algún nutriente de interés, como el nitrógeno (Günter, 1982).

Los mejoradores del suelo son utilizados para corregir condiciones desfavorables del suelo como la acidez o alcalinidad y falta de estructura, lo que ayudará al suelo a cambiar sus condiciones y hacerlas más óptimas para salud y crecimiento de la planta.

Los herbicidas y fungicidas, también agregan cantidades significativas de micronutrientes.

Definición de abono o fertilizante.

Son productos destinados a la alimentación de las plantas y mejora del suelo, es decir abonar significa aportar abono al sustrato nutritivo de las plantas, el suelo.

En la ley de fertilizantes se entiende por estos como: sustancias que se aplican directa o indirectamente al suelo para favorecer el crecimiento de las plantas, aumentar la producción de las mismas y mejorar la calidad del suelo.

En término inglés “fertilizer” para indicar fertilizante o abono proviene del latín fértil, el término fertilization quiere decir volver fértil. (Fink, 2021)

Los abonos pueden clasificarse desde diversos puntos de vista, de acuerdo a Flink (1988) los criterios pueden ser:

Clasificación de abonos según la forma de obtención.

- **Naturales:** Son aquellos que se han formado por medios naturales y se utilizan sin ningún tipo de transformación. Por ejemplo, el estiércol, el follaje, el lodo, la ceniza.
- **Artificiales:** Son los que son producidos en fábricas por medios técnicos, ya sea por transformación química de productos naturales. Por ejemplo, abonos

de fosforo P y potasio K. o por sistema de síntesis de materiales elementales, la mayoría de los abonos nitrogenados.

Clasificación de abonos según su procedencia.

- **Abonos de granja:** Se producen en la explotación agrícola, por ejemplo, estiércol, el compost, la paja del subsuelo de las propias explotaciones.
- **Abonos comerciales:** comprende a la mayoría de los productos de abonado.

Clasificación según su forma de actuar

- **Efecto directo,** por ejemplo: la mayor parte de los abonos comerciales, así como el estiércol líquido y semilíquido procedentes de la propia explotación.
- **Efecto indirecto,** por ejemplo: los materiales cálcicos, la turba y la paja.

Clasificación según la velocidad de su efecto

- **Efecto rápido,** por ejemplo, los abonos solubles de Nitrógeno (N) y potasio (K).
- **Efecto lento,** por ejemplo, los que actúan una sola vez descompuestos en el suelo.

Clasificación según el tipo de compuesto.

- **Abonos orgánicos,** por ejemplo, como los abonos orgánicos naturales como estiércol y turba.
- **Abonos mineral,** por ejemplo, sales y óxidos.

Clasificación según el número de elementos nutritivos

- **Abonos simples,** por ejemplo, los abonos que contienen únicamente nitrógeno.
- **Abonos compuestos,** por ejemplo, los que tienen más de un elemento.

Clasificación según las necesidades de la planta

- **Abono de elementos principales**, por ejemplo, los que se aplican a la planta en grandes cantidades.
- **Abonos de oligoelementos**, por ejemplo, los que contienen principalmente oligoelementos y se aplican en pequeñas cantidades.

Clasificación según su estado de agregación

- **Abonos sólidos.**
- **Abonos líquidos** (soluciones y suspensiones)
- **Abonos gaseosos** (gas amoníaco)

(Finck, 2021)

Se entiende por fertilizantes (abono) todo material orgánico e inorgánico, cuya principal función es proporcionar elementos nutrientes a la planta, capaces de mejorar su crecimiento, porque no existe o se han agotado por el tiempo. Con lo que la parte fundamental del fertilizante es aumentar la producción y mejorar la calidad (Navarro, 2014).

Los abonos orgánicos aportan al suelo sustancias húmicas que son ácidos húmicos, fúlvicos y húminas. Este aporte mejora la calidad del suelo, su estructura, aumenta la asimilación de nutrientes, airea las raíces, mejora la retención de humedad del suelo, reduce la erosión y eleva la capacidad de intercambio catiónico. Se utiliza principalmente el estiércol y la hojarasca (Hernández, 2011).

Los abonos verdes son cultivos de cobertura que son cultivados antes de la floración o iniciando la misma.

La función de los abonos verdes es:

- Aumentar de nutrientes al suelo, especialmente de nitrógeno.

- Proteger al suelo del sol y de la lluvia fuerte.
- Reducir la velocidad de escorrentía.
- Evitar la desagregación
- Disminuir la evaporación del agua.
- Disminuir la lixiviación de nutrientes.
- Mejorar la estructura del suelo.

Sin embargo, estas acciones también tienen desventajas como indica Hernández (2011) como, por ejemplo:

- El uso como planta monocultivo trae consecuencias de aumento de insectos plagas.
- El mejoramiento del suelo es a través de varios años.
- No todos los abonos verdes se desarrollan en suelos de baja fertilidad y algunos no soportan sequías.

El humus de lombriz es un abono que resulta del lombricomposteo, al alimentar a las lombrices con desechos orgánicos así es como se obtiene el humus. El cual tiene una textura granulada que contiene macronutrientes y micronutrientes, lo que ayuda a mejorar las condiciones físicas del suelo. Está formado por nitrógeno, fosforo, calcio, potasio, magnesio, manganeso, hierro y sodio.

- Ayuda a proteger las propiedades físico-químicas del suelo y su estructura.
- Aumenta la retención hídrica del suelo.
- Aumenta la capacidad de almacenar y regular los nutrientes que requieren las plantas.

La composta, es el material que resulta de la descomposición de la materia orgánica, debida a organismos que actúan en presencia del aire.

- Retienen la humedad del suelo.
- Permite el paso del aire.
- Controla la erosión.
- Mejora la estructura del suelo.
- Reduce la utilización de fertilizantes.
- Mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo.

Abono orgánico Bokashi, está conformado por gallinaza, cascarilla de arroz, carbón, maleza de caña, suelo, agua y cal.

- Proporciona materia orgánica para el suelo de forma constante.
- Mejora la calidad y fertilidad del suelo.
- Los suelos conservan su humedad y mejoran la penetración de los nutrientes.

Súpermagro, es un tipo de fertilizante el cual proporciona al suelo los nutrientes necesarios para que la planta tenga un mejor desarrollo y crecimiento.

Biol, es un abono orgánico de forma líquida, que es resultado de la descomposición de residuos animales y vegetales en ausencia de oxígeno. Este es una fuente de nitrógeno, mejora las características de la fertilidad del suelo y le aporta nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre y boro (Hernández, 2011).

Antes de pensar en la aplicación de los fertilizantes, todas las fuentes disponibles de los nutrientes deberían ser utilizadas, por ejemplo, excrementos de vaca, de cerdos, de pollos, desperdicios vegetales, paja, estiba de maíz y otros materiales

orgánicos. Estos deberían ser convertidos primero en abono y ser descompuestos antes de su aplicación en el suelo. Con la descomposición del material orgánico fresco a menudo se crea la base para el uso exitoso de los fertilizantes minerales. La combinación de abono orgánico, materia orgánica y fertilizantes minerales (Sistema Integrado de Nutrición de las Plantas, SINP) ofrece las condiciones ambientales ideales para el cultivo, el abono orgánico / la materia orgánica contribuye a la mejora de las condiciones y propiedades del suelo y el suministro de los fertilizantes minerales provee los nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo.

Fertilizantes simples

Algunos de los fertilizantes simples más utilizados (así como regionalmente importantes) son los siguientes: Urea con 46 por ciento de Nitrógeno, es la mayor fuente de nitrógeno en el mundo debido a su alta concentración y a su precio normalmente atractivo por unidad de Nitrógeno. Su aplicación requiere de mejores prácticas agrícolas para evitar, principalmente, las pérdidas por evaporación de amoníaco en el aire (Sagarpa s,f).

Los nutrientes secundarios

En el pasado los nutrientes secundarios, particularmente el azufre, no eran siempre listados en la bolsa o contenedor. Esto ha cambiado ahora.

Además de los fertilizantes simples conteniendo azufre, magnesio y/o calcio, el azufre se encuentra también en el yeso.

Fertilizantes multinutrientes

Existe un mercado muy amplio de fertilizantes.

Las ventajas más notables de los fertilizantes multinutrientes para el agricultor de acuerdo a (SAGARPA, s,f) son:

- Facilidad de manipulación, transporte y almacenamiento;

- Fácil aplicación;
- Alto contenido de nutrientes;
- Distribución uniforme de nutrientes en el campo.
- Fertilización equilibrada, cuando el nitrógeno, el potasio y el fosfato se encuentran juntos disponibles desde el inicio y de acuerdo con lo que requieren las plantas; y
- Elevada eficiencia del fertilizante.

Existen tres tipos distintos de fertilizantes multinutrientes.

Fertilizantes complejos: fabricados a través de procesos que incluyen una reacción química entre los componentes que contienen los nutrientes primarios (cada gránulo contiene la fórmula declarada de nutrientes);

- Los fertilizantes compuestos: son los fertilizantes simples granulados o intermedios, los gránulos contienen los nutrientes en diversas proporciones;
- Los fertilizantes mixtos o mezclados: son las mezclas simples mecánicas de los fertilizantes simples.

Capítulo 3. Factores que afectan la fertilidad del suelo

3.1 Factores naturales

Los factores naturales son aquellas características que tiene el suelo por sí solo, estas características contribuyen a que el suelo sea eficiente en cuanto a los nutrientes y contenedor de elementos que son imprescindibles para el crecimiento ideal de la planta. Las características naturales de cada tipo de suelo nos dan una variedad de suelos y ecosistemas en el mundo (Honorato, 2000).

3.1.1 Factores físicos

Los factores físicos son las características que visiblemente nos ayudan a conocer que tan fértil o no es el suelo, los factores naturales físicos son aquellas propiedades que ya trae consigo el suelo por su naturaleza (Intagri, 2020).

Existen diversos factores que influyen a que el suelo sea eficiente y los factores físicos son de gran importancia para que un suelo sea fértil. Los factores físicos que posee el suelo pueden afectar de manera positiva o negativamente a su fertilidad (FAO, 2020).

La **textura**, es uno de los factores físicos que posee el suelo, el cual nos hace referencia a la proporción relativa en peso de los diferentes tamaños de partículas existentes en él. Se pueden distinguir 3 tipos de partículas, la arcilla, el limo y la arena (Honorato, 2000).

La arcilla tiene una alta capacidad de retención de agua, permeabilidad de infiltración baja, superficie específica alta, microporosidad, capacidad de expansión. Esta característica es favorable para un suelo fértil (Honorato, 2000).

El limo son partículas de forma irregular, capacidad media de retención de agua, permeabilidad e infiltración media baja, poca actividad química lo que ocasiona una baja fertilidad física. La arena son partículas irregulares, poca capacidad de retención de agua, inactividad química, macroporosidad, esta característica afecta la fertilidad de los suelos y es propia de un suelo infértil (Honorato, 2000).

Los suelos arenosos son más sueltos por ello son fáciles de trabajar, sin embargo tienen pocas reservas de nutrientes que pueden ser aprovechados por las plantas (FAO, S.F.).

Otro factor físico es la **profundidad** efectiva, esta característica hace referencia a la profundidad a la que pueden penetrar las raíces de las plantas en el suelo. Para que un suelo sea favorable para las plantas debe ser un suelo en el cual las plantas puedan penetrar de la mejor manera sus raíces y con ello lograr obtener

la mayor cantidad de nutrimentos que le otorga el suelo a la planta. La baja profundidad de los suelos trae como consecuencia un suelo poco fértil pues las raíces no podrían suministrar a la planta de los nutrimentos necesarios (Honorato, 2000).

La **estructura** del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla (FAO, S.F).

La estructura del suelo hace referencia a la forma en que se agregan las partículas que posee el suelo esta propiedad influye en la capacidad de retención de agua e infiltración, aireación, intercambio gaseoso, compactación del suelo y susceptibilidad a la erosión (Honorato, 2000).

La humedad que penetra en el suelo es contribución de la precipitación, nieve derretida y riego. La humedad retenida por el suelo depende de la cantidad que se pierda y la velocidad con la que se mueva, cuando el suelo es muy poroso, arenoso o presenta una estructura bien desarrollada, el agua se filtra rápidamente y la retención resulta muy baja (FitzPatrick, 1996).

La porosidad, el espacio poroso del suelo es el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. El volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro de este se pueden distinguir macro y micro poros donde circula o se retiene el agua, los nutrientes, el aire y los gases. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, ellos son responsables del drenaje, la aireación del suelo y constituyen el sitio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen el agua, parte de la cual está disponible para las plantas (FAO,2023).

Drenaje, es una propiedad física que está relacionada con la capacidad que tiene el suelo, para eliminar el exceso de agua del perfil.

Un buen sistema de drenaje produce grandes mejoras al suelo.

- Aumenta la temperatura en países de clima frío.

- Mejora la estructura.
- Facilita la aireación.
- Aumenta la velocidad de descomposición de materia orgánica.
- Aumenta la población bacteriana.
- Facilita la germinación.
- Permite mayor variedad de cultivos.
- Reduce la incidencia de enfermedades.
- Mejora la eficiencia de los fertilizantes.

Lógicamente un suelo con deficiencias en el sistema de drenaje traerá consigo grandes dificultades para la absorción de nutrientes y para la planta afectando de manera considerable la fertilidad del suelo (Fitzpatrick, 1996).

Aireación, las raíces de las plantas y los organismos del suelo necesitan de un abastecimiento continuo de oxígeno para su respiración.

La mayoría de las plantas obtienen el oxígeno de la atmósfera del suelo, el abastecimiento limitado de oxígeno puede originarse por la compactación del suelo, la buena aireación generalmente esta favorecida por una estructura granular o de migajón y un buen drenaje (Fitzpatrick, 1996).

Temperatura, es un factor de gran importancia para la producción vegetal, afecta el crecimiento y desarrollo de los vegetales por tres vías, temperatura de la planta misma, temperatura del aire atmosférico cercano a la superficie, temperatura del suelo. Influye en la germinación, actividad metabólica de las raíces, actividad de microorganismos procesos físicos, lo que hace un suelo fértil (Honorato, 2000).

La mayoría de las plantas alcanza un óptimo desarrollo dentro de un determinado límite de temperatura, las temperaturas muy elevadas del suelo pueden provocar pérdida excesiva de humedad y a la vez provocar sequías (Fitzpatrick, 1996).

El **color** del suelo, este es un indicador visible del suelo y su materia orgánica. Los suelos oscuros por lo general tienen mayor contenido de materia orgánica. El color del suelo puede deberse a condiciones que están sucediendo actualmente en el suelo, o a condiciones pasadas (Honorato, 2000).

Estos factores nos ayudan a determinar el estado de afectación que tiene el suelo, qué condiciones y características lo hacen infértil y que características no es favorable para la obtención de nutrientes. Al igual nos ayudan a distinguir entre un suelo y otro.

3.1.2 Factores químicos

El pH

El pH de una solución es su grado de acidez o alcalinidad y se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno. El pH es medido por las concentraciones de iones hidrógeno en la solución del suelo.

Tabla 4 CLASIFICACION SIMPLE DE PH

| | |
|-------------------------|--------------|
| Extremadamente ácido: | menor a 4.5 |
| Muy fuertemente ácido: | 4.5 a 5.0 |
| Fuertemente ácido: | 5.0 a 5.5 |
| Moderadamente ácido: | 5.5 a 6.0 |
| Ligeramente ácido: | 6.0 a 6.5 |
| Neutro: | 6.5 a 7.3 |
| Ligeramente alcalino: | 7.3 a 7.8 |
| Moderadamente alcalino: | 7.8 a 8.5 |
| Muy alcalino: | 8.5 a 9.0 |
| Demasiado alcalino: | mayor de 9.0 |

Este factor tiene gran importancia en el desarrollo de las plantas, por lo general los cultivos se desarrollan en pH entre 5 a 8.5 aunque un pH óptimo va de 6.5 a 7.5 (Bertsch et al, 1995).

El exceso de iones hidrógeno en el suelo causa una disminución de la capacidad de absorción de nutrientes por parte de la planta. Su efecto más importante es sobre los procesos químicos y biológicos en el suelo. La presencia de iones hidronio, Mn^{2+} , B^{x+} , $Fe^{2,3+}$ y Zn^{1+} disminuye al aumentar el pH, en tanto la de Ca^{2+} , Mg^{2+} y S^{x+} disminuye al reducirse el pH.

Los microorganismos del suelo también se ven afectados de manera directa por las variaciones de pH, las bacterias se favorecen con pH mayores de 5.5; si el pH es menor que este valor, los organismos dominantes en el suelo serán los hongos, los cuales son menos eficientes que las bacterias a la hora de descomponer la materia orgánica (Bertsch et al, 1995).

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad que tiene el suelo para retener y liberar iones positivos, que se encuentran en arcillas y materia orgánica. Las arcillas tienen carga negativa, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas tienen capacidades de intercambio catiónico mayores. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su Capacidad de intercambio catiónico también.

Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio Ca^{2+} , magnesio Mg^{2+} , potasio K^{+} , amonio NH_4^{+} , sodio Na^{+} , e hidrógeno H^{+} . Los primeros cuatro se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos que son ácidos, una gran parte de los cationes son hidrogeno y aluminio en diversas formas

La capacidad de intercambio catiónico es una de las propiedades del suelo más importante, también una medida importante de la fertilidad y la productividad potencial de los suelos.

La capacidad de intercambio catiónico se entiende como una medida de la cantidad de cationes que pueden ser absorbidos o retenidos por un suelo. Los suelos contienen cantidades variables y clases diferentes de arcilla y materia orgánica, de modo que la capacidad de intercambio catiónico total varía ampliamente. La materia orgánica tiene una capacidad de intercambio catiónico muy alta, por lo que los suelos con un alto contenido de materia orgánica presentan por lo general una capacidad de intercambio catiónico mayor que la de los suelos con un bajo contenido de materia orgánica.

Como mencionamos con anterioridad los cationes que revisten mayor importancia en lo que se refiera a las plantas son el calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+), amonio (NH_4^+), sodio (Na^+) e hidrógeno (H^+).

Los primeros cuatro cationes son nutrientes de las plantas y son importantes para el crecimiento vegetal. Los dos últimos tienen un efecto marcado sobre las características físicas y químicas del suelo. La cantidad relativa de cada uno de los cationes que son absorbidos en la superficie de las partículas de arcilla está estrechamente relacionada con propiedades importantes del suelo. Los suelos que son altamente ácidos exhiben un alto porcentaje de iones hidrógenos adsorbidos, mientras que los suelos que poseen un pH favorable de 6 a 8 tienen un alto porcentaje de iones calcio en esa condición. Los suelos que poseen un alto contenido de iones sodio presentan un estado de dispersión y resisten la infiltración del agua, en tanto que los que poseen un alto porcentaje de iones calcio están bien agregados y exhiben altos caudales de infiltración.

Los suelos minerales con una capacidad de intercambio catiónico alta tienden a ser más fértiles que los que poseen una capacidad de intercambio catiónico baja. Existe una baja probabilidad de que los nutrientes se pierdan por la lixiviación, por lo que el suelo posee una mayor capacidad para almacenarlos y con ello

suministrarlos a los cultivos. La capacidad de intercambio catiónico varía ampliamente. La gama de valores dentro de cierta clase de textura se debe en parte a diferencias en el contenido de materia orgánica (Arquero *et al.*, 2002).

Tabla 5 TEXTURAS DEL SUELO.

| Texturas del suelo | |
|--------------------|--------------|
| Tipo de suelo | CIC(meq/100) |
| Arena | 1-5 |
| Franco-arenoso | 5-10 |
| Franco | 5-15 |
| Franco arcilloso | 15-30 |
| Arcilloso | >30 |

(fuente: INTAGRI, 2021)

Saturación de bases

La saturación de bases es una medida de la proporción relativa de cationes básicos, magnesio (Mg^{++}), calcio (Ca^{++}), sodio (Na^+), potasio (K^+) que ocupan los sitios de intercambio. Cuando es suelo es más ácido, el porcentaje de saturación de base será menor, ya que un número creciente de los sitios de intercambio son ocupados por Al^{+3} y H^+ debido a la pérdida de magnesio (Mg^{++}), calcio (Ca^{++}), sodio (Na^+), potasio (K^+) del sistema.

Un alto porcentaje de saturación de bases significa una alta disponibilidad de cationes para la planta; por el contrario, cuando este valor es bajo el suelo tiene abundancia de Al y H intercambiables y poca capacidad para suministrar nutrimentos como calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K^+).

La saturación de bases brinda información importante de la acidez, la disponibilidad de los nutrientes del suelo y su fertilidad. Así mismo puede determinar la capacidad que tiene el suelo para poder actuar como un amortiguador frente a la acumulación de ácido y el potencial de lixiviación de minerales a partir de la tierra (CIAT, 1983).

3.2 Factores antropogénicos

Las actividades que han ocasionado a que disminuya la fertilidad del suelo, que los deterioran, los edafólogos la llaman “degradación” y son a los procesos originados por las actividades humanas que minimizan la capacidad actual o futura de los suelos para permitir la existencia de las plantas, los ecosistemas, para mantener y mejorar la calidad del aire y agua y con ello preservar la salud humana.

Existen diversos tipos de degradación. La de mayor presencia en México es la degradación química, que se produce básicamente por un agotamiento de los nutrientes del suelo, esto es debido a su uso intensivo para la agricultura, al igual por la presencia de sustancias provenientes de tiraderos de basura, derrames y residuos que desechan las fábricas industriales, así como presencia de sales en el suelo, también pueden ocasionar esta degradación (SEMARNAT, 2008).

En nuestro país, el segundo proceso de degradación del suelo más importante es la erosión hídrica. En algunos casos, el agua puede arrastrar tanto material que el suelo queda marcado por profundas zanjas llamadas “cárcavas”, y en cuya condición es difícil llevar al cabo cualquier actividad productiva o incluso, lograr su recuperación (SEMARNAT, 2008).

Después de la degradación química y la erosión hídrica, se encuentra la erosión eólica y la degradación física. En la primera de ellas, el factor que favorece la pérdida de las partículas del suelo es el viento, que las arrastra y puede depositarlas en sitios muy lejanos, se produce cuando el hombre deja los suelos

desprotegidos, sin vegetación. En el caso de la degradación física, se produce cuando los suelos pierden la capacidad de absorber y almacenar agua, ya sea porque el suelo se compacta, se endurece o es recubierto por algún material relativamente impermeable, por ejemplo, por efecto de la urbanización (SEMARNAT, 2006).

La compactación del suelo es el aumento en la densidad y disminución de macroporosidad del mismo, a causa de la aplicación de presión a la superficie del mismo. La compactación impide las funciones de ambos, el suelo superficial y subsuelo, e impide la penetración de las raíces y el intercambio de agua y gases (FAO, 2015).

La FAO (2015) indica que la compactación es inducida por:

- La excesiva labranza.
- La labranza del suelo durante los periodos húmedos.
- El tráfico excesivo de máquinas.
- Los vehículos con gran peso en los ejes.
- El pisoteo del ganado.

Capítulo 4. Consecuencias de la pérdida de la fertilidad del suelo

4.1 Consecuencias para el suelo

Hay dos peligros que amenazan el suelo: la primera es la pérdida de fertilidad y la desaparición del suelo, esto debido a la erosión, en su gran mayoría los casos la pérdida de fertilidad es debido a la disminución del contenido de minerales del suelo a consecuencia de las actividades agrícolas; pero, esto ocasiona muchos cambios en la estructura del suelo lo que da como resultado la erosión (FAO, 2015).

La pérdida de nutrientes y elementos (K, N, P, S, Ca, Mg) puede ser de forma directa e indirecta, la primera ser eliminados por las aguas que se infiltran en el

suelo, pueden ser por erosión a través de las aguas de escorrentía, y de forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen.

En la capa superficial del suelo tropicales se encuentran la gran mayoría de los nutrientes primarios disponibles, si existiera una pérdida de esta capa por erosión daría como consecuencia la pérdida de fertilidad y empeoramiento en la estructura física del suelo al quedar expuesta, con esto los índices de infiltración bajan, aumenta la escorrentía, y a menos que no se detenga se perderían los nutrientes de suelo y este se volvería estéril (FAO, 1991).

Al degradarse el suelo pierde capacidad de producción y cada vez hay que añadirle más cantidad de abonos o fertilizantes para producir siempre cosechas muy inferiores a las que produciría el suelo si no se presentase degradado

La degradación de la fertilidad disminuye la capacidad del suelo para soportar vida, se producen modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro.

El suelo podría sufrir un deterioro en su estructura, la compactación del suelo produce una disminución de la porosidad, lo que origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad: esto trae como consecuencia un encostramiento superficial y por tanto aumenta la escorrentía (FAO, 2020).

La disminución de la capacidad de retención de agua: esto es debido a la degradación de la estructura del suelo o por la pérdida de suelo.

La pérdida física de materiales: tales como erosión selectiva (como los limos) o masiva (la pérdida de la capa superficial del suelo, o en los casos graves de la totalidad del suelo).

Incremento de la toxicidad. Al cambiarse las propiedades del suelo se produce una expulsión de sustancias dañinas.

Todo esto produce un empeoramiento de las propiedades del suelo y una disminución de la masa de suelo. Estos efectos producen dos consecuencias: las

consecuencias a corto plazo, son la disminución de la producción y el incremento de los gastos de explotación (el suelo necesita cada vez más, mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos). Las consecuencias a largo plazo: son la infertilidad total, el abandono del suelo y la desertización del territorio (Dorronsoro, 2012).

4.2 Consecuencias para los ecosistemas

La degradación del suelo tiene también importantes implicaciones para la mitigación y la adaptación al cambio climático, debido a la pérdida de biomasa y de materia orgánica.

Las plantas nos dan muchos beneficios a los seres humanos, nos beneficiamos de que crecen en el suelo naturalmente y de las que son sembrados por nosotros, especialmente las plantas que nos sirven como alimento, para producir fibras (como el algodón o el lino) o para obtener de ellas otros productos que son de gran utilidad, como la madera o el papel.

Pero los suelos no sólo nos proveen a los seres humanos y a las plantas y animales de alimento, también ayudan a reincorporar a los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza los elementos químicos que se encuentran disponibles en la atmósfera, como el nitrógeno que es un elemento indispensable para las plantas, así como de los animales, al igual que el carbono y el fósforo que quedaron en los restos muertos de plantas y animales, entre otros (SEMARNAT,2008).

También lo suelos ayudan a controlar y guiar el flujo del agua de las lluvias hacia los acuíferos, los ríos y lagos, los filtran de contaminantes como metales pesados, plaguicidas y nitratos, que de otro modo se acumularían en ellos dañando al ambiente y de paso, nuestra salud; amortiguan contra cambios bruscos de temperatura y funcionan como almacenes de carbono.

De los ecosistemas obtenemos bienes y servicios que al ser alterados como en el caso de la pérdida de fertilidad de los suelos no solo se altera el suelo sino también todo un ecosistema con lo que estaríamos perdiendo servicios de regulación que son la regulación del clima, el control de enfermedades, control de inundaciones; los servicios de soporte, los cuales son el ciclo de nutrimento, formación del suelo, fotosíntesis; los servicios de provisión como nuestros alimentos; y los servicios culturales, espirituales, recreativos, estéticos (SEMARNAT, 2006).

En el suelo es el lugar perfecto para que miles de formas de vida se multipliquen, la gran mayoría son invisibles para nuestros ojos. Existen hasta 300 millones de pequeños invertebrados entre insectos, arañas, lombrices y otros animales diminutos en una hectárea de tierra fértil. Y un millón de bacterias puede caber en una cuchara de tierra fértil, así como cientos de miles de células de levaduras y hongos pequeños. Todas las sustancias que forman el suelo son importantes por sí mismas, pero lo fundamental es el equilibrio adecuado entre los diferentes constituyentes. La pérdida de fertilidad traería consigo graves consecuencias para todos estos seres vivos (FAO, 2009).

4.3 Consecuencias para la agricultura

Las consecuencias de la pérdida de fertilidad del suelo incluyen un descenso de la productividad agrícola, la inseguridad alimentaria, la migración, el deterioro a recursos y ecosistemas básicos, y la pérdida de biodiversidad debido a cambios en los hábitats tanto a nivel de las especies y nivel genético (FAO 2009).

Debido a que el suelo es el recurso básico para toda la industria agrícola, debe ser conservado, cuidado y hacer un uso sostenible del mismo. El objetivo es conservar los recursos del suelo con el propósito de lograr su uso futuro:

- Reducir las pérdidas de suelo.
- Incrementar la fertilidad natural.

- Mejorar la estructura del suelo.
- Dejar el suelo en las mismas o mejores condiciones para generaciones futuras.

La productividad de los cultivos está estrechamente ligado a la productividad del suelo la cual, esta depende en gran medida del manejo dado. Los siguientes factores de acuerdo a la FAO (2009) necesitan estar en óptima situación para el buen comportamiento del suelo y, por lo tanto, óptimo crecimiento de la planta:

- Capacidad de retención del agua.
- Densidad.
- Porosidad.
- Estructura.
- Salud.

Un suelo se vuelve infértil o pobre cuando se reduce o agota la cantidad de nutrientes necesaria para la óptima producción agrícola. Así, una cantidad adecuada de fertilizantes y abonos incrementa el volumen de producción, mientras que el exceso o falta de ellos disminuye la productividad (SAGARPA, 2010).

La agricultura intensiva implica un mayor uso de las tierras de cultivo para producir el máximo rendimiento posible con el fin de tener mayores beneficios y poder satisfacer las necesidades alimentarias del ser humano. Esto se consigue mediante prácticas agrícolas intensivas, lo que genera un uso de fertilizantes e insecticidas en exceso, riego abundante, tratamientos del suelo con maquinaria pesada, con la plantación de especies de alto rendimiento o expansión de nuevas áreas, entre otras. Con este mayor uso de insumos en la agricultura intensiva existen mejores resultados.

Lo que ocasiona que haya una disminución de la fertilidad de los suelos y provoca que se dependa cada vez más de los fertilizantes, que son las sales que alteran y modifican las propiedades químicas del suelo, lo que da como consecuencia que un suelo fértil y sano se convierta en un suelo infértil (FAO, 2002).

Las empresas agrícolas, en su gran mayoría aplican la agricultura intensiva ya que la ven como un negocio, obteniendo todo lo que se pueden sacar de cada unidad de tierra.

Conclusiones

El suelo tarda miles de años para su formación. El suelo fértil se fue creando durante siglos, en este proceso y durante este largo tiempo los microorganismos fueron transformando los restos de vegetales y animales en nutrientes y los mezclaron con partículas de roca madre para formar la tierra que hoy cultivamos, la que nos proporciona nuestros alimentos. Para poder crear un centímetro de suelo se necesitan cientos de años; sin embargo, en tan poco tiempo podemos perderlo todo si no lo protegemos.

La necesidad de alimento es cada vez mayor debido a que cada día somos más y más seres humanos, la población va en aumento. Mientras que cada año perdemos la tierra fértil debido a nosotros mismos. La tala y quema de nuestros bosques, la lluvia y el viento arrastran el suelo de las laderas no protegidas, los ríos son contaminados con los desechos de las minas y de fábricas industriales, el agua no sirve para el riego y es dañina para la salud humana, los plaguicidas y pesticidas usados sin control matan aves, animales silvestres y contaminan el suelo.

Debemos conocer las consecuencias de un suelo estéril y los beneficios enormes de un suelo fértil, la cobertura vegetal sirve para enriquecerlo y para fijarlo. Las actividades humanas como la labranza aflojan la capa de tierra fértil y aumenta el peligro de arrastre por las lluvias y los fuertes vientos. El suelo es amenazado por la erosión, la desertización, las inundaciones y salinización, por ello es necesario el manejo de los recursos naturales. Debemos hacer un uso correcto, aplicando medidas de conservación que ayuden a la conservación de suelo fértil.

Se necesita un manejo adecuado del suelo que contribuya a mantenerlo, restaurarlo y a mejorar su calidad. Para obtener buenas cosechas para los años futuros, es importante que sepamos qué es la fertilidad del suelo y cómo se puede perder. Además, debemos tener conocimiento y saber utilizar las técnicas de cultivo que logren evitar la pérdida de suelo y así conservar su fertilidad.

La conservación de la fertilidad se consigue reponiendo en el suelo los nutrientes y la materia orgánica que los cultivos y la misma erosión se llevan. Pero sobre todo contribuyendo a su manejo adecuado. También evitar algunas actividades humanas que ocasionan daños al suelo fértil, como por ejemplo el sobrepastoreo.

La reposición del suelo y de la materia orgánica, puede ser natural, cuando se deja descansar el suelo por un periodo de tiempo, pero también con abonos verdes, donde el ser humano hace su contribución al suelo. La materia orgánica del suelo no sólo lo enriquece de nutrientes, sino que contribuye a que retenga la humedad y esté mejor aireado. Es importante señalar que los fertilizantes contribuyen a la mejora de los nutrientes que absorben las plantas, sin embargo, para mejorar la calidad del suelo y la materia orgánica del mismo es necesaria la utilización de los abonos verdes como el estiércol y la composta.

Algunos fertilizantes pueden ser usados, pero siempre con moderación y precaución al aplicarlos. Es muy importante conocer qué nutrientes faltan en el suelo y agregarlos en las proporciones necesarias para las plantas. Si se usan en exceso y sin un análisis previo de la necesidad del suelo en cuanto a nutrientes pueden dañar los cultivos, matar a los microorganismos que habitan en el suelo y producir problemas de salinidad en los suelos.

Podemos decir que el suelo es un recurso natural no renovable, aunque con el descanso y los mejoradores intenten regenerarlo, las propiedades originales de un suelo no se pueden reconstruir. También hay que tomar en cuenta que muchas veces su degradación supera su regeneración, entonces mientras conozcamos las consecuencias de perder la fertilidad del suelo, podemos tomar medidas para prevenir las causas.

Los factores físicos reflejan la manera como el suelo almacena y provee agua a las plantas y, permite el desarrollo, entre ellas se encuentran las propiedades como: la textura, profundidad, estructura, humedad, porosidad, drenaje, aireación, temperatura, calor. Todos ellos son indicativos del estado actual del suelo y como sus cambios pueden impactar en la disponibilidad de nutrientes y agua para las plantas. Las propiedades químicas se relación con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, entre ellas cabe resaltar el Ph, la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases. Los factores físicos y químicos son importantes ya que influyen en la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento de la planta y determinar la perdida de fertilidad del suelo.

Los factores antropogénicos que contribuyen a la perdida de fertilidad del suelo con muchos, ya que todos los procesos originados por las actividades humanas representan potencialmente una acción positiva o negativa en nuestro entorno, estos factores conllevan a la pérdida de fertilidad y la desaparición del suelo: el uso intensivo de agricultura, contaminación por residuos y derrames, labranza excesiva, la compactación por el tráfico de maquinaria pesada, pisoteo de ganado, la deforestación, por mencionar algunos.

Las consecuencia de la perdida de fertilidad del suelo son enormes, el suelo pierde nutrimentos y la capacidad de producir, desaparecen, los ecosistemas se ven afectados con la perdida de biomasa y materia orgánica, existen daños a la salud por los contaminantes, hay carencias en la regulación del clima, el control de enfermedades, control de inundaciones; los servicios de soporte, los cuales son el ciclo de nutrimento, formación del suelo, fotosíntesis; los servicios de provisión y los servicios culturales, espirituales, recreativos, estéticos; En la agricultura disminuye la productividad, hay migración, inseguridad alimentaria, daños a los recursos, el rendimiento de los cultivos está estrechamente ligado a la productividad del suelo.

Como manejador de recursos naturales tenemos muy clara la importancia que posee el suelo como un elemento primordial para la vida sobre la tierra. Es

también el principal soporte de vegetación y el hábitat de la biodiversidad, participa de manera directa en el funcionamiento de cualquier ecosistema, en ello recae la importancia del manejo adecuado, crear conciencia sobre el papel fundamental de los suelos, tanto como el funcionamiento de los ecosistemas como para el bienestar humano, es indispensable contar con información actualizada y confiable para su inventario, características y estado, así como sus dinámicas de formación y degradación. Tener conocimiento de la información edafológica y el manejo de la misma constituye la base estratégica para planificar e implementar acciones dirigidas a su estudio, conservación y aprovechamiento sustentable.

Bibliografía

Acosta, A. Mongiello, A. Ruda, E. 2004. Contaminación y salud del suelo. Ediciones por la Universidad Nacional del Litoral. Argentina.

AEFA. Asociación española de fabricantes de agronutrientes. S, f. <https://aefa-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/humus>

Afif, E. Mayor, M. Oliveira, J. 2006. Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abonado. Ediciones de la universidad de Oviedo. España.

AGRONET, 2022. 5 Recomendaciones para la fertilización orgánica. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/5-recomendaciones-para-la-fertilizaci%C3%B3n-org%C3%A1nica.aspx#:~:text=El%20uso%20de%20fertilizantes%20org%C3%A1nicos,correcta%2C%20tiempo%20y%20lugar%20correctos.>

Agroproductores, 2020. Funciones del fosforo en las plantas. <https://agroproductores.com/funciones-del-fosforo-en-las-plantas/>.

Aguilera, N. 1989. Tratado de edafología de México, tomo 1. Coordinación de servicios editoriales de la facultad de ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Alarcón, Vera Anonio. S.F. El boro como nutriente esencial. Parte 1: Aspectos fisiológicos y dinámica en el suelo. <http://static.plenummedia.com/40767/files/20150523033838-el-boro-como-nutriente-esencial.pdf>.

Alltech Crop Science, s. f. Cómo detectar y corregir el déficit nutricional de los cultivos. <https://www.alltech.com/es-es/blog/deficit-nutricional-cultivos-soluciones>.

Andina Guevara Dorkas. S.F. Calcio y magnesio en el suelo. Edafología. <https://www.edafologia.org/app/download/7956234176/Calcio+y+Magnesio+Xi.pdf?t=1563476239>.

Arquero, O. Fernández-Escobar, R. Navarro, C. Parra, M. 2002. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Ediciones Mundi-Prensa. España.

Arias, A. 2007. Suelos tropicales. Universidad estatal a distancia. Editorial EUNED. Costa rica.

Bello, A. García, A. López, J. 2003. Biofumigación en agricultura extensiva de regadío. Ediciones Mundi-prensa. España.

Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. Costa rica.

Bertsch, F. Henríquez, C. Salas, R. 1995. Fertilidad de suelos, Manual de laboratorio. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. Costa Rica.

Bornebisza, E., Fassbender, H. 1975. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Segunda edición. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Costa Rica.

Cakmak, I. and E.A. Kirkby. 2008. Deficiencia de Mg en cultivo de frijol. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/magnesio-nutriente-olvidado-salvar-cultivo>.

Cakmak, I. V. 2014. ¿Por qué las plantas necesitan zinc? 3er. Congreso Internacional de Nutrición y Fisiología Vegetal Aplicadas. Deficiencia de Zn en el cultivo de maíz donde puede observarse bandas anchas de color blanco a cada lado de la nervadura central. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/nutricion-cultivos-zinc>.

Campo. R. y M. Hungría. 2002. Importancia dos micronutrientes nafxacaobiológica do N2. Informaciones Agronómicas No 98. P.p 6-9.

Carls, J. Jauremi, M. Reiche, C. 1997. Experiencias internacionales en la protección del suelo. IICA. Costa Rica.

Centro internacional de agricultura tropical (CIAT). 1983. Oxisoles y ultisoles en América tropical, II Mineralogía y características químicas; guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido científico: Salinas, J. Valencia, C. CIAT. Colombia.

Cepeda, J. 1991. Química de suelos. 2da edición. Editorial Trillas. México.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2022. Se reduce 26% la tasa anual de deforestación. CONAFOR. [https://www.gob.mx/conafor/prensa/se-reduce-en-26-la-tasa-anual-de-deforestacion#:~:text=Con%20base%20a%20la%20metodolog%C3%ADa,\(66.65%20millones%20de%20hect%C3%A1reas\).](https://www.gob.mx/conafor/prensa/se-reduce-en-26-la-tasa-anual-de-deforestacion#:~:text=Con%20base%20a%20la%20metodolog%C3%ADa,(66.65%20millones%20de%20hect%C3%A1reas).)

Crespo, C. 2004. Mecánica de suelos. 5ta edición. Ed. Limusas. México.

Dorronsoró, C. 2012. Edafología. Editorial Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada. España. <http://edafologia.ugr.es/index.htm>.

Earl observing system. 2021. Agricultura intensiva: Propiedades e impacto ambiental.}

Ecosostenible. 2022. Papel del cobalto en las plantas. <https://antropocene.it/es/2022/11/21/papel-del-cobalto-en-las-plantas/>

Eos Data Analytic. 2021. Fertilidad de suelo: Como mantenerla y recuperarla. <https://eos.com/es/blog/fertilidad-del-suelo/>

Fancelli, AL. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. P.p 11-27. En: M Vázquez (ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina.207pp.

Finck A. 2021. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverté. España. 454 pp.

Fitzpatrick, E. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Editorial Trillas. México.

Fuentes, R. 2007. Agrosistemas sostenibles y ecológicos, la reconversión agropecuaria. Campus universitario sur. España.

G. J. Álvaro. 2019. Macronutrientes del suelo. Recuperado de: <https://www.fertibox.net/single-post/macronutrientes-del-suelo>.

Gavande, S. 1972. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. Limusa. México.

González M. Verónica, Tapia M. Marylin, 2017. Manual Bovino de carne. Recuperado de: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/04%20Manual%20Bovino.pdf>.

Google, s.f. ciclo del nitrógeno. https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Geograf%C3%ADa_%28F%C3%ADsica%29/El_ambiente_f%C3%ADsico_%28Ritter%29/02%3A_El_Sistema_de_la_Tierra/2.05%3A_Ciclo_Biogeoqu%C3%ADmico/2.5.01%3A_Ciclo_de_Nitr%C3%B3geno.

Google, s. f. El papel del cloro en la nutrición de las plantas. <https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2021/11/17/confira-o-papel-do-cloro-na-nutricao-de-plantas/>

Google, s.f, Nitrificación. <https://www.ugr.es/~cjl/nitrificacion.pdf>

Hernández, J. 2011. Abonos orgánicos tipos, usos y manejo. Universidad de Quintana Roo. Tesis. 121 p.

Honorato, R. 2000. Manual de edafología. 4ta edición. Editorial Alfaomega. México.

INFOAGRO, 2017. Nutrientes presentes en el suelo. Recuperado de: <https://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>

INFOAGRO 2023. Síntomas de deficiencia del boro.
<https://mexico.infoagro.com/sintomas-de-deficiencia-de-boro/>

Instituto nacional de estadísticas y geografía (INEGI). 2010

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura), S.f. Funciones del Molibdeno en la Nutrición de los Cultivos. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-del-molibdeno-en-la-nutricion-de-los-cultivos>.

INTAGRI, 2011. Cultivo de trigo con síntomas de deficiencia de cobre
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cobre-en-la-nutricion-vegetal>.

INTAGRI 2017. Síntoma de deficiencia de azufre en el cultivo de maíz. Clorosis en hojas jóvenes, el azufre en un nutriente inmóvil dentro de la planta.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-azufre-s-en-las-plantas>.

INTAGRI, 2017. Síntomas típicos de deficiencia foliar de manganeso en las hojas más nuevas de soya.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-manganeso-en-la-nutricion-vegetal>.

INTAGRI 2020. El cobre en la nutrición vegetal.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/el-cobre-en-la-nutricion-vegetal>.

INTAGRI. 2020. Importancia del azufre en las plantas.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-azufre-s-en-las-plantas>.

INTAGRI, 2021. Capacidad de intercambio catiónico del suelo.
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>.

IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Juarez M, Cerdan M, Sanchez- Sanchez A. 2007. Hierro en el sistema suelo-planta. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/1845>.

KahntGünter, 1982. Abono verde. Editorial Agropecuaria hemisferio sur. Montevideo, Uruguay.

Lugo, J. 2011. Diccionario geomorfológico. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Manahan, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverté. España.

Molibdeno en las plantas. 2020. https://www.ecured.cu/Molibdeno_en_las_plantas.

Muñiz, O. 2008. Los microelementos en la agricultura. Editorial Agrinfor. Cuba.

Navarro, G. Navarro, S. 2014. Fertilizantes, química y reacción. Editorial Mundiprensa. España. 223 pp.

Núñez, J. 1985. Fundamentos de edafología. Universidad estatal a distancia. 2da edición. Costa Rica.

Organismo Internacional de Energía Atómica, fecha de consulta: 2023. *Mejora de la Fertilidad del suelo*. Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA). <https://www.iaea.org/es/temas/mejora-de-la-fertilidad-del-suelo#:~:text=La%20fertilidad%20del%20suelo%20es,inorg%C3%A1nicos%20que%20nutran%20el%20suelo>.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), s.f. <https://www.fao.org/3/j2215s/j2215s04.htm#:~:text=M%C3%A9xico%20ocupa%20uno%20de%20los,millones%20de%20ha%20por%20a%C3%B1o>.

Organización nacional de las naciones unidas (FAO), 2002. Documento en línea <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>. Fecha de consulta Julio 2013

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Asociación internacional de la industria internacional de los fertilizantes. Roma, 2002.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) A. Conservación de recursos naturales para una agricultura sostenible. Pp 19. www.fao.org/ag/ca/Training_Materials/CD27-Spanish/.../soil_fertility.pdf. Fecha de consulta Enero 2013.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Ecología y enseñanza rural. <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>. Fecha de consulta Diciembre 2012.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). El suelo. <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm> S.F. fecha de consulta Mayo 2020.

Organización de las naciones unidas, FAO, El suelo, diferencias según su aspecto físico y químico. <http://www.fao.org/3/ah645s/AH645S04.htm>. Fecha de consulta Junio 2020.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 2015. Estado mundial del recurso suelo. <https://www.fao.org/3/i5126s/I5126S.pdf>

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional México. 2004.

<http://www.fao.org/docrep/006/j2215s/j2215s06.htm>. fecha de consulta enero 2013.

Organización de las naciones unidas, FAO, Estructura del suelo. http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm#:~:text=La%20estructura%20del%20suelo%20se,mayores%20y%20se%20denominan%20agregados%20. Fecha de consulta Junio 2020.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) 2002. Fertilizantes y su uso. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). "Guía para la descripción de suelos" clasificación de suelos, <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>. Roma. 2009.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 1991. Producción agrícola sostenible: Consecuencias para la investigación agraria internacional. Roma.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). 2015. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. <https://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/#:~:text=En%20particular%2C%20el%2033%20por,contaminaci%C3%B3n%20qu%C3%ADmica%20de%20los%20suelos>.

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

Ortiz, B. Ortiz, A. 1980. Edafología. 3ra edición. Universidad autónoma Chapingo. México.

Ortiz, C. 2010. Edafología. Octava edición. Universidad Autónoma Chapingo, departamento de suelos. México.

PennState College of Agricultural Science. (S.f.) Deficiencia de Potasio. <https://plantscience.psu.edu/research/labs/roots/methods/metodologia-de-investigacion/observando-los-desordenes-nutricionales-de-las-plantas/deficiencia-de-potasio>.

Proain tecnología agrícola. 2020. Síntomas de deficiencia potásica. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/los-macronutrientes-y-su-relacion-en-el-suelo>.

Rodriguez M. 1983. Caracterización suelos (fertilidad). Editorial Bib. Orton IICA / CATIE. Costa Rica

Sánchez, J. 2007. Fertilizantes. Editorial Trillas. México.

Sanzano, Agustín. S.F. Oligoelementos del suelo. https://www.google.com/search?q=cloro+en+el+suelo&rlz=1C1PRFE_enMX732MX735&ei=G8bZXtTTC4PFytMP48qXsAM&start=60&sa=N&ved=2ahUKEwiUzfG45-npAhWDonIEHWPIBTY4MhDy0wN6BAgMEDk&biw=1707&bih=821#.

Sanzano, Agustín., 2019. El azufre del suelo. https://www.google.com/search?rlz=1C1PRFE_enMX732MX735&biw=1707&bih=821&ei=OcbZXvIMuYrK0w_fy4jwAQ&q=azufre+en+el+suelo&oq=azufre+en+el+suelo&gs_lcp=CgZwc3ktYWlQAzICCAAYBggAEAcQHjICCAAYAggAMgYIABAFEB4yBggAEAUQHjIGCAAQBRAeMgYIABAFEB4yBggAEAUQHjIGCAAQBRAeOggIABAHEAUQHjoECAAQDTolCAAQDRAFEB5Q29UFWKHsBWCp8gVoAXABeACAAYkCiAHLcZIBBTauNS4ymAEAoAEBqgEHZ3dzLXdpeg&scient=psy-ab&ved=0ahUKEwiyjY3H5-npAhU5hXIEHd8IAh44PBDh1QMIDA&uact=5#.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Fecha de consulta: 2023 *Suelos*.SEMARNAT.<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap3.html>}

Sembralia. 2020. Lo que todo Agricultor debería conocer sobre la Carencia de Hierro en los Cultivos. <https://sembralia.com/blogs/blog/carencia-de-hierro>.

Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación SAGARPA. A Suelo y producción agropecuaria. Pp3. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/EI%20suelo%20y%20la%20produccion%20agropecuaria.pdf>. Fecha de consulta Enero 2013.

Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. SAGARPA. B Pp. 11. Documento en línea. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Usode%20Fertilizantes.pdf>. Fecha de consulta agosto 2013.

Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). 2010. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), 1980-2009. México.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2008. Compendio de estadísticas ambientales. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/compendio_2008/compendio2008/10.100.8.236_8080/ibi_apps/WFServletf7a0.html#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20la%20desertificaci%C3%B3n%20forma,un%20problema%20de%20desarrollo%20sostenible.

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2008. La degradación de los suelos en México. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/03_suelos/cap3_2.html#:~:text=La%20degradaci%C3%B3n%20f%C3%ADsica%20del%20suelo,p%C3%A9rdida%20de%20la%20funci%C3%B3n%20productiva.

Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. *El Medio Ambiente en México*. En Resumen 2005. SEMARNAT. México. 2006. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. 2005. Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, México, D. F.

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 1999. La Evaluación de la Degradación del Suelo como Instrumento de Apoyo a los Programas Estratégicos de SEMARNAP. Inventario Nacional de Suelos, Dirección General de Restauración y Conservación de Suelos. México, D. F.

Sierra, Carlos. 2019. El Manganeso, el suelo y las plantas. El mercurio. <https://www.elmercurio.com/campo/noticias/analisis/2016/03/09/el-manganeso-el-suelo-y-las-plantas.aspx?disp=1>.

Silva, Mojica., Francisco. 2001. Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Bogota, Colombia. Editorial Guadalupe LTDA.

Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. Volumen 1. Universitatjueme I. España.

Torri, S., Urricariet, S., Ferraris, G. y Lavado, R.S. 2010. Cap.5. Micronutrientes en agrosistemaspp 395-423. En: En: Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes. Rubio, G. y R. Lavado (eds). Editorial Facultad de Agronomía, UBA.

Thompson, M. Troeh F. 1988. Los suelos y su fertilidad. Cuarta impresión. Ed. Reverté. España.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 1986. Educational module on conservation and management of natural resources. Indiana.

Vectorial Edafológico, escala 1: 250 000, Serie II (Conjunto Nacional). México.

Xu, G, Magen, H, Tarchisky J, Kafkafi U. 2000. Advances in Chloride Nutrition of Plants. *Advances in Agronomy*. 68: 97-150.

Zinc en los fertilizantes, la contribución a la solución de un problema nutricional mundial. 2011.

<https://www.fertilizar.org.ar/subida/revistas/Articulos/2011/2011%20-%20n%C2%BA%2021%20-%20Zinc%20en%20los%20fertilizantes%20La%20contribuci%C3%B3n%20a%20la%20soluci%C3%B3n%20de%20un%20problema%20nutricional%20mundial.pdf>.