



Universidad Autónoma del Estado de México

Centro Universitario UAEM Texcoco

“Software para el manejo de fertilizantes orgánicos en la
comunidad de San Bartolo Acolman”

T E S I S

Que para obtener el título de
Ingeniero en Computación

Presenta

Clara Anabel Arredondo Ramírez

Director

Dr. en C. Oziel Lugo Espinosa

Revisoras

Lic. en I.A. Cinthya Teresita Islas Rodríguez

M. en I.S.C. Irene Aguilar Juárez

Texcoco, Estado de México, octubre de 2015.

Índice

Resumen.....	1
Introducción	2
Problemática	4
Justificación.....	5
Objetivos	6
Hipótesis.....	7
Metodología.....	8
Capítulo 1 El suelo.....	9
1.1 Concepto de suelo.....	9
1.2 Formación del suelo y sus fases.....	9
1.2.1 Fase sólida	10
1.2.2 Fase líquida.....	10
1.2.3 Fase gaseosa.....	11
1.3 Perfil del suelo.....	11
1.3.1 Horizonte A.....	11
1.3.2 Horizonte B.....	11
1.3.3 Horizonte C.....	11
1.4 Clasificación y propiedades de las rocas	11
1.5 Minerales primarios del suelo.....	12
1.5.1 Silicatos.....	13
1.6 Minerales secundarios del suelo	13
1.6.1 Meteorización	13
1.7 Componentes básicos del suelo.....	14
1.7.1 Materia Orgánica.....	14
1.7.2 Agua.....	15
1.7.3 Aire	16
1.7.4 Limo.....	16
1.7.5 Arena	16
1.7.6 Arcilla.....	17
1.8 Clasificación de los suelos	17

1.8.1	Por su funcionalidad.....	17
1.8.2	Por sus propiedades físicas	18
1.9	Física del suelo	18
1.9.1	Textura	18
1.9.2	Color	19
1.9.3	Densidad.....	20
1.9.4	Estructura.....	21
1.9.5	Porosidad.....	24
Capítulo 2 Química del suelo.....		25
2.1	El pH	25
2.1.1	Factor pH.....	26
2.1.2	Importancia del PH en los vegetales	27
2.2	Complejo arcilla-humus	27
2.3	Cambios en el pH.....	28
2.3.1	Acidez del suelo.....	28
2.3.2	Alcalinidad del suelo (suelos básicos)	29
2.3.3	Salinidad del suelo.....	30
2.3.4	Suelos sódicos	30
2.4	Intercambio iónico	31
2.5	Intercambio catiónico (CIC).....	31
2.6	Intercambio aniónico (CIA).....	32
2.7	Reacción del suelo.....	33
2.7.1	Origen y causas de la reacción del suelo.....	33
2.7.2	Modificación de la reacción el suelo	34
2.8	Oxidación y reducción	35
3	Capítulo 3 Nutrientes del suelo	36
3.1	Calidad del suelo	36
3.2	Tipos de nutrientes	37
3.2.1	Nitrógeno	39
3.2.2	Potasio.....	42
3.2.3	Fósforo	44
3.2.4	Nutrientes menores	46

3.3	Origen de los nutrientes.....	47
3.4	Absorción de elementos nutritivos de las plantas	47
3.4.1	Mecanismo de absorción	47
3.4.2	Factores influyentes en la absorción de los nutrientes	49
4	Capítulo 4 Fertilidad del suelo.....	51
4.1	Fertilización del suelo.....	51
4.2	Absorción y extracción de nutrientes	51
4.3	Tipos de fertilización	52
4.3.1	Según su origen	52
4.3.2	Según su composición	53
4.3.3	Según sus características físicas	53
4.3.4	Fertirrigación	53
4.4	Fertilización orgánica	54
4.4.1	Antecedentes en México.....	54
4.4.2	Importancia	54
4.5	Tipos de fertilizantes orgánicos.....	55
4.5.1	Estiércol	55
4.5.2	Abonos verdes.....	58
4.5.3	Vermicompostaje	60
4.6	Compost. Objeto de estudio	61
4.6.1	Fases del compostaje	67
4.6.2	Higienización	68
4.6.3	Fertilización	69
4.6.4	Elaboración.....	70
4.6.5	Controles de temperatura, humedad y PH	78
4.7	Preparación del suelo para el cultivo	800
4.8	Diagnóstico de nutrición y recomendaciones de abonado de los cultivos	811
4.9	Manejo de fertilizantes orgánicos.....	822
4.10	Dosificaciones.....	833
4.11	Consideraciones finales.....	833
	Capítulo 5 Aplicación y desarrollo.....	855
5.1	Metodología RAD	855

5.1.1. Características	855
5.1.2 Ciclo de vida	866
5.1.3 Descripción	877
5.2 Netbeans IDE	888
5.3 Diagrama de flujo	89
5.4 Diagrama de caso de uso	900
5.5 Procedimiento	911
5.6 Resultados	93
Conclusiones	1055
Bibliografía	1066

Listado de tablas

Tabla 1. Componentes básicos del suelo.....	14
Tabla 2. Distribución de diferentes tipos de poros en suelos.....	24
Tabla 3. Términos usuales para describir los intervalos de pH en el suelo.....	26
Tabla 4. Relación de algunos cultivos y el pH óptimo para su desarrollo. ..	27
Tabla 5. Elementos esenciales, símbolo, formas de absorción y composición aproximada en las plantas.....	37
Tabla 6. Control de temperatura.	63
Tabla 7. Control de humedad.....	64
Tabla 8. Control del pH.	64
Tabla 9. Control de aire.....	65
Tabla 10. Tamaño de partícula.....	66
Tabla 11. Relación C/N. ..	66
Tabla 12. Contenido de nutrientes en el compost.....	69
Tabla 13. Extracción de nutrientes por cultivo. .	70
Tabla 14. Tipos de materiales que se pueden compostar..	71
Tabla 15. Revisión rápida del proceso de compostaje.	73
Tabla 16. Relación C/N equilibrado en el compost.....	766
Tabla 17. Convenientes e inconvenientes de la labranza tradicional.....	800

Listado de figuras

Figura 1. Estructura del suelo.....	21
Figura 2. Estructura granular del suelo	23
Figura 3 Estructura subangular del suelo	23
Figura 4. Escala del pH.....	26
Figura 5. Sistema de explotación ganadera para el estiercolero	58
Figura 6. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso del compostaje	68
Figura 7. Materiales a utilizar en el proceso de compostaje	72
Figura 8. Pila de compost	74
Figura 9. Pila de compost 2	74
Figura 10. Formación de colchón de aire	75
Figura 11. Formación de chimenea para el compost.....	75
Figura 12. Formas de volteo del compost.....	77
Figura 13. Control del pH	78
Figura 14. Tamizado del compost	79
Figura 15. Plantilla para el seguimiento de las labores de compost en el campo	80
Figura 16 Pantalla de bienvenida	93
Figura 17 Nutrientes esenciales de las plantas	94
Figura 18 Test para validar los nutrientes que hacen falta a un cultivo	95
Figura 19 Introducción de fertilización orgánica.....	96
Figura 20 Se muestran los materiales adecuados para compostar	97
Figura 21 Se inicia la educación al usuario cómo preparar el compost	98
Figura 22 Cómo preparar el compost.....	99
Figura 23 Pasos a seguir para la elaboración del compost	100
Figura 24 Se indica cómo revisar el proceso de compostaje	101
Figura 25 Dónde conseguir los materiales que se pueden compostar	102
Figura 26 Ingreso de datos para fertilizar el cultivo.....	104

Resumen

Se plantea el desarrollo de un sistema de software con el objetivo de calcular mediante fórmulas, cantidades necesarias de fertilizante orgánico que requiere un cultivo para favorecer su crecimiento y calidad. El sistema presenta una serie de interfaces gráficas que explican el proceso de fertilización, y permiten al agricultor ingresar datos de su cultivo para obtener como resultado la cantidad y tipo de fertilizante que debe aplicar.

Se propone el uso de fertilizantes orgánicos para la elaboración de Compost dado que se tiene beneficios en la mejora y enmienda de la degradación del suelo, se tienen ahorros económicos ya que se utilizan elementos comunes de desecho orgánico y se contribuye a la higienización de la comunidad.

Introducción

Por fortuna, nuestro país cuenta con la calidad y el tipo de suelo que necesitan diversos cultivos que se producen, es por ello que se podría pensar que México tiene el sostén suficiente para llevar a cabo todo o la mayoría de las actividades agrícolas que se requieren no sólo para el sustento de una familia, sino de una nación entera y ¿por qué no? la exportación. Pero, ¿Qué pasa en realidad con la agricultura en México? ¿Es realmente viable tener tierras de cultivo, aun cuando los agricultores tienen muchos problemas para explotar su tierra correctamente?

Grandes productores cuentan con el sostén de tener los recursos suficientes para poder solventar los gastos que requiere una buena cosecha, ya sea porque cuentan con el buen apoyo de programas de gobierno que se dedican apoyar la agricultura o simplemente su situación económica les permite cultivar en grandes cantidades y poder solventar los gastos que requiere no sólo la siembra de diversos cultivos sino todo lo que conlleva; desde la preparación de la tierra hasta la mano de obra. Pero, ¿Qué pasa con los pequeños productores? Aquellos que no tienen grandes hectáreas de tierras sino, unos cuantos metros y que con ello deben poder ser solventar la manutención de una familia, (FAO, 2015).

Desafortunadamente México, a pesar de tener grandes riquezas naturales, no cuenta con la suficiente infraestructura, economía e incluso más allá de todo, la cultura para poder explotar correctamente el campo. El estado de México es un claro ejemplo de lo que se quiere dar a entender, sobre todo en los municipios pobres dónde el problema de raíz es no sólo implementar apoyos gestionados por el gobierno, sino dar seguimiento a cada problema o situación que se suscita con esos pequeños productores.

Uno de los problemas que enfrentan los pequeños productores es el poco o nulo apoyo económico que tienen para poder sembrar cualquier cultivo, ya que cabe destacar que estos productores no obtienen ganancias al cultivar sus tierras, e incluso, en algunas ocasiones es más caro cultivar las tierras y al tratar de vender el producto, entonces, más allá de ser benéfico tener tierras de cultivo resulta muy poco redituable, en dónde los agricultores en ocasiones se ven en la necesidad de dar a muy barato precio sus cosechas, esto aunando que para que puedan hacer una venta aproximadamente exitosa la cosecha lo debe ser también. Aquí se está olvidando de un factor muy importante: la calidad del cultivo. Entonces, para poder tener una venta en cierta medida redituable, se necesita tener una cosecha de buena calidad.

Con el paso de los años, toda tierra de cultivo pasa por un proceso llamado degradación del suelo que se puede producir por diversos factores. En el Estado de México, y enfocándose como tema de estudio a la Comunidad de San Bartolo Acolman, se tiene esta situación, dónde uno de estos factores es que a causa de la misma degradación del suelo hacen falta los nutrientes específicos para los cultivos que más se siembran en esta región.

Es cierto que el gobierno tiene programas para fomentar la explotación del suelo, uno de esos programas es la venta de Fertilizantes y semillas para cada productor, dónde los cuales en teoría deberían ser más económicos, pero la realidad es otra, muchos productores optan por no adquirir el fertilizante que necesitan y deciden obtener semillas a un precio más económico pero de dudosa calidad. Entonces, viendo la situación ¿en algo están beneficiando los programas de gobierno?, (Explorando México, 2015).

El uso de abono orgánico en las cosechas ha aumentado mucho debido a la demanda de alimentos frescos y sanos para el consumo humano

Los fertilizantes inorgánicos tienen algunos problemas si no son usados de forma adecuada:

- Es más fácil provocar eutrofización en los acuíferos (aumento de la biomasa de algas).
- Degradan la vida del suelo y matan microorganismos que ponen nutrientes a disposición de las plantas.
- Necesitan más energía para su fabricación y transporte.
- Generan dependencia del agricultor hacia el suministrador del fertilizante.

Los fertilizantes orgánicos tienen las siguientes ventajas:

- Permiten aprovechar residuos orgánicos.
- Recuperan la materia orgánica del suelo y permiten la fijación de carbono en el suelo, así como mejoran la capacidad de absorber agua.
- Suelen necesitar menos energía. No la necesitan para su fabricación y suelen utilizarse cerca de su lugar de origen. Sin embargo, algunos pueden necesitar un transporte energéticamente costoso.

Pero también tienen algunas desventajas:

- Pueden ser fuentes de patógenos si no están adecuadamente tratados.
- También pueden provocar eutrofización. Por ejemplo, granjas con gran concentración de animales o por las aguas residuales humanas. Pero es más difícil que con fertilizantes inorgánicos.
- Pueden ser más caros, aunque puede salir gratis si es un residuo propio de la granja o es un problema para otra explotación. Es fácil que una explotación agrícola necesite fertilizante y otra de animales tenga problemas para desprenderse de los desechos que produce.

Por todo lo anterior, se plantea el desarrollo de un programa de cómputo que recopile la información básica de la fertilización orgánica y ofrezca recomendaciones a los productores en cantidades y tipos de materia que se necesita para aplicar a su terreno de cultivo.

Problemática

En la comunidad de San Bartolo Acolman, en el Estado de México, así como en otras aledañas del municipio de Acolman, los principales cereales que se cultivan son: maíz, trigo y sorgo, así como algunas leguminosas como el frijol y vegetales como la calabaza.

A pesar de que la tierra tiene la capacidad de tener un alto grado de fertilidad para poder cultivar distintos tipos de especies más, los agricultores han preferido seguir sembrando aquello que relativamente es más económico para ellos. Es por ello que cada año los agricultores tienden a sembrar siempre lo mismo, esto conlleva a que el suelo con el paso del tiempo se degrade, y a pesar de que se cultiva sólo una vez al año debido a que son tierras de temporal; el hecho de que se cultive lo mismo, hace que el suelo poco a poco vaya perdiendo nutrientes indispensables para poder obtener una buena cosecha.

Se ha mencionado el uso de fertilizantes químicos, que más allá de nutrir la planta, daña el suelo sin mencionar su elevado costo. Los agricultores de esta comunidad son pequeños productores que no cuentan con el suficiente poder adquisitivo, ya que algunos no obtienen ganancias por su cosecha y por ende no pueden adquirir los fertilizantes que necesita el suelo que trabajan, además, de no tener la orientación correcta sobre cómo manejarlos.

Todo poco a poco se convierte en una situación que no favorece a las personas que realmente lo necesitan, por un lado se tienen los fertilizantes químicos que tienen elevado costo y al mismo tiempo dañan el suelo ya que en ningún aspecto se inclina a renovar sus características y por otro lado cultivos que requieren tener una mejor calidad para poder elevar su precio en el mercado.

Al hablar de fertilización orgánica, se puede pensar que es un procedimiento engorroso y lleva bastante tiempo realizarlo, en cierta medida esto es real, sin embargo; las personas en general tienen poco conocimiento de este tema y los grandes beneficios que pueden obtener de ello. Todo esto causa una gran preocupación, ya que esa falta de conocimiento y la cultura de reciclaje en nuestro país en general ocasiona que oportunidades de mejorar las condiciones económicas y ¿por qué no? de vida de una sociedad agrícola se pierdan.

Justificación

La intención de este proyecto es que a través de una aplicación de software se proporcionen los datos indispensables a los agricultores de esta comunidad donde se les dé los elementos necesarios para poder cultivar diferentes alimentos con el uso correcto de abonos orgánicos sin necesidad de comprar los fertilizantes químicos que dañan la tierra.

Con esto, no sólo se beneficiará a los agricultores sino también a la comunidad, ya que los elementos que requerirá cada tipo de suelo, se obtendrán de los desechos orgánicos de los hogares y al mismo tiempo se fomenta la cultura del reciclaje. Todo esto se resume en la obtención de fertilizantes orgánicos que además de ayudar al crecimiento de la planta, regenera el suelo; se pueden adquirir en casi cualquier lugar y ayuda a la economía de los pequeños productores de la comunidad. Entre otros beneficios como:

>Economía: Los productos orgánicos se pueden obtener casi de forma constante, ya sea de la cocina de nuestro hogar, la hojarasca del jardín e incluso de los residuos de una cosecha anterior, la adquisición de estos productos no implican mayor costo a comparación de los productos químicos.

>Ambiental: Se reutilizan los desechos orgánicos, lo que proporciona al medio ambiente la capacidad de renovarse con más facilidad, ya que todas las propiedades de aquellos productos que se desechan comúnmente regresan a la tierra de forma natural.

>Cultural: En este aspecto, los agricultores aprenderán a reconocer las señales que les indiquen que nutrimentos requiere la tierra donde quieren cultivar, a tener un pensamiento más amplio sobre el cuidado de los recursos naturales y sobre todo, adquirirán conciencia acerca de la reutilización de materia orgánica como fertilizante natural.

Objetivos

→ Objetivo general:

Desarrollar un sistema de software robusto, dinámico, de fácil utilización y sobre todo confiable dónde se contenga la información de los nutrientes necesarios para los cultivos de mayor demanda en la zona geográfica; esta información ayudará a los pequeños productores a tener cálculos exactos para obtener cantidades y materiales necesarios para preparar su fertilización y mejorar la cantidad y calidad de producción.

→ Objetivos particulares:

- Recopilar información sobre las deficiencias del suelo en la zona.
- Recopilar información acerca de los tipos de fertilizantes orgánicos, así como sus propiedades y forma de aplicación en el suelo.
- Recopilar información de los nutrientes que necesita cada planta que se cultiva en la zona.
- Desarrollar la aplicación de software para el usuario final (los productores).

Hipótesis

Con esta herramienta de software, se presentarán alternativas al agricultor para fertilizar su cultivo dando como resultado ahorros en tiempo al realizar los cálculos y beneficios económicos al reemplazar el uso de materiales orgánicos en lugar de productos químicos.

Metodología

En la realización de este trabajo se utilizará un enfoque matemático en el cual su principal función es la interpretación de estadísticas, datos y números arrojados por los estudios que se llevaron a cabo en una zona rural, el cual fue de mucha ayuda para entender cómo se trabaja y el modo de preparación de una tierra de cultivo sin ningún tipo de abonado. Se hicieron preguntas a diversos agricultores sobre qué tipo de semillas utilizan al sembrar y los pasos para obtener una cosecha de los alimentos más consumidos en esta región.

Después de haber recabado información, se hizo un estudio acerca de qué cantidad de nutrientes que necesitan cada una de las semillas para su correcto crecimiento, así, al mismo tiempo que se analizaron los diversos problemas que tiene una cosecha para saber específicamente qué tipo de nutriente es del que carece y con ello, la manera de retribuir ese nutriente a la tierra por medio de la composta.

Herramientas de software a utilizar:

Una vez recabados todos los datos de los diferentes tipos de suelo que se encuentra en la zona de estudio, dichos datos se van a concentrar en la siguiente plataforma:

1. Plataforma NetBeans: IDE JAVA dónde se podrá desarrollar la herramienta propuesta.

Capítulo 1 El suelo

1.1 Concepto de suelo

Se deriva del latín solum y significa piso, propiamente dicho, es un ente sólido.

Es un cuerpo natural formado por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurre en la superficie de la tierra y que ocupa un lugar en el espacio. Desde el punto de vista agrícola el suelo puede definirse como la capa de la Tierra que se distingue de la roca sólida y en dónde las plantas crecen. Tiene la función de soportar una vegetación y en él se deben dar las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas, (Palmer, 1980).

1.2 Formación del suelo y sus fases

Según León Arteta (1982), la formación del suelo lo constituyen las rocas situadas en la superficie terrestre.

La formación del suelo depende de diversos factores como es la meteorización, la cual se divide en diferentes tipos como se muestran a continuación:

- Meteorización física: A través del tiempo, las rocas son desintegradas por la acción de diversos agentes. Se debe a la aparición de importantes tensiones en el interior de la roca, lo que provoca roturas en sus líneas débiles sin que se produzcan cambios en su mineralogía. Pueden ser provocadas por: humedad, cambios de temperatura, sequedad, congelación del hielo. La cristalización de sales y por el efecto mecánico de plantas y animales.

El material originario así formado por partículas de rocas que no han sufrido modificaciones internas, es posteriormente alterado mediante procesos químicos más lentos como son los siguientes:

- Meteorización química: Se caracteriza por transformaciones que afectan la composición química y mineralógica de la roca. Estos cambios suelen estar acompañados por una continua desintegración física y se consideran de fundamental importancia para el desarrollo de la fertilidad del suelo. El agente químico más importante que interviene en este proceso es el agua mediante la disolución, la hidrólisis e hidratación y oxidación-reducción de los minerales importantes.
 - Meteorización por hidrólisis: Consiste en la reacción entre un determinado mineral y el agua, para dar un ácido y una base.
 - Meteorización por hidratación: Se caracterizan por la incorporación de moléculas de agua en la estructura cristalina del mineral, originando con otro distinto.

- Mineralización de oxidación-reducción: Se verifican sobre elementos que pueden actuar con diversos grados de valencia, como el hierro y el manganeso. Estos elementos pueden presentarse en la roca de forma reducida y su oxidación puede producirse por contacto con el aire o por acción de bacterias autótrofas (que producen en su interior su propio alimento).
- Meteorización biológica: Son los procesos de descomposición de rocas que resultan de la acción de microorganismos.

Las plantas inferiores, como hongos, algas, líquenes, colonizan sobre las superficies de las rocas, penetran en las grietas y descomponen paulatinamente las rocas a través de extracción de nutrimentos, de absorción de Si, de excreción de H y excreción de ácidos orgánicos formadores de complejos de Al y Fe.

Las plantas superiores, también son factores de meteorización biológica a través de su absorción de elementos nutritivos y la presión radical en las grietas de las rocas.

El tipo de roca sometida a la meteorización, el tiempo de actuación de todos los agentes descritos condiciona al tipo de suelo que puede generarse. El concepto de suelo joven, maduro, o viejo, vienen determinados por el grado de actuación de este factor.

- Fases del suelo

1.2.1 Fase sólida

Posee una mayor estabilidad, menor capacidad de variación y sirve para la caracterización del suelo. Se divide en dos sub-fases:

1.2.1.1 Fase mineral

Es una mezcla de minerales que se diferencian entre sí en su composición y sus propiedades, estas características están relacionadas con su tamaño.

1.2.1.2 Materia orgánica

Desempeña una gran función en la mejora de las propiedades físico-químico del suelo y el desarrollo de cultivos.

1.2.2 Fase líquida

El líquido del suelo es fundamentalmente una solución acuosa, y por ello, al contener sustancias en solución, se le llama solución del suelo. Las soluciones del suelo proceden de la alteración de los minerales y de la materia orgánica. El agua ejerce importantes acciones, tanto para la formación del

suelo (interviene decisivamente en la meteorización física y química, y translocación de sustancias) como desde el punto de la fertilidad.

1.2.3 Fase gaseosa

Es la mezcla de gases que ocupa los espacios que la fase líquida deja libres en la porosidad de suelo. Los distintos procesos biológicos que se producen en el suelo hacen que la fase gaseosa se encuentre sometida a constantes variaciones en su composición.

1.3 Perfil del suelo

Es la exposición vertical de una porción superficial de la corteza terrestre que incluye todas las capas u horizontes que han sido alteradas durante su periodo de formación junto con las más profundas que influyeron en su génesis.

1.3.1 Horizonte A

Está formado por el suelo superficial, y en él se encuentra la mayor parte de la materia orgánica procedente de las raíces de las plantas y otros restos que son depositados sobre la superficie. Presenta un color oscuro y es el más adecuado para el cultivo, ya que contiene muchos de los nutrientes esenciales para las plantas.

1.3.2 Horizonte B

Constituye la capa intermedia, es de color más claro, en él se sitúan las raíces de los arbustos y árboles. El contenido de materia orgánica es mucho menor.

1.3.3 Horizonte C

Es la capa más profunda y está compuesto por partículas de roca poco desintegradas y sin actividad por parte de organismos vivos, (Navarro, 2003).

1.4 Clasificación y propiedades de las rocas

Aproximadamente el 98% de la corteza terrestre está constituida por ocho elementos, de los cuales sólo dos, oxígeno y silicio constituyen cerca del 75%. Por otra parte, muchos de los elementos importantes en el crecimiento de las plantas y animales existen en cantidades muy pequeñas:

Oxígeno: 46.6%

Silicio: 27.7 %

Aluminio: 8.1%

Hierro: 5.0%

Calcio: 3.6%

Sodio: 2.8%

Potasio: 2.6%

Magnesio: 2.1%

Las rocas se clasifican de la siguiente manera:

- Rocas ígneas: Constituyen la mayor parte de la corteza terrestre y están formadas a partir del enfriamiento y solidificación de las masas de lava o magma fundidas. Se llaman también eruptivas (fuerza) endógenas (del interior de la tierra) o magmáticas (lava).
- Rocas metamórficas: Formadas a partir de otras rocas que, sin llegar a fundirse, han estado sometidas a grandes presiones y temperaturas y se han transformado.
- Rocas sedimentarias: Resultan de la erosión ya redepositación de productos de meteorización de rocas ígneas o metamórficas o a través de la acumulación de restos biológicos. Se clasifican en tres grupos:
 - Residuos orgánicos o biológicos: Compuestos por conchas y por esqueletos de animales y plantas marinas. Ricos en C, Ca y Mg.
 - Residuos de solución: Originados por la cristalización de sales disueltas en el interior de la corteza terrestre o del agua de mar.
 - Residuos clásticos o detríticos: Se forman de fragmentos de otras rocas.

1.5 Minerales primarios del suelo

La mayoría de los elementos de la corteza terrestre existen en combinación –con uno o más de los otros elementos- para formar compuestos llamados minerales. Los minerales generalmente existen en mezclas para formar las rocas de la tierra.

Un mineral es una sustancia natural inorgánica, más o menos dura con características definidas con respecto a su composición química, forma de cristalización, apariencia, color y brillo. Las rocas son combinaciones naturales de los minerales.

Los minerales primarios se forman a altas temperaturas y son propios de rocas ígneas o metamórficas, son aquellos que se encuentran presentes en la roca madre y que aún no se han meteorizado. Su proporción en el suelo varía de acuerdo con el contenido en la roca madre, con su resistencia a la meteorización.

Constituyen la fuente original de los elementos químicos en los suelos y comprenden la mayor parte del material inorgánico en la masa de los suelos minerales. Se han derivado de rocas ígneas metamórficas y otro tipo de rocas que sus propiedades químicas se hayan alterado. Un suelo joven, está constituido principalmente por silicatos y consta de materiales primarios heredados de aire, agua y materia orgánica.

1.5.1 Silicatos

Se constituyen los minerales más importantes de casi todas las rocas, casi el 80% de los minerales de las rocas ígneas y metamórficas son silicatos. Son derivados del ácido silícico (SiO_4)

Los minerales secundarios se forman a bajas temperaturas a través de procesos de meteorización y son propios de las rocas expuestas en la superficie. Están formados por varios elementos en combinación con el silicio y oxígeno que son los componentes más abundantes de la corteza terrestre. Se presentan en cristales de dimensiones considerables y se caracterizan por una extrema dureza.

1.6 Minerales secundarios del suelo

Su origen es el producto de la acción de agentes físicos, químicos y biológicos, sobre los minerales primarios. Constituyen junto con la materia orgánica, la fracción más activa de los suelos.

Los minerales arcillosos componen la fase más valiosa del suelo, la cual está constituida por partículas coloidales.

Para entender mejor la composición de los minerales secundarios del suelo se recurre a la siguiente explicación que es la meteorización.

1.6.1 Meteorización

Es un proceso natural inevitable de agotamiento y transformación de las rocas y minerales que quedan en la superficie de la tierra a una profundidad variable. Los fragmentos de roca y sus minerales son atacados por fuerzas erosivas que se transforman en nuevos minerales, ya sea por medio de alteraciones o por cambios químicos completos.

Como se mencionó anteriormente, un suelo joven está formado por minerales primarios de aire, agua y materia orgánica. Con el paso del tiempo estos constituyentes reaccionan entre sí para originar un nuevo tipo de minerales.

El paso del tiempo marca un cambio progresivo en la composición mineral del suelo, este cambio se verifica en los suelos de diversas edades situados en climas distintos, y por lo tanto, sometidos a diferentes intensidades de meteorización.

- Calificación de los suelos por el tipo de meteorización que hayan experimentado.
 - **Juventud:** Compuestos enteramente por minerales primarios.
 - **Madurez temprana:** La mayor parte de los minerales de la fracción argílica, que contiene Ca, Mg y Fe, se han perdido.
 - **Madurez tardía:** La mayoría de los minerales primarios han sido lavados de la fracción argílica y de gran parte del limo

- **Senectud:** Casi todo el limo y la arcilla han sido eliminados del horizonte A por meteorización.

- Factores que afectan la meteorización:

- **Condiciones climáticas:** En especial el régimen de la temperatura y de la precipitación pluvial, determinan marcadamente la naturaleza, la intensidad y la velocidad de destrucción de las rocas madres.

Bajo condiciones de escasa lluvia predomina la meteorización mecánica y la química es lenta. Bajo condiciones de gran precipitación predomina la meteorización química y es muy acelerada, por lo que abundan en los suelos de climas húmedos tropicales los minerales resultantes como los hidróxidos de Fe y Al.

- **Características físicas:** El tamaño de las partículas, su dureza y el grado de cementación son tres características físicas que influyen en la meteorización.
- **Características químicas:** La composición química y la estructura de cristalización son propiedades que determinan la estabilidad en los minerales, (León Arteta, 1982).

1.7 Componentes básicos del suelo

1.7.1 Materia Orgánica

De acuerdo al autor Navarro, (1982), la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que representan el suelo. Lo constituye organismos vivientes del suelo, es decir, flora y fauna.

En el siguiente recuadro Tabla 1 e puede apreciar la composición centesimal media aproximada en el volumen de un suelo en buenas condiciones para el desarrollo vegetal.

Tabla 1. Componentes básicos del suelo. Fuente: FAO. Estructura del suelo, (2015).

Componente del suelo	%Volumen
Materia mineral	45
Materia orgánica	5
Agua	25
Aire	25

La materia orgánica constituye solo una pequeña parte de la fase sólida, pero desempeña una gran función, no sólo mejora las condiciones físicas y químicas del suelo, sino también en lo que respecta al desarrollo de cultivos.

La vegetación consta de hojas, tallos, flores y frutos que al depositarse en la superficie del suelo constituyen hojarasca. Estos residuos son objeto de degradación o descomposición. Así la materia

orgánica no sólo contiene flores, raíces y plantas, también contiene microorganismos, gusanos, insectos y otros animales, que se depositan normalmente en el suelo y contribuyen a incrementar su fertilidad.

La materia orgánica del suelo puede dividirse en dos grupos generales:

1.7.1.1 Los tejidos originales y sus equivalentes parcialmente descompuestos

Incluye los aportes descompuestos en mayor o menor grado que de forma constante producen raíces y partes aéreas de las plantas superiores y en menor proporción los aportes animales. Todos estos materiales están sometidos a un continuo y fuerte ataque por parte de los microorganismos vivos tanto vegetales como animales que los utilizan como fuente de energía y material de recuperación frente a su propio desgaste.

1.7.1.2 Humus

El humus está compuesto por los restos postmortales de vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos constantemente a procesos de descomposición, transformación y resíntesis.

En todo caso, la fuente originaria de la materia orgánica son los restos animales y especialmente vegetales que se desintegran en el suelo. Los productos resultantes pueden ser objeto de nuevos procesos de resíntesis dando lugar a nuevos agregados que reciben el nombre ácidos húmicos. Este proceso tiene el nombre de humificación.

Las sustancias coloidales que constituyen los productos más resistentes a esta degradación, tanto los sintetizados por microorganismos como los resultantes de la modificación de los tejidos originarios, se les denomina colectivamente como humus.

El contenido total de materia orgánica que normalmente se encuentra en el suelo es pequeño, sólo alrededor del 3-5% del peso, en el caso de un suelo típico en su capa superficial. Dentro de este porcentaje, el 85-90% está representado por el humus, y sólo una pequeña parte por los restos no humificados. Por esta razón se suele emplear el término materia orgánica del suelo en lugar de humus.

1.7.2 Agua

Debido a la propia dinámica del suelo, el agua siempre contiene componentes diversos en solución, y ocasionalmente también en suspensión, si bien la ausencia de una dinámica de consideración minimiza este último componente

En el caso de las plantas cultivadas, el agua debe obtenerla del suelo a través de sus raíces, aparte de una fracción mínima que es absorbida directamente a través de las hojas y otros órganos de su desarrollo sobre la superficie del suelo.

De esta manera, la humedad del suelo tiene un efecto directo en el desarrollo de las plantas, según lo adecuado de su abastecimiento y la rapidez con la que el agua penetra en las raíces.

1.7.3 Aire

Como ya se mencionó, el suelo está constituido por partículas minerales y orgánicas, de muy diversos tamaños. Si bien pueden estar separadas, algunas de estas partículas están unidas entre sí formando agregados.

Entre partículas y agregados existe un sistema de poros interconectados que tiene diferentes formas y tamaños. Los poros más pequeños se encuentran ocupados por agua y los mayores por aire. La importancia del aire en el suelo es mucha, ya que es vital para los organismos vivos y las raíces de las plantas puedan respirar. Si existe una pobre aireación se afecta el crecimiento de las plantas y disminuye la absorción de nutrientes y agua.

El aire en el suelo necesita una constante renovación y esta se puede lograr mediante 3 mecanismos:

- **Precipitación:** Disuelve el oxígeno atmosférico y lo llevan al interior del suelo.
- **Vientos o flujos de masas:** Los vientos al circular por la superficie de la tierra producen cambios de presión.
- **Difusión de moléculas:** En este caso el oxígeno se mueve de un sitio de mayor concentración a menor concentración.

1.7.4 Limo

El limo como componente del suelo es producto de los depósitos sedimentarios, típicamente resultantes de la glaciación. El tamaño de partícula de los suelos limosos varía entre los 0,002 y 0,05 mm, de acuerdo con la Universidad de Georgia. Los suelos limosos disponen de muchos nutrientes y tienen un drenaje aceptable. De hecho, es considerado uno de los suelos más fértiles. La estructura débil de los suelos limosos los hace fáciles de trabajar cuando están mojados. Cuando se secan, típicamente se sienten suaves al tacto.

No posee propiedades coloidales pero desempeña un papel importante en la retención de agua. Puede estar construido por material muy resistente al intemperismo, por lo que no está relacionado estadísticamente con las arcillas.

1.7.5 Arena

Los suelos arenosos tienen un tamaño de partícula entre los 0.05 y 2.00 mm, según la Universidad de Georgia. De acuerdo a RAIN.org, los suelos arenosos son porosos y no retienen bien la humedad ni los nutrientes. Se sienten grumosos cuando se frota entre las manos. Los suelos arenosos son conocidos por su excelente capacidad de drenaje. Se derivan de rocas muy degradadas como caliza, cuarzo, granito y pizarra. Para mejorar su capacidad para el cultivo, puedes agregarle materia orgánica como turba, abono o estiércol.

Existen diferentes tamaños y se les designa como arena gruesa, arena fina y muy fina. En todos los casos constituyen un material permeable que retiene débilmente el agua y contribuyen significativamente al drenaje de los suelos.

1.7.6 Arcilla

De los tres tipos de suelo, la arcilla tiene el tamaño de partícula más pequeño. Los suelos arcillosos retienen bien los nutrientes y la humedad. Las pequeñas partículas atraen el agua y la retienen. Consecuentemente, puede ser difícil para el agua contenida en el suelo arcilloso nutrir la vida vegetal. Adicionalmente, los suelos arcillosos pueden ser viscosos y difíciles de trabajar cuando están mojados. Cuando se secan, típicamente se encojen y agrietan. En algunos casos, el suelo arcilloso seco causa daño en las raíces o incluso empuja a las plantas completamente fuera del suelo. Si se puede mejorar el drenaje del suelo arcilloso, se convertirá en un medio más acogedor para la mayoría de las plantas. Una forma de hacer esto es agregar estiércol, turba o abono al suelo.

Se pueden considerar dentro de las arcillas a todas aquellas partículas con dos micras de diámetro o menores; aunque mineralógicamente se consideran como arcillas a los minerales secundarios productos de la intemperización de los minerales primarios como los feldespatos, anfíboles, piroxanos, micas, cuarzo, etc.

La fracción arcillosa está compuesta de material amorfo y minerales cristalinos.

- **Minerales amorfos:** Entre ellos se tienen a los alófanos, que predominan en los suelos de cenizas volcánicas. Los alófanos son silicatos hidratados con altas capacidades de retención de humedad y de fijación del fósforo y baja densidad aparente.
- **Minerales cristalinos:** Estos se dividen de estructura semilaminar, como las cloritas y los de estructura laminar como las arcillas, estas últimas están construidas básicamente por una o dos láminas de tetraedros de sílice y por una de octaedros.

1.8 Clasificación de los suelos

Existen dos clasificaciones para los tipos de suelo, una según su funcionalidad y otra de acuerdo a sus características físicas.

1.8.1 Por su funcionalidad

- **Suelos arenosos:** No retienen el agua, tienen muy poca materia orgánica y no son aptos para la agricultura, ya que por eso son tan coherentes.
- **Suelos calizos:** Tienen abundancia de sales calcáreas, son de color blanco, seco y árido, y no son buenos para la agricultura.
- **Suelos humíferos (tierra negra):** Tienen abundante materia orgánica en descomposición, de color oscuro, retienen bien el agua y son excelentes para el cultivo.

- Suelos arcillosos: Están formados por granos finos de color amarillento y retienen el agua formando charcos. Si se mezclan con humus pueden ser buenos para cultivar.
- Suelos pedregosos: Formados por rocas de todos los tamaños, no retienen el agua y no son buenos para el cultivo.
- Suelos mixtos: Tiene características intermedias entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos.

1.8.2 Por sus propiedades físicas

- Litosoles: Se considera un tipo de suelo que aparece en escarpas y afloramientos rocosos, su espesor es menor a 10 cm y sostiene una vegetación baja, se conoce también como leptosoles que viene del griego leptos que significa delgado.
- Cambisoles: Son suelos jóvenes con proceso inicial de acumulación de arcilla. Se divide en vértigos, gleycos, eutrícos y crómicos.
- Luvisoles: Presentan un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50%.
- Acrisoles: Presentan un marcado horizonte de acumulación de arcilla y bajo saturación de bases al 50%.
- Gleysoles: Presentan agua en forma permanente o semipermanente con fluctuaciones de nivel freático en los primeros 50 cm.
- Fluvisoles: Son suelos jóvenes formados por depósitos fluviales, la mayoría son ricos en calcio.
- Rendzina: Presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza.
- Vertisoles: Son suelos arcillosos de color negro, presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de roca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales, (Clasificación de los suelos, 2015).

1.9 Física del suelo

Dávalo(1991) indica, el comportamiento del suelo es conocido por sus propiedades; mientras que sus características son las que lo ayudan a definirlo. El estudio de dichas propiedades y características es generalmente conocido como física de suelos. Este conocimiento permite planear mejor las actividades agrícolas preponderantes como son: labores culturales, recuperación, conservación de suelos y manejo de agua.

1.9.1 Textura

En condiciones generales el suelo está compuesto en un 50% de sólido, un 20% fase líquida y el resto de fase gaseosa. La fase sólida es principalmente inorgánica pero asociada íntimamente con sustancias orgánicas. El tamaño de las partículas sólidas, puede variar desde fracciones coloidales, hasta fragmentos rocosos y de cuyo arreglo depende la porosidad, estructura y consecuentemente la densidad aparente.

Las partículas grandes como gravas, arenas y limos gruesos y micro agregados, constituyen la armazón o esqueleto del suelo. Las partículas pequeñas como los limos finos, arcilla y humus tienen gran actividad, debido a su gran superficie específica.

El conocimiento de la textura de un suelo nos permite hacer generalizaciones acerca de su comportamiento. La proporción relativa en que se encuentran las distintas partículas de suelo se le conoce como textura y los métodos en cómo se obtienen son los siguientes:

- Tamizado: Es aplicado a partículas mayores de 40-50 mm y se utiliza generalmente para las arenas.
- Contaje Microscópico: Se utiliza como sistema corporativo ya que es cansado y lento.
- Internacional: Sólo se utiliza con fines de calibración.
- Método de la pipeta: Es muy difundido con fines académicos pero es poco usado en la práctica, además de tener errores de diseño y manejo.
- Método del Hidrómetro: Consiste en determinar la cantidad de sólidos en suspensión. Está bastante difundido por su rapidez y simplicidad, tiene algunas deficiencias, sobre todo porque no da resultados confiables.
- Método por centrifugación: Se utiliza para separar arcillas que son poco usuales en América.
- La superficie específica: El cálculo se hace en base a los análisis mecánicos antes mencionados.
- La difracción de rayo láser: Permite medir diámetros de partículas de 0.04 a 2000 micro micras.

1.9.2 Color

El color es una de las características que más rápidamente se observan en el suelo, pero su función ha sido más que nada referencial. En el color se relacionan en diferentes grados con material parental, con el contenido de materia orgánica, condiciones de drenaje y aireación del suelo.

Entre los significados del color del suelo sobresalen los siguientes:

- Negro: Indica generalmente abundancia de materia orgánica, sin embargo, en suelos derivados de caliza, ricos en calcio, magnesio o sodio, esto no es totalmente cierto. En algunas ocasiones las arenas deben su color negro a la presencia de magnetita.
- Rojo: Es debido a la abundancia relativa de hematita FeO , es común en suelos tropicales con buen drenaje y aireación y por lo general buena estructura.
- Amarillo u ocre: Cuando el hierro es un producto de la destrucción del humus, genera tonos amarillos.
- Gris: Este color puede ser atribuido a materiales parentales pobres en hierro o a remoción del mismo por agentes quelantes o agua ácida en general; o bien cuando existen condiciones permanentes de saturación con agua.
- Azul y verde: Son debidos a la presencia de compuestos ferrosos, que se producen en las condiciones de suelos pantanosos.

- Anaranjado rosado: Son consecuencia de la mezcla de hemantita, goethita, con elementos blanquecinos, caliza o arena sílicea.
- Violeta: Es un color que está atribuido al manganeso.
- Moteado: Es debido a oxidaciones o reducciones incompletas y su abundancia y cercanía a la superficie es una medida cuantitativa de la aireación y drenaje.

Los colores del suelo están relacionados con la absorción y conservación del calor y por lo tanto con la retención de humedad.

1.9.3 Densidad

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros).

- Densidad real

Se supone que la densidad del suelo es una función aditiva de la densidad de sus componentes y la real es de los sólidos. La densidad real se ha observado que en México varía entre 1.74 y 2.78 Mg/m³ (mega gramos por metro cúbico) SEMARNAT. La densidad real de un suelo depende principalmente de la proporción de la materia orgánica e inorgánica presente, ya que aparte de ciertos minerales pesados, tales como la magnetita, la densidad de los componentes inorgánicos está comprendida dentro de una serie bastante reducida.

La densidad de la materia orgánica del suelo varía desde 1.2 a 1.7 Mg/m³, aunque esta cifra es dudosa, porque la materia orgánica de los suelos ordinarios no puede aislarse sin introducir cambios.

También se ha considerado que la densidad real de un suelo, es de poco valor para fines de clasificación, dado que la presencia de proporciones notables de materia orgánica u óxido férrico hidratado se detecta fácilmente por otros medios.

- Densidad aparente

Mientras la densidad real es una función aditiva de las densidades de los constituyentes sólidos del suelo, la aparente depende del estado de agregación del suelo y la proporción del volumen ocupado por los espacios intersticiales, que existen inclusive en los suelos compactados. Se define como el peso por unidad del volumen de un suelo secado a 105 °C en la estufa hasta peso constante y expresado como Mg/m³.

La densidad aparente de los suelos superficiales de textura fina, estarán comúnmente en el rango de 1.0 a 1.3, mientras que los de textura gruesa estarán en 1.3 a 1.8 Mg/m³.

1.9.4 Estructura

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

La agregación del suelo puede asumir diferentes modalidades, lo que da por resultado distintas estructuras de suelo. La circulación del agua en el suelo varía notablemente de acuerdo con la estructura; por consiguiente, es importante que se conozca la estructura del suelo donde se propone construir una granja agrícola. Aunque quizás no se pueda recopilar toda esta información por cuenta propia, los técnicos especializados del laboratorio de análisis de suelos podrán suministrarla después de examinar las muestras de suelo no alteradas que tome. Podrán decir si la estructura del suelo es mala o buena (poros/canales capilares, red, etc.). También podrán ofrecer información sobre el grado de circulación del agua o la permeabilidad.

En la siguiente Figura 1 se muestra la estructura buena y mala del suelo

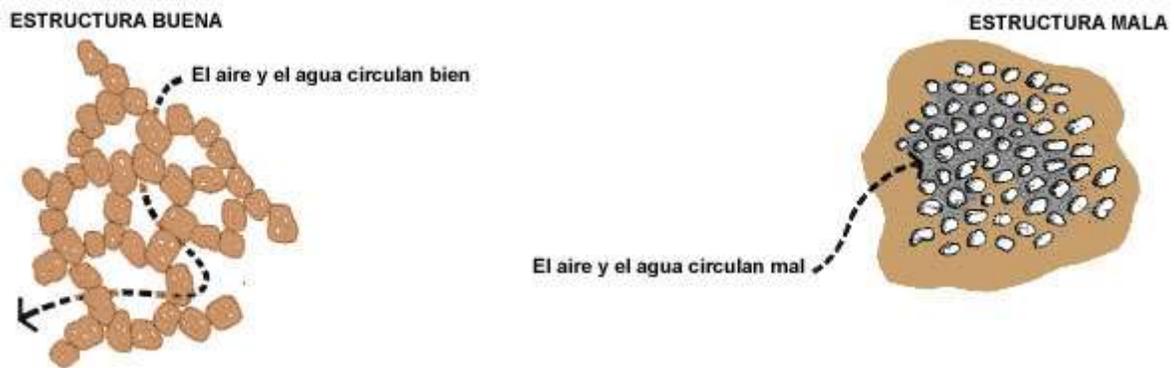


Figura 1. Estructura del suelo

La forma más provechosa de describir la estructura del suelo es en función del grado (grado de agregación), la clase (tamaño medio) y el tipo de agregados (forma). En algunos suelos se pueden encontrar juntos distintos tipos de agregados y en esos casos se describen por separado. En los párrafos siguientes se explicarán brevemente los diversos términos que se utilizan más comúnmente para describir la estructura del suelo.

Nota: la estructura característica de un suelo se puede reconocer mejor cuando está seco o sólo ligeramente húmedo. Cuando estudie un perfil de suelo para determinar el grado de la estructura, se debe cerciorar de que se trata de un perfil no alterado.

Por definición, grado de estructura es la intensidad de agregación y expresa la diferencia entre la cohesión dentro de los agregados y la adhesividad entre ellos. Debido a que estas propiedades

varían según el contenido de humedad del suelo, el grado de estructura debe determinarse cuando el suelo no esté exageradamente húmedo o seco. Existen cuatro grados fundamentales de estructura que se califican de la manera siguiente:

- Sin estructura: Condición en la que no existen agregados visibles o bien no hay un ordenamiento natural de líneas de debilidad, tales como:
- Estructura de aglomerado (coherente): Donde todo el horizonte del suelo aparece cementado en una gran masa.
- Estructura de grano simple (sin coherencia): Donde las partículas individuales del suelo no muestran tendencia a agruparse, como la arena pura.
- Estructura débil: Está deficientemente formada por agregados indistintos apenas visibles. Cuando se extrae del perfil, los materiales se rompen dando lugar a una mezcla de escasos agregados intactos, muchos quebrados y mucho material no agregado.
- Estructura moderada: Se caracteriza por agregados bien formados y diferenciados de duración moderada y evidente aunque indistintos en suelos no alterados. Cuando se extrae del perfil, el material edáfico se rompe en una mezcla de varios agregados enteros distintos, algunos rotos y poco material no agregado.
- Estructura fuerte: Se caracteriza por agregados bien formados y diferenciados que son duraderos y evidentes en suelos no alterados. Cuando se extrae del perfil, el material edáfico está integrado principalmente por agregados enteros e incluye algunos quebrados y poco o ningún material no agregado.

- Clases y tipos de estructura del suelo

La clase de estructura describe el tamaño medio de los agregados individuales. En relación con el tipo de estructura de suelo de donde proceden los agregados, se pueden reconocer, en general, cinco clases distintas que son las siguientes:

- Muy fina o muy delgada.
- Fina o delgada.
- Mediana.
- Gruesa o espesa.
- Muy gruesa o muy espesa.

El tipo de estructura describe la forma o configuración de los agregados individuales. Aunque generalmente los técnicos en suelos reconocen siete tipos de estructuras del suelo, sólo se utilizarán cuatro tipos. Estos se clasifican del 1 al 4, de la forma siguiente:

- Estructuras granulares o migajosas: Son partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos en granos pequeños casi esféricos. El agua circula muy fácilmente a través de esos suelos. Por lo general, se encuentran en el horizonte A de los perfiles del suelo.

A continuación se presenta la Estructura granular del suelo. Figura 2

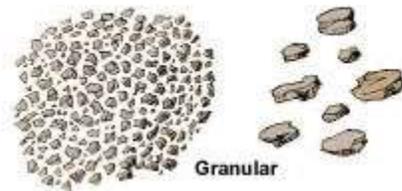


Figura 2. Estructura granular del suelo

- Estructuras prismáticas y columnares: Son partículas de suelo que han formado columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas, pero definidas. El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente. Normalmente se encuentran en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla.
- Estructura laminar: Se compone de partículas de suelo agregadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra. A menudo las láminas se traslapan, lo que dificulta notablemente la circulación del agua. Esta estructura se encuentra casi siempre en los suelos boscosos, en parte del horizonte A y en los suelos formados por capas de arcilla.
- Estructuras en bloques o bloques subangulares: Son partículas de suelo que se agrupan en bloques casi cuadrados o angulares con los bordes más o menos pronunciados. Los bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua. Suelen encontrarse en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla

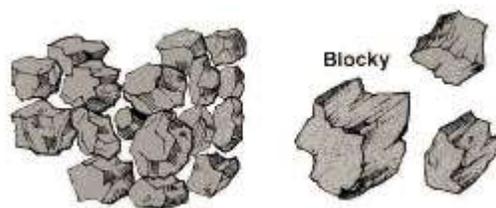


Figura 3 Estructura subangular del suelo

1.9.5 Porosidad

La porosidad, no es otra cosa que el porcentaje de espacios vacíos (poros) con respecto del volumen total del suelo (volumen de sólidos + volumen de poros). A su vez, la porosidad incluye macroporosidad (poros grandes donde se ubica el aire) y la microporosidad (poros pequeños, que definen los capilares donde se retiene el agua).

Si se considera cierto volumen de suelo en sus condiciones naturales, es evidente que solo una parte de dicho volumen estará ocupada por material sólido. El resto lo constituyen espacios intersticiales que en condiciones ordinarias del campo están ocupados en parte por agua y en parte por aire. Es dónde se realiza el intercambio gaseoso de biota del suelo y las raíces. Para muchas plantas es fundamental esta actividad, así se observó que el CO₂ reflejó la distribución de las raíces finas y que en la estación de crecimiento contribuyen con el 55% del total de la respiración del suelo a la superficie.

Los suelos superficiales arenosos generalmente tienen una densidad aparentemente mayor que la de los suelos arcillosos. Esto significa que en condiciones secas, el suelo arenoso tiene menos volumen ocupado por poros. Sin embargo, el agua generalmente se mueve mucho más rápido a través de un suelo arenoso, que a través de un suelo arcilloso.

La explicación para esto reside en el tamaño de los poros que se encuentran en cada suelo. Así, la porosidad total en un suelo arenoso puede ser baja, aunque una gran proporción de él esté compuesta de poros grandes, los cuales son muy eficientes en el movimiento de agua y aire, (FAO, 2015).

En la tabla que se muestra a continuación puede verse la microporosidad y macroporosidad adecuadas para cada diferente tipo de suelo. Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de diferentes tipos de poros en suelos. Fuente: FAO. Estructura del suelo, (2015).

Suelo Textura	Porosidad (% total)	Microporosidad %	Macroporosidad %
Arenoso	37	3	34
Franco	50	27	23
Arcilloso	53	44	9

Capítulo 2 Química del suelo

La ciencia que estudia las propiedades químicas del suelo y de sus componentes orgánicos e inorgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de éstos, se define como química del suelo; es de primordial importancia mencionar que dicha ciencia se encuentra estrechamente relacionada con algunas disciplinas de la ciencia del suelo, tales como: la química de los coloides, la fertilidad, la mineralogía y la microbiología del suelo.

La química del suelo se encarga de analizar los elementos acumulados en el complejo del suelo, necesarios para el desarrollo de las plantas. La química de los elementos implica, tanto el estudio del origen de las cargas en los coloides como los fenómenos de adsorción y el equilibrio dinámico del suelo.

Con base en la información sobre la composición, propiedades y reacciones químicas que ocurre en el suelo se pueden aclarar problemas relacionados con la fertilidad y la nutrición vegetal, (Química de suelos, 2015).

2.1 El pH

Dávalo (1991), en su libro Química de los suelos indica que el pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia. Cuando en una solución la concentración de iones hidrógeno (H^+) es mayor que la de iones hidroxilo (OH^-), se dice que es ácida. En cambio, se llama básica o alcalina a la solución cuya concentración de iones hidrógeno es menor que la de iones hidroxilo.

Los ácidos y las bases tienen una característica que permite medirlos: es la concentración de los iones de hidrógeno (H^+). Los ácidos fuertes tienen altas concentraciones de iones de hidrógeno y los ácidos débiles tienen concentraciones bajas. El pH, entonces, es un valor numérico que expresa la concentración de iones de hidrógeno.

En la figura 4 que se muestra se puede observar los niveles óptimos de pH desde el más básico hasta el más ácido.

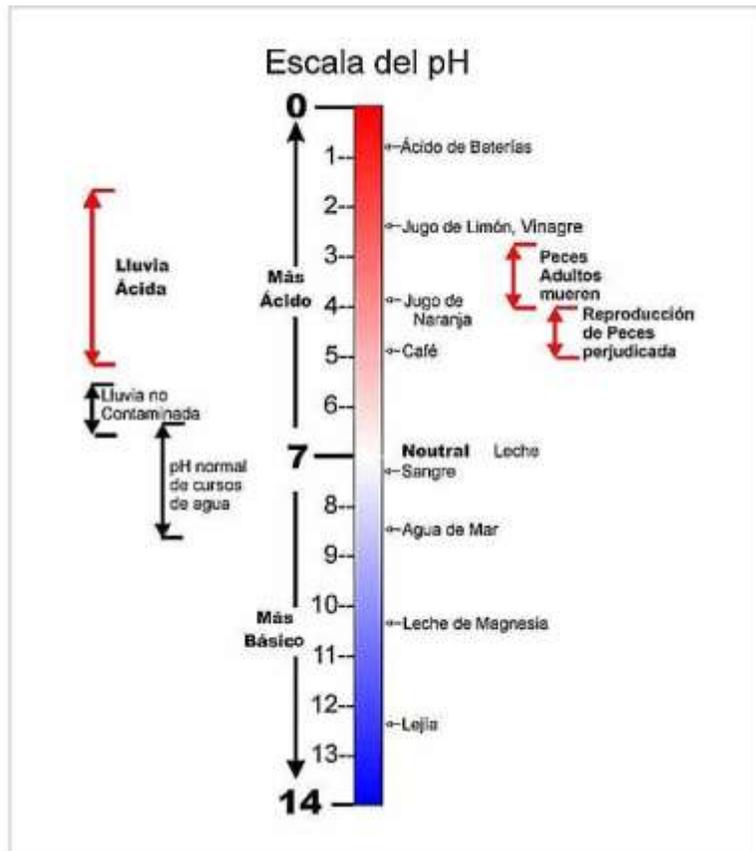


Figura 4. Escala del pH

2.1.1 Factor pH

El PH del suelo depende de diversos factores: la estación del año, las prácticas de cultivo, el horizonte muestreado, el contenido hídrico en el momento del muestreo, la técnica para determinar el PH. En la tabla 3 se muestra el pH de cada tipo de suelo.

Tabla 3. Términos usuales para describir los intervalos de pH en el suelo. Fuente: Fertilidad del suelo, (2015).

Acidez o alcalinidad	pH del suelo
Excesivamente ácido	Menor de 4
Fuertemente ácido	4-5
Moderadamente ácido	5-6
Ligeramente ácido	6-6.5
Neutro	6.5-7.5
Ligeramente alcalino	8-9
Fuertemente alcalino	9-10
Excesivamente alcalino	10 o más

En la mayoría de los suelos, el valor de PH oscila entre 4 y 8. Casi todos los suelos con PH superior a 8 poseen un exceso de sales o un elevado porcentaje de Na. Los suelos con PH inferior a 4 generalmente contienen ácido sulfúrico. La vegetación ejerce una compleja influencia sobre el PH del suelo, al producir materia orgánica y al influir el proceso de lavado.

En la Tabla 4 que se muestra a continuación se puede observar el rango de pH óptimo para algunos diferentes tipos de cultivo.

Tabla 4. Relación de algunos cultivos y el pH óptimo para su desarrollo. Fuente: Explorando México, (2015).

Cultivo	Rango pH
Alfalfa	6.2-7.8
Col	5.5-7.2
Tomate	5.2-6.7
Papa	5.0-7.0
Zanahoria	6.2-7.8
Maíz	6.0-7.0
Cebolla	6.0-7.4
Caña de azúcar	5.5-8.0
Arroz	5.5-8.0

2.1.2 Importancia del PH en los vegetales

El PH es uno de los responsables principales de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la mayor o menor asimilabilidad de los diferentes nutrientes.

El PH de la solución del suelo en contacto con las raíces puede afectar el crecimiento de las plantas en dos formas diferentes:

- Afectando la disponibilidad de los nutrientes. Valores extremos de PH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma disponible para las plantas.
- Afectando el proceso fisiológico de absorción de nutrientes por parte de las raíces: Todas las raíces vegetales presentan unos rangos de pH en los que la absorción es ideal.

2.2 Complejo arcilla-humus

El autor Sánchez (1997), menciona que el comportamiento coloidal no es exclusivo de las arcillas. Esta propiedad es compartida con el humus. Las arcillas y el humus, forman un todo único, por lo que se denomina Complejo Arcillo Húmico. El Humus es el coloide orgánico resultante de la descomposición temporal de los residuos orgánicos en el suelo. Por su estructura, el humus es

amorfo (no cristalino) de naturaleza ligno-proteica, elevado peso molecular, de color más o menos oscuro, poco soluble en el agua, siendo la fracción más estable de la materia orgánica.

2.3 Cambios en el pH

Cuando el pH es demasiado bajo, la aplicación de cal permite subirlo y por el contrario, en suelos básicos puede conseguirse un descenso mediante la aplicación de yeso. Los cambios en el pH del suelo deben hacerse en forma gradual y en un tiempo en el que el trastorno biológico sea el menos grave; por ejemplo, durante un periodo en el que no se desarrolle ningún cultivo.

Un cambio súbito en el pH causa una modificación radical en las condiciones del suelo y si el medio ambiente fluctúa con enorme amplitud, puede darse el caso de que se vean afectados tanto las plantas superiores como microorganismos. Los cambios en la relación del suelo no sólo ejercen una influencia directa sobre las plantas, sino sobre el ambiente del suelo, al crear cambios notables en la disponibilidad de los nutrimentos.

Las fases (sólida y líquida) del suelo poseen cualidades buffer, es decir, pueden obstaculizar, en mayor o menor grado, el cambio brusco de acidez o alcalinidad de la solución del suelo.

La acción buffer del suelo se explica por la presencia de sustancias orgánicas y minerales. La acción buffer del suelo y su capacidad de oponerse al cambio de pH varía dependiendo de la composición físico química del complejo absorbente. Así los suelos ricos en coloides tienen mayor poder de buffer que los suelos pobres en materia orgánica y las partículas arcillosas. Cuanto mayor es la capacidad de cambio y el grado de saturación de bases del suelo, tanto más notable serán sus cualidades buffer.

2.3.1 Acidez del suelo

Los suelos ácidos se generan por una pérdida de cationes básicos (calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na)) y una acumulación de cationes ácidos (aluminio (Al) e hidrógeno (H)). La acidez de los suelos limita el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la toxicidad de aluminio, manganeso e hidrogeno y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente calcio, magnesio y fósforo.

La causa de acidez reside en el lavado de bases por el agua de percolación. El resultado es un descenso de fertilidad y un medio poco adecuado para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Existen diferentes factores que condicionan la magnitud del proceso de acidificación.

La lluvia que cae sobre una gran porción de la superficie terrestre excede a la evapotranspiración de la mayor parte del año dado como resultado la lixiviación del suelo. Dicha lixiviación remueve gradualmente las sales solubles y, con mayor velocidad, los minerales solubles y las bases. Cuando el grado de intemperización es grande, el perfil del suelo llega a ser ácido, pero, si la intemperización aumenta aún más, los componentes ácidos son lixiviados. En esta fase el pH de la superficie del suelo se acerca a la neutralidad.

En el caso de suelos de áreas tropicales húmedas estos se encuentran sometidos a altas temperaturas, a un exceso de lluvia y meteorización, lo que resulta en una acidificación creciente. Los suelos ácidos se refieren aquellos que contienen un pH de valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año.

El laboreo de los suelos, propio de una agricultura de carácter intensivo, determina una agudización de pérdidas de bases puesto que, al dejar temporalmente el suelo sin una cubierta vegetal protectora, facilita el proceso de lixiviación de bases.

Paralelamente, la preparación de suelos provoca un drástico incremento de la mineralización del nitrógeno, principalmente de los residuos frescos. Ello se traduce en una caída del pH natural del suelo. La causa más importante es el uso indiscriminado de fertilizantes de reacción ácida del suelo.

Los suelos ácidos normalmente se dejan bajo la vegetación natural o para la silvicultura de manglares. Si se manejan bien con agua pueden soportar cultivos de palma de aceite y arroz. Otros cultivos presentes en suelos ácidos por el mundo se incluyen el arroz, la yuca, el mango, el marañón, los cítricos, la piña, los arándanos y ciertas hierbas.

Estos suelos abarcan el 5.5% del territorio mexicano y se localizan sobre todo en las zonas más lluviosas (con más de 1500 mm de precipitación total anual) de las sierras de Jalisco y Colima, cordillera costera de Guerrero, en la sierra Mixe y sierra norte de Oaxaca, los Chimalapas, selvas Lacandona y de los Tuxtlas, en la región de Chiconquiaco, Veracruz, así como zonas aledañas a los ríos Coatzacoalcos, Usapanapa y Grijalva. Los valores más bajos de pH obtenidos por INEGI son de 3.5 encontrándose en Talea de Castro, en la sierra norte de Oaxaca y en Cacahoatán, en las faldas del Volcán Tacaná, al sureste de Chiapas.

2.3.2 Alcalinidad del suelo (suelos básicos)

Se dice que un suelo es alcalino o básico cuando su pH es superior a 7,5. Las causas pueden ser varias: por ser suelos de zonas áridas con escasa pluviometría, por transportar las aguas sustancias alcalinas que se concentran en las zonas más deprimidas del terreno, o bien por la propia naturaleza del suelo (material parental).

El principal inconveniente de estos suelos es que presentan un alto contenido en carbonato cálcico, el cual va a impedir que la planta pueda absorber buena parte de los nutrientes del suelo. En consecuencia, si tenemos un suelo básico, por mucho fósforo que este tenga de forma natural, o por mucho hierro (sulfato de hierro) que apliquemos, la planta presentará carencias de fósforo y de hierro, puesto que estos elementos a pesar de estar en el suelo, se encuentran retenidos por el calcio, formando un compuesto insoluble que la planta no puede asimilar.

En México los suelos fuertemente básicos son aquellos con pH mayor a 8.5 y presentan los mayores problemas de productividad debido al exceso de sodio y potasio. Ocupan el 4.1% del país, localizándose en las zonas más áridas (con menos de 300 mm de precipitación) o en litorales fuertemente salinos. Las regiones más importantes de suelos fuertemente básicos son los médanos del norte de Chihuahua, Laguna de Mayrán, desierto de San Sebastián Vizcaíno y los Llanos de la Magdalena, en Baja California Sur.

El grupo de suelos denominados moderadamente básicos, es decir pH entre 7.4 y 8.5, se dispersan por casi la mitad del país (48.3% de la superficie total nacional) y tienen por lo general un alto contenido de calcio y magnesio. Se ubican principalmente al norte de México, sobre el Trópico de Cáncer, excepto en la Sierra Madre Occidental. También existe otra área significativa de suelos básicos al sur del país, específicamente en la sierra guerrerense, sur de Puebla y la zona caliza de la Península de Yucatán, (León Arteta, 2015).

2.3.3 Salinidad del suelo

Todos los suelos contienen sales y algunas de estas se convierten en un problema cuando se concentran en la zona radical del cultivo; a veces, el problema es el cloruro sódico (o sal de mesa) pero también pueden serlo otras sales. Las sales pueden destruir la estructura del suelo causando la expansión de las arcillas y la dispersión de las partículas finas que obstruyen los poros del suelo a través de los cuales circulan agua y oxígeno. También favorecen la formación de costras superficiales.

Cuando las plantas crecen en suelos salinos, su crecimiento se reduce y las hojas y los tallos no se expanden. Con la acumulación de las sales las hojas se mueren y eventualmente, toda la planta muere. Cuanto mayor es el nivel de salinidad más rápidamente se evidencian sus efectos y decrecen los rendimientos.

2.3.4 Suelos sódicos

Los suelos sódicos merecen ser mencionados ya que no son suelos salinos como tales pero contienen niveles relativamente altos de sodio. Esto hace que sean físicamente inestables, que se desmenucen y se agrieten cuando se secan y se hundan cuando están húmedos. Cuando se endurecen son relativamente impermeables al agua, favoreciendo la escorrentía que transporta arcilla en suspensión, materia orgánica y nutrientes. El agua con un contenido alto de sodio no debería ser usada para riego si los suelos son muy impermeables ya que la situación podría empeorar rápidamente.

2.4 Intercambio iónico

La unidad en que se expresa es el centimol carga por cada kilogramo de sustancia (cmolc kg⁻¹).

Es un fenómeno natural que los suelos reemplacen con el tiempo las bases, cationes Ca, Mg, Na, K, de los complejos de intercambio por H⁺. La acidificación de los suelos es un mecanismo normal que se produce por lavado de cationes y/o toma de nutrientes de los vegetales.

El intercambio de iones tiene la característica de ser reversible e instantáneo. Se cumple en la fase de coloides (solución del suelo).

Para su mayor comprensión se compone de los siguientes elementos:

- Intercambiador: Partículas del suelo menores de 2µm (coloides), arcillas, óxidos, compuestos húmicos, y complejos húmicos.
- Iones intercambiables: Son aquellos cationes y aniones que se absorben y des absorben sin limitaciones Ca, Mg, k, Na, Cl, SO₄.
- Iones no intercambiables: Se presentan retenidos enérgicamente (fijación), o forman parte de compuestos minerales u orgánicos.

2.5 Intercambio catiónico (CIC)

Es una propiedad química que designados procesos de:

- Adsorción de cationes por el complejo de cambio desde la solución suelo.
- Liberación de cationes desde el complejo de cambio hacia la solución suelo. Esta propiedad es atribuida a la arcilla (coloide mineral) y al humus (coloide orgánico), de manera que el CIC, está influenciado por: La cantidad y tipo de arcilla. La cantidad de humus, el pH o reacción del suelo.

El suelo tiene una capacidad interesante de retener e intercambiar iones sobre las superficies coloidales minerales y orgánicas. En él participan aniones y cationes (simples y complejos) y moléculas de agua. Está íntimamente relacionada con los procesos que regulan la acidez, la dinámica de los nutrientes, la retención de pesticidas (disminuyendo los procesos de contaminación), la formación de horizontes y el mantenimiento de la estructura de los suelos.

El intercambio catiónico es una de las propiedades más importantes del suelo y tiene influencia sobre una gran cantidad de sus características.

Se entiende por intercambio catiónico, los procesos reversibles por los cuales las partículas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, des adsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen equilibrio entre ambas fases. Estos fenómenos se deben a las propiedades específicas del complejo coloidal del suelo que tienen cargas electrostáticas y una gran superficie. La materia orgánica, arcillas y los hidróxidos funcionan como “cambiadores”.

Los cationes cambiabiles influyen en la estructura, la actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción, los procesos genéticos del suelo y su formación. Los cationes aplicados en forma de fertilizantes presentan interacciones con los cationes cambiabiles del suelo; generalmente son adsorbidos, quedando protegidos del lavado pero aún disponibles para la planta.

Como cationes cambiabiles en el suelo presentan principalmente Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn, e H. Ellos forman el enjambre de iones que cubre el complejo coloidal. La suma de los cationes Ca, Mg, K, y Na cambiabiles se denomina bases cambiabiles (valor S) y su porcentaje dentro de la capacidad total del intercambio se llama porcentaje de saturación (valor V). La suma de la acidez y las bases cambiabiles es la capacidad de intercambio catiónico.

La adsorción de cationes depende de la atracción electrostática entre las cargas residuales negativas de los complejos húmicos-arcillosos de los suelos y los cationes. Los cationes son “retenidos” por los complejos y permanecen en “equilibrio” con los iones de la “solución del suelo”.

Este equilibrio depende de:

1. La concentración de la solución y la actividad relativa de cada ion: Es la más importante; al aumentar la actividad del catión en la solución, aumenta el desplazamiento de cationes hacia el complejo de cambio (acción de masa).
2. La característica de cada catión: Valencia y grado de hidratación. Es dependiente de valencia del catión, los cationes polivalentes son adsorbidos en más cantidad y fuerza que los monovalentes.
3. El estado de oxidación, que provoca cambios en su valencia, determinando una preferencial fuerza de unión en la medida que aumenta la carga +.
4. El grado de hidratación, los cationes más hidratados son menos adsorbidos al complejo. Intercambio de iones.
5. Grado de afinidad entre el intercambiador y el catión: Se manifiesta en casos muy específicos, alterando las características anteriores. El efecto de las características de los iones, determina el mecanismo de adsorción - desorción, con desplazamiento de algunos iones y ubicación de otros en el complejo de intercambio. La actividad del catión en solución es la fuerza más importante que determina el mecanismo de desplazamiento.

2.6 Intercambio aniónico (CIA)

Se produce a través del desarrollo de cargas positivas en arcillas y sustancias orgánicas del suelo. Es en cantidad, significativamente menor que la CIC. En suelos normales la CIA llega a valores de 0.2 - 2 cmolc kg⁻¹. En suelos tropicales con alto contenido de caolinita y arcillas de óxidos o en suelos ácidos de alófanos pueden encontrarse valores de 10-15 cmolc kg⁻¹ o más. El proceso que caracteriza la CIA es el desarrollo de cargas positivas: Las cargas positivas se incrementan cuando aumenta la acidez, por lo tanto la CIA es un fenómeno pH dependiente originado por.

- El bloqueo de cargas de las arcillas: A pH ácido se produce la asociación de H^+ a los grupos Al-OH y Fe-OH de las aristas y paredes rotas de las arcillas, produciéndose carga neta positiva. Ejemplo: Al-OH₂⁺, Fe-OH₂⁺ en caras y aristas de arcillas.
- De hidróxidos de Hierro y Aluminio: El mecanismo de producción de cargas positivas es similar al anterior, Al-OH₂⁺, Fe-OH₂⁺.
- De los complejos húmicos: sus -H y -NH₂ se asocian con los H⁺ del medio ácido dando origen a cargas +, =NH₂⁺ y -NH₃⁺.

Aniones intercambiables: Los principales son PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ y Cl⁻, también aniones orgánicos como citrato y elementos de menor concentración como boratos y molibdatos.

2.7 Reacción del suelo

Es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana.

Entre las principales características del suelo, su reacción es una de las más importantes, ya que su estudio ha puesto de manifiesto la estrecha relación que la une con la configuración de sus estructuras, la meteorización, la humificación, movilidad de nutrientes, etc., y en consecuencia, con las especies vegetales que mejor se desarrollan en cada tipo de suelo. Tanto las propiedades físicas como químicas y biológicas son influenciadas por esta característica.

La reacción del suelo viene expresada por el pH, que corresponde a su fase acuosa o disolución salina. Pero tanto ésta como los coloides ionizables en él presentes, son los que regulan sus distintos valores. En función de ellos son posibles tres condiciones: acidez, neutralidad y alcalinidad.

En la práctica agrícola uno de los factores limitantes para obtener la cosecha máxima de los cultivos es la reacción del suelo, el exceso de acidez, alcalinidad o salinidad.

2.7.1 Origen y causas de la reacción del suelo

La acidez aparece normalmente en suelos localizados en regiones de alta pluviometría, los cuales están sometidos a un continuo y amplio lavado. Debido a ello, el agua disuelve las bases solubles, que percolan y se pierden por lixiviación en proporciones considerables. Junto a esto hay que añadir las que son desplazadas del complejo adsorbente por el hidrógeno y también las que son captadas por las plantas. El continuo lavado va provocando la aparición de una acidez que viene incrementada, al mismo tiempo por la segregación de las raíces y por los compuestos ácidos que se originan en la degradación de la materia orgánica por los microorganismos.

Todas estas circunstancias dan lugar a que el complejo coloidal del suelo se fije gran cantidad de H^+ . Y como este hidrógeno, al producirse su disociación, tiende a estar en equilibrio dinámico con la disolución del suelo, esta se enriquece en H^+ y el pH desciende.

La alcalinidad se produce cuando hay escasez de agua y el complejo coloidal presenta un alto grado de saturación de bases. Por ello, debido a su carácter básico, puede hidrolizarse dando lugar a un predominio en la disolución del suelo de OH^- sobre los H^+ producidos en la disociación.

En este sentido, tienen gran incidencia las aportaciones orgánicas, siempre inferiores a las de los climas húmedos; la disminución de la actividad microbiana por la escasa humedad y aportación vegetal; y los procesos de meteorización de los minerales del suelo, los cuales, en su descomposición, liberan cationes que pueden pasar a enriquecer el complejo coloidal. Estos aumentos son frecuentes en los suelos de regiones áridas y semiáridas, ya que al ser la pluviometría de ellos baja, las aguas de lavado no eliminan los cationes metálicos que van apareciendo durante la meteorización.

En general, esta situación es favorable para la producción de cultivos, y sólo cuando el pH es excesivamente alto, o cuando el sodio es el catión dominante (suelos alcalinos ácidos), el crecimiento de las plantas puede efectuarse desfavorablemente.

2.7.2 Modificación de la reacción el suelo

2.7.2.1 Acidificación

En determinadas ocasiones, es conveniente aumentar la acidez del suelo para favorecer el desarrollo de determinadas plantas, o bien porque existe una gran riqueza de carbonatos.

Diversos materiales se utilizan para este fin: El azufre elemental además de ser barato, también es el más eficaz. Se aplica pulverizando semanas antes de iniciar la plantación del cultivo.

Para las plantas que requieren cantidades considerables de hierro se recomienda sulfato ferroso. Esta sal, por hidrólisis, origina ácido sulfúrico, con lo que cumple la doble misión de acidificar el suelo y proporcionar hierro soluble.

La acidificación del suelo sólo puede ser recomendable en la producción intensiva de cosechas, y sobre superficies relativamente pequeñas.

2.7.2.2 Alcalinización

La disminución de la acidez del suelo por adición de compuestos de calcio y magnesio es una práctica común en suelos de regiones húmedas. Los compuestos más generalmente usados son los carbonatos y los hidróxidos de calcio y magnesio y tiene la ventaja de no dejar en el suelo residuos perjudiciales.

Las cantidades a aplicar dependen de muchos factores: pH, porcentaje de saturación de bases, tipo de cosecha a desarrollar, etc.

2.8 Oxidación y reducción

Las condiciones de oxidación y reducción del suelo son de gran importancia para procesos de meteorización, formación de diversos suelos y procesos biológicos; están relacionadas también con la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos.

La oxidación resulta cuando un átomo acepta electrones, inversamente, la reducción se produce cuando un átomo cede electrones, (Fassbender, 1975).

Capítulo 3 Nutrimientos del suelo

Yrigayen (1984), en su libro Fertilizantes orgánicos. Cómo usarlos para aumentar la producción agropecuaria de América Latina en base a los conceptos nuevos de fertilización desarrollados en forma accesible al productor, indica que las plantas, al igual que los humanos y los animales, no sólo necesitan suficiente alimento, sino también una dieta equilibrada que las haga crecer sanas y producir los máximos rendimientos.

Cuando cualquiera de los elementos nutritivos para las plantas no se encuentre en forma aprovechable en cantidad suficiente, el desarrollo se verá afectado.

Las deficiencias agudas generalmente se traducen en anormalidades que pueden detectarse mediante la observación. La identificación de las deficiencias agudas es importante, pero cuando aparecen tales deficiencias y se identifican es muy común que ya sea demasiado tarde para el tratamiento efectivo del cultivo.

El hambre oculta merma una proporción mucho mayor de rendimientos y ganancias porque es más generalizada y pasa inadvertida. El hambre oculta, puede ser difícil o imposible de corregir en el cultivo que se esté efectuando, pero puede prevenirse para futuras cosechas. El hambre oculta se encuentra entre las deficiencias agudas y los requerimientos máximos. Para poder identificar más fácilmente el hambre oculta se puede ayudar de las deficiencias que se muestran de los elementos más emblemáticos para el correcto crecimiento y nutrición de la planta.

De los 16 elementos químicos conocidos hasta ahora como necesarios para el desarrollo de las plantas, 13 son nutrimentos derivados de la tierra, debido a que normalmente entran a la planta a través de las raíces.

No es la cantidad total de elementos nutritivos en el suelo la que determina el crecimiento de las plantas, sino su disponibilidad. Los nutrientes se hacen disponibles en gran parte debido a procesos biológicos en el suelo. La mayor parte de los nutrientes está almacenada en el humus.

3.1 Calidad del suelo

El autor García Hernández(2010), menciona que la calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos. La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye la salud del suelo.

Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. A pesar de su importancia, la ciencia del suelo no ha avanzado lo suficiente para definir claramente lo que se entiende por calidad. El término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo:

- Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- Atenuar contaminantes ambientales y patógenos.
- Favorecer la salud de plantas, animales y humanos.

Se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas ya que capta, retiene y emite agua y es un filtro ambiental efectivo. En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa.

3.2 Tipos de nutrientes

Se clasifica a los nutrimentos derivados del suelo en tres grupos para el propósito de entrar en tratamiento de sus funciones de las plantas.

En la Tabla 5 se indica forma de absorción de los diferentes tipos de elementos que conforma la planta a continuación:

Tabla 5. Elementos esenciales, símbolo, formas de absorción y composición aproximada en las plantas. Fuente: Manual del compostaje del agricultor, (2013).

Elemento	Símbolo	Forma de absorción	% en la planta
Carbono	C	CO ₂	40-50
Oxígeno	O	O ₂ y H ₂ O	42-44
Hidrógeno	H	H ₂ y H ₂ O	6-7
Nitrógeno	N	NO ₃ y NH ₄	1-3
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ y NPO ₄	0.05-1
Potasio	K	K	0.3-3
Calcio	Ca	Ca ²	0.5-3.5
Magnesio	Mg	Mg ²	0.03-0.8
Azufre	S	SO ₄ ²⁻	0.1-0.5
Hierro	Fe	Fe ²	100-1000ppm
Cobre	Cu	Cu ²	10-40ppm
Manganeso	Mn	Mn ²	50-300ppm
Zinc	Zn	Zn ²	10-20
Boro	B	H ₂ BO ₃	50-300PPM
Molibdeno	Cl	Cl	
Sodio	Na	Na	

A continuación se mencionan los nutrimentos necesarios para el correcto desarrollo de una planta.

- Nutrimentos primarios (N, P₂O, K₂O). Se denominan así porque, normalmente, el suelo no puede suministrarlos en las cantidades relativamente altas que se necesitan para el desarrollo saludable de la planta. Posteriormente, se ahondará más en este tema.

- Nutrimientos secundarios (Ca, Mg, S). Se llaman así porque también los necesitan las plantas en cantidades óptimas. Se presentan en proporciones adecuadas en algunas regiones y faltan otras.

Se indica de forma breve la manera en que los diferentes nutrientes interfieren con el desarrollo de la planta.

Calcio (Ca)

Activa la temprana formación y el crecimiento de las arcillas.

Mejora el vigor general de la planta y atesa el pasto.

Facilita el mejoramiento de la estructura de la tierra.

Neutraliza los tóxicos producidos en la planta.

Estimula la producción de semilla y grano.

Magnesio (Mg)

Componente esencial en la clorofila.

Ayuda a regular la asimilación de otros nutrientes.

Actúa como transportador de fósforo en la planta.

Azufre(S)

Ayuda a mantener el color verde intenso.

Estimula la formación de semilla.

Procura el crecimiento más vigoroso de la planta.

- Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn). También se les denominan huellas de nutrientes, debido a que la planta los requiere en pequeñas cantidades, normalmente se encuentran disponibles en cantidades adecuadas en muchos suelos. Los suelos arenosos y turbosos son los más deficientes, sin embargo, aunque la planta los requiere en cantidades muy pequeñas, una deficiencia de algún micro nutriente se verá reflejado en los rendimientos de la cosecha.

Al igual que se hizo anteriormente, se indica de forma breve cómo este tipo de nutrientes ayudan al desarrollo de la planta.

Boro (B)

Aumenta el rendimiento o mejora la calidad de la alfalfa la fruta y las verduras.

Está ligado con la asimilación del calcio y con la transferencia del azúcar dentro de la planta.

Es importante para la producción seminal de las legumbres.

Su deficiencia puede ocasionar tallos improductivos de maíz.

Cobre (Cu)

Importante en la utilización de suelos turbosos.

Hierro (Fe)

Está ligado a la producción de clorofila.

Normalmente no es aprovechable en las formas tratadas con exceso de cal o alcalinas.

Manganeso (Mn)

Acelera la germinación y maduración.

Aumenta el aprovechamiento del calcio, el magnesio y el fósforo.

Fomenta la oxidación del suelo.

Molibdeno (Mo)

Es esencial en la asimilación y fijación del nitrógeno en las legumbres.

Importante en las regiones de suelos ácidos para cultivos como legumbres, tomates, remolachas y crucíferas.

Elimina las manchas amarillas de los cítricos.

Cinc (Zn)

Necesario para la producción normal de clorofila y para el crecimiento.

A menudo es deficiente en suelos alcalinos o con cal excesiva, (Yrigayen, 1984).

3.2.1 Nitrógeno

Es un elemento esencial para todos los seres vivos. Además de ser un componente específico de las proteínas, está presente en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de las plantas.

Está demostrado que el nitrógeno es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro puede provocar notables descensos en la producción vegetal, fuente ésta, directa o indirecta, de las sustancias proteicas que aseguran la nutrición del hombre y de los animales en general.

Es constituyente de un gran número de compuestos orgánicos que son esenciales en su metabolismo. Además de formar parte de la estructura de todas proteínas y de moléculas importantes, es componente de los ácidos nucleicos (ADN y ARN).

3.2.1.1 En la planta

La planta absorbe el nitrógeno que es necesario para las síntesis de sus tejidos. Aproximadamente, se considera que este elemento constituye el 2% en peso seco de las plantas.

Los mayores contenidos de nitrógeno en las plantas se encuentran en los tejidos jóvenes. En estos, el porcentaje suele oscilar entre 5.5 y 6.5% en peso seco. A medida que la planta avanza en edad, la proporción de celulosa aumenta, el porcentaje de nitrógeno disminuye y se eleva la relación C/N. Las hojas suelen ser más ricas en nitrógeno, pero su valor disminuye durante la floración. En la

planta, el nitrógeno se encuentra fundamentalmente bajo la forma orgánica, así se encuentra en moléculas como las purinas, pirimidias, porfirinas, vitaminas alcaloides y enzimas.

El nitrógeno también puede hallarse en la planta bajo formas inorgánicas, compuestos amónicos, nitritos, nitratos, pero solamente constituyendo una pequeña porción del total. El tallo de la planta parece ser el lugar preferente de almacenamiento. Los valores máximos suelen observarse en el periodo que precede inmediatamente a la floración.

La forma de asimilación del nitrógeno depende en gran manera de la edad de la planta y de la especie, del pH del suelo, de su composición, e incluso de la pluviometría anual. La remolacha manifiesta una marcada preferencia por el nitrógeno nítrico, porque los suelos más apropiados para este cultivo tienen un pH de 7-7.5, que corresponde al valor óptimo de nitrificación. El maíz y la cebada se desarrollan de forma satisfactoria en suelos privados de sus nitratos, utilizando sólo nitrógenos amoniacales. En los suelos ácidos, normalmente sometidos a lluvias continuas y donde se inhibe notablemente la nitrificación, las plantas pueden adaptarse a una asimilación amoniacal: árboles frutales, patatas, arroz, etc.

En la mayoría de los suelos cultivados, las plantas superiores absorben el nitrógeno del suelo fundamentalmente en forma de nitrato. En los suelos de cultivo, los iones amonio añadidos se oxidan rápidamente a nitratos y por lo tanto, siempre será la forma presente en mayor proporción en la disolución del suelo.

Una insuficiente nutrición en nitrógeno se manifiesta en primer lugar, por una vegetación raquítica. La planta se debilita, se desarrolla poco, las hojas permanecen pequeñas, adquieren notable rigidez y toman un color verde amarillento. En los casos graves de deficiencia, las hojas adquieren una coloración anaranjada, púrpura o violeta y en los bordes la floración es muy escasa. La deficiencia se presenta primero en las hojas más viejas y se desplaza hacia las hojas jóvenes, además, viene acompañada de una maduración acelerada del fruto y una disminución del rendimiento.

La forma más utilizada de remediar una deficiencia de nitrógeno es por aplicación de nitratos. La urea es un fertilizante nitrogenado muy adecuado, sin embargo, el uso inadecuado del mismo suele forzar la producción sin reparar en la calidad del cultivo.

La abundancia nitrogenada en la planta presenta otros signos como son: cantidades excesivas de plantas muy maduras, pocas partes leñosas, disminución muy marcada en el desarrollo de las raíces y con un amplio desarrollo vegetal, las hojas toman un color verde muy oscuro y la maduración se retrasa. En muchos cereales, se alarga el periodo de crecimiento, lo que trae un mayor contenido de paja en relación al grano y en muchos otros cultivos la calidad desciende notablemente como en los cultivos agrios que se presenta una piel más gruesa, poco jugo y poco contenido de vitamina C. Por último, una abundancia nitrogenada puede dar lugar a una mayor sensibilidad a las enfermedades y a las condiciones climatológicas como sequías y heladas

3.2.1.2 En el suelo

Bajo condiciones naturales, el nitrógeno del suelo no proviene de la degradación de la roca madre. Todo lo que en él se encuentra se deriva, en última instancia, del que existe en la atmósfera terrestre a través de distintos procesos de fijación.

La transformación del nitrógeno molecular atmosférico en nitrógeno del suelo utilizable se realiza principalmente por dos procesos:

- 1) El nitrógeno puede oxidarse y pasar a forma de óxidos, por acción de las descargas eléctricas, y estos compuestos a su vez trasladados al suelo por la lluvia y depositados en él como ácido nitroso o nítrico.
- 2) Fijación biológica: Es decir, por medio del conjunto de reacciones gracias a las cuales los organismos vivos integran el nitrógeno molecular en sus estructuras como componente de diversos compuestos. Ciertos microorganismos que viven libremente en el suelo son capaces de realizar esta acción.

La mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentra formando parte de la materia orgánica que en el suelo se deposita a la muerte de citados microorganismos y de las plantas que de ellos se benefician. Todos los suelos contienen en su seno una pequeña cantidad de nitrógeno en forma de compuestos relativamente simples, como aminoácidos, sales amónicas y nitratos. De estos compuestos, especialmente las sales amónicas y nitratos es de dónde las plantas obtienen su nitrógeno.

En los suelos cultivados considerados en su conjunto, dentro de los límites de una zona climática o dentro de los confines de una finca o de una pequeña parcela, el contenido de nitrógeno varía según las condiciones de drenaje, topografía y textura del suelo.

Suelos con un drenaje insuficiente presentan corrientemente altas cifras de humedad y poca aireación, en estos casos suele hallarse en ellos un mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno. En cambio, los suelos arenosos contienen por lo general menos materia orgánica y nitrógeno que los de textura fina.

Está establecido que el nitrógeno únicamente se puede incorporar en los sistemas biológicos cuando está combinado con ciertos elementos, como el hidrógeno y el oxígeno.

En la naturaleza la fijación de nitrógeno es una facultad reservada a unos cuantos géneros de bacterias que pueden clasificarse dentro del grupo de bacterias con el nombre Cianobacterias. Otras bacterias fijadoras de nitrógeno viven asociadas con la plantas huéspedes y muchas viven libremente en el suelo o en el agua. Un cierto número de bacterias heterótrofas es capaz, gracias a la energía liberada por la oxidación del carbono orgánico, de fijar nitrógeno molecular de la atmósfera y de hacer, así, la síntesis de sus constituyentes celulares. Este es el hecho esencial que explica por qué el suelo se enriquece por sí sólo en nitrógeno.

Las bacterias adecuadas pueden aportarse al suelo de dos formas:

- Añadiendo suelo de un campo donde la cosecha se ha desarrollado con éxito.
- Mezclando las bacterias contenidas de un cultivo puro con la semilla antes de la siembra. Las bacterias, una vez establecidas en el suelo pueden permanecer en él durante años sin que se cultive ninguna leguminosa, ya que es reconocido que algunos cultivos como alfalfa, trébol, guisantes, habas, lentejas, soja y otros, revitalizan el suelo haciendo posible el desarrollo de grandes cosechas de cereales, después de que aquellas plantas ocuparon el suelo.

El nitrógeno es eliminado en parte del suelo por las cosechas. El cultivo intensivo y continuo de los suelos, sin intercalar leguminosas como se mencionó anteriormente, en las alternativas, e incluso el cultivo esmerado del suelo, dejándolo sin hierbas empobrece el suelo en nitrógeno. Y en estas condiciones los nitratos originados son fácilmente perdidos por lixiviación. No pueden darse datos concretos de estas pérdidas, pero existen grandes variaciones. En la agricultura intensiva, oscila entre 50 y 250 Kg/Ha año, aunque puede aceptarse como término medio una salida de 100Kg/Ha año.

3.2.2 Potasio

El potasio es un nutriente esencial para las plantas y es requerido en grandes cantidades para el crecimiento y la reproducción de las plantas. Se considera segundo luego del nitrógeno, cuando se trata de nutrientes que necesitan las plantas y es generalmente considerado como el "nutriente de calidad". El potasio afecta la forma, tamaño, color y sabor de la planta y a otras medidas atribuidas a la calidad del producto.

3.2.2.1 En la planta

El potasio es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ y este elemento se representa bajo la forma de óxido potásico.

En las hojas de las plantas superiores, un 30% se encuentra en los coloides del citoplasma y un 70% en sus vacuolas.

Los tejidos jóvenes y sanos lo retienen bastante energicamente y en estas condiciones se difunde lentamente en agua fría, pero los tejidos viejos alterados, puede haber pérdidas por lavado de los órganos aéreos bajo la acción de lluvias. La mayor parte del potasio se encuentra en la planta bajo la forma de combinaciones solubles en agua fácilmente dissociables, asegurando su movilidad.

El potasio actúa en la planta neutralizando los ácidos orgánicos resultantes del metabolismo y asegura así la constancia de la concentración de H^+ de los jugos celulares.

También desempeña una importante función en la fotosíntesis, ya que se considera que el potasio acumulado en la superficie de los cloroplastos penetra en su interior donde neutraliza los ácidos orgánicos que se van formando. Con ello se mantiene el pH estable y óptimo para el desarrollo del metabolismo.

Actúa como un regulador de la presión osmótica celular, hace distribuir la transpiración y contribuye a mantener la turgescencia celular.

La falta de potasio origina un retraso general del crecimiento, que se hace notar especialmente sobre los granos de reserva: semillas, frutos o tubérculos. Este signo de deficiencia se observa netamente cuando su contenido de potasio es de 3 a 5 veces inferior al normal. Los tallos son más delgados, ya que todo el elemento es utilizado en el ápice vegetativo. Esta particularidad puede ocasionar en los cereales un debilitamiento y rotura del tallo, con las consiguientes pérdidas en grano.

Si el estado deficitario se agudiza, es en las hojas donde pueden apreciarse los síntomas más claros. Se inicia un moteado de las manchas cloróticas y prosigue por el desarrollo de amplias necrosis en la punta y en los bordes. La hojas tienden a curvarse hacia arriba, en forma de teja, enrollándose cada vez en forma de cigarro, adquiriendo la planta un aspecto de quemado. Así también se tiene otros síntomas como menor resistencia al frío, tendencia al marchitamiento y descenso general en los rendimientos. Para contrarrestar este problema, una buena fuente de potasio es el estiércol.

3.2.2.2 En el suelo

La corteza terrestre contiene aproximadamente 2.5% de K, siendo el contenido en potasio mayor en las rocas ígneas que en las sedimentarias. El contenido de K varía en los suelos generalmente entre 0.04% y 3%, en los casos excepcionales como en suelos alcalinos, el contenido de potasio puede llegar hasta 8%.

El potasio de la solución del suelo es directamente disponible por la planta y bajo condiciones específicas puede ser percolado constituyendo a veces una pérdida de K en el suelo; la que puede variar entre 5 y 250kg/ha año según las condiciones de contenido de K, intensidad de precipitación pluvial y cobertura vegetal.

El K intercambiable que se encuentra absorbido al complejo coloidal (arcillas, materia orgánica, hidróxidos) está en equilibrio con el K de la solución del suelo. Al absorber K las plantas o al ser éste lavado, se produce su reposición en la solución del suelo a partir del K cambiante, por lo que esta fracción es muy importante en la nutrición vegetal, ya que presenta una reserva donde se almacena el K que poco a poco se pone a disposición de la planta. Al mismo tiempo que este potasio se protege del lavado a través de la absorción.

3.2.3 Fósforo

Se ha establecido que el fósforo en forma de fosfato es un nutriente necesario para el desarrollo adecuado de los cultivos ya que:

- Estimula la pronta formación de las raíces.
- Acelera la maduración.
- Estimula la formación de la semilla.
- Da vigor a los granos sembrados en inviernos

El fósforo (P) es uno de los 16 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Sus funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente y se requiere un adecuado suplemento de P para que la planta crezca y se reproduzca en forma óptima. El P se clasifica como un nutriente primario, razón por la cual es comúnmente deficiente en la producción agrícola y los cultivos lo requieren en cantidades relativamente grandes. La concentración total de P en los cultivos varía de 0.1 a 0.5 %.

3.2.3.1 En la planta

El fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en una concentración variable. Su valor medio expresado en P_2O_5 , puede situarse entre 0.5 y 1% (como ya se mencionó anteriormente).

El P penetra en la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radiculares y de la punta de la raíz. La absorción también se produce a través de las micorrizas, que son hongos que crecen en asociación con las raíces de muchos cultivos. El P es absorbido por la planta principalmente como ion ortofosfato primario ($H_2PO_4^-$), pero también se absorbe como ion fosfato secundario (HPO_4^{2-}), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que se sube el pH.

Una vez dentro de la raíz, el P puede quedarse almacenado en esta área o puede ser transportado a las partes superiores de la planta. A través de varias reacciones químicas el P se incorpora a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos fosfatados ricos en energía como la adenosina trifosfato (ATF). El P se mueve en la planta en forma de iones ortofosfato y como P incorporado en los compuestos orgánicos formados. De esta forma el P se mueve a otras partes de la planta donde estará disponible.

El P juega un papel vital virtualmente en todos los procesos que requieren transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que son parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADF) y de la ATF, son la fuente de energía que empuja una multitud de reacciones químicas dentro de la planta. La transferencia de los fosfatos de alta energía del ADF y ATF a otras moléculas (proceso denominado fosforilación), desencadena una gran cantidad de procesos esenciales para la planta.

Las células de las plantas pueden acumular nutrientes en concentraciones mucho mayores a las que están presentes en la solución del suelo que les rodea. Esta condición permite que las raíces extraigan nutrientes de la solución del suelo donde se encuentran en concentraciones muy bajas. El

movimiento de nutrientes dentro de la planta depende en mucho del transporte a través de las membranas de las células, proceso que requiere de energía para contrarrestar las fuerzas de osmosis.

Los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo anormalmente débil del vegetal tanto en la parte aérea como en el sistema radicular. Las características más específicas aparecen en las hojas que se hacen más delgadas, erectas, de menor tamaño que las normales. En los árboles frutales, las hojas tienden a tomar tonos pardos rojizos, se necrosan y se caen precozmente; la madurez del fruto se retrasa. En la planta, la deficiencia provoca la aparición de manchas grises en la parte central y un sistema radicular notablemente reducido.

Las alteraciones por exceso de fósforo se observan sólo en cultivos en medio líquido. En ciertos suelos enriquecidos fuertemente por aportaciones masivas y repetidas de fertilizantes fosforados solubles.

3.2.3.2 En el suelo

Este elemento procede sólo de la descomposición de la roca madre durante el proceso de la meteorización y representa alrededor del 0.1% de la corteza terrestre. El contenido total que generalmente suele ser más alto en los úselos jóvenes y vírgenes y en las áreas donde las lluvias son excesivas.

La mayor parte del fósforo normalmente presente en los suelos no es aprovechable por las plantas, debido a su gran insolubilidad; y que el elemento para que pueda ser asimilado, es necesario que se encuentre como PO_4H_2 o PO_4H^{-2} en la disolución del suelo.

Normalmente en todos los suelos, la cantidad de fosfato asimilable que contiene la disolución es muy pequeña. Esta cantidad depende de la modificación del equilibrio dinámico que mantiene la disolución con los compuestos orgánicos insolubles o fijados por una parte, y la formación y descomposición de la materia orgánica por otra.

Varios factores pueden modificar este equilibrio. De todos ellos, el pH del suelo es realmente el que coincide el tipo de reacciones y situaciones posteriores que pueden aparecer en el suelo y que controlan, en definitiva, el aprovechamiento de las formas asimilables del fósforo por las plantas.

Considerando solamente el factor pH, la asimilación del fósforo por las plantas sería normal a pH bajos, es decir; cuando la disolución del suelo presentara una acidez notable, ya que la forma PO_4H_2 es la más asimilable.

Otro factor a considerar es la materia orgánica presente en los microorganismos del suelo. Un alto contenido de materia orgánica y su rápida descomposición origina una alta población de microorganismos, los cuales al necesitar fósforo para el desarrollo de su ciclo vital, retiene temporalmente una cierta cantidad del que pudiera ser utilizado por el cultivo. En este entorno, el humus que se va originando, puede retener los aniones de fosfato.

Cuando el fósforo ya se encuentra fijado en el suelo, las formas en que se puede experimentar pérdida son:

- Extracción por cultivos: La exportación de fósforo, según datos obtenidos a este respecto, suele oscilar, por término medio entre 4 a 6kg/Ha. La cantidad de 6kg/Ha es aproximadamente 0.4% del contenido medio del fósforo en la capa arable de un suelo cultivo. En aquellos suelos donde se practica un cultivo intensivo, la eliminación de fósforo puede ser más elevada.
- Lixiviación: La proporción del fósforo en la disolución del suelo está comprendida entre 0.1 y 1 mg/l. Se requerirían miles de años para que estas pérdidas puedan tener significación. Sin embargo, cuando se añaden al suelo fertilizantes fosfóricos solubles, estas pérdidas pueden ser apreciables en un corto plazo.
- Erosión: Esto se debe a que las partículas finas del suelo donde se encuentra el fósforo son levantadas más fácilmente que las partículas gruesas. Las pérdidas de fósforo por erosión pueden ser notables en algunos lugares. Se sugieren pérdidas de 11-12 kg/Ha.

La problemática del fósforo en el suelo, permite señalar un análisis final de hechos importantes bajo el punto de vista agronómico:

- Una cantidad total pequeña se encuentra normalmente presente en los suelos.
- Falta de aprovechamiento del fósforo natural, ya que casi en su totalidad no es utilizable por la planta.
- Insolubilización amplia cuando se añaden al suelo fertilizantes solubles.
- Necesidad de añadir altas dosis de fertilizantes para una baja utilización por la planta, esto implica pérdidas económicas.

Los esfuerzos, por lo tanto, deben dirigirse por una parte a lograr el máximo aprovechamiento del fósforo natural del suelo y la otra a encontrar la forma más conveniente para retrasar la insolubilización de los compuestos de fósforo añadidos como fertilizantes solubles, (Navarro, 2003).

3.2.4 Nutrientes menores

Entre los elementos menores hay que diferenciar entre dos grupos de naturaleza y comportamiento químicos completamente diferentes. Mientras que el Boro y el Molibdeno son absorbidos por las plantas como H_2BO_3 y MoO_4 , en ellas constituyen sustancias orgánicas al igual que el N, P, y el S son objeto de mineralización y humificación en el suelo.

El boro presente en los suelos proviene de rocas ígneas y sedimentos marinos. Se encuentra en cantidades pequeñas, menores que el 0.0.1% y puede ser de naturaleza orgánica e inorgánica.

El contenido en molibdeno total de los suelos varía entre 0.3 y 5ppm. Se encuentra en formas inorgánicas: formando minerales, absorbido al complejo coloidal del suelo y disuelto en la solución del suelo y en formas orgánicas asociado con el humus.

3.3 Origen de los nutrientes

Los nutrientes que la planta necesita para un adecuado desarrollo provienen de muchas fuentes que parecería que es muy sencillo de obtener como son:

- Reservas naturales del suelo: Composición del suelo, elementos disponibles y cambiables (las arcillas y la materia orgánica, son la fuente de reserva del suelos por ser de naturaleza coloidal) y de las condiciones meteorológicas.
- Fertilizantes minerales: Una amplia gama de abonos simples y compuestos y micronutrientes quelatados y complejados y en menor medida los fertilizantes orgánicos (aminoácidos y hormonas).
- El agua de riego: Gran cantidad de agua circula por las plantas (uso consuntivo) aportando principalmente elementos como calcio, magnesio, potasio, nitratos, sulfatos y boro.
- Fuentes orgánicas: Descomposición y mineralización de residuos vegetales y animales del suelo. Estos pueden ser naturales (reciclaje) o incorporados.
- Precipitación (lluvia): Especialmente nitrógeno. El agua de lluvia puede captar y llevar el nitrógeno atmosférico hacia la tierra e incorporarse al sistema suelo-planta.
- Microorganismos: Fijación biológica (nitrógeno), micorrizas (fósforo), reacciones óxido reductivas de los elementos,(Sánchez, 1997).

3.4 Absorción de elementos nutritivos de las plantas

Las plantas adquieren sus nutrientes esenciales para su desarrollo a través de las hojas y de las raíces. El dióxido de carbono es absorbido a través de los estomas y es fuente principal suministradora de carbono y oxígeno. El agua y los restantes elementos químicos que generalmente se incorporan a la planta por sus raíces pueden ser absorbidos por las hojas.

Sin embargo, la absorción de los elementos nutritivos por las plantas se efectúa mayoritariamente por medio de las raíces jóvenes, al nivel de los pelos radiculares. Durante el periodo de actividad de la planta se desarrollan de una manera continua y están continuamente renovando debido a que su vida es muy corta, tan sólo de días. A medida que la raíz se alarga. Se va incrementando su número. Con lo que se amplía el contacto de la planta con nuevas partes del suelo. En condiciones normales pueden llegar alcanzar una cifra de 200-300 pelos por milímetro cuadrado, lo cual representa una gran captación de nutrientes.

A parte de la función absorbente que realizan estas raíces, segregan sustancias dotadas de carácter ácido que les permite solubilizar compuestos difícilmente solubles como son: fosfatos, carbonatos, óxidos de hierro, manganeso, etc. Esta acción solubilizante hace que la planta disponga de mayores posibilidades para su alimentación.

3.4.1 Mecanismo de absorción

El mecanismo de absorción se explica mediante dos teorías:

1) Teoría del intercambio por contacto

Según la hipótesis de este tipo de intercambio, los iones pueden ser transferidos de los coloides de la raíz. Existe un contacto entre los espacios de oscilación de los iones absorbidos. Un ion absorbido electrostáticamente por una partícula sólida sea la raíz de una planta, oscila dentro de un pequeño y determinado volumen. Cuando el volumen de oscilación de un ion coincide en parte con el otro, puede establecerse entre ellos un intercambio.

2) Teoría del intercambio del ácido carbónico

En esta teoría, la disolución del suelo representa un papel importante, ya que representa el medio para el intercambio de iones entre la raíz y las partículas coloidales. El dióxido de carbono liberado por la respiración de la raíz origina ácido carbónico al ponerse en contacto con la disolución del suelo. Posteriormente, al ácido carbónico se disocia para formar H^+ y CO_3H^- . Los iones de H^+ se difunden hasta el coloide y son intercambiados con los cationes absorbidos sobre su superficie. Estos, que inicialmente estaban absorbidos sobre la superficie coloidal, son liberados a la disolución del suelo. En esta situación pueden difundirse libremente hasta la superficie de la raíz y ser absorbidos a cambio de H^+ , o en forma de iones equilibrados con ion bicarbonato.

Es posible que en ciertos suelos se verifiquen ambos tipos de intercambio, dependiendo de la intensidad relativa de estos dos mecanismos de diversas variables, pH, grado de saturación colide y naturaleza de los cationes absorbidos.

Un elemento es asimilable cuando se encuentra en estado soluble en la disolución del suelo o cuando está incorporado en los iones fijados al complejo absorbente y es inasimilable cuando es inmóvil, incorporado, por ejemplo, a una molécula sólida mineral u orgánica.

En el primer caso, los iones de la disolución están sometidos a una agitación térmica que les lleva a desplazarse continuamente a través de todo el espacio ocupado por el agua del suelo, yendo así de las paredes externas de las partículas sólidas hasta la superficie libre de las películas de agua y cuando son captados por las raíces retornan en sentido inverso. Cuando de la disolución del suelo, un ion pasa a la planta, es necesario, para que las necesidades de ésta sean cubiertas y que su equilibrio no se retrase, que este ion sea remplazado por otro del mismo elemento liberado por el complejo, y este último sea suministrado por la liberación de iones de las reservas del suelo.

Cuando un elemento sea inasimilable hay que tener en cuenta dos posibilidades:

- Que el elemento sea englobado en una molécula mineral: Esto está representado por ejemplo, en el potasio incluido en la estructura resistente de los silicatos, o el fósforo en el estado de fosfato aluminico cristalizado. En ambos casos, estos elementos se consideran como inertes, constituyendo una reserva que no interviene más que a un largo plazo.
- Que se encuentre solamente de una manera eventual al margen de las condiciones de absorción: Este caso agrupa los iones bloqueados en los poros cercanos a las raíces, atrapados en unidades cristalinas de algunas arcillas, o los asociados al humus en forma de compuestos organominerales con posibilidades de ser degradados por los microorganismos del suelo.

En su aspecto cuantitativo, la absorción de los elementos nutrientes por las plantas puede alcanzar, para el caso de los macronutrientes, valores del orden de 100kg/ha, particularmente para el potasio. El nitrógeno y el potasio son generalmente los elementos mayoritariamente absorbidos.

Los micronutrientes son siempre absorbidos en cantidades cien a mil veces inferiores a los macronutrientes.

3.4.2 Factores influyentes en la absorción de los nutrientes

Un amplio número de factores influye grandemente en la absorción de los elementos nutrientes por la planta y en consecuencia en su composición posterior. Estos factores pueden clasificarse en tres grupos, según su relación con el suelo, la planta o las condiciones climáticas.

3.4.2.1 Relacionados con el suelo

a) Textura

Los suelos de textura fina representarán, debido a la gran superficie de sus partículas constituyentes, mayores posibilidades de contacto con los pelos absorbentes que los de textura gruesa.

b) Porcentaje de oxígeno en el aire del suelo

La absorción de los nutrientes se inhibe por la ausencia de oxígeno en el aire del suelo. Por ello, no sólo es importante un porcentaje adecuado de oxígeno, sino también lo es la proporción en la que se difunde para mantener una conveniente presión parcial en la superficie de la raíz. A medida que la atmósfera se enriquece de oxígeno, la absorción aumenta al igual que la respiración.

c) pH en el suelo

La reacción del suelo afecta generalmente a la absorción por su influencia en el estado de asimilación del nutriente, o en la cantidad del mismo disponible. Los casos más representativos de esta influencia son: bloqueo o inhibición, precipitación recíproca y volatilización.

El bloqueo se produce a determinados valores de pH, en los que el elemento, debido a sus características físico-químicas se transforma en inasimilable al pasar a formar parte de un compuesto insoluble. Este es el caso, del hierro, manganeso y cobre.

La precipitación recíproca es un proceso químico de doble precipitación. Es la que se representa en suelos ácidos, ricos en hierro o aluminio, en donde el fósforo soluble en estado de PO_4H_2 precipita con Fe^{+3} y Al^{+3} , o con sus hidróxidos correspondientes.

La volatilización se representa específicamente en el nitrógeno. Cuando los fertilizantes amónicos se aplican a la superficie de los suelos cálidos y básicos la absorción del nutriente puede reducirse notablemente por pérdidas de amoniaco.

3.4.2.2 Relacionados con la planta

Las plantas difieren unas de otras en su poder de absorción. Plantas distintas cultivadas en un mismo suelo pueden tener una alimentación diferente tanto el punto de vista cuantitativo como cualitativo. E incluso variedades distintas de una misma especie vegetal no actúan del mismo modo.

Las plantas jóvenes absorben rápida e intensamente los elementos minerales. Su proporción, referida a materia seca, es entonces máxima, después disminuye aunque la absorción prosigue durante el crecimiento.

3.4.2.3 Relacionados con las condiciones climáticas

En general, dentro de los límites fisiológicos, un aumento de temperatura provoca una mayor absorción de iones. Sin embargo, cuando se superan los 40°C, la absorción se va paralizando, debido a la deshidratación de las enzimas que intervienen directamente en el proceso, o bien porque se inhibe la síntesis de algún componente indispensable.

Las temperaturas bajas, por el contrario, aparte de provocar una disminución en la solubilidad de los componentes de la solución del suelo, dificultan muchas reacciones bioquímicas que intervienen en el transporte de los nutrientes hacia el interior de la planta, (Navarro, 2003).

Capítulo 4 Fertilidad del suelo

La Fertilidad del Suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se considera el nivel de nutrientes que se encuentran de manera disponible, no solamente para las plantas sino también para los microbios que se encuentra en su seno.

En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las plantas, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo. Igualmente, la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos,(Popadakis, 1984).

4.1 Fertilización del suelo

Fertilización es el acto de agregar al suelo materiales externos para aumentar el contenido de nutrientes. Debido a que las plantas extraen minerales del suelo para su nutrición, el suelo se va agotando y necesita reponer los minerales que son extraídos.

Por lo regular, la incorporación de fertilizantes, ya sean sintéticos u orgánicos la realiza el hombre, y constituyen una de las bases fundamentales de la agricultura empresarial, pues se busca proporcionar todos los elementos necesarios para un cultivo agrícola, de modo que éste pueda expresar su máximo potencial productivo.

Es importante resaltar que el proceso de fertilización del suelo se encuentra condicionado por diversos factores edáficos (textura del suelo, porosidad, capacidad de intercambio catiónico y aniónico, contenido de sales y sodio en particular, pH del suelo, entre otros muchos), así como por variantes climáticas, entre las que destacan la precipitación pluvial presente en la zona y la evapotranspiración del cultivo, (Fertilidad de los suelos, 2015).

4.2 Absorción y extracción de nutrientes

Disponer de información de absorción y extracción de nutrientes es esencial para la planificación del esquema de fertilización y toma de decisiones en los cultivos.

Un concepto importante que se debe recordar al momento de evaluar los requerimientos de los nutrientes de los cultivos es la diferencia terminológica entre las palabras “absorción y extracción” de los cultivos, ya que es importante al momento de intentar fertilizar un cultivo saber si se va a fertilizar por medio de absorción de nutrientes o extracción.

Absorción: Cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su desarrollo.

Extracción: Cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados, grano, forraje u otros.

La diferencia entre ambos términos es significativa al momento de las recomendaciones de fertilización bajo el criterio de reposición. La reposición utilizando la absorción del cultivo implica la aplicación de todos los nutrientes que fueron tomados por el cultivo y que se encuentran presente en todos sus tejidos y órganos, cosechables y no cosechables.

La práctica de fertilización por los niveles de extracción que es generalmente la más utilizada, sólo busca reponer los nutrientes que son absorbidos y depositados en tejidos y órganos cosechables y que por lo tanto, no son reciclados debido a que no regresan al sistema del suelo.

Los requerimientos de absorción y extracción se expresan en términos de kg de nutrientes por tonelada de grano o grano cosechable, en términos de base seca,(Navarro, 2003).

4.3 Tipos de fertilización

Los fertilizantes pueden clasificarse de distinta maneras, ya sea según su origen (inorgánicos e orgánicos), composición (puros y compuestos) o característica (líquidos y sólidos) y usos a los que están destinados.

4.3.1 Según su origen

- Fertilizantes Inorgánicos o Químicos

Pueden ser de origen natural extraídos de la tierra, como el nitrato o bien sintéticos elaborados por el hombre. Las plantas no distinguen entre procedencia natural o sintética, y ambos se descomponen antes de ser absorbidos. Generalmente los de este tipo son de acción rápida y estimulan el crecimiento y vigor de las plantas cuando se aplican sobre la superficie. El grado de un fertilizante se mide de acuerdo a su porcentaje de N, P y K. Este se prepara en diferentes grados. Por ejemplo: un fertilizante de grado 10 – 30 – 30, significa que tiene 10%N, 30% de fósforo como P_2O_5 y 10% de potasio como K_2O ; el porcentaje sobrante consiste de materiales de relleno (arcilla, arena, etc.), humedad y una porción de ácidos libres y sales provenientes de los procesos químicos envueltos. La aplicación en exceso o continua de los fertilizantes acidifica los suelos, favorece la erosión, afecta los organismos (flora y fauna) y altera las propiedades químico-físicas de los componentes del suelo. Los compuestos químicos aplicados en los fertilizantes se disuelven en la solución del suelo, son retenidos por las arcillas y la materia orgánica (adsorción), o se filtran a través del suelo para llegar a los cuerpos de agua. Este fertilizante es uno de los más utilizados por los agricultores porque mejora considerablemente el rendimiento de la producción. Sin embargo, un uso excesivo del mismo puede provocar, según los científicos, serios perjuicios para la atmósfera y para el agua que consumimos.

- Fertilizantes Orgánicos

Pueden ser de origen animal (guano) o vegetal (compost, abonos verdes). La mayoría son de acción lenta, pues proporcionan nitrógeno orgánico que debe ser transformado en inorgánico por las bacterias del suelo antes de ser absorbido por las raíces. Como estos organismos no actúan en suelos fríos, ácidos o empapados, su efectividad y rapidez de acción dependerá del terreno.

4.3.2 Según su composición

- Fertilizantes Simples

Los fertilizantes simples están formados por un solo ingrediente activo. Generalmente contiene un solo nutriente vegetal básico o pequeñas cantidades de otros (como la harina de huesos).

- Fertilizantes Compuestos

Los fertilizantes compuestos están formados por mezclas de ingredientes activos, y generalmente contienen los 3 nutrientes vegetales principales (Nitrógeno N, Fósforo P y Potasio K). Muchos de ellos contienen al mismo tiempo fuentes de sustancias nutritivas de acción rápida y lenta, lo que les permite mantener su acción nutritiva por más tiempo.

4.3.3 Según sus características físicas

- Fertilizantes Sólidos

Existe una amplia gama de abonos sólidos: en polvo y en granulados. Los polvos actúan más rápidamente que los granulados, pero son más incómodos de usar. Ambos se esparcen sobre el suelo con la mano o con equipo atomizador de abono.

- Fertilizantes Líquidos

Los fertilizantes líquidos se aplican directamente sobre las plantas (fertilización foliar) o disueltos en agua mediante el sistema de riego (fertirrigación).

4.3.4 Fertirrigación

La fertirrigación es una técnica de aplicación de abonos disueltos en el agua de riego a los cultivos. El objetivo principal de la fertirrigación es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, con lo cual se optimiza el uso del agua, los nutrientes y la energía, y se reducen las contaminaciones si se maneja adecuadamente, (Aula de agricultura, 2015).

4.4 Fertilización orgánica

García Hernández (2010), habla acerca de que uno de los principios básicos de la agricultura orgánica es ser un sistema orientado a fomentar y mejorar la salud del agro-ecosistema, la biodiversidad y los ciclos biológicos del suelo. Para esto, se hace necesario implementar actividades que nos conduzcan a estos fines, que conlleven la restitución de elementos minerales y vivos (microorganismos, bacterias benéficas y hongos) y mantener la vitalidad del suelo donde se desarrollan las plantas.

La diferencia que existe entre los fertilizantes químicos-sintéticos y los abonos orgánicos es que los primeros son altamente solubles y son aprovechados por las plantas en menor tiempo, pero generan un desequilibrio del suelo (acidificación, destrucción del sustrato, etc.); mientras que los orgánicos actúan de forma indirecta y lenta. Pero con la ventaja que mejoran la textura y estructura del suelo y se incrementa su capacidad de retención de nutrientes, liberándolos progresivamente en la medida que la planta los demande.

4.4.1 Antecedentes en México

La producción orgánica en México es relativamente nueva, sin embargo, el sistema de producción de alimentos de nuestros antepasados era agricultura orgánica. La producción orgánica de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, inocuos y con un alto valor nutricional.

El desarrollo de la agricultura ecológica en México ha sido sorprendente; surgió desde la década de los años ochenta en solo algunos lugares y en pocos años se ha extendido a muchos otros multiplicando su superficie e incursionando cada vez más en nuevos productos, constituyéndose en una opción económicamente viable para miles de productores campesinos e indígenas de escasos recursos.

En México, la agricultura orgánica ha sido acogida por los productores de manera limitada, ya que si bien no podemos negar que este sistema agrícola contempla la sustentabilidad/regeneración del área sujeta a explotación agropecuaria tampoco podemos negar que presenta algunas barreras, sobre todo aquellas de índole económico, insalvables para la mayoría de los productores nacionales; un ejemplo de ello es la alta dependencia del mercado extranjero que existe tanto para la compra como para la continua certificación de la calidad de sus productos.

4.4.2 Importancia

La agricultura orgánica no implica sólo el hecho de fertilizar con abonos orgánicos (composta, estiércol, vermicomposta) el suelo, sino que conlleva un cambio conciencia, un camino de muchos pasos, dónde el primero está en querer creer y cambiar. Este movimiento está regido por cuatro principios básicos:

- Implica maximizar los recursos que la gente posee: Es decir, la reutilización de los mismos.

- Implica el buscar al máximo la independencia de insumos externos: Al utilizar lo que se tiene a la mano y volviéndose productor de sus agroinsumos.
- Enfocar a provocar el menor impacto posible a modificar el entorno y en el lugar.
- No poner en riesgo la salud del productor ni del consumidor.

Ventajas

La aplicación de materia orgánica humificada aporta nutrientes y funciona como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana, como son las sustancias húmicas. Que al incorporarla ejercerá distintas reacciones en el suelo como son:

- a) Mejora la estructura del suelo, facilitando la formación de agregados estables con lo que mejora la permeabilidad de éstos.
- b) Mejora la retención de la humedad del suelo.
- c) Estimula el desarrollo de las plantas.
- d) Mejora y regula la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo la erosión producida por el escurrimiento superficial.
- e) Tiene la capacidad de controlar poblaciones de patógenos del suelo.

Desventajas

En el manejo orgánico del suelo pueden presentarse algunas situaciones que pudieran presentarse como desventajas, pero a largo plazo pueden ser superadas:

- a) Efecto lento: Ya que el suelo se adapta a cierto manejo y al retirarle el 100% de los compuestos a los que estaba acostumbrado, se recomienda un sistema combinado, con el afán de hacerlo gradual y ayudarle a restablecer el equilibrio natural.
- b) Los resultados que se esperan son a largo plazo: El periodo de transición para que un suelo sea orgánico oscila entre los 3 y 5 años, dependiendo del manejo previo del suelo y de los factores ambientales, puede extenderse a 8 años.
- c) Se debe ser consiente que los costos en el manejo del suelo aumentan (en algunas ocasiones) al hacerlo orgánicamente, pero de igual forma se tendrán frutos y plantas de mejor calidad traduciéndose en mayores ingresos y menor costo en el manejo del suelo en un futuro, (Explorando México, 2015).

4.5 Tipos de fertilizantes orgánicos

4.5.1 Estiércol

El estiércol es una fuente contaminante y se buscan alternativas para su manejo y aprovechamiento. A partir de los excrementos de los animales domésticos se forma el estiércol sólido, semilíquido y de purín. Además de ser una de las alternativas más sencillas de fertilización orgánica que se usa para mejorar la actividad microbiana del suelo y el nivel de nutrición de las plantas.

- Estiércol sólido

Por la multiplicidad de sus efectos, puede considerarse como un abono universal aunque de características muy variables. El estiércol sólido se compone principalmente de excrementos y una pequeña parte de orina y de paja. Los principales productores son el ganado vacuno, porcino y aviar. El efecto del estiércol sobre la producción vegetal es la suma de su influencia como enmienda del suelo y sus efectos nutritivos. Este efecto varía considerablemente, según las condiciones locales.

De entre los efectos que mejoran el suelo hay que mencionar que favorece mucho su actividad biológica, pues por su contenido de humus nutritivo, representa una fuente de energía y alimento. El contenido de humus estable supone de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ de la materia orgánica: una gran parte de este contenido permanece en el suelo de forma estable.

- Estiércol semilíquido

La mezcla de los excrementos de los animales domésticos se denomina generalmente estiércol semilíquido. Es una mezcla de excrementos y orina (en ciertos casos con una pequeña proporción de residuos) a la que se añade una cierta cantidad de agua para facilitar su transporte y distribución.

Un problema importante de la utilización del estiércol semilíquido consiste en la relación de equilibrio entre la capacidad de bombeo y el ahorro de espacio para su almacenamiento, que obliga a utilizar menor cantidad de agua posible.

La utilización de estiércol semilíquido como abono es análoga a la del estiércol sólido y del purín. Los efectos del estiércol semilíquido sobre la producción se deben sobre todo a las sustancias nutritivas: la aportación de humus es secundaria. El criterio por el que se rige el cálculo de la dosis que se necesita para que tenga efecto en la producción, es la riqueza de nitrógeno ($\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ de la aportación necesaria de N puede realizarse por medio del estiércol semilíquido). El aprovechamiento del N se encuentra entre un 60 y un 50% en el primer año. Las dosis máximas de estiércol semilíquido disminuye las pérdidas de amoníaco.

- Estiércol líquido (purín)

El estiércol líquido está compuesto principalmente de orina fermentada procedente de los animales domésticos, mezclada con partículas de excrementos, jugos que fluyen del estiércol y de agua de lluvia. La proporción de orina del purín es del 50%. La producción de orina supone diariamente unos 15kg por cabeza de vacuno y unos 4kg por cabeza de cerdo.

Por su importante contenido de sales potásicas solubles, el purín es considerado como abono NP. El purín es un abono de efecto rápido, ya que los nutrientes que contiene se encuentran en su mayor parte en forma fácilmente disponible. La aportación de nutrientes de 10m^3 de purín supone por término medio 20kg de N y 50kg de K.

Como se ha mencionado anteriormente, el estiércol es un subproducto de la cría y explotación del ganado producido en las explotaciones agropecuarias. La producción anual de estiércol en México se estima en 61 millones de toneladas por año y el amontonarlo a la intemperie hasta el momento de su aplicación, que es una vez al año, ocasiona grandes pérdidas de sus elementos nutritivos debido a la acción de elementos climáticos tales como: el sol, la lluvia y el viento, provocando un grave problema de contaminación y daños a la salud de los habitantes.

En México la utilización del estiércol tiene las características siguientes:

- Se estima que hay un desperdicio de un 50% por mal manejo e inadecuada aplicación.
- Está causando problemas de contaminación ambiental.

El manejo de los estiércoles hasta su aplicación en el campo se utilizan estiercoleros de tamaño conveniente por el volumen del material a manejar y las posibilidades económicas que se tengan. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Una plataforma impermeable con una pendiente de 4% para evitar acumulaciones de agua.
- Una canaleta para favorecer el drenaje.
- Muros de protección de la plataforma.
- Techo de plataforma para proteger el estiércol.
- El estiércol fresco se va colocando en capas para formar una pila.
- El estiércol ha logrado su madurez cuando pierde su olor.
- Antes de llevar el estiércol al campo se debe conservar en un lugar seco en la sombra para interrumpir su mineralización, (Ing. Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, 1982).

A continuación en la Figura 5 se muestra el funcionamiento de un estiercolero

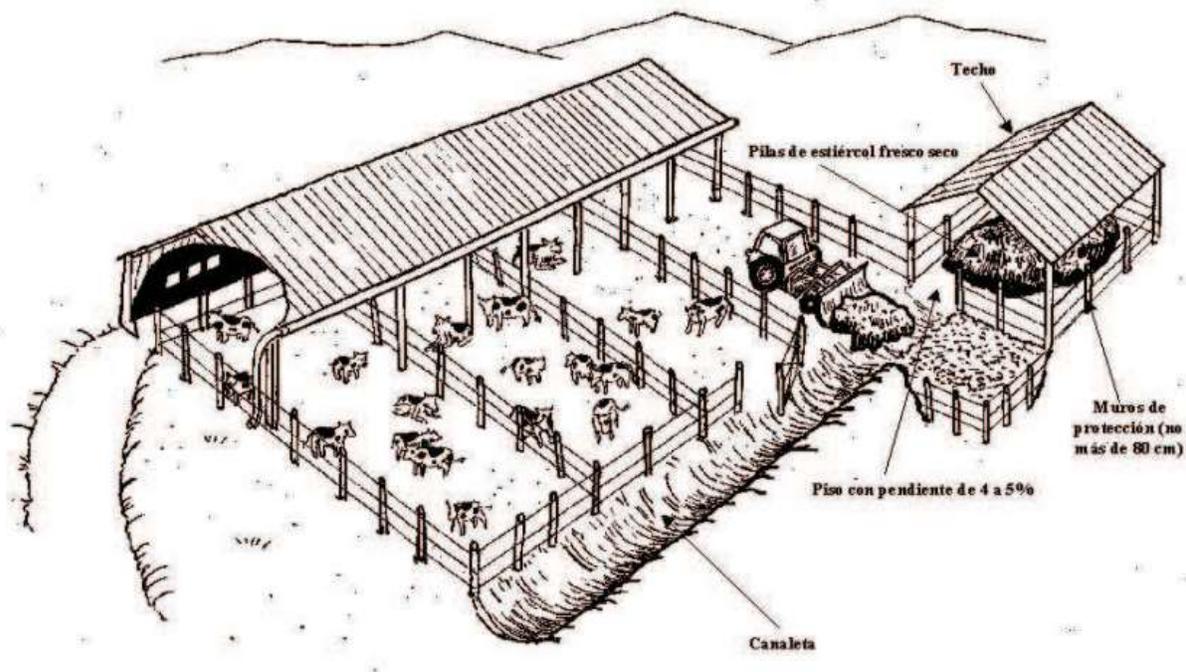


Figura 5. Sistema de explotación ganadera para el estiercolero

4.5.2 Abonos verdes

Medrano (1986), habla acerca del abonado en verde de utilizan plantas verdes enteras, cualquier materia vegetal no descompuesta o solamente residuos, en cuyo caso se utiliza la parte verde aérea como forraje con el fin de mantener la fertilidad del suelo. El abonado verde se utiliza para mejorar la estructura del suelo, al que contribuyen inicialmente las raíces de las plantas en desarrollo.

Para el abonado en verde se utilizan leguminosas u otras plantas como cereales. Un buen suministro de nutrimentos contribuye de forma esencial a activar el inicio del crecimiento. Técnicamente existe la posibilidad de utilizar como abono verde un cultivo intermedio de otoño o de invierno. El efecto abonado verde consiste sobre todo en la aportación de nitrógeno, además de humus nutritivo.

Las leguminosas que se utilizan se clasifican en tres grupos:

- Forrajeras: Alfalfa, trébol, chícharo, gandul, etc. Son buenas plantas de cobertura y desarrollan raíces externas y profundas.

- Productoras de grano: Soya, frijol, chícharo y garbanzo. Son cultivos con periodo vegetativo de 3 a 5 meses. La mayor parte del N absorbido o fijado se encuentra en el grano, con lo que presenta pocas ventajas como mejoradores del suelo.
- Plantas para la conservación y mejoramiento de los suelos: Pueden ser leguminosas o gramíneas. Elevan la fertilidad del suelo, protegen el suelo contra la erosión. Para el primer rubro se refieren las leguminosas, para el segundo rubro las gramíneas por sus raíces fibrosas y de desarrollo de los tallos subterráneos.

Como cultivo exclusivo, puede sembrarse en el invierno o en el verano. En forma asociada pueden sembrarse leguminosas de grano pequeño junto con una gramínea (trigo) en diciembre; 20 o 30 días después de cosechado el trigo, se incorpora la leguminosa al suelo mediante el barbecho.

También pueden sembrarse leguminosas 2 o 3 meses después de la germinación del maíz, el cual, una vez cosechado se incorpora la leguminosa al suelo junto con los residuos de maíz.

La incorporación deberá anticiparse lo suficiente a la siembra del cultivo siguiente, para que se descomponga en abono enterrado. También se puede incorporar cuando la planta haya alcanzado abundante desarrollo vegetativo sin que los tallos hayan perdido su succulencia.

En la actualidad, es poco factible en México, recomendándose únicamente en las condiciones siguientes:

- Cuando la humedad no es factor limitante.
- Cuando el cultivo no mantiene ocupado el terreno durante un largo tiempo, permitiendo la obtención de una cosecha de valor económico.
- Cuando la leguminosa tiene un valor económico inmediato como es el caso de la alfalfa.

Son muchos los efectos benéficos acerca de los abonos verdes como son los siguientes:

- Proporcionan nitrógenos al cultivo siguiente.
- Fuente directa de otros nutrientes como P, S, B y Mo.
- En suelos alcalinos la descomposición de la materia orgánica libera CO₂ que ayuda a la solubilidad de varios nutrimentos como: Fe, Mn y Zn.
- Las leguminosas de raíces profundas pueden transportar, a la superficie nutrimentos absorbidos en las capas profundas y ponerlas al alcance de las raíces de cultivos posteriores.
- Durante su descomposición, se estimula la formación de agregados de alta estabilidad en el suelo, efecto relacionado con la velocidad de descomposición de estos materiales.
- Protegen al suelo de la erosión y su eficiencia depende de la época del año que el cultivo de desarrolla.

4.5.3 Vermicompostaje

El vermicompostaje es un proceso de bio-oxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices Moreno (2008), y microorganismos, mediante el cual se obtiene el producto final estabilizado y homogéneo denominado vermicompost, lumbricompost, compost de lombriz o humus de lombriz. Esta práctica de biotransformación las ventajas de la actividad de algunas lombrices, las cuales aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica mejoran la estructura del producto final, al provocar por el paso del residuo a través del sistema digestivo de lombriz, la ruptura de los materiales orgánicos, reduciendo su tamaño de partículas y favoreciendo la formación de agregados estables. Además aumenta el contenido de los nutrientes, convirtiéndolos a través de la actividad microbiana, en formas solubles y asimilables por los cultivos.

El proceso de vermicompostaje ha sido utilizado en para la biodegradación de un gran número de residuos orgánicos y se considera como una ecotecnología limpia, sin impacto ambiental. Su utilización aporta los siguientes beneficios:

- Eliminación de residuos orgánicos nocivos, insalubres, molestos y de difícil digestión.
- Generación de un producto final útil de gran valor como enmienda orgánica del suelo de alta calidad, que puede funcionar como abono orgánico químico.
- Producción de una gran biomasa de lombriz, de alto contenido proteico y de alta calidad para la alimentación animal.

De las más de 4400 especies de lombrices terrestres identificadas, solamente una media docena de ellas pueden ser utilizadas, entre ellas están: Haplotaxida, lumbricidae, eudriluseugeniae, perionyxexcavatus, eisenia fétida, eiseniaandrei y en menor medida dendrobaenaveneta y lumbricusrubellus.

El acoplamiento de dos lombrices se efectúa con no menos de 7 días entre uno y otro, del cual se obtienen entre 1 y 2 cápsulas/semanales por cada lombriz. Si las condiciones del medio son óptimas, después de 14-21 días de incubación, nacen entre 2 y 4 lombrices y alcanzan su madurez sexual a los 40 y 70 días de su nacimiento.

La posibilidad de utilizar lombrices en la biodegradación de residuos orgánicos, así como en la obtención del vermicompost y la proteína de lombriz depende de una serie de factores como:

- Humedad: La humedad se debe controlar mediante riegos periódicos para mantenerla cercana a los óptimos.
- Temperatura: Los procesos de vermicompostaje deben comprenderse entre temperaturas de 10 y 35°C.
- Aireación: La cantidad de oxígeno necesaria puede verse reducida por exceso de agua o por la compactación del material. Las concentraciones deben estar entre los 55 y 65%.

- Densidad de población: En condiciones naturales, la población está controlada directamente por la temperatura, humedad y disponibilidad de alimento dando como resultado una producción baja de biomasa.

La concentración de nutrientes de los residuos orgánicos tiende a aumentar durante el proceso de vermicompostaje. Estos aumentos son más apreciables para el fósforo, calcio, magnesio y micronutrientes y son atribuidos a un efecto de concentración de ellos, debido a la mineralización de la materia orgánica contenida en los residuos orgánicos. La dinámica del nitrógeno durante el vermicompostaje es variable, observándose tanto aumentos como disminuciones.

Los vermicompost obtenidos han sido tradicionalmente empleados en la agricultura, como enmiendas, abonos o fertilizantes orgánicos de suelos las cuales se han descubierto diversas capacidades como son:

- Capacidad para reducir hongos patógenos que ocasionan podredumbre y necrosis radicular en las plantas cultivadas.
- Capacidad para modificar la extractibilidad de metales pesados en suelos contaminados y residuos mineros, evitando su transferencia a plantas y acuíferos subterráneos.
- Capacidad para modificar el comportamiento de plaguicidas en suelos.
- Capacidad para regenerar suelos degradados.

4.6 Compost. Objeto de estudio

Uno de los problemas ambientales de las explotaciones agrícolas son los residuos orgánicos que se generan (restos de poda, de cosecha, de post-cosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros).

Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición.

El compostaje se basa en la acción de diversos microorganismos aerobios que actúan de manera sucesiva, sobre la materia orgánica original, en función de la influencia de determinados factores, produciendo elevadas temperaturas, reduciendo el volumen y el peso de residuos provocando su humificación. Proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

Sin embargo, no todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente, son considerados compost. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad. La utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como:

- Fitotoxicidad. En un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato. El amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y dando lugar a malos olores. Igualmente, un material sin terminar de compostar contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las semillas y plantas.
- Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como "hambre de nitrógeno". Ocurre en materiales que no han llegado a una relación Carbono: Nitrógeno equilibrada, y que tienen material mucho más rico en carbono que en nitrógeno. Cuando se aplica al suelo, los microorganismos consumen el C presente en el material, y rápidamente incrementan el consumo de N, agotando las reservas de N en el suelo.
- Reducción de oxígeno radicular. Cuando se aplica al suelo un material que aún está en fase de descomposición, los microorganismos utilizarán el oxígeno presente en el suelo para continuar con el proceso, agotándolo y no dejándolo disponible para las plantas.

Por lo tanto, un compostaje que pretenda la obtención de un producto final útil como fertilizante, se han de controlar las variables necesarias para garantizar la total terminación del proceso con costes mínimos, (Compostadores. Sostenibilidad en estado puro, 2015)

Las variables más importantes que afectan los valores de crecimiento son:

Parámetros de seguimiento (Monitoreo del compost)

- Temperatura: La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso. El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización.

En la Tabla 6 se indica las medidas a tomar para el control de la temperatura del compost.

Tabla 6. Control de temperatura. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

Temperatura °C	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T ambiente <35°C)	Humedad Insuficiente	Las bajas temperaturas pueden deberse por varios factores, como falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica, por lo tanto, la temperatura baja.	Humedecer el materia o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta, verdura u otros)
	Material Insuficiente	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada	Añadir más material a la pila de compostaje
	Déficit de nitrógeno o baja C:N	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el Nitrógeno suficiente para general enzimas y proteínas y disminuyen o relantan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura más de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera o pasto seco).

- **Humedad:** Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de desecho de las reacciones que tiene lugar durante dicho proceso.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje.

Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

En procesos en que los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped.

El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base como se indica en la Tabla 7 presentada a continuación

Tabla 7. Control de humedad. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

Porcentaje de humedad	Problema		Solución
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por la falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped purines u otros)
45-60% Rango Ideal			
>60%	Oxígeno Insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono como serrines, paja u hojas secas.

- pH: El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso. En los primeros estados del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

Como se ha hecho mención, el pH es muy importante, por ello en la Tabla 8 se indica cómo controlarlo y darle una posible solución.

Tabla 8. Control del pH. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

pH	Cuasas asociadas		Soluciones
<4.5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N
4.5-8.5 Rango ideal			
>8.5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, se produce amoniaco alcalinizando el medio	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, serrín)

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0, 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.

- Aireación: Para el correcto desarrollo del compostaje es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en el intervienen son anaerobios, liberando a su vez dióxido de carbono a la atmósfera.

Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. La necesidad de oxígeno varía durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termófila.

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H₂S) o metano (CH₄) en exceso.

El control del aire en el proceso de compostaje puede controlarse de la siguiente manera como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Control de aire. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

Porcentaje de aireación	Problema		Solución
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación.
5%-15% Rango ideal			
>15%	Exceso de aireación	Descenso de la temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material al fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación.

Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

- Tamaño de partícula: La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm.

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente

150 -250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m³, como se muestra a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Tamaño de partícula. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

Tamaño de las partículas (cm)	Problema		Solución
>30 cm	Exceso de aireación	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso.	Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10-20 cm.
5-30 cm Rango ideal			
<5 cm	Compactación	Las partículas demasiado finas favorecen poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y flujo restringido de aire, produciéndose anaerobiosis	Voltear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar

- Relación C/N: Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos generalmente utilizan 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje es de 25-35. En la Tabla 11 se indica cómo se puede manejar la relación C:N y llegar al nivel óptimo.

Tabla 11. Relación C/N. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

C:N	Causas asociadas		Solución
>35:1	Exceso de carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y ralentizarse.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una relación adecuada C:N
15:1-35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, serrín).

4.6.1 Fases del compostaje

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

- Fase Mesófila. El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).
- Fase Termófila o de Higienización. Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como Escherichacoli y Salmonella.

- Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

- Fase de Maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos.

A continuación Figura 6 se presentan las diferentes fases del proceso de compost.

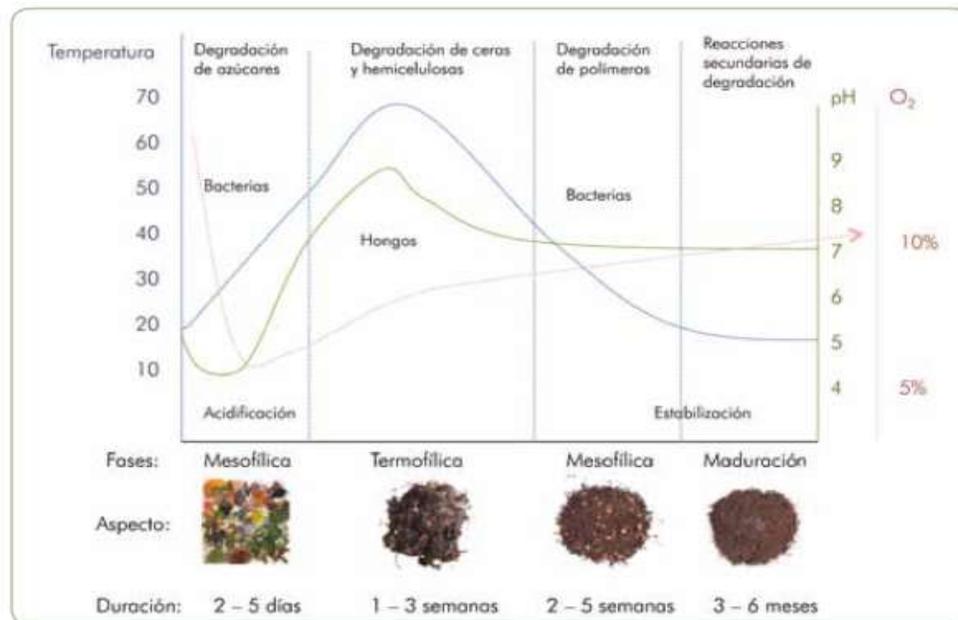


Figura 6. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso del compostaje

4.6.2 Higienización

Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante la fase termófila, se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida. En esta fase se da la higienización del material. En las fases siguientes podría ocurrir una re-contaminación del material debido a varios factores, como por ejemplo, la utilización de utensilios contaminados con material fresco, como una pala para el volteo, o añadiendo material fresco después de la fase termófila.

Un compost maduro no debe contener compuestos tóxicos para las plantas o el ambiente. Así por ejemplo, la presencia de amoníaco y sulfatos (NH_3 y SO_4) en lixiviados generados por procesos de compostaje con exceso de humedad, favorecen la producción de ácido sulfhídrico y dióxido de nitrógeno (H_2S y NO_2) que junto con el metano, (CH_4), son considerados gases efecto invernadero (GEI) con importantes impactos negativos en el medio ambiente, y en especial en el cambio climático.

La presencia de los patógenos en el compost viene en gran medida por el uso de estiércoles, seguido del uso de aguas contaminadas y de las personas que manipulan el compost. Uno de los métodos

para el control de estos es el empleo de temperaturas elevadas, de ahí la importancia en el control del tiempo y temperatura de la fase termófila.

La inocuidad biológica del compost, depende de la temperatura que alcance el material, pero también de la humedad, la aireación y el tamaño de partícula. En una pila con adecuada humedad, la actividad microbiana hace que la temperatura se incremente, siendo mayor en el interior que en el exterior. De esta forma, al airear la pila o al realizar el volteo, se homogeniza la temperatura y la humedad y se pueden eliminar patógenos.

4.6.3 Fertilización

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas. Por otra parte, el compost presenta un alto contenido de materia orgánica con las ventajas que ello conlleva. Se recomienda, antes de hacer aplicaciones tanto de compost o materia orgánica, como de fertilizantes minerales, realizar un análisis de suelo para controlar los niveles de nutrientes y ajustar la fertilización en función de la liberación que se produzca y de las necesidades del cultivo.

El contenido en nutrientes del compost tiene una gran variabilidad ya que depende de los materiales de origen Tabla 12.

Tabla 12. Contenido de nutrientes en el compost. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

Nutriente	% en compost
Nitrógeno	0.3%-1.5% (3g a 15g por kg de compost)
Fósforo	0.1%-1.0% (1g a 10g por kg de compost)
Potasio	0.3%-1.0% (3g a 10g por kg de compost)

Para la toma de decisiones a la hora de aplicar compost como fertilizante orgánico, así como para aplicarlo en nutrición integrada con fertilizantes minerales, se debe tener en cuenta:

- Necesidades del cultivo en cuanto a fertilización (análisis de suelo y foliares).
- Acceso y disponibilidad de ambos fertilizantes localmente.
- Costes de ambos fertilizantes.
- Necesidad de materia orgánica del suelo.

Cada cultivo necesita una cantidad específica de nutrientes, y esta cantidad depende en parte del rendimiento esperado del cultivo. Para calcular el requerimiento real de fertilizantes se debe tener en cuenta otros factores tales como las reservas de nutrientes del suelo, y la inmovilización o pérdida del nutriente cuando se aplica, ya sea por fijación o lixiviación.

En la siguiente Tabla 13 se indica los niveles de extracción de nutrientes de algunos cultivos.

Tabla 13. Extracción de nutrientes por cultivo. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

	Rendimiento	Nitrógeno	Fósforo		Potasio	
	kg/Ha	N		P	K ₂ O	k
Arroz	3000	50	26	11	80	66
	6000	10	50	21	160	132
Trigo	3000	172	27	11	65	54
	5000	140	60	25	130	107
Maíz	3000	72	36	15	54	45
	6000	120	50	21	120	99
Papa	20000	140	39	17	190	157
	40000	175	80	34	130	156
Caña de azúcar	50000	60	50	21	150	124
	100000	110	90	38	340	181
Cabolla	35000	120	50	21	160	132
Tomate	40000	60	30	13	124	124

4.6.4 Elaboración

La naturaleza nos muestra el ciclo de la vida año tras año.

En todas las épocas del año y especialmente durante el otoño, las plantas dejan caer sus hojas, ramas, frutos, etc. al suelo, obteniendo como resultado una aportación en toneladas de materia orgánica en la base del bosque.

No obstante, estas toneladas de materia orgánica no se quedan ahí, ya que se puede ver como en poco tiempo desaparecen. La pregunta es ¿a dónde van? La respuesta es muy sencilla, ya que toda una serie de condiciones climatológicas (sol, frío, viento, calor, etc.) y un gran número de organismos de todas las clases se encargan de llevar a cabo su descomposición y de devolver al suelo lo que los árboles han utilizado para nutrirse y formar sus frutos.

Este tipo de ciclo es lo que se llama ciclo cerrado, donde todo material utilizado vuelve a su punto de partida después de realizar la función por el que fue obtenido.

Para la preparación del compost, antes que nada se debe tener en cuenta que no todos los residuos son aptos para este proceso como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Tipos de materiales que se pueden compostar. Fuente: Compostadores. Sostenibilidad en estado puro (2015).

COCINA	JARDÍN/COSECHA	RESTOS	OBSERVACIONES
Restos de fruta y verdura cocida y cruda	Césped	Pescado, carne y huesos	No añadir hasta que el proceso esté empezado
Cáscaras de huevo trituradas	Flores, hojas y plantas verdes y secas	Excrementos de animales domésticos	Comen pienso de origen animal y pueden transmitir patógenos
Yogures, leche y queso	Restos de poda triturada	Cenizas o serrín tratados o aglomerados	Contienen tóxicos
Zumos de fruta	Ceniza y serrín	Restos del tabaco	Alquitranes e hidrocarburos aromáticos
Tapones de corcho	Restos del huerto	Restos de la escoba de interior o del aspirador	Metales pesados y otros contaminantes
Papel de cocina (también con tinta de color)	Excrementos de animales de granja (si no toman antibióticos)	Cualquier material no orgánico ni compostable	Plástico, cristal, etc.
Aceite y vinagre de ensalada	Restos de cosecha	Plantas o frutos enfermos.	Si el proceso de compostaje no supera los 65°C, no se eliminan.
Poso de café i bolsitas de infusiones		Cáscaras de moluscos	Tardan años en descomponerse.
Cartón de huevos y del papel de cocina		Restos de vino y de cerveza	

El compost se puede realizar en casi en cualquier parte dónde se pueda almacenar o para efectos de este estudio, dónde se va a utilizar para fertilizar cantidades considerables de suelo se puede realizar el proceso al aire libre.

4.6.4.1 Sistema cerrado. Compostero

En primera instancia se validará el proceso para fertilizar un huerto casero. Cabe destacar, que el proceso a seguir en lugares donde se va a utilizar es el mismo, lo único que cambia es dónde se va a realizar el proceso.

Los materiales que se utilizan son los siguientes:

- Compostador de plástico 100% reciclado y reciclable.
- Aireador de compost para mezclar, airear e incluso tomar muestras sin abrir ningún conlleva.
- Tijeras de podar para cortar las ramas pequeñas que se añaden como material estructurante.

- Pala para extraer el compost maduro.
- Biotrituradora para triturar las ramas demasiado grandes que no se pueden cortar a mano.
- Malla para separar los restos más grandes o aún no deshechas del compuesto fin ya terminado.
- Termómetro para controlar la temperatura del compuesto en sus diferentes fases.

En la siguiente Figura 7 se muestran algunos ejemplos de los materiales a utilizar para poder hacer el proceso de compostaje.



Figura 7. Materiales a utilizar en el proceso de compostaje

El proceso de descomposición de los restos vegetales dentro de un compostador desprende un olor característico y agradable que se puede percibir cuando se abre el compostador para aportar nuevos restos o remover. El olor que desprende es de bosque húmedo. Esto se debe a las características técnicas de los compostadores de calidad y a que los millones de organismos que se alimentan de los restos que se depositan en el compostador no permiten que pase mucho tiempo antes de transformarlos en compost.

Mezclando los restos de vez en cuando (se recomienda una vez por semana), se conseguirá reducir la humedad, aportar oxígeno a los restos y no aparecerán insectos molestos, como un exceso de mosquitas de la fruta, por ejemplo.

Siempre hay que mezclar los restos que se depositan. No hay que hacer capas de materiales frescos y húmedos o capas de materiales secos intercaladas, es decir, tiene que verse todo bien mezclado. Esto no significa que sea necesario remover cada día, sino sólo cuando se deposita una cantidad significativa de un mismo material, como por ejemplo el césped cortado o un montón de hojas secas.

Ahora bien, si lo que se desea es aproximarse a la perfección para conseguir un **compost** equilibrado y de calidad, conviene mezclar la misma cantidad de restos húmedos ricos en nitrógeno “verde” (restos de cocina, hojas verdes, césped recién cortado, plantas del huerto o jardín, etc.) que de restos secos ricos en carbono “marrón” (hojas secas, paja, serrín, ramas trituradas, piñas, etc.).

Pasos para el proceso del compost:

Primero se debe hacer una capa de paja o ramas o cualquier otro material que permita que circule el aire y no se aplaste con facilidad. Esta capa debe tener 20 cm aproximados y se debe poner en la base de la compostera, en contacto con el suelo, esto permitirá además que entren organismos con mayor facilidad.

Introducir los restos de materiales orgánicos siempre tomando en cuenta que deben mezclarse materiales de rápida y de lenta composición.

La proporción entre materiales húmedos y materiales secos es 2/1. Para controlar la humedad se debe observar constantemente que el material esté húmedo pero que no desprenda líquido. Cada vez que se introduce desechos, se debe mezclar con el material antiguo, hojas o paja. Como se indica en la Tabla 15

Tabla 15. Revisión rápida del proceso de compostaje. Fuente: Compostadores. Sostenibilidad en estado puro, (2015).

LO QUE NO VA BIEN	CAUSA	SOLUCIÓN
Huele a amoníaco	Hay demasiado césped sin mezclar con hojas secas	Añadir restos secos y remover. Meter en el compostador la mitad del césped el día de la siega y dejar secar 2 ó 3 días el resto fuera antes de echarlo
Huele a podrido	El compost está demasiado húmedo y hay poco oxígeno	Mezclar con materia seca y remover Dejar de aportar restos húmedos unos días
Hay mosquitas de la fruta	No son un problema, pero si molestan se pueden controlar	Enterrar siempre los restos de cocina en el material que ya hay en el compostador
La materia está seca y fría	Falta humedad	Mezclar lo que hay con restos de cocina o regarlo con moderación y removerlo

Se sabe que el compost ya está maduro cuando tenga un color marrón oscuro o negro o cuando los restos que se hayan depositado dentro ya no se distingan.

Una vez que se vio el proceso de un compost casero para un jardín, a continuación se validará el proceso para la elaboración de compost en grandes cantidades y puedan ser aprovechables en la agricultura.

4.6.4.2 Al aire libre. Pila de compost

El sistema que se analizará para efectos de este estudio son las pilas o sistemas abiertos.

En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo.

A continuación se muestra Figura 8 cómo se hace la pila de compost

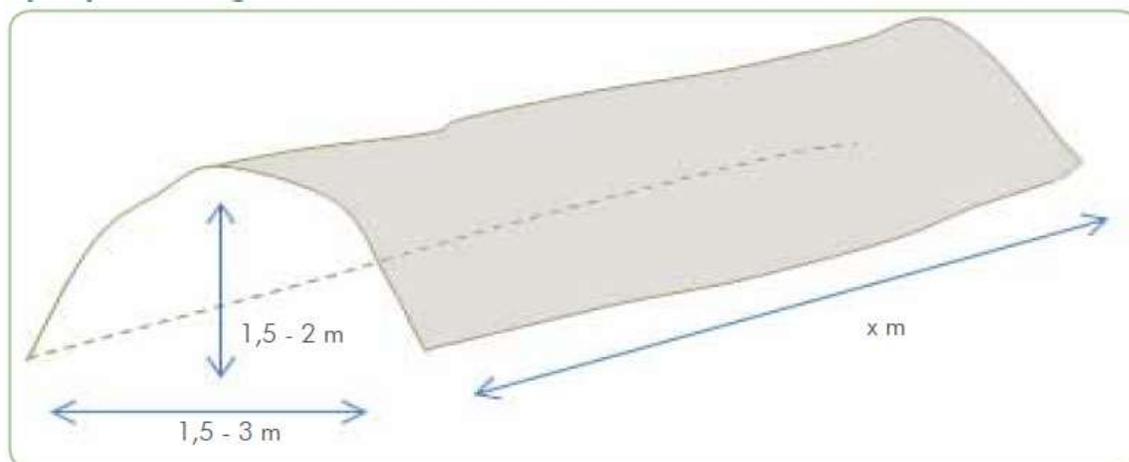


Figura 8. Pila de compost

En el momento de estimar las dimensiones de la pila de compostaje, se debe tener en cuenta que durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño (hasta un 50% en volumen) debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO₂.

En áreas muy lluviosas o de clima frío, la pila se puede tapar con un plástico para favorecer la subida de la temperatura y evitar el estancamiento de agua. En la Figura 9 se visualiza otro ejemplo de cómo se hace la pila de compost.



Figura 9. Pila de compost 2

Se puede ayudar a la aireación con diferentes modalidades de aireación pasiva.

- “Colchón de aire”. Éste colchón se forma con ramas gruesas, y se coloca como una primera capa de la pila (80 cm) Figura 10. El compost tiende a crear bolsas anaeróbicas en la parte central inferior y este método mejora la circulación del aire de una forma homogénea.



Figura 10. Formación de colchón de aire

- Chimenea. Durante la formación de la pila es común la colocación de un madero de al menos 20 cm de diámetro y 1,5 metros de altura Figura 11. Cuando la pila ya se ha formado, este palo se retira y el espacio abierto por el madero actúa como chimenea, mejorando así la circulación del aire en la pila.



Figura 11. Formación de chimenea para el compost

Manejo y formación de la pila:

Elección del área y nivelación. Esta elección se hace en función de: condiciones climáticas, distancia al área de producción de residuos, distancia al área donde se aplicará el compost final y pendiente del terreno. Es preferible un área protegida de vientos fuertes, a prudente distancia de nacimientos de agua (más de 50 metros) para evitar contaminaciones.

- Picado del material y amontonamiento. El material a compostar se pica manual o mecánicamente de preferencia en fragmentos de 10-15 cm. Se toma normalmente como unidad de tiempo la semana para amontonar material en una misma pila, antes que empiece la fase termófila o de higienización, y así evitar la re-contaminación del material con material fresco. Otro aspecto importante aquí es la mezcla de material para alcanzar una relación C:N adecuada.

A continuación se presenta una Tabla 16 de la adecuada relación de C/N de algunos materiales usados en el compostaje.

Tabla 16. Relación C/N equilibrado en el compost. Fuente: Manual del compostaje del agricultor (2013).

Nivel alto de nitrógeno 1:1-24:1		C:N equilibrado 25:1-40:1		Nivel alto de carbono 41:1- 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza	7:1	Hojas de frijol	27:1		
Estiércol porcino	10:1	Pulpa de café	29:1	Hojas de árbol	47:1
Desperdicios de cocina	14:1	Estércol ovino/caprino	32:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Gallinaza caminada	18:1	Hojas de plátano	32:1	Basura urbana fresca	61:1
		Restos hortalizas	37:1		
		Hojas de café	38:1		
		Restos de poda	44:1		
				Paja de arroz	77:1
				Hoja seca (gramíneas)	81:1
				Paja de maíz	117:1
				Aserrín	638:1

Aplicación del compost:

El compost se puede aplicar semimaduro en fase mesófila II o ya maduro. El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro.

Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas.

La aplicación en horticultura del compost semimaduro es normalmente una aplicación de primavera de 4 – 5 kg/m² en el terreno previamente labrado (coliflor, apio, papa...). En cultivos extensivos, la aplicación es de 7 – 10 T/ha de compost.

El rango ideal de la relación C: N para comenzar el compostaje es de 25:1 a 35:1. Para calcularlo, se seleccionan de la Tabla 14 los materiales disponibles y se calcula la relación C:N de los materiales por separado.

Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor temperatura para decidir cuándo hacer el volteo como se muestra a continuación en la Figura 12.

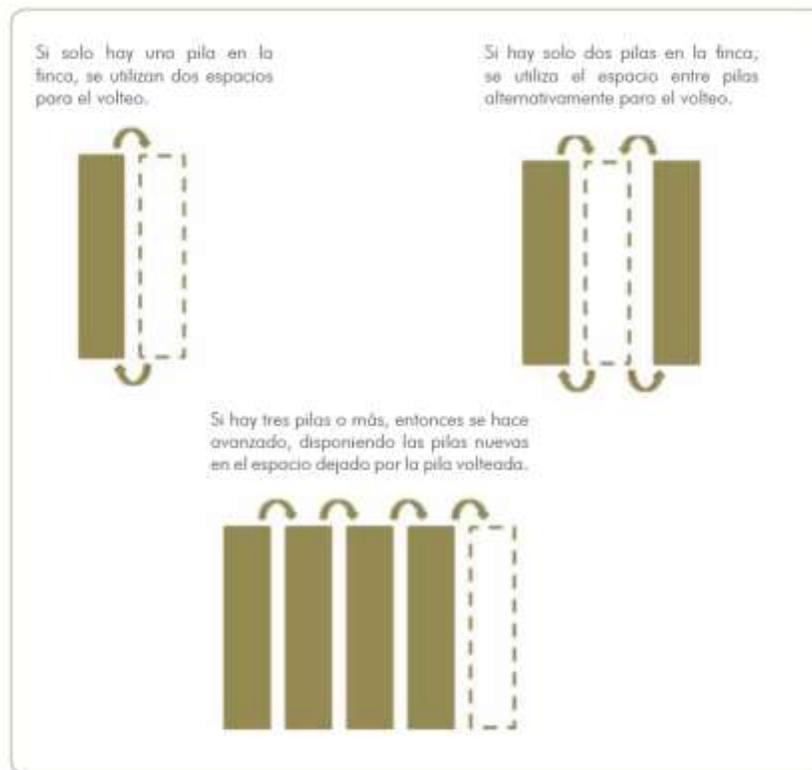


Figura 12. Formas de volteo del compost

4.6.5 Controles de temperatura, humedad y PH

Temperatura: si no se dispone de un termómetro, se puede utilizar una barra de metal o de madera, si no se tiene de metal. La barra se introduce en distintos puntos de la pila y manualmente se comprueba un aproximado de la temperatura según la fase de compostaje y observando las temperaturas recomendadas en cada

Humedad: se puede hacer la llamada “técnica del puño cerrado”, que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped).

Acidez o pH: Hay dos modalidades de medida, una directamente en la pila y otra en un extracto de compost.

Medida del pH en la pila: Si el compost está húmedo pero no encharcado, se puede insertar una tira indicadora de pH en el compost. Se deja reposar durante unos minutos para absorber el agua, y se lee el pH mediante la comparación del color.

Medida del pH en solución acuosa: Se toman varias muestras del compost y se colocan en recipientes con agua (volumen/volumen 1:5). Se agita y se toma la lectura, preferiblemente con pHmetro, si no se tiene pHmetro, entonces con tira indicadora.

A continuación en la Figura 13 se muestra la tabla para como una ayuda para poder controlar los niveles de pH en el compost.

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Temperatura												
Ref temperatura	15°-40°		40°-65°			15°-40°			T°ambiente			
pH												
Ref pH	4-6		8-9			7-8			6-8			
Humedad												
Ref humedad	variable, dependiendo de la humedad de entrada, entre 30% - 60%.											
Aspecto												
Ref aspecto visual												

Figura 13. Control del pH

Para comprobar que el compost ha entrado en fase de maduración, el material, aun húmedo no aumenta de temperatura nuevamente a pesar de que se realice el volteo.

Se deben tomar varias muestras (mínimo 3 muestras) representativas del tamaño de la pila para analizar el aspecto y olor del material compostado. Debe estar oscuro, con olor a suelo húmedo, y cuando se realiza la prueba del puño, no debe mostrar exceso de humedad. Se puede, además, hacer un cuarteo (división de la pila en 4 partes iguales) y tomar de cada cuarto 3 muestras de 100 gramos de material compostado, introducir las en bolsas plásticas y dejarlas por dos días en un lugar fresco y seco. Si al cabo de este tiempo, la bolsa aparece hinchada (llena de aire) y con condensación de humedad puede ser indicativo de que el proceso aún no ha finalizado (el compost esta inmaduro).

Otra técnica es la de introducir un machete o instrumento metálico de 50 cm hacia el centro la pila. Si al cabo de 10 minutos al retirar el machete se siente caliente (no se puede tocar porque quema), quiere decir que el material aún está en proceso de descomposición. En estos casos, se debe dejar la pila para que continúe el proceso de compostaje.

Cernido o Tamizado. Una vez se ha comprobado que el compost está maduro, se realiza un tamizado del material con el fin de eliminar los elementos gruesos y otros contaminantes (metales, vidrios, cerámicas, piedras).

El material grueso que no pasa a través de la malla del tamiz en su mayoría es material lignocelulósico (maderas) y volverá a una nueva pila de compostaje para cumplir una doble función, seguir descomponiéndose y servir como inoculante de bacterias compostadoras, (Román, 2013).

En la figura 14 se muestra el proceso correcto de tamizado del compost.

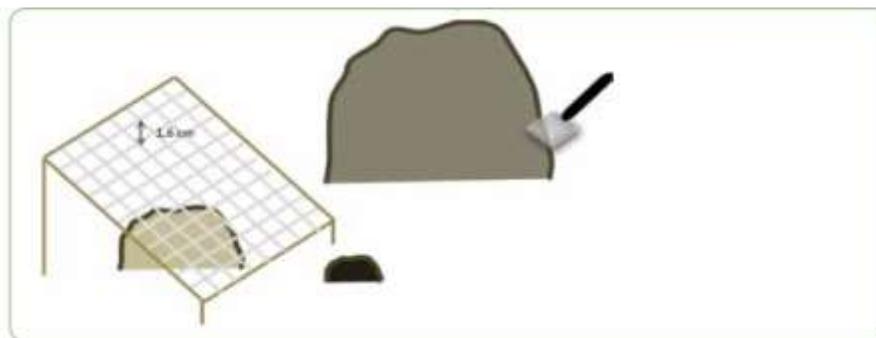


Figura 14. Tamizado del compost

En la figura 15 se indica el proceso de los pasos a seguir para las labores del compost

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12
Elección del lugar y nivelación												
Picado y amontonamiento del material												
Control de la temperatura y humedad												
Tamizado												

Figura 15. Plantilla para el seguimiento de las labores de compost en el campo

4.7 Preparación del suelo para el cultivo

Tradicionalmente, los agricultores practican la labranza convencional con arados de vertederas o discos y rastras de discos. Piensan que para obtener una cama de siembra uniforme libre de malezas es necesario labrar el suelo. Para poder discutir los conceptos «la labranza reduce la productividad del suelo» y «la Agricultura de Conservación beneficia el suelo», se debe comprender lo básico del suelo, los principios de su manejo y estudiar las ventajas y desventajas de ambos sistemas. A continuación Tabla 16 se indican las ventajas y desventajas de la labranza convencional.

Tabla 17. Convenientes e inconvenientes de la labranza tradicional. Fuente: Fertilidad del suelo, (2015).

Ventajas	Desventajas
Hay maquinaria disponible	Usa más combustible
Incorpora fertilizantes	Necesita más mano de obra
Necesita menor manejo	Necesita más tractores
Suprime malezas	Causa más erosión
Elimina la compactación del suelo	
Agricultura de conservación	
Ventajas	Desventajas
Conserva la unidad del suelo	Difícil en suelos arcillosos con mayor drenaje
Usa menos combustible	Requiere equipos especializados
Requiere menos tiempo	Reduce la temperatura del suelo
Necesita menos maquinaria	Posible incremento de plagas
Provoca menos compactación	Requiere alto nivel de manejo
Ahorra dinero	

La compactación del suelo ocurre cuando las partículas están comprimidas unas con otras lo que reduce el desarrollo de las raíces, el movimiento capilar del agua y la infiltración de agua y aire;

como consecuencia se incrementan la escorrentía y la erosión hídrica del suelo. Hay dos tipos de compactación:

1. la compactación del subsuelo
2. la costra superficial

Son inducidas 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.
- El encostramiento superficial es un problema de los suelos con alta cantidad de limo o arcilla que ha sido intensamente labrado y tiene muchas partículas finas en la superficie.

Los cultivos necesitan los mismos nutrientes en los sistemas de la Agricultura de Conservación que en los sistemas de labranza convencional. La diferencia radica en el tipo y momento de aplicación de los fertilizantes, así como la reducción de las actividades de preparación de tierra que pueden actuar sobre los nutrientes en las siguientes formas:

- Los nutrientes inmóviles pueden acumularse en las capas superficiales.
- La mineralización del nitrógeno se reduce en la agricultura de conservación.
- Durante la descomposición de los residuos de los cultivos, el nitrógeno puede inmovilizarse.
- La aplicación superficial de fertilizantes amoniacales pueden acidificar la superficie del suelo.

Cuando se usan sistemas de labranza mínima en la Agricultura de Conservación, la aplicación de fertilizantes no diferirá de la práctica de aplicación en los sistemas convencionales. Sin embargo, cuando se aplica la siembra directa en la Agricultura de Conservación, las estrategias deben ser desarrolladas para superar los factores arriba mencionados.

4.8 Diagnóstico de nutrición y recomendaciones de abonado de los cultivos

Las plantas extraen nutrimentos del suelo. Cómo estos son eliminados del suelo con los productos de la cosecha, el conocimiento de las extracciones es de gran importancia para el balance de los nutrimentos. Consideradas a largo plazo, las aportaciones y las pérdidas deben estar más o menos equilibradas.

Cuando los valores de las extracciones se utilizan como base para determinar las necesidades de abono se han de tener en cuenta los valores de extracción. Debe establecerse como base para los balances de abonado debe utilizarse la extracción mínima necesaria para la producción que se pretende obtener.

La dosis óptima de abonado depende, de dos parámetros importantes. El grado de aprovechamiento influye en la dosis de abonado, de la forma siguiente: cuanto mayor sea la cantidad de abono que se necesite, tanto menor será la tasa de aprovechamiento.

Cuando se aportan nutrimentos al suelo, éstos pueden permanecer en él de la siguiente forma:

- Se encuentran en forma disponible por las plantas (esta es la fracción aprovechada).
- Permanecen en forma disponible, pero no son absorbidos.
- Son fijados, quedando fuera del ciclo durante largo tiempo.
- Se pierden lejos de la zona radical, (Fertilidad del suelo, 2015).

Como se puede ver, las plantas solamente aprovechan una parte de la cantidad del nutrimento que se aporta.

El grado de aprovechamiento de una aportación de nutrimentos indica la fracción de abono absorbida.

4.9 Manejo de fertilizantes orgánicos

La utilización racional de los abonos orgánicos en el país, reviste una gran importancia por constituir una fuente de nutrimentos para los cultivos.

Para la utilización correcta de los abonos orgánicos, es necesario considerar las propiedades que poseen.

Entre las propiedades físicas que se mejoran, se encuentran la agregación de partículas como son: la estructura, la aireación y la permeabilidad. Dentro de las químicas, pueden citarse en el incremento de nutrimentos, el aumento del poder amortiguador del PH y la elevación de la capa de intercambio catiónico.

Sin embargo, cuando el abono no tiene un procesamiento adecuado, su utilización puede traer efectos nocivos tales como:

- Fijación de amonio.
- Proliferación de malas hierbas.
- Producción de inhibidores del crecimiento de las plantas.
- Infestación de plagas y enfermedades

Generalmente a los abonos orgánicos se les considera como mejoradores de suelos; sin embargo, no debe olvidarse que el contenido de materia orgánica de un suelo, es el resultado de un equilibrio de éste con su medio ambiente y como todo sistema en equilibrio, es difícil de cambiar y aun cuando esto se lograra mediante aplicaciones altas y continuas, tenderá a regresar a su condición original en un lapso relativamente corto.

4.10 Dosificaciones

En lo que se refiere a las dosificaciones, estas varían de acuerdo con muchos factores específicos por lo que únicamente se mencionan los lineamientos generales.

- Contenido de humedad: Un material procesado se considera “seco” cuando tiene hasta un 20% de humedad.
- Contenido de nutrimentos: Se da normalmente sobre base seca, o sea, con 0% de humedad en tal forma que es necesario efectuar la corrección respectiva para dar la dosis deseada de nitrógeno, fósforo y potasio.
- Velocidad de liberación de nutrimentos: Cuando el material es procesado, prácticamente los nutrimentos son 100% aprovechables; cuando no es así se considera que el nitrógeno se libera 50% el primer año, 35% el segundo y 15% el tercero.
- Requerimiento de cultivo: Esto se define mediante experimentación de campo dando por resultado el tratamiento de fertilización que debe tomarse como guía de la recomendación específica, (Fink |, 1988).

4.11 Consideraciones finales

Cuando se aplique abono fresco, éste se debe agregar con 3 o 4 meses de anticipación a la siembra o trasplante a fin de que ocurra el procesamiento del mismo en el propio suelo. No es conveniente que el abono quede en contacto con la semilla o la planta, ya que el material funciona en este aspecto como cualquier fertilizante “quemando” la semilla o la planta. De acuerdo con esto, es conveniente enterrar el abono, incorporándolo previamente a la siembra o trasplante.

El componente orgánico del suelo es un factor fundamental en el desarrollo de las funciones ecológicas del suelo, en su estabilidad y resistencia ante impactos y en su fertilidad y productividad. Estos aspectos esenciales se potencian con el mantenimiento de niveles adecuados de carbono orgánico en el suelo, que ejercen una influencia positiva en las propiedades químicas edáficas. Estos efectos químicos beneficiosos se traducen en un aumento de la capacidad de regulación y amortiguación del suelo, un mejor suministro y gestión de nutrientes y una mejora indirecta de la actividad microbiana y enzimática. Todo ello se traduce en una mejor disponibilidad de elementos nutritivos y en aumentos en la producción agraria.

Indirectamente, la aplicación de compost al suelo no solo puede prevenir su degradación sino puede contribuir también la tendencia de cambio climático.

Por su especial relevancia destacan los efectos positivos de la adición de enmiendas orgánicas en suelos degradados bajo condiciones áridas y semiáridas mediterráneas. Ya que dicha acción se convierte en una tecnología sostenible que puede rentabilizar la cada vez más abundante producción de residuos, para la mejora de la fertilidad, para la lucha contra la degradación y para la atenuación del cambio climático.

Capítulo 5 Aplicación y desarrollo

El desarrollo de software no son sólo programas de computadora como lo cree la mayoría de las personas, sino que detrás de una aplicación creada para resolver una necesidad de la sociedad o en específico de algún cliente se tiene documentación de aquellos datos necesarios para hacer que los programas operen de manera correcta. Anteriormente, no existía ningún método que permitiera predecir cuándo se termina un proyecto, ya que no había forma de controlar las actividades que se estaban desarrollando. El nacimiento de técnicas estructuradas es lo que da origen al desarrollo de aplicaciones a través de métodos de ingeniería. La Ingeniería de Software es un proceso intensivo de conocimiento, que abarca la captura de requerimientos, diseño, desarrollo, prueba, implantación y mantenimiento.

Una parte importante de la ingeniería de software es el desarrollo de metodologías y modelos. Una metodología impone un proceso de forma disciplinada sobre el desarrollo de software con el objetivo de hacerlo más predecible y eficiente. Una metodología define una representación que permite facilitar la manipulación de modelos, y la comunicación e intercambio de información entre todas las partes involucradas en la construcción de un sistema.

Existen diferentes modelos y metodologías que han sido en los últimos años herramientas de apoyo para el desarrollo del software.

Metodología de desarrollo de software: es un enfoque estructurado para el desarrollo de software que incluye modelos de sistemas, notaciones, reglas, sugerencias de diseño y guías de procesos. (Eumed, 2015).

5.1 Metodología RAD

El desarrollo rápido de aplicaciones o RAD (acrónimo en inglés de rapid application development) es un proceso de desarrollo de software, desarrollado inicialmente por James Martin en 1980. El método comprende el desarrollo iterativo, la construcción de prototipos y el uso de utilidades CASE (Computer Aided Software Engineering). Tradicionalmente, el desarrollo rápido de aplicaciones tiende a englobar también la usabilidad, utilidad y la rapidez de ejecución.

5.1.1. Características

Esta metodología propone un proceso de desarrollo de "software" que permite que se creen sistemas de computadoras utilizables en un periodo de tiempo entre 60 a 90 días. RAD es un ciclo de desarrollo diseñado para crear aplicaciones de computadoras de alta calidad de las que acontecen en corporaciones grandes.

El desarrollo de aplicaciones enfrenta una transformación fundamental. Hace cinco años un proyecto para desarrollar una aplicación tomaba un periodo de entre 18 a 24 meses; actualmente, con la práctica del modelo RAD toma entre 1 a 3 meses. Con las siguientes características:

Bajos costos: RAD, por lo general, resulta en costos más bajos. Esto se debe a que se forman pequeños equipos de profesionales quienes utilizan herramientas de alta capacidad para generar los sistemas. Estas herramientas conocidas como "CASE" (ComputerAidedSystemsEngineering) permiten que se aligere el proceso, lo cual ayuda a que los costos aún sean más bajos sin sacrificar la calidad del producto. El método RAD utiliza estas herramientas computadorizadas y talento humano para cumplir con las metas requeridas rápida y efectivamente.

Las herramientas integradas "CASE" proveen para que la planificación, análisis e itinerarios se creen gráficamente. Los analistas de sistemas interactúan con estas herramientas por medio de diagramas.

Calidad: La calidad de un sistema se mide en términos de hasta qué punto ese sistema, al momento que se implementa, cumple con los requisitos de la compañía y sus usuarios.

El uso de herramientas "CASE" tiene el propósito de integrar diagramas para representar la información y crear modelos del sistema. Se crean diseños y estructuras bien detalladas. Cuando es apropiado, los diagramas ayudan a visualizar los conceptos. Estas herramientas computadorizadas refuerzan la exactitud de los diagramas.

5.1.2 Ciclo de vida

Etapas de planificación de los requisitos: Esta etapa requiere que usuarios con un vasto conocimiento de los procesos de la compañía determinen cuáles serán las funciones del sistema. Debe darse una discusión estructurada sobre los problemas de la compañía que necesitan solución.

Etapas de diseño: Esta consiste de un análisis detallado de las actividades de la compañía en relación al sistema propuesto. Los usuarios participan activamente en talleres bajo la tutela de profesionales de la informática. En ellos descomponen funciones y definen entidades asociadas con el sistema. Al finalizar el análisis se traza el diseño del sistema. Se desarrollan los procedimientos y los esquemas de pantallas. Los prototipos de procedimientos críticos se construyen y se repasan y el plan para implementar el sistema se prepara.

Construcción: En la etapa de construcción el equipo de desarrolladores trabajando de cerca con los usuarios finaliza el diseño y la construcción del sistema. La construcción de la aplicación consiste de una serie de pasos donde los usuarios tienen la oportunidad de afirmar los requisitos y repasar los resultados. Las pruebas al sistema se llevan a cabo durante esta etapa. También se crea la

documentación y las instrucciones necesarias para manejar la nueva aplicación, rutinas y procedimientos para operar el sistema.

Implementación: Esta etapa envuelve la instalación del nuevo producto y el manejo del cambio del viejo al nuevo sistema. Se hacen pruebas comprensivas y se adiestran los usuarios. Los cambios organizacionales y la operación del nuevo sistema se hacen en paralelo con el viejo sistema hasta que el nuevo se establezca completamente.

5.1.3 Descripción

Entre las principales características del RAD tenemos:

- Equipos Híbridos: Equipos compuestos por alrededor de seis personas, incluyendo desarrolladores y usuarios de tiempo completo del sistema así como aquellas personas involucradas con los requisitos.
- Herramientas Especializadas

Desarrollo "visual"

Creación de prototipos falsos (simulación pura)

Creación de prototipos funcionales

Múltiples lenguajes

Calendario grupal

Herramientas colaborativas y de trabajo en equipo

Componentes reusables Interfaces estándares (API)

Control de versiones

- "Timeboxing": Las funciones secundarias son eliminadas como sea necesario para cumplir con el calendario.
- Prototipos Iterativos y Evolucionarios.
- ReuniónJAD (Joint Application Development):

Se reúnen los usuarios finales y los desarrolladores.

Lluvia de ideas para obtener un borrador inicial de los requisitos.

Iterar hasta acabar:

Los desarrolladores construyen y depuran el prototipo basado en los requisitos actuales.

Los diseñadores revisan el prototipo.

Los clientes prueban el prototipo, depuran los requisitos.

Los clientes y desarrolladores se reúnen para revisar juntos el producto, refinar los requisitos y generar solicitudes de cambios.

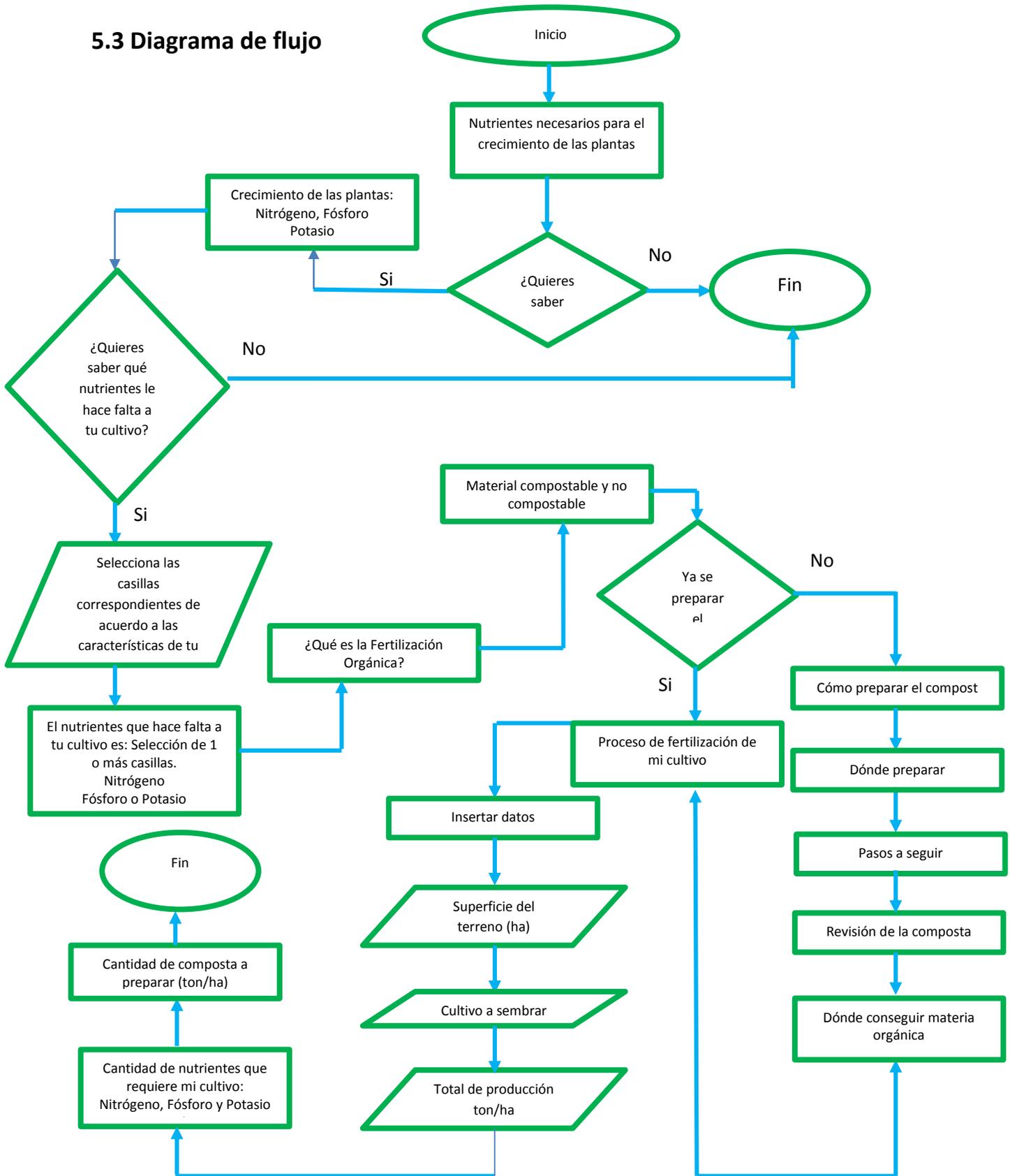
Los cambios para los que no hay tiempo no se realizan. Los requisitos secundarios se eliminan si es necesario para cumplir, (Ingeniería de software, 2015).

5.2 Netbeans IDE

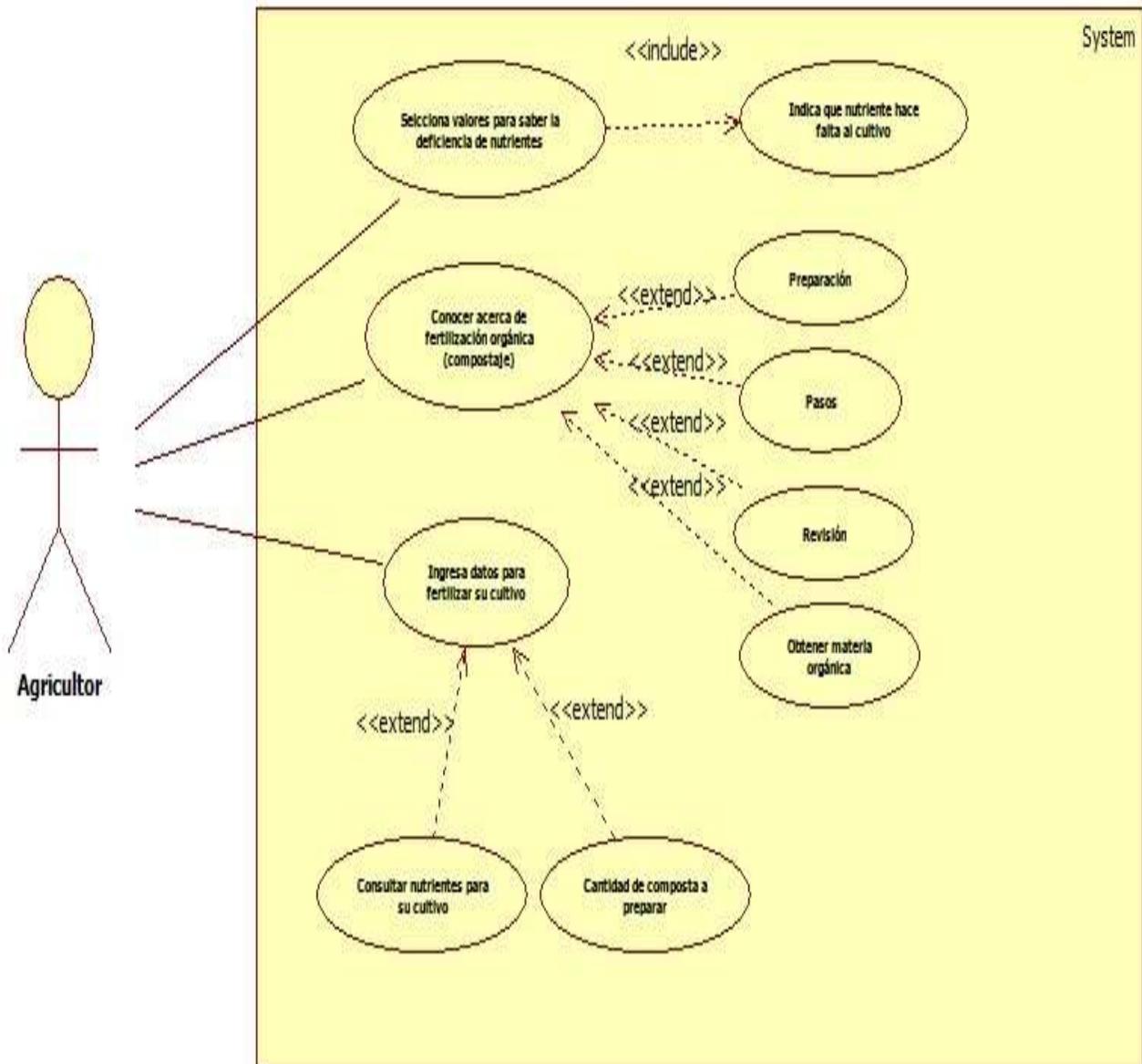
NetBeans es un proyecto exitoso de código abierto con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento, y con cerca de 100 socios en todo el mundo. SunMicroSystems fundó el proyecto de código abierto NetBeans en junio 2000 y continúa siendo el patrocinador principal de los proyectos.

NetBeans IDE es un entorno de desarrollo - una herramienta para que los programadores puedan escribir, compilar, depurar y ejecutar programas. Está escrito en Java - pero puede servir para cualquier otro lenguaje de programación, (Netbeans.org, 2015).

5.3 Diagrama de flujo



5.4 Diagrama de caso de uso



5.5 Procedimiento

→ Para el cálculo de la cantidad nutrientes que requiere cada cultivo

Maíz:

Nitrógeno (N) Cantidad de producción del cultivo $ton/ha * 15 kg/ton$

Potasio (K) Cantidad de Producción del cultivo $ton/ha * 4 kg/ton$

Fósforo (P) Cantidad de Producción de cultivo $ton/ha * 3kg/ton$

Trigo:

Nitrógeno (N) Cantidad de producción del cultivo $ton/ha * 21 kg/ton$

Potasio (K) Cantidad de Producción del cultivo $ton/ha * 194 kg/ton$

Fósforo (P) Cantidad de Producción de cultivo $ton/ha * 4 kg/ton$

Avena:

Nitrógeno (N) Cantidad de producción del cultivo $ton/ha * 20 kg/ton$

Potasio (K) Cantidad de Producción del cultivo $ton/ha * 3 kg/ton$

Fósforo (P) Cantidad de Producción de cultivo $ton/ha * 3 kg/ton$

Calabaza:

Nitrógeno (N) Cantidad de producción del cultivo $ton/ha * 4 kg/ton$

Potasio (K) Cantidad de Producción del cultivo $ton/ha * 6 kg/ton$

Fósforo (P) Cantidad de Producción de cultivo $ton/ha * 0.6 kg/ton$

Alfalfa:

Nitrógeno (N) Cantidad de producción del cultivo *ton/ha* * 27 *kg/ton*

Potasio (K) Cantidad de Producción del cultivo *ton/ha* * 21 *kg/ton*

Fósforo (P) Cantidad de Producción de cultivo *ton/ha* * 2.8 *kg/ton*

Cebolla:

Nitrógeno (N) Cantidad de producción del cultivo *ton/ha* * 2.5 *kg/ton*

Potasio (K) Cantidad de Producción del cultivo *ton/ha* * 2.4 *kg/ton*

Fósforo (P) Cantidad de Producción de cultivo *ton/ha* * 0.4 *kg/ton*

Tomate:

Nitrógeno (N) Cantidad de producción del cultivo *ton/ha* * 1.9 *kg/ton*

Potasio (K) Cantidad de Producción del cultivo *ton/ha* * 3.1 *kg/ton*

Fósforo (P) Cantidad de Producción de cultivo *ton/ha* * 0.2 *kg/ton*

➔ Para el cálculo de cantidad a compostar por hectárea:

Total de superficie de terreno a cultivar * 10 *ton/ha* de compost

*El cálculo de cantidad total de compost a utilizar se multiplica por dos tomando en cuenta que se pierde la mitad de material al momento de la descomposición

** Los cálculos son aproximados, están elaborados a partir de la cantidad de extracción de nutrientes por cultivo

5.6 Resultados

A continuación se presenta la pantalla de bienvenida Figura 16 dónde se inicia con una pequeña introducción invitando al usuario a indagar acerca de las deficiencias que presenta una planta por falta de nutrientes, continuamente después de ello, se presiona el botón “¿Quieres saber más?”

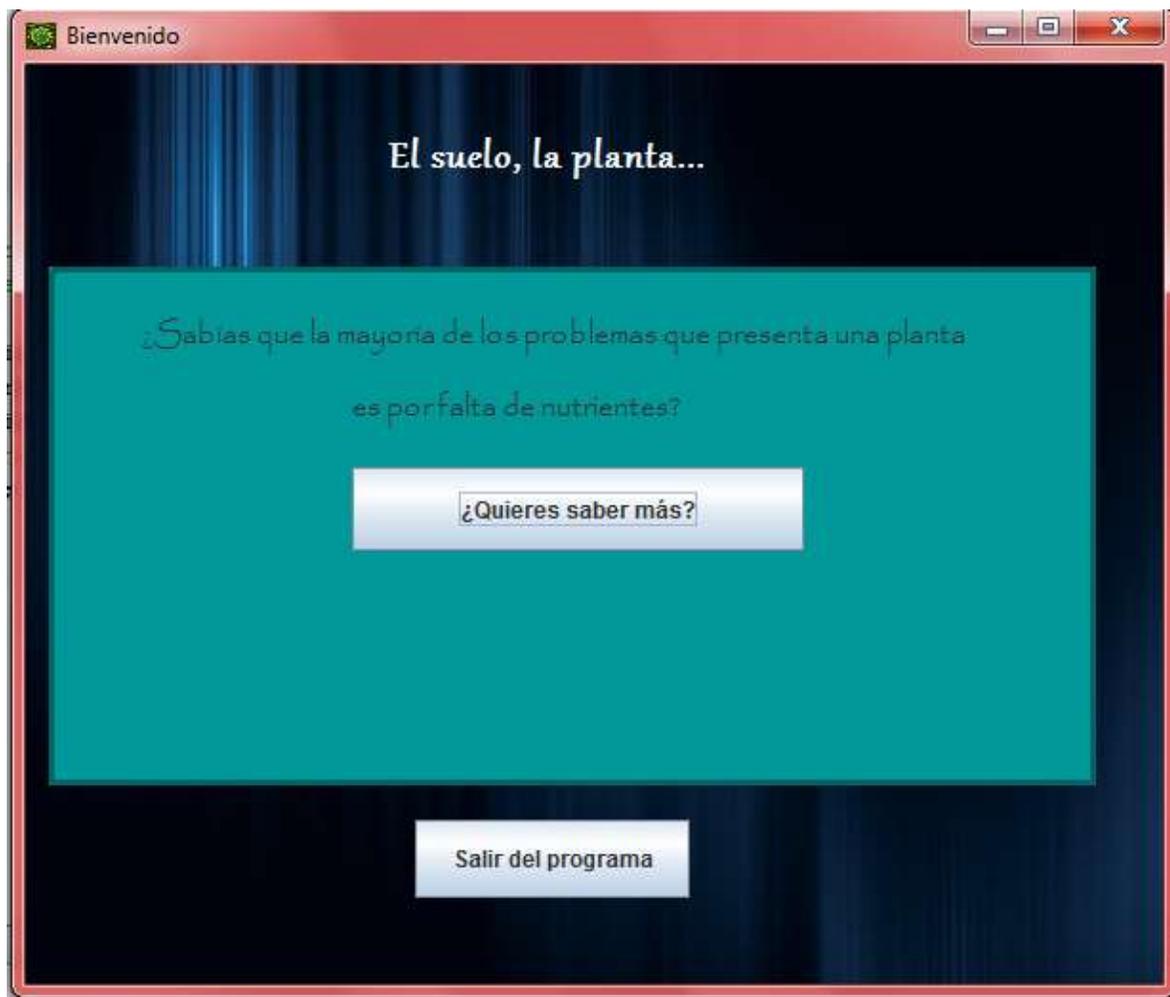


Figura 16 Pantalla de bienvenida

En la figura 17 Se le informa al usuario los principales nutrientes que debe contener una planta para su correcto crecimiento y desarrollo. Para que el agricultor pueda saber qué nutriente hace falta a su cultivo, seguidamente se presiona el botón “Averígualo aquí”

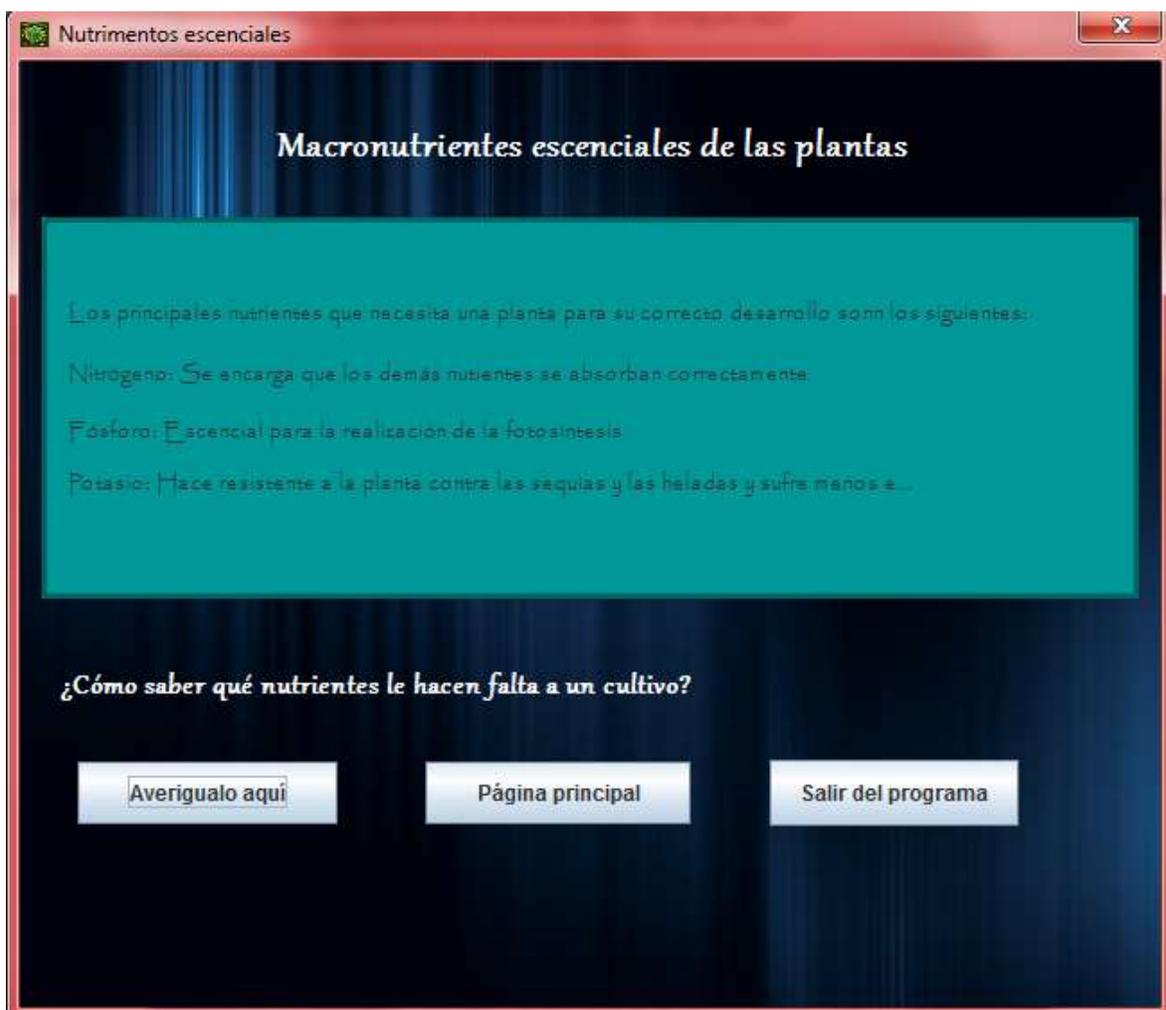


Figura 17 Nutrientes esenciales de las plantas

De acuerdo con la experiencia y con un test que se presenta a continuación Figura 18 puede saber con más precisión de que nutrientes carece su cultivo con tal sólo seleccionar las casillas que corresponda y verificar que nutrientes es el que necesita la planta y para saber el resultado se presiona el botón “El nutriente que la planta necesita es.”

Una vez que el agricultor o usuario ya sabe que nutriente es el que necesita su cultivo, se prosigue a revisar qué procedimiento se sigue para fertilizar su cultivo, para ello se presiona el botón “Fertilización orgánica”

Test

Marca las casillas que represente las deficiencias de tu cultivo o planta

La planta tiene crecimiento retrasado

Los bordes de las hojas están en un tono oscuro

Coloración amarillenta en las puntas de las hojas

Los frutos están pequeños

Las hojas más bajas se mueren prematuramente

Las hojas se visualizan marchitas

Frutos deformes

Granos vacíos

Hojas oscuras, azuladas o moradas

El nutriente que la planta necesita es:

Nitrogeno

Fertilización Orgánica Página principal Atrás Salir del programa

Figura 18 Test para validar los nutrientes que hacen falta aun cultivo

Se muestra la pantalla Figura 19 que viene a continuación dónde de una manera muy general se indica qué es la fertilización orgánica y el compostaje, para que el usuario pueda tener un concepto más amplio de esos temas. Para saber los materiales que se pueden compostar el usuario deberá presionar el botón “¿Qué se puede y qué no se puede compostar?”



Figura 19 Introducción de fertilización orgánica

Con ello, en la figura 20 se muestra la siguiente pantalla dónde se indican los materiales adecuados para comenzar con el proceso de compost, ya que habrá que recordar que no todos los materiales se pueden compostar aunque se traten de materiales orgánicos. Una vez que el usuario ya identificó los materiales adecuados para poder realizar el proceso de compost, ya puede comenzar con los pasos para realizar su propio compost, ya que, se muestra el botón “Hago mi compost” en el cual se inician con los pasos para la correcta preparación

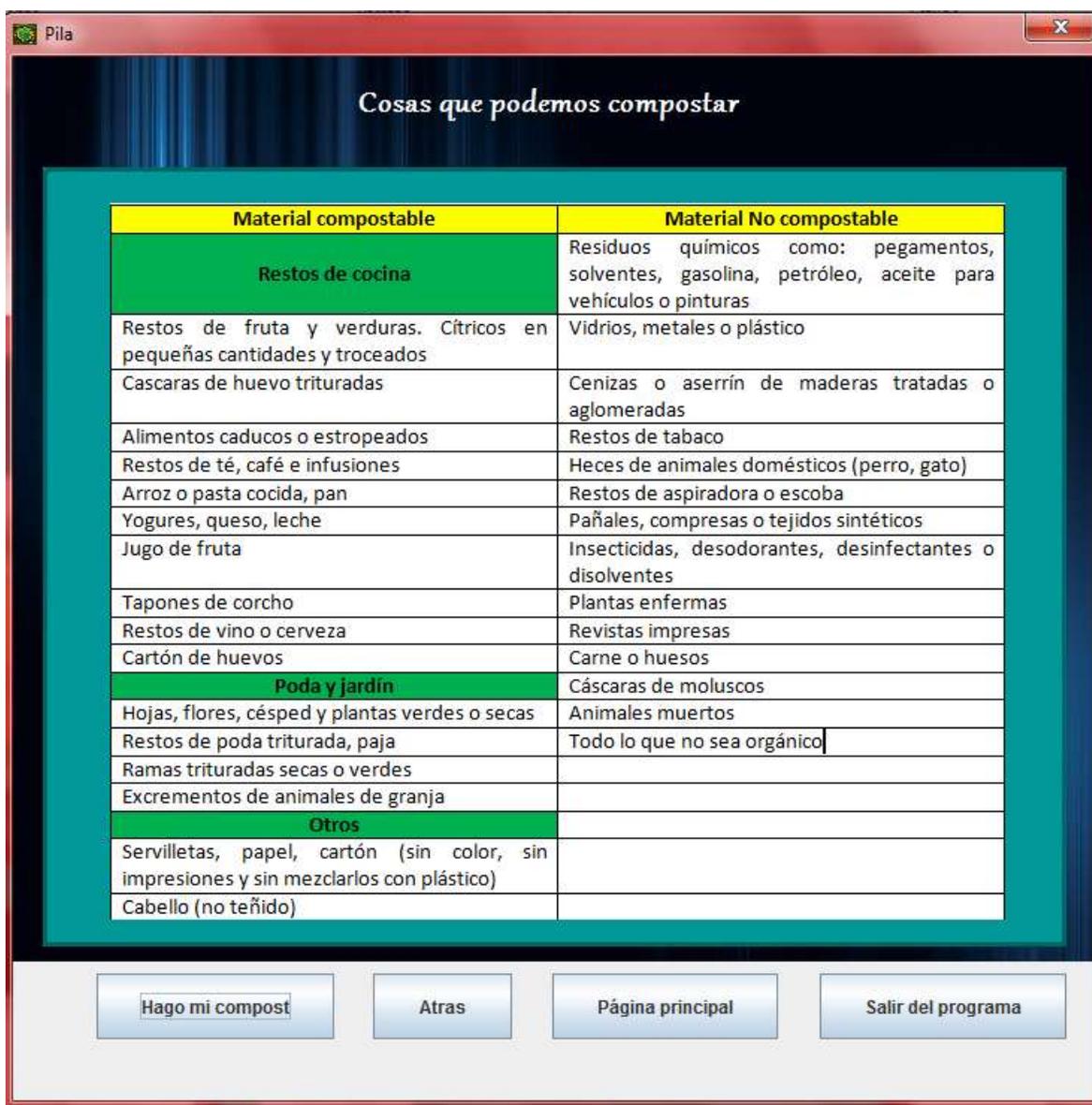


Figura 20 Se muestran los materiales adecuados para compostar

En esta pantalla Figura 21 se pueden visualizar cuatro botones, los cuales llevan al usuario paso a paso al camino adecuado para preparar el compost.

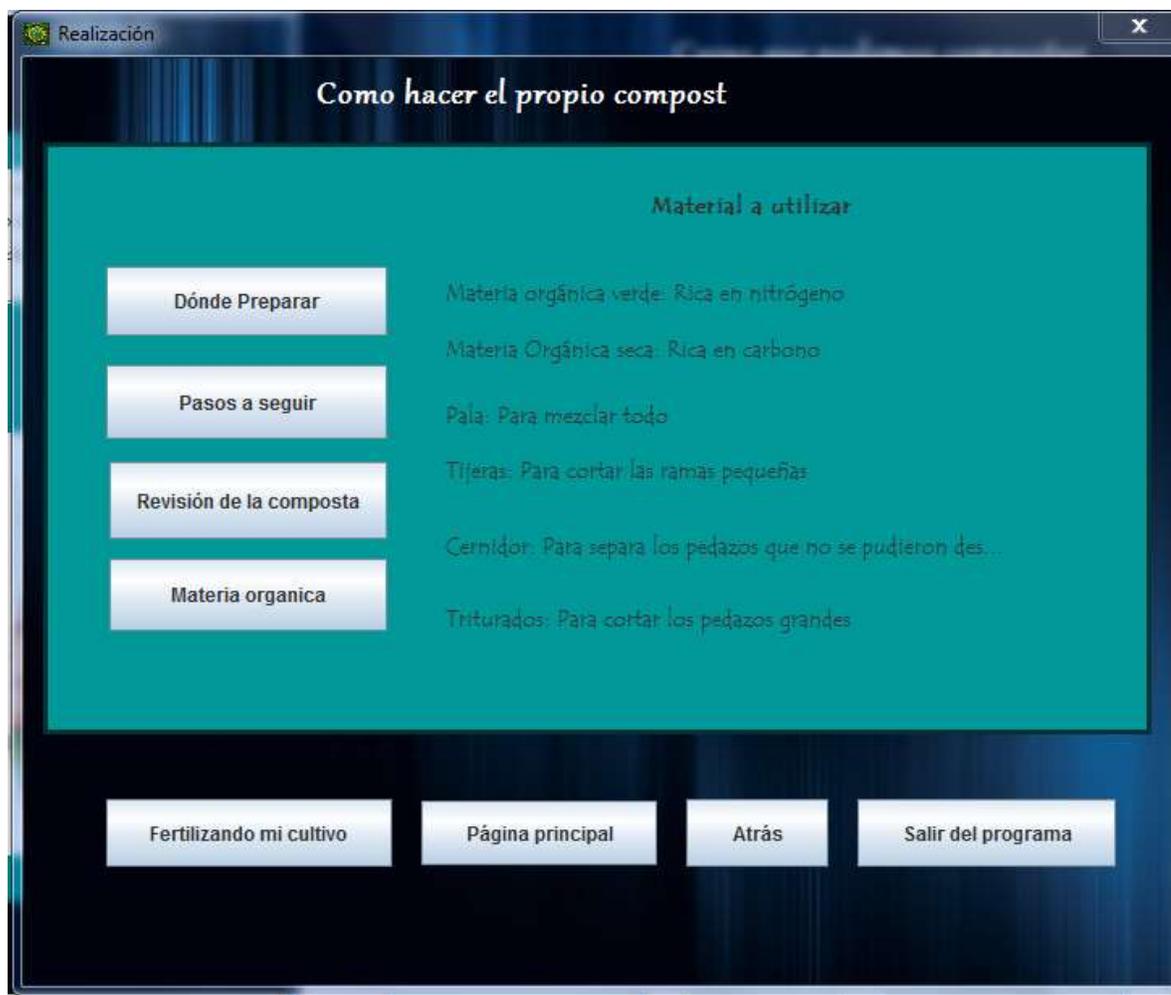


Figura 21 Se inicia la educación al usuario cómo preparar el compost

En el botón “Dónde preparar” de la figura 22 se pueden visualizar los lugares idóneos dónde el usuario puede preparar su compost. Hay que recordar que para fertilizar un cultivo de dimensiones pequeñas como un jardín la preparación del compost puede hacerse en cualquiera de los casos que se presentan a continuación.



Figura 22 Cómo preparar el compost

Al presionar el botón “Pasos a seguir” de la Figura 23 se muestra la siguiente pantalla dónde se indica de una forma muy concreta cómo se debe hacer la preparación de la mezcla.

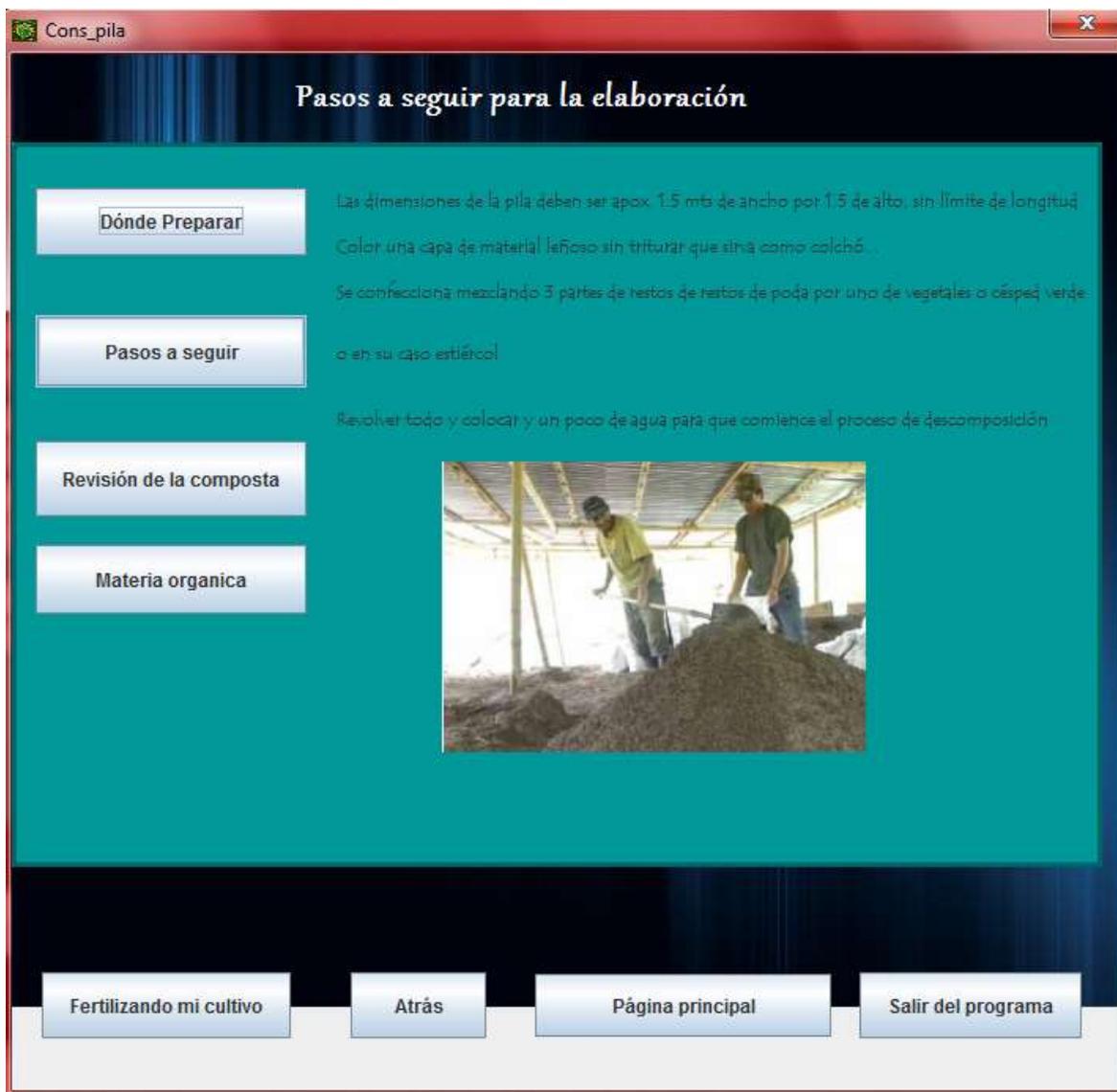


Figura 23 Pasos a seguir para la elaboración del compost

Cuando se han seguido los pasos correctos hasta este momento, se puede iniciar con el proceso de revisión de la composta a partir de los cuatro meses cómo se indica a continuación. Al presionar el botón “Revisión de la composta” en la Figura 24.

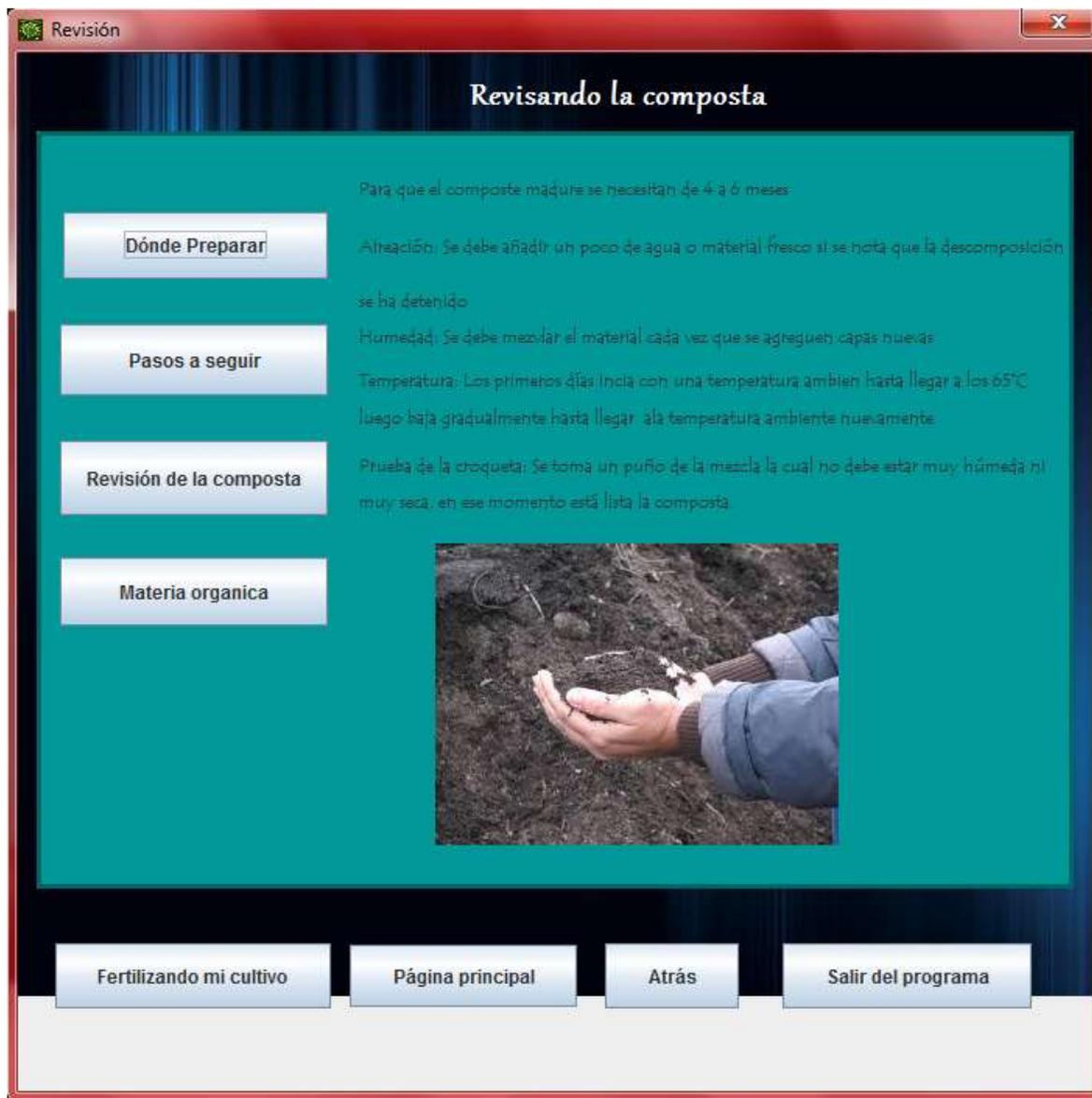


Figura 24 Se indica cómo revisar el proceso de compostaje

A continuación se puede visualizar el botón “Materia orgánica” Figura 25 donde se le da al usuario más opciones donde conseguir material para realizar la composta, ya que cabe recordar que para cuando se habla de cultivos de grandes extensiones, los residuos de cocina o jardín de un hogar, no son suficientes para el proceso.

Para terminar con el proceso, se puede ver el botón “Fertilizando mi cultivo” donde al presionarlo se puede comenzar con los cálculos para la fertilización de una tierra de cultivo de grandes extensiones.

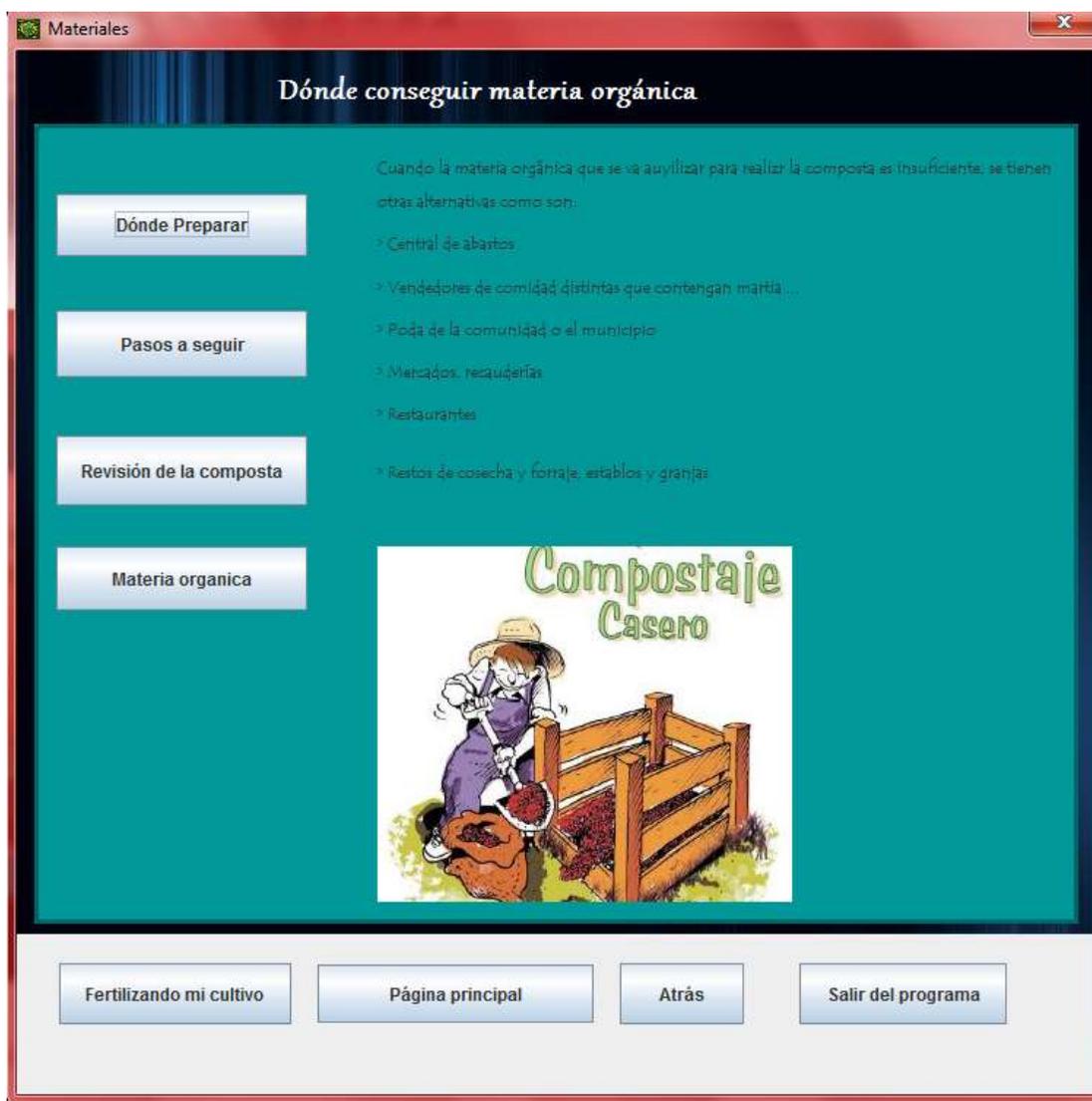


Figura 25 Dónde conseguir los materiales que se pueden compostar

Aquí es dónde el usuario Figura 26 ingresa los datos de acuerdo a lo que le pide el sistema. En primer lugar, ingresa la superficie de su terreno en hectáreas, seguidamente se visualiza una lista desplegable la cual presionarla se visualizarán los cultivos más comunes en el área de estudio y el usuario escogerá uno de ellos, en este caso, se escogió el maíz que es el más común entre todos los cultivos. La siguiente parte es muy importante, ya que el usuario deberá ingresar la cantidad de su producción, no la cantidad que va a sembrar, ya que de acuerdo a la cantidad que se espera que produzca su cosecha va a ser la cantidad de nutrientes que necesita su cultivo. La cantidad de producción se va a colocar en toneladas por hectárea al presionar el botón “Cantidad de nutrimentos esenciales que se necesitan” el programa arrojará los resultados en kilogramos por toneladas.

Para finalizar, se presiona el botón “Cantidad de compost a preparar” Se indica la cantidad de kilogramos de compost a preparar por cada hectárea.

Cultivo

¿Cómo fertilizar mi propio terreno de cultivo?

Total superficie de terreno ha

Que se va a sembrar

¿De cuánto es mi producción? ton/ha

Cantidad de nutrimentos esenciales que se necesitan

Fósforo	<input type="text" value="45.0"/>	Kg/ton
Potasio	<input type="text" value="60.0"/>	Kg/ton
Nitrógeno	<input type="text" value="225.0"/>	Kg/ton

Cantidad de compost a preparar

ton/ha

[Regresar a la página principal](#) [Salir del programa](#)

Figura 26 Ingreso de datos para fertilizar el cultivo

Conclusiones

Al principio de este tema de investigación lo único que se trataba de averiguar es la mejor manera de poder fertilizar una tierra de cultivo sin seguir dañando al medio ambiente, con ello, se ha percatado que al hacer este trabajo, no sólo se vieron alternativas para poder mejorar la calidad de aquellos productos que cosechan los agricultores, sino que al mismo tiempo se vio la manera de poder apoyarlos a solventar las mismas necesidades sin tener que depender totalmente de los programas del gobierno, que realmente, en las entrevistas que se hicieron se pudo percatar que no están enfocados estos programas realmente a cubrir sus necesidades, ya que aunque los programas son de cierta manera redituables y en teoría tiene la mejor intención, se les deja de dar seguimiento y poco a poco los fondos que se utilizan se pierden debido al factor que se acaba de mencionar y muchos más que están ligados directa o indirectamente.

La realidad, es que un tema de investigación como este, se ha visto que no sólo abarca el hecho de mejorar la fertilidad del suelo y la calidad de los productos, sino que también investigando más a fondo se llega a encontrar que este tema llega al punto del desarrollo social de las familias de bajos recursos, así que para poder aportar aún más a estos puntos que se acaban de mencionar, este programa debe impulsarse correctamente, dándole el seguimiento que se necesita hasta poder perfeccionarlo y de esta manera, lograr todos los objetivos, porque al ayudar a una persona que se dedica a la agricultura a preparar su propio fertilizante, mejora su economía al tener productos de mayor calidad y por supuesto, ellos como agricultores pueden ser los más beneficiados al ser más independientes.

Se espera que en un futuro, una aplicación de esta índole pueda ser utilizada en diferentes puntos se condiciones similares.

Bibliografía

- 1 Palmer G. Wertern Robert. Introducción a la ciencia del suelo. Manual de laboratorio. Robert G. Colegio de Postgraduados. 1980 [Consultado el día 07/05/2015]
- 2 León Arteta Réngulo. Nueva Edafología. 4ta edición 1982 [Consultado el día 02/03/2015]
- 3 Navarro Blaya Simón. Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ediciones Mundi Prensa 2003. [Consultado el día 02/03/2015]
- 4 Clasificación de los suelos. [Consultado el día 12/06/2015](<http://www.taringa.net/posts/ecologia/15396619/El-Suelo-y-sus-Tipos.html>)
- 5 Cepeda Davalo Juan Manuel. Química de los suelos. Editorial Trillas 1991. [Consultado el día 12/06/2015]
- 6 Estructura del suelo. FAO. [Consultado el día 12/06/2015] (ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s07.htm)
- 7 Sánchez V. Ing. Javier. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las platas. Conceptos básicos Ediciones Fertitec S.A. 1997 [Consultado el día 01/02/2015]
- 8 W. Fassbender Hans. Química de los suelos. Con énfasis en los suelos de América Latina. Instituto Americano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica 1975 [Consultado el día 06/03/2015]
- 9 Yrigayen Hipólito Fertilizantes. Cómo usarlos para aumentar la producción agropecuaria de América Latina en base a los conceptos nuevos de fertilización desarrollados en forma accesible al productor. Editorial Albatros 1984. [Consultado el 10/04/2015]
- 10 García Hernández José Luis. Agricultura Orgánica, tercera parte. Universidad Juárez de Durango. Primera edición 2010. [Consultado el 12/06/2015]
- 11 Fertilidad de los suelos. [Consultado el 10/06/2015] (<http://www.tierramor.org/Articulos/Fertilidad%20de%20suelos.htm>)
- 12 Tipos de fertilizantes. Aula de agricultura. [Consultado el 04/07/2015] (<http://auladeagricultura.wikispaces.com/4.+Tipos+de+fertilizantes>)
- 13 Utilización de los estiércoles en la Agricultura. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, 1982. [Consultado el 15/05/2015]
- 14 Cruz Medrano Ing. Sergio. Abonos orgánicos. Universidad Autónoma de Chapingo. 1986 [Consultado el día 28/03/2015]
- 15 Moreno Carrasco Joaquín, Moral Herrero Raúl. Compostaje. Ediciones Mundi Prensa. 2008 [Consultado el día 28/03/2015]

- 16 M. Martínez María, Román Pilar. Manual del compostaje agricultor. Santiago de Chile, 2013. [Consultado el 15/05/2015]
- 17 Fertilidad del suelo. Manejo de la fertilidad del suelo, 2015.
- 18 FinkArnoldFink. Fertilizantes y Fertilización. Editorial Reverté S.A. 1988 [Consultado el día 15/05/2015]
- 19 Modelos y metodologías para el desarrollo de software. [Consultado el día 13/08/2015] (<http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2014/jlcv/software.htm>)
- 20 Ingeniería de software. [Consultado el día 13/08/2015](<http://gestionrrhusm.blogspot.mx/2011/05/ingenieria-de-software-ingenieria-de.html>)
- 21 Netbeans. [Consultado el día 13/08/2015] (https://netbeans.org/index_es.html)
- 22 Química de suelos [Consultado del día 12/06/2015] http://www.uaemex.mx/fapur/docs/cediat/CA_mayo2010.pdf
- 23 Explorando México, [Consultado el día 01/enero/2015]<http://www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/8/407/>
- 24 Popadakis. Gx. Fertilizantes. A.I, J. Editorial Albatros 1984 [Consultado el día 25/01/2015]
- 25 La agricultura y el desarrollo rural en México. [Consultado el 20/enero/2015] http://coin.fao.org/cms/world/mexico/InformacionSobreEIPais/agricultura_y_des_r_ural.html
26. Compostadores. Sostenibilidad en estado puro. [Consultado el día 10/08/2015](<http://www.compostadores.com/>)