



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“EFECTO DE ESTIÉRCOL DE BOVINO Y FERTILIZANTE
INORGÁNICO EN LA PRODUCCIÓN DE *LACTUCA SATIVA*
L. EN TEPETATE FRAGMENTADO”.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
P R E S E N T A
MARÍA CONCEPCIÓN FLORES MELÉNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. DAVID FLORES ROMÁN.



2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de Datos del Jurado.

1. Datos del alumno

Flores
Meléndez
María Concepción
21 56 56 02
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
99098900

2. Datos del tutor

Dr
David
Flores
Román

3. Datos sinodal 1

Dra
Nathalie Roberte Chantal
Cabirol

4. Datos sinodal 2

Dra
Amada Laura
Reyes
Ortigoza

5. Datos sinodal 3

M en C
Aleida
García
Cruz

6. Datos sinodal 4

Dr
José Fernando
Aceves
Quesada

A mis hermanitos: E lo, Fla, Peri, Christiancito y Mich.

A mi mami y mi tío Humberto.

¡ Con todo el AMOR del mundo ¡

Agradecimientos.

Le agradezco infinitamente a mi director de tesis el Dr. David Flores Román, por darme la oportunidad de trabajar con él. Le agradezco sus consejos, su paciencia, su apoyo profesional y personal. Ha sido para mí, un ejemplo de cómo debe ser un profesional; comprometido, responsable y seguro de lo que sabe y hace.

Aprovecho para decirle que admiro muchísimo el respeto y compromiso que tiene hacia sus alumnos el ser además de un gran científico un gran ser humano que busca en cada uno de nosotros sus alumnos el que nos encontremos con nuestras metas a pesar de las circunstancias, el decir las palabras indicadas cuando la adversidad parece imponerse. Quiero darle mi reconocimiento por su gran trayectoria científica y agradecerle todo el tiempo y conocimiento que tan amablemente nos ha brindado.

Dos millones y medio de gracias a mis compañeros del Laboratorio de Fertilidad, a la M. en C. Aleida García Cruz y Biol. Humberto Núñez. Me han ayudado muchísimo, son realmente personas admirables.

Agradezco a mis sinodales Dra. Laura, Dr. Fernando, M. en C. Aleida y Dra Nathalie el que me permitieran hacerlos parte de este importante momento de mi vida sus sugerencias y apoyo a mi trabajo son invaluable. Quiero agradecer de manera especial a la Dra. Concepción por sus comentarios a mi trabajo y la ayuda que me a dado en más de una ocasión.

A esta gran, gran Institución que es la UNAM y a la Facultad de Ciencias, estoy orgullosa de pertenecer a ella. Quiero agradecer y darle mis respetos y mi admiración a las personas valiosas que trabajan en ella, que día a día se enfrentan con retos inimaginables, que van llenándose de fortaleza en el camino y que nunca se alejan de sus ideales y ética. Agradezco su compromiso hacia la educación, el desarrollo de la ciencia en el país y su lealtad al bien común.

Al Instituto de Geología, en especial al Departamento de Edafología Laboratorio de Fertilidad de Suelos, por su colaboración y apoyo.

Agradezco por último a mis profesores ¡Que fortuna el haber tenido como profesores a seres humanos, tan brillantes con una enorme devoción por su trabajo y una integridad indestructible ¡

Dedicatoria y agradecimientos especiales.

No sabía como había comenzado porque había sobre mi cabeza una aurora que lo iluminaba todo, sólo podía ver frente a mi un espectáculo hermoso entonces de la mano de mi hermanita emprendí el viaje hacia los sueños de niña. De pronto, el camino se borro y aparecimos en un lugar que debe ser la nada desposeídas envueltas en la oscuridad, cómo se puede dar un paso en la oscuridad, cómo se puede ir a algún lado cuando estás parado en la nada, de pronto una energía nos sacudió y seguimos adelante caminando en la nada, en la oscuridad... llegamos a un lugar que no era el nuestro porque bien sabíamos lo que el corazón anhelaba, en ese sitio no teníamos un lugar, porque el mal había destrozado lo que ahí habitaba. Volteamos y luego la respuesta, “es hora de irse” fue lo que escuchamos desde dentro de nosotras no se dijo más. Futuro incierto, aun así comenzamos nuevamente el camino, regresamos a casa y nuestro corazón había quedado dividido, esa fue la prueba final, quién puede sobrevivir con sólo una parte de su corazón. Despertábamos y deseábamos tener todas sus partes de vuelta, sin ello, poco quedaba de nosotras... Entonces una alma bondadosa, valiente y generosa, regresó con la parte del corazón que nos faltaba, así se materializó y supimos quién era, ese escudo impenetrable que nos protegía de los monstruos hasta donde sus fuerzas podían. Ella era la aurora, ella era la energía, ella era la voz que nos saco de ese terrible lugar, ella es el alma bondadosa que nos trajo una de las partes de nuestro corazón, ella es mi hermana... gracias Elo, por ser la mejor hermana del Universo. Tú estás siempre en nuestro corazón y nosotras nunca podremos decir todo lo que significas en nuestra vida. Gracias, porque no sueltas nuestras manos a pesar de todo.

Quiero agradecer y dedicar mi trabajo a mi tío Humberto, gracias por hacernos un espacio tan grande en su corazón, gracias por sus cuidados y su guía ha sido para nosotros un padre y no cualquier padre, usted ha sido el mejor.

Le agradezco a mi mami porque reapareció en mi vida cuando realmente la necesite. A mis hermanos: Fla, Peri, Cristiancito y Michelle que son unos ángeles hermosos, incondicionales que le dan sentido a mi vida y me hacen sentir dichosa, admiro sus cualidades extraordinarias no hay nada en el mundo que ame más que a ustedes, me encantan sus superpoderes, pero más el tuyo peri, ojala algún día sepa cuál es el mío jaja. Le agradezco a Julio por todo el apoyo que nos ha dado desde hace años, de verdad muchas gracias, dedico mi trabajo a Laiza porque día a día pone a prueba mi congruencia y mi carácter, te amo nena y te admiro muchísimo; le agradezco también a Emmanuel por todo lo que me dio y lo que me ayudo (fue muchísimo) no tengo forma de agradecer no olvidaré todo lo que hizo por mí.

A mis tíos, especialmente a mi Tío Pedro, mi tía Chayo y mi tía Bella (sé que sabrás esto tía) y primos en especial a Tere, Luci, Edersito, Pepe, Huguito y Juanita por creer en nosotros y por sus palabras de aliento, todos ustedes han sido vitales no sólo en esta parte de mi vida, sino en mi existencia completa.

A mis amigos Doli, Magaly, Alesita, Oscar, Art y Onasis, ustedes han sido mis nuevos hermanos, gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas. Me sacaron a flote en un momento que me parecía imposible de superar. Espero que sigamos juntos por muchos años geológicos más, y de preferencia en las buenas jajaj

“Aprendí que no se puede dar marcha atrás, que la esencia de la vida es ir hacia adelante. La vida, en realidad, es una calle de sentido único”.

Agatha Christie.

“Se sabe o se presiente que cuando el pensar no es puro ni vigilante, cuando el respeto al espíritu ha perdido vigencia, dejan de marchar como es debido buques y automóviles, todo valor y toda autoridad se tambalea, tanto en lo tocante a la regla de cálculo del ingeniero como en lo que atañe a las contabilidades de los bancos y bolsas y sobreviene el caos”.

Hermann Hesse, El juego de los abalorios.

“Hay suficiente en el mundo para cubrir las necesidades de todos los hombres, pero no para satisfacer su codicia”.

Mahatma Gandhi

“La degradación de los suelos ha derribado civilizaciones con la misma seguridad con que lo haría una conquista militar...”

No basta con decir que los suelos son la mayor fuente de riqueza de un país. Son mucho más que eso: son la vida misma del país”

FAO, 1983.

“Cuando hayas talado el último árbol, cuando hayas matado el último animal, cuando hayas contaminado el último río, te darás cuenta que el dinero no se come”.

Indios Cris, Canadá.

Índice.

I. Resumen, 1

II. Introducción, 2

III. Revisión de literatura, 4

3.1. Especie Vegetal, 4

3.1.1. Descripción botánica, 5

3.1.2. Requerimientos nutricionales, 6

3.1.3. Requerimientos climáticos, 6

3.1.4. Requerimientos edáficos e hídricos, 7

3.1.5. Plagas, enfermedades y fisiopatías comunes en el cultivo de lechuga, 8

3.1.6. Importancia del cultivo de lechuga, 11

3.2. Propiedades del suelo, 12

3.2.1. Propiedades Físicas del suelo, 12

3.2.1.1. Textura, 12

3.2.1.2. Color, 13

3.2.1.3. Densidad Aparente y Real, 14

3.2.1.4. Agregación y Estabilidad, 15

3.2.2. Propiedades Químicas del suelo, 17

3.2.2.1. pH, 17

3.2.2.2. Porcentaje de Materia Orgánica, 18

3.2.2.3. Porcentaje de Carbono, 19

3.2.2.4. Capacidad de Intercambio Catiónico Total, 20

3.2.2.5. Bases Intercambiables, 21

3.3. Tepetates, 22

3.3.1. Definición, 22

3.3.2. Origen, 22

- 3.3.3. Principales minerales, 23
- 3.3.4. Características Físicas y Químicas, 24
- 3.3.5. Distribución, 25
- 3.3.6. Importancia, 25

3.4. Fertilizantes químicos inorgánicos, 27

- 3.4.1. Definición, 27
- 3.4.2. Clasificación, 27
- 3.4.3. Dinámica en el suelo, 28
- 3.4.4. Importancia, 29

3.5. Abonos orgánicos, 30

- 3.5.1. Definición, 30
- 3.5.2. Estiércol, 30
- 3.5.3. Dinámica en el suelo, 33
- 3.5.4. Importancia, 34

IV. Objetivos, 35

V. Hipótesis, 35

VI. Materiales y métodos, 36

6.1. Primera fase: Revisión de literatura y planeación de la investigación, 36

- 6.1.1. Revisión de literatura, 36
- 6.1.2. Diseño experimental, 37
- 6.1.3. Selección de la Especie Vegetal, 38
- 6.1.4. Sitio de recolecta del tepetate, 38
- 6.1.5. Tipo de abono, fertilizante y dosis por maceta, 39
- 6.1.6. Ubicación y condiciones del experimento, 39
- 6.1.7. Parámetros de estudio en la Especie Vegetal: Lechuga, 40

6.2. Segunda fase: Trabajo en campo, 41

6.3.	Tercera fase: Trabajo en el Invernadero del Instituto de Geología,	42
6.4.	Cuarta fase: Trabajo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Instituto de Geología,	45
6.5.	Quinta fase: Análisis estadísticos,	46
VII.	Resultados,	47
7.1.	Parámetros Especie Vegetal,	47
7.1.1.	Altura parte aérea,	47
7.1.2.	Diámetro parte aérea,	48
7.1.3.	Peso Fresco Hojas,	49
7.1.4.	Peso Seco Hojas,	51
7.1.5.	Peso Fresco Raíz,	52
7.1.6.	Peso Seco Raíz,	53
7.2.	Pruebas Físicas,	54
7.2.1.	Porcentaje de Agregación en seco,	54
7.2.2.	Porcentaje de Estabilidad en húmedo,	56
7.3.	Pruebas Químicas,	57
7.3.1.	pH,	57
7.3.2.	Porcentaje de Materia Orgánica,	58
7.3.3.	Porcentaje de Carbono,	60
7.3.4.	Capacidad de Intercambio Catiónico Total,	61
7.3.5.	Bases Intercambiables,	62
7.3.5.1.	Calcio,	62
7.3.5.2.	Magnesio,	63
7.3.5.3.	Sodio,	64
7.3.5.4.	Potasio,	65
VIII.	Discusión,	66
8.1.	Parámetros Especie Vegetal,	66

8.2. Pruebas Físicas, 69

8.2.1. Porcentaje de Agregación en seco, 69

8.2.2. Porcentaje de Estabilidad en húmedo, 70

8.3. Pruebas Químicas, 71

8.3.1. pH, 71

8.3.2. Porcentaje de Materia Orgánica, 72

8.3.3. Porcentaje de Carbono, 73

8.3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico Total, 74

8.3.5. Bases Intercambiables: calcio, magnesio, sodio y potasio, 75

IX. Conclusiones, 78

X. Perspectivas generales, 79

XI. Referencias bibliográficas, 80

XII. Anexos, 88

I. Resumen.

La erosión puede culminar en una pérdida total del suelo, con el consecuente afloramiento de capas con condiciones químicas y físicas indeseables. Ejemplo de ello, son las capas endurecidas duripánes y fragipánes, conocidas comúnmente en nuestro país como tepetates. Estas capas endurecidas se originan a partir de materiales de origen volcánico. Su dureza se debe a procesos de cementación y/o compactación, presentan bajo contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno (N) y fósforo (P). Su afloramiento representa, pérdidas económicas para el agricultor y deterioro ambiental. El tepetate es un serio problema en el país dada su distribución y abundancia, 27% de la superficie del Eje Neovolcánico Transmexicano, y su cada vez más común afloramiento. Por lo anterior, es necesario realizar investigaciones encaminadas a la habilitación del tepetate, para su incorporación a la agricultura o planes de restauración ecológica.

Los objetivos de la presente investigación fueron determinar la dosis de fertilización y abonamiento para obtener un alto rendimiento de la lechuga en tepetate fragmentado bajo condiciones de invernadero y mejorar las características físicas y químicas del tepetate utilizado. Se adicionó estiércol de bovino y fertilizantes: sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, superfosfato de calcio simple como fuente de fósforo a tepetate fragmentado. La especie vegetal utilizada fue la lechuga *Lactuca sativa* L var grandes lagos. El diseño experimental fue bifactorial 3 X 3, con distribución de los tratamientos completamente al azar con cuatro repeticiones.

El tratamiento dosis alta de estiércol y fertilizante (EAFA), produjo el mayor rendimiento del cultivo de lechuga. El estiércol y fertilizante no tuvieron influencia sobre la altura de la parte aérea (APA) de la lechuga, el mayor diámetro de la parte aérea (DPA) se dio en los tratamientos EAFA y estiércol dosis baja y fertilizante dosis alta (EBFA). Se inició el proceso de agregación, los agregados formados son considerados estables, su tamaño y distribución se considera conveniente para el cultivo. Las dosis altas de estiércol tuvieron efecto estadísticamente significativo en las propiedades químicas pH, porcentaje de Materia Orgánica (% MO), porcentaje de Carbono (% C), Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT), Bases Intercambiables (BI) sodio (Na) y potasio (K). El calcio (Ca) y magnesio (Mg) son abundantes en el tepetate por la naturaleza de sus minerales. La aplicación de fertilizante permite el crecimiento del cultivo y contribuye indirectamente al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del tepetate.

Los factores estiércol, fertilizante y lechuga lograron mejorar las características físicas y químicas del tepetate. La planta presentó características que permiten su autoconsumo o venta. Es posible que en un periodo de tiempo corto, dos meses, se mejoren considerablemente las características físicas y químicas del tepetate con una inversión económica baja.

II. Introducción.

El suelo es un recurso natural poco valorado por el gobierno y la sociedad, a pesar de las consecuencias negativas que conlleva su degradación. El deterioro del recurso suelo tiene repercusiones desfavorables para el ambiente y bienestar de la población, sin dejar de lado que es un recurso natural no renovable. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el año 2009 estableció que 85% del país presentó problemas de erosión y que 49.9% de la degradación fue inducida por el hombre, las causas principales de tales porcentajes son las prácticas agrícolas y pecuarias inadecuadas. La erosión es un proceso que al no ser mitigado o frenado puede culminar en una pérdida total del suelo, con el consecuente afloramiento de capas con características químicas y físicas indeseables. Un ejemplo de ello, son las capas endurecidas duripánas y fragipánas, conocidas comúnmente en nuestro país como tepetates.

Los tepetates son capas endurecidas que se originan a partir de materiales volcánicos. Su dureza se debe a procesos de cementación y/o compactación, se caracterizan además, por su bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Su afloramiento representa pérdidas económicas para el agricultor y muchas veces implica el detrimento de su única fuente de trabajo y patrimonio.

Dadas las condiciones del tepetate, su uso agrícola se hace “imposible” y su habilitación se considera costosa. Es frecuente, que el agricultor al encontrarse con esta capa opte por abandonar esos terrenos, lo que contribuye a elevar los porcentajes de desertificación en el país. Por otro lado, la necesidad tanto económica por parte del agricultor y la necesidad de satisfacer la demanda de alimentos por parte de los gobiernos con la eterna condición de la no inversión en el campo y corrupción al no cumplirse las normas para el uso de suelo y cuidados al ambiente, lleva a los agricultores a invadir nuevos ecosistemas para establecer cultivos, es decir a incrementar la frontera agrícola. Tal situación atenta brutalmente contra el ambiente. Los ecosistemas se reducen de una manera alarmante y la sociedad padece las consecuencias de no contar con los servicios ecosistémicos.

Los daños causados al suelo por la agricultura, se deben a las prácticas agrícolas inadecuadas y al incumplimiento de normas de uso de suelo y ambientales. En este sentido, la agricultura sustentable, se vislumbra como la única forma de producción de alimentos que toma como base el mantenimiento en el tiempo de la capacidad de los sistemas agrícolas para producir bienes y servicios, tiende a preservar los recursos naturales y a la sociedad en conjunto, sus principales características son: conservar los recursos productivos, responder a los requerimientos sociales produciendo alimentos de calidad y abundantes. La agricultura sustentable, no debe ser pensada como una opción, sino como la única forma de producir alimentos.

Por otro lado, es posible habilitar terrenos aún en condiciones como las que presenta el tepetate. Es posible, mitigar los daños que causa la agricultura al suelo si se emplean prácticas adecuadas. La presente investigación surge del interés en contribuir a la solución de los problemas ambientales que sufre el país y sus consecuencias en la sociedad. El tepetate representa un serio problema dada su distribución y abundancia. Se calcula que cerca del 27% de la superficie del Eje Neovolcánico Transmexicano presenta horizontes endurecidos (Zebrowski *et al.*, 1997).

La restauración edáfica debe ser el primer paso en las actividades de recuperación de ecosistemas y sistemas agrícolas. Por ello, antes de abandonar áreas tepetatosas y en general zonas erosionadas se deben llevar a cabo planes de recuperación del suelo. La habilitación de los tepetates representa: una disminución en la invasión de ecosistemas por recuperación de terrenos agrícolas; posibilidad de reforestación o restauración del ecosistema, por lo tanto restablecimiento de servicios ecosistémicos. Diversos estudios demuestran que es posible habilitar el tepetate. Para ello, se emplean especies vegetales y abonos orgánicos obteniéndose siempre resultados favorables.

Las especies vegetales tienen un papel fundamental en el desarrollo y preservación del suelo. El crecimiento radical por ejemplo, contribuye a la formación de micro y macroagregados, incrementa el porcentaje de materia orgánica y carbono, aspectos que favorecen la estructuración del tepetate y además, atenúa la erosión. La parte aérea puede ser utilizada para: consumo humano y animal, industria textil, construcción (como es el caso de la madera), además, provee de oxígeno y capta bióxido de carbono. Por otro lado, los abonos orgánicos proporcionan los nutrimentos esenciales para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Además, mejoran notablemente las condiciones físicas y químicas del suelo. Por su parte, los fertilizantes cubren las necesidades inmediatas de nutrimentos de las plantas, el uso de ellos hace posible agregar elementos específicos.

Para obtener resultados satisfactorios es necesario hacer una correcta selección de la especie vegetal a utilizar así como, de las dosis y tipo de abono y fertilizante adecuadas para el cultivo y para el suelo. La combinación de los factores lechuga, estiércol y fertilizante, permitió mejorar las características químicas y físicas del tepetate. Las dosis de estiércol y fertilizante propuestas como las que tendrían mayor impacto en el rendimiento del cultivo de lechuga y en las características del tepetate, resultaron acertadas.

La investigación que se presenta, contribuye al entendimiento de la dinámica entre la especie vegetal, abono y fertilizantes en el tepetate. Con ello, se pretende establecer caminos hacia la habilitación del tepetate.

III. Revisión de literatura.

3.1. Especie Vegetal.

Las lechugas son originarias de las regiones templadas de Europa, Asia y América del Norte. La planta fue domesticada por los egipcios por el año 4500 antes de Cristo. Llegó a América Latina en los años 1600 por los europeos (Cerdas y Montero, 2004).

El cultivo de la lechuga actual, proviene de la llamada silvestre o espinosa (*Lactuca sierricola*). Las formas primitivas se perdieron y desaparecieron (Barreiro-Perera, 1993).



Es una planta herbácea anual, tiene hojas grandes, blandas, enteras o aserradas. Las lechugas se agrupan en tres tipos: “cabeza o “arrepolladas”, “hoja suelta” y “romana” (Cerdas y Montero, 2004).

Figura 1. Lechuga var. Grandes Lagos obtenida en el experimento de la presente investigación (tratamiento EAFA).

Las arrepolladas están representadas por la variedad “Grandes Lagos” (Figura 1), las cuales presentan textura suave y flexible, hojas crespadas y de color verde oscuro; es tolerante a la enfermedad fisiológica de la quemadura del borde de las hojas. Se puede cultivar en climas relativamente cálidos, ya que, no forma con facilidad tallos florales (Cerdas y Montero, 2004).

Otros tipos de lechuga que se encuentran en el mercado internacional son:

- a) Romanas: *Lactuca sativa* var. *Languifolia*, romana u oreja de mulo y Tudela o baby.
- b) Acogolladas: *Lactuca sativa* var. *Capitata*, “batavia”, icerberg o crujiente, y mantecosa o trocadero.
- c) Hojas sueltas: *Lactuca sativa* var. *Intybacea*, lollo rossa”, “red salad bowl” y “craca relle” (Cerdas y Montero, 2004).

3.1.1. Descripción botánica.

La variedad utilizada en la presente investigación fue, Grandes Lagos (*L. sativa var crispa* L). Entre las características mas importantes de la lechuga tenemos que poseen numerosas hojas de borde irregular recortado (crespo), las hojas externas están dispuestas abiertamente, mientras que las internas forman un cogollo o grumo central, llamado cabeza. Puede alcanzar un peso de más de 1 kg, y tener un período entre siembra y cosecha de más de 100 días. La variedad Grandes Lagos es resistente al tizón pardo y a la necrosis marginal (Schwaner-Aguilera, 2006).

La lechuga ($2n=18$ cromosomas), es una planta herbácea anual de día largo, forma flor y fruto si es sometida a este régimen. Las variedades modernas son de fotoperíodo neutro, y no requieren vernalización. El sistema caulinar de la lechuga se desarrolla en dos fases: una inicial o vegetativa y otra reproductiva (Schwaner-Aguilera, 2006).

La fase vegetativa se caracteriza por presentar un tallo comprimido en el cual se ubican las hojas muy próximas entre si, lo que genera la forma de roseta típica de la familia a la cual pertenece la lechuga (Schwaner-Aguilera, 2006). Por otro lado, cuando existen condiciones de altas temperaturas (mayor de 26°C) y días largos (mayor de 12 h) el tallo se alarga hasta 1.20 m de longitud, ramificándose del extremo y presentándose en cada punta de las ramillas terminales, una inflorescencia (Tapia-Goné, 2003).

En la fase reproductiva se desarrolla un grumo central compacto con hojas envainadoras, más estrechas a medida que están insertas más altas. La lechuga es una planta autógena que forma un fruto que es un pequeño aquenio blanco, amarillento, parduzco o gris, que envuelve la semilla (Schwaner-Aguilera, 2006).

Schwaner-Aguilera (2006), describe a la planta de lechuga con raíz pivotante de profundidad de arraigamiento menor a 60 cm. Sin embargo, Tapia-Goné (2003), menciona que las raíces principales de absorción son relativamente pequeñas y poco extendidas (5 a 30 cm).

Clasificación taxonómica:

- Subdivisión: Angiospermae.
- Clase: Dicotyledoneae.
- Familia: Asteraceae (Compositae).
- Género: *Lactuca*.
- Especie: *Lactuca sativa* L.

3.1.2. Requerimientos nutricionales.

Según Vigliola (1988), los cultivos hortícolas especialmente el de lechuga, absorben más del 70 % del total de nutrimentos tres semanas antes de la cosecha, ello la ubica como una de las plantas más sensibles a deficiencias en los nutrimentos. Por lo anterior, es necesario mantener un nivel adecuado de nutrimentos hasta la cosecha.

La absorción de elementos tiene relación con la formación de materia seca, en la cual el 70-80% ocurre durante el último mes de cultivo. El nitrógeno es el elemento que más rápidamente se absorbe y el que tiene efectos significativos, señala que se absorbe en casi 80% en las 4 últimas semanas antes de la cosecha (Schwaner-Aguilera, 2006).

Otro elemento importante es el calcio, tiene funciones en la estabilización de la pectina en la lámina de la pared celular, es vital para el crecimiento de las raíces además, del tallo y hojas. El magnesio, tiene funciones en la pared celular, es un activador de enzimas, especialmente en la fotofosforilización y en la síntesis de proteína. Alrededor de un 15% del Mg total, es componente de la clorofila, formando sales conjuntamente con la fitina y pectina (Domínguez, 1997).

Respecto al fósforo este es considerado un nutrimento esencial en el metabolismo vegetal, así como en el desarrollo y crecimiento de la planta, especialmente de las raíces. El cultivo de lechuga dado su corto ciclo y menor acumulación de materia seca, tendría una respuesta probable y elevada a niveles de fósforo que oscilan entre 15 y 25 ppm. Otro elemento fundamental en la nutrición de la lechuga es el potasio, éste tiene entre otras funciones la economía del agua en la planta y la turgencia de las células (Domínguez, 1997).

3.1.3. Requerimientos climáticos.

La germinación de las semillas de lechuga, se da en un intervalo de temperatura de 20 a 25° C, aunque la óptima puede ser de 20 a 30° C (Tapia-Goné, 2003). Sin embargo, en términos generales, la planta se adapta mejor a condiciones de climas frescos y húmedos. Por lo tanto, la lechuga se clasifica como hortaliza de estación fría, no obstante, el cultivo de lechuga es sensible a las heladas especialmente durante el período cercano a la cosecha. Su temperatura óptima una vez que ha germinado, puede ir de 15 a 18° C. No es recomendable que la temperatura supere los 21 y 24° C. El cultivo en condiciones de invernadero, debe tener una temperatura próxima a los 12° C por la noche y no mayor de 24° C en el día (Schwaner-Aguilera, 2006).

La humedad relativa del ambiente se debe mantener entre un 60 y 80%. Sin embargo, en condiciones de invernadero no es favorable que la humedad exceda el 60%, ya que, esto puede favorecer el desarrollo de enfermedades (Schwaner-Aguilera, 2006).

3.1.4. Requerimientos edáficos e hídricos.

Una de las diversas ventajas que presenta el cultivo de lechuga, es que es capaz de adaptarse a una extensa variedad de suelos. Sin embargo, tiene un mejor crecimiento en suelos franco-arenosos con alto contenido de materia orgánica y buen drenaje, dado el poco extenso y profundo sistema radical. El cultivo de lechuga es extremadamente sensible a la acidez y a la salinidad especialmente en estadios tempranos. El pH indicado es de 5.2 a 5.8 en suelos orgánicos y de 6.7 en suelos de origen mineral. Sin embargo, el pH óptimo es de 6.8 a 7 (Schwaner-Aguilera, 2006).

El cultivo de lechuga demanda cuantiosos y constantes suministros de agua. La lechuga no es tolerante a sequías o déficit de humedad. La planta es especialmente sensible en los primeros estadios, donde la falta de agua puede restringir el desarrollo y la madurez. Es menos riesgoso un exceso que un déficit de agua, esto no aplica a suelos muy compactados, donde puede haber riesgos de enfermedades fungosas u otros, en la parte aérea de la planta (Tapia-Goné, 2003).

3.1.5. Plagas, enfermedades y fisiopatías comunes en el cultivo de lechuga.

Enseguida, se presentan las plagas (Tabla 1), enfermedades (Tabla 2) y fisiopatías (Tabla 3) comunes en los cultivos de lechuga.

Tabla 1. Plagas que pueden invadir los cultivos de lechuga.

Plaga	Síntomas y observaciones
Trips (<i>Thrips tabaci</i>)	Es una plaga dañina, (más que por el efecto directo de sus picaduras) por transmitir a la planta el Virus del Bronceado del Tomate (TSWV). La presencia de este virus en las plantas empieza por provocar grandes necrosis foliares.
Minadores (<i>Liriomyza trifolii</i> y <i>Liriomyza huidobrensis</i>)	Forman galerías en las hojas y si el ataque de la plaga es muy fuerte la planta queda debilitada.
Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	Produce un debilitamiento general de la planta picando y absorbiendo los jugos.
Pulgones (<i>Myzus persicae</i> , <i>Narsonovia ribisnigri</i> y otros).	Se trata de una plaga sistemática en el cultivo de la lechuga. El ataque de los pulgones suele ocurrir cuando el cultivo está próximo a la recolección. Si la planta es joven, y el ataque es grande, puede arrasar el cultivo. También trasmite virus.
Gusano alambre (<i>Agriotes lineatus</i>)	de Estos gusanos viven en el suelo y producen daños graves al comer raíces. Además, estas galerías son puerta de entrada de enfermedades producidas por hongos del suelo.
Gusano gris (<i>Agrotis segetum</i>)	Esta oruga produce daños seccionando por el cuello a las plantas más jóvenes y quedan tronchadas.
Mosca del cuello (<i>Phorbia platura</i>)	Son las larvas de dípteros que atacan a la lechuga depreciando su valor comercial.
Caracoles	Muerden las hojas estropeando la cosecha.

Fuente: The American Phytopathological Society, 2001.

Tabla 2. Enfermedades comunes en el cultivo de lechuga.

Enfermedad	Síntomas y observaciones
Antracnosis (<i>Marssonina panattoniana</i>)	Los daños se inician con lesiones de tamaño de punta de alfiler, éstas aumentan de tamaño hasta formar manchas angulosas-circulares, de color rojo oscuro, que llegan a tener un diámetro de hasta 4 cm.
Botritis o moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>)	Los síntomas comienzan en las hojas más viejas con unas manchas de aspecto húmedo que se tornan amarillas, y seguidamente se cubren de moho gris que genera enorme cantidad de esporas. Si la humedad relativa aumenta las plantas quedan cubiertas por un micelio blanco; pero si el ambiente está seco se produce una putrefacción de color pardo o negro.
Mildiu veloso (<i>Bremia lactucae</i>)	En el haz de las hojas aparecen unas manchas de un centímetro de diámetro, y en el envés aparece un micelio veloso; las manchas llegan a unirse unas con otras y se tornan de color pardo.
Esclerotinia (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	La infección se empieza a desarrollar sobre los tejidos cercanos al suelo, pues la zona del cuello de la planta es donde se inician y permanecen los ataques. Sobre la planta produce un marchitamiento lento en las hojas, iniciándose en las más viejas, y continúa hasta que toda la planta queda afectada. En el tallo aparece un micelio algodonoso que se extiende hacia arriba en el tallo principal.
Septoriosis (<i>Septoria lactucae</i>)	Esta enfermedad produce manchas en las hojas inferiores.
Virus del Mosaico de la Lechuga (LMV)	Los síntomas producidos pueden empezar incluso en semillero, presentando moteados y mosaicos verdosos que se van acentuando al crecer las plantas, dando lugar a una clorosis generalizada, en algunas variedades pueden presentar clorosis foliares. Es una de las principales virosis que afectan al cultivo de la lechuga y causa importantes daños. Se transmite por semilla y por pulgones.
Virus del Bronceado del Tomate (TSWV)	Las infecciones causadas por este virus están caracterizadas por manchas foliares, inicialmente cloróticas, y posteriormente, necróticas e irregulares, a veces tan extensas que afectan a casi toda la planta que, en general, queda enana y se marchita en poco tiempo. Se transmite por <i>Frankliniella occidentalis</i> al picar las hojas.

Fuente: The American Phytopathological Society, 2001.

Tabla 3. Fisiopatías comunes en el cultivo de lechuga.

Fisiopatía	Causas.
Latencia de la semilla y mala germinación	Periodos largos de almacenamiento, en condiciones poco apropiadas.
Puntas de las hojas jóvenes quemadas	La causa puede ser por falta de calcio y además por un excesivo calor, salinidad, exceso de nitrógeno y defecto de potasio, desequilibrio de riegos y escasa humedad relativa.
Espigado o subida de la flor	Diversos factores influyen en el desarrollo del espigado: características genéticas, endurecimiento de la planta en primeros periodos de cultivo, fotoperíodos largos, elevadas temperaturas, sequía en el suelo y exceso de nitrógeno. Esta fisiopatía afecta negativamente al acogollado de la lechuga.
Enrojecimiento de hojas	En época de bajas temperaturas durante el ciclo del cultivo algunas variedades son muy sensibles al enrojecimiento de sus hojas.

Fuente: The American Phytopathological Society, 2001.

Para el correcto crecimiento de cualquier cultivo es necesario conocer las plagas, enfermedades y fisiopatías que se pueden presentar. Es conveniente que dicha información se conozca antes de la siembra. El crecimiento del cultivo, debe ser vigilado para detectar cualquier anomalía y controlarla. En el Anexo II (Tablas, 1-II, 2-II y 3-II) se presentan algunos tratamientos para combatir los daños al cultivo por los factores señalados.

3.1.6. Importancia del cultivo de lechuga.

La lechuga es considerada la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja, es ampliamente conocida y se consume regularmente en varios países del mundo (Cerdas y Montero, 2004). En México la lechuga se puede cultivar durante todo el año bajo riego; se reportan superficies sembradas de 4000 ha., con rendimientos que pueden variar desde 7 a 23 ton/ha. Los principales estados productores son Guanajuato, Sonora, Puebla, Baja California, Jalisco y San Luis Potosí (Barreiro-Perera, 1993).

La lechuga se encuentra en cualquier época del año y como el resto de las hortalizas, es un buen abastecedor de vitaminas, minerales y sales indispensables para el organismo humano (Barreiro-Perera, 1993)

3.2. Propiedades del suelo.

La fertilidad es indispensable para que un suelo sea productivo, aunque un suelo fértil no necesariamente es productivo, debido a otros factores de tipo físico como la cementación, mal drenaje, escasa profundidad, piedra superficial, déficit de humedad, etc., que pueden restringir la producción (León, 2001). Por lo anterior, se establece que el grado potencial productivo de un suelo esta determinado por sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Entre las propiedades clave para definir la calidad del suelo se tiene:

- Propiedades Físicas: Agregación, estabilidad, densidad aparente, porosidad, textura.
- Propiedades Químicas: pH, % de Carbono, % de Materia Orgánica, Bases Intercambiables y Capacidad de Intercambio Catiónico (INPOFOS, 1997).

3.2.1. Propiedades Físicas del suelo.

3.2.1.1. Textura.

El tamaño relativo de las partículas del suelo se expresa mediante el término textura, este se refiere al grado de finura o al grosor de las mismas. La magnitud de muchas reacciones físicas y químicas en los suelos está dominada por la textura ya que ésta determina, el tamaño de la superficie sobre la cual ocurren dichas reacciones (Brown, 2009).

Las partículas de gran tamaño son clasificadas como arena, éstas presentan una superficie pequeña, se asocia al aumento de tamaño de los espacios porosos entre las partículas, lo cual facilita el movimiento del aire y del agua. Por otro parte, el limo posee, un área superficial mayor que la arena, una rápida velocidad de intemperismo y una liberación de nutrimentos solubles mayor que la arena. Los suelos limosos tienen gran capacidad de retención de agua, la cual es disponible para el crecimiento vegetal. La arcilla es la partícula de menor tamaño, está compuesta de minerales que difieren en composición y propiedades de la arena y el limo. Gran parte del agua en el suelo esta retenida a manera de películas sobre la superficie de las arcillas. Por tanto, la cantidad de arcilla en el suelo tiene una importante influencia sobre su capacidad de retención de agua, además, la arcilla es considerada almacén de nutrimentos (Rucks *et al.*, 2004).

La Textura Franca, contiene una mezcla de arena, limo y arcilla en tales proporciones que exhibe las propiedades de las tres fracciones de modo equilibrado. Contiene menos arcilla que arena y limo, ya que las propiedades de la primera se expresan con gran fuerza en relación a la cantidad de arcilla presente (Rucks *et al.*, 2004).

Sin embargo, se debe considerar que sobre la textura actúan otros fenómenos que cambian las predicciones hechas a través de la determinación de textura. La cementación es un ejemplo de un atributo del suelo que puede alterar el efecto de la textura. La cementación puede dar lugar a la obstrucción de los poros y reducción de la permeabilidad del suelo. Es decir, alterara significativamente el comportamiento de un suelo en relación con el comportamiento que tendría si no existiera dicha cementación (Brown, 2009).

3.2.1.2. Color.

Diversas características del suelo se deducen a través de la determinación del color, por ejemplo, la textura y la estructura, pero principalmente los procesos pedogenéticos que se están dando (Lyon y Pearson, 2000).

El color y su distribución dentro del perfil del suelo, indican el grado de desgaste o intemperismo. Por ejemplo, rocas que contienen hierro o manganeso se oxidan, el hierro forma pequeños cristales que se presentan como un material amarillo o rojo, cuando la materia orgánica se descompone se forma humus que tiene un color negro, mientras que el manganeso forma depósitos minerales de color negro (Lyon y Pearson, 2000).

El color del suelo es el resultado de varios procesos químicos y físicos. Estos procesos incluyen el desgaste del material geológico, reacciones de reducción y oxidación sobre los minerales del suelo, y la bioquímica (descomposición de materia orgánica). El clima, la geografía física y la geología determinan las condiciones y la magnitud en las cuales ocurren las reacciones químicas y demás procesos formadores del suelo (Lyon y Pearson, 2000). Además, el color es una característica importante para la clasificación del suelo (IUSS-WRB, 2006).

3.2.1.3. Densidad Aparente y Real.

La densidad aparente es el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo. El volumen de poros es una parte del volumen de suelo medido para la estimación de la densidad aparente (Soriano y Pons, 2001).

La mayor parte de las variaciones provienen de diferencias en el volumen total de poros. Generalmente, los suelos de textura fina tienen mayor porosidad y menor densidad aparente que los suelos arenosos. La densidad aparente de un suelo varía según su grado de compactación. La compresión del suelo hace descender su volumen de poros y aumenta su peso por unidad de volumen (Soriano y Pons, 2001).

Las sobrecargas tienden a compactar los horizontes inferiores proporcionándoles mayor densidad aparente. La materia orgánica hace descender la densidad aparente de dos maneras: es mucho más ligera que la materia mineral; incrementa la estabilidad de los agregados del suelo. Este último efecto es con mucho, el más importante en la mayoría de los suelos, pero ambos contribuyen a proporcionar una menor densidad aparente a suelos ricos en materia orgánica. Cuando las operaciones de cultivo provocan una pérdida de materia orgánica, la densidad aparente suele aumentar (Rucks *et al.*, 2004).

La densidad real se define como el peso de un volumen conocido comparado con el peso de un volumen igual de agua. La densidad real no se altera por diferencias en el tamaño de las partículas ni por cambios en el volumen de poros. Puede considerarse que representa la densidad media de los materiales sólidos presentes en el suelo y constituye un reflejo de las densidades de los minerales más abundantes en los suelos y rocas (Rucks *et al.*, 2004).

Los suelos con mayor probabilidad de ostentar densidades reales muy diferentes de 2.65 g/cm³ son los orgánicos (bastante más bajas) y algunos tropicales ricos en hidróxidos de hierro, cuya densidad real puede ser muy alta. En los suelos minerales, su valor no excede de 2.65 g/cm³. Cuando existen metales pesados como la magnetita, zircón y hornblenda el valor puede ser mayor a 2.65 g/cm³. La materia orgánica, así como algunos vidrios volcánicos que existen en el suelo, repercuten en el valor de la densidad originando valores tan bajos como 1.2 a 1.5 g/cm³. Los horizontes orgánicos y vítricos normalmente presentan menores densidades que los horizontes minerales (Reyes, 1996).

3.2.1.4. Agregación y Estabilidad.

Acevedo-Sandoval *et al.* (2001), define agregado como un grupo de dos o más partículas primarias que presentan una cohesión mucho más fuerte entre sí que con otras partículas que las rodean. González-Chávez *et al.* (2004) señala que son unidades secundarias o conjuntos estables, enlazadas o cementadas por: sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice. Los agregados son el resultado de factores como: textura, contenido de materia orgánica, humedad del suelo, condiciones climáticas e impacto de las actividades humanas en el suelo. En general, el suelo se agrega esencialmente por dos procesos: físico-químico y biológico.

- Proceso Físico-Químico: Están involucradas la atracción entre partículas arcillosas y cationes de la solución del suelo (Ca^{2+} , Fe^{2+}) y/o coloides orgánicos (humus) y la expansión contracción de los materiales arcillosos. Los agregados que se forman bajo este proceso son poco estables en agua.
- Proceso Biológico: la actividad de los organismos es crucial en la agregación, la liberación de excrementos de mesofauna, atrape de partículas por parte de las raíces y pegamentos producidos por hongos y bacterias. Los agregados formados bajo este proceso son estables en agua (González-Chávez *et al.*, 2004).

Cuevas *et al.* (2004) menciona que la agregación del suelo puede variar a lo largo de determinados períodos de tiempo, tales como una estación o un año, los agregados pueden formarse, desintegrarse y re-agregarse periódicamente. Además, el tamaño de estos también puede variar.

González-Chávez *et al.* (2004) plantearon un modelo jerárquico en la formación de agregados basado en los tamaños de las partículas y donde participan los procesos físico – químicos y biológicos. El modelo señala que los microagregados se unen para producir agregados de mayor tamaño, donde las diferentes clases de materia orgánica definen los niveles de organización y, por tanto, la estabilidad. Los microagregados son estables debido al material húmico aromático recalcitrante que se asocia con compuestos amorfos de Fe y Al, por ello, se considera que tienen mayor influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Por otro lado, los macroagregados, son menos estables por la participación de raíces, hifas y polisacáridos de plantas y microorganismos, los cuales están influenciados por los factores del suelo.

La agregación es un factor importante en la dinámica del suelo, ya que, determinará la actividad biológica, especialmente el crecimiento de raíces, movimiento de fauna y define una característica englobadora como es la estructura del suelo. A diferencia de características como la textura que es una propiedad innata del suelo, los agregados se pueden destruir por el cambio y tiempo de uso de las prácticas de cultivo o de manera natural por intemperismo. Esta “destrucción” en los agregados nos lleva a otra característica importante, la estabilidad.

Cuevas *et al.* (2004), definen estabilidad de los agregados como una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas, considera que los agregados son estables cuando las partículas individuales del suelo se mantienen unidas durante diferentes condiciones: humedecimiento, secado, congelamiento, descongelamiento, crecimiento de la planta y actividad microbiana, por mencionar algunas. Meza-Pérez y Geissert-Kientz (2006) refieren que las sustancias cementantes o enlazantes que estabilizan los agregados son variadas sin embargo, la principal fuente de unión es la materia orgánica.

Las características de un suelo con agregados estables según González-Chávez *et al.* (2004) son: adecuada infiltración, aireación, capacidad de retención de agua, menor encostramiento en la superficie del suelo y mayor resistencia a la erosión.

Meza-Pérez y Geissert-Kientz (2003), señalaron que los agregados con poca cohesión e inestables son los más susceptibles a sufrir daños estructurales. Si los agregados se desintegran fácilmente, bajo el efecto de la lluvia o de la labranza, se forman comúnmente un encostramiento superficial que obstaculiza la germinación de las plantas, la infiltración del agua, se reduce la porosidad, el intercambio gaseoso y se incrementa la erosión. Ello indica que la estructura del suelo se altera.

Cabria (2002) define estructura del suelo como el arreglo u ordenamiento espacial de los agregados y poros en suelo. Por lo tanto, la estructura determina la distribución, flujo y retención de agua, así como, sustancias disueltas e intercambio gaseoso, flujo de nutrimentos. Sin embargo, un suelo inestable puede tener una buena estructura, pero sus agregados se desintegran fácilmente, por tanto la estabilidad se vuelve un atributo importante en la estructura.

Los suelos con adecuada estructura y estabilidad de agregados, favorecen el flujo de aire, de agua y de nutrimentos a través de los espacios porosos, y proporcionan una resistencia natural a los embates del uso agrícola y el ambiente (Cabria *et al.*, 2002). La alteración de los agregados y en general la estructura del suelo, lleva a procesos de degradación edáfica y disminución de la productividad de las tierras cultivadas (Osuna-Ceja *et al.*, 2006).

La estabilidad de los agregados es un indicador de la estructura del suelo (Sandoval-Estrada *et al.*, 2008). La destrucción de agregados “es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial” según refiere Cuevas *et al.* (2004). Lo anterior se traduce, en una disminución de la estabilidad estructural, aumento de los microagregados, disminución de la porosidad y aumento de la densidad aparente del suelo.

3.2.2. Propiedades Químicas del suelo.

3.2.2.1. pH.

En términos simples un ácido es definido como una sustancia que tiende a liberar iones de hidrógeno (H^+), una base es definida como una sustancia que libera iones OH^- (Narro y Narro, 2003). El pH del suelo determina factores como: disponibilidad de los nutrientes, la mayor solubilidad de gran parte de los nutrientes se encuentra entre un pH de 5.5 a 7 aunque, la gama de pH deseable para el crecimiento óptimo de las plantas varía de una especie a otra; la actividad de microorganismos responsables de transformar la materia orgánica bruta a humus, por ejemplo, un pH de 6.6 a 7.3 es favorable para las actividades microbianas que contribuyen a la disponibilidad de nitrógeno, azufre y fósforo en suelos (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

Los suelos se hacen ácidos cuando elementos básicos, tal como calcio, magnesio, sodio y potasio presentes en la solución coloidal del suelo son sustituidos por iones de hidrógeno (Narro y Narro, 2003).

Los suelos formados en condiciones de alta precipitación anual son más ácidos que los suelos formados en condiciones áridas. Los suelos formados en condiciones de precipitación baja tienden a ser básicos o neutros con lecturas de pH de 7.0. La agricultura intensiva en la que se usan fertilizantes nitrogenados provoca acidificación del suelo (Narro y Narro, 2003).

Suelos excesivamente ácidos (debajo de 5.5) presentan poca disponibilidad de nutrientes como fósforo, calcio, magnesio, potasio y molibdeno y aumenta la solubilización de zinc, cobre, hierro, manganeso y aluminio, que en función al manejo de suelo y fertilizantes aplicados pueden alcanzar niveles tóxicos para las plantas. En pH de 7.8 o más, el calcio y el magnesio son abundantes, cuando el pH esta encima de 8.6 el sodio esta presente. La acidez o la alcalinidad, dependen de varios factores, en sistemas naturales, el pH es afectado por la mineralogía, precipitación, erosión, vegetación, aporte de materia orgánica, prácticas agrícolas, fertilización (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

El pH del suelo puede modificarse durante un periodo de tiempo relativamente corto, por ejemplo, en un año. En la determinación del pH del suelo se consideran dos tipos de acidez: 1 real o activa y 2 potencial o intercambiable. La primera se obtiene midiendo el pH de una suspensión con suelo y agua destilada, de la cual se mide la concentración de (H^+) solubles. La acidez potencial o intercambiable se obtiene midiendo el pH de una suspensión compuesta por suelo y una solución salina, como puede ser el cloruro de potasio (KCl), con lo cual se extraen los iones hidrógeno que se encuentran adsorbidos en los sitios de intercambio de los coloides del suelo (Reyes, 1996).

3.2.2.2. Porcentaje de Materia Orgánica (% MO).

La materia orgánica (MO) de los suelos se forma y acumula en ellos por incorporaciones de residuos vegetales a nivel rizósfera y por la caída de las hojas, frutos, corteza de los fustes, así como aquella incorporada por los cadáveres microbianos y productos de descomposición tanto de macro como de microfauna, en diferentes etapas de descomposición y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo además, incluye una fracción viva, o biota que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos. La materia orgánica se fermenta por la acción de los microorganismos, formándose quelatos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas, aminoácidos de bajo y alto peso molecular, bases púricas y pirimídicas y proteínas de bajo y alto peso molecular, azúcares, grasas y ceras (Julca *et al.*, 2006).

La MO tiene importancia fundamental en la dinámica y fertilidad del suelo, sus funciones principales son:

- Aportación de macronutrientes como: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), sodio (Na), y magnesio (Mg).
- Aportación de micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), boro (B) y manganeso (Mn).
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico total (CICT).
- Reguladora de pH.
- Al biodegradarse forma dióxido de carbono (CO₂) que actúa en el intemperismo impartiendo propiedades físicas óptimas para los suelos, como la estructura (granular); modifica la estructura de las capas superficiales; favorece la aireación porque opera como agente cementante aumentando la cantidad de agregados.
- Al descomponerse produce ácidos orgánicos y CO₂ que permiten la disolución de minerales como el potasio, dejándolo disponible a la vegetación.
- El humus, impide la lixiviación de los fertilizantes amoniacales, reteniendo el amonio en forma intercambiable.
- Es alimento de microorganismos, indispensables en el suelo, tales como, lombrices y hormigas.
- Inmoviliza los metales pesados y contaminantes como pesticidas (Julca *et al.*, 2006).

La mayor parte de las raíces se concentran en unos pocos centímetros superficiales, por lo cual esa zona es también la más rica en MO. En las capas superiores tiene lugar una mayor descomposición porque el aporte de MO es también mayor y la aireación más adecuada que en los horizontes inferiores. El contenido de MO de cualquier horizonte de un suelo, depende en parte de la magnitud del aporte anual de restos orgánicos y en parte del porcentaje de materia orgánica (% MO) que se descompone cada año. Cuando ambos se hallan equilibrados el contenido de MO se estabiliza (Sepúlveda *et al.*, 2010).

Las arcillas y MO tienen una relación favorable. Los grupos reactivos de los compuestos orgánicos que poseen cargas eléctricas pueden ser atraídos por las partículas de arcilla, también cargadas eléctricamente. El hecho es de la mayor importancia, ya que los grupos reactivos son la parte de los compuestos orgánicos que sufren primeramente el ataque de las enzimas producidas por los microorganismos. Cuando el grupo reactivo es atraído hacia una partícula de arcilla resulta menos accesible al ataque enzimático. En consecuencia, la arcilla tiende a estabilizar los compuestos orgánicos protegiéndolos de la descomposición (Sepúlveda *et al.*, 2010).

3.2.2.3. Porcentaje de Carbono del suelo (% C).

El carbono es un componente básico de la vida vegetal y un elemento principal de la materia orgánica del suelo. En la caracterización de perfiles de suelo se requiere determinar el contenido de carbono orgánico, para definir el tipo de suelo de interés para uso agrícola (Martínez *et al.*, 2008).

La importancia de la cuantificación del carbono orgánico de los suelos, indirectamente de la materia orgánica, se fundamenta en la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del mismo como son el color, formación de agregados, plasticidad, cohesión, capacidad de retención de humedad, intercambio catiónico y aniónico, disponibilidad de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S), producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento de microorganismos del suelo, participación en los procesos pedogenéticos, por sus propiedades de peptización, coagulación y formación de quelatos (Martínez *et al.*, 2008).

3.2.2.4. Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT).

La capacidad de intercambio catiónico total (CICT), es la suma de cationes intercambiables que un suelo puede retener. Cuando un suelo se coloca en una solución salina se produce una adsorción de iones presentes en la solución y como consecuencia de ello se desplaza una cantidad equivalente de cationes y a estos se les llama cationes intercambiables. El intercambio tiene lugar en la superficie de las arcillas, humus y en la superficie de las paredes celulares de las raíces de las plantas. En el suelo son variados los materiales que pueden cambiar cationes. Los principales cambiadores son las arcillas y la materia orgánica (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

Respecto a los factores que hacen que un suelo tenga una determinada capacidad de cambio de cationes son varios.

- Tamaño de las partículas: cuanta más pequeña sea la partícula mayor capacidad de intercambio tendrá.
- Naturaleza de las partículas: la composición y estructura de las partículas influirá en las posibilidades de cambio de sus cationes.
- Tipo de cationes cambiables: la capacidad de cambio de cationes representa el total de cargas negativas, o lo que es lo mismo el número de cargas positivas que incorporan los cationes (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

Sin embargo, la naturaleza de los cationes de cambio puede modificar el valor de la capacidad de cambio, aumentándola o disminuyéndola, en función de su carga y de su tamaño. Los cationes divalentes, trivalentes al adsorberse aumentan la capacidad de cationes de cambio mientras que los cationes de gran tamaño (radicales orgánicos) disminuyen la CICT al bloquear por su tamaño, posiciones de cambio (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

- pH: los suelos presentan distintas CICT en función al pH. A pH bajos los hidrogeniones están fuertemente retenidos en las superficies de las partículas, pero a pH altos los H de los grupos carboxilo primero y de los OH después, se disocian y los H⁺ pueden ser intercambiados por cationes (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

Los cationes que frecuentemente ocupan las posiciones de cambio en los suelos son: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺, H⁺, Al⁺⁺⁺, Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, NH₄⁺, Mn⁺⁺, Cu⁺⁺ y Zn⁺⁺ (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

En los suelos ácidos imperan H⁺ y Al⁺⁺⁺, en los suelos alcalinos Na⁺ y en los suelos neutros Ca⁺⁺ (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

Importancia de la CICT.

- Controla la disponibilidad de nutrimentos para las plantas K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , entre otros.
- Interviene en los procesos de floculación- dispersión de arcilla y en consecuencia en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados.
- Establece el papel del suelo como depurador natural al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al suelo (Porta-Casonellas *et al.*, 2008).

3.2.2.5. Bases Intercambiables.

Se refiere a la suma de los cationes Ca, Mg, K y Na que posee un suelo en forma intercambiable (León, 2001)

El contenido de bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na) define en gran parte el grado de fertilidad del suelo. Los suelos fértiles se distinguen porque tienen altos contenidos de Ca y Mg, mientras que los suelos muy ácidos generalmente presentan deficiencias de Ca y Mg. Por el proceso de intercambio de cationes, estas bases pasan a la solución del suelo y de allí son absorbidas por las plantas. Debe existir cierto equilibrio entre las bases intercambiables para una adecuada nutrición de las plantas (León, 2001).

3.3. Tepetates.

3.3.1. Definición.

En México se nombra tepetate a, un horizonte endurecido, ya sea compactado o cementado, que se encuentra frecuentemente en los paisajes volcánicos de México (Figura 2), subyaciendo a suelos o aflorando en la superficie (Flores-Román *et al.*, 1996).



Sin embargo, los tepetates no son exclusivos de México, están presentes en varios países de América Latina, en zonas de laderas de sierras volcánicas, pero se conocen con diferentes nombres, talpetate en Nicaragua, cangahua en Colombia y Ecuador (Prat *et al.*, 2003).

Figura 2. La fotografía muestra el espesor de la capa endurecida, con presencia de vegetación escasa y rústica.

En términos edáficos, las capas volcánicas se relacionan con el grado de compactación y con el material cementante, cuando la cementación es por sílice se nombra duripán, cuando la compactación y cementación es moderada se nombran fragipán (Gama-Castro *et al.*, 2007).

3.3.2. Origen.

Los tepetates se originan a partir de antiguos depósitos de cenizas volcánicas depositadas *in situ* o retrabajadas, que sufrieron tanto procesos diagenéticos (hidroconsolidación), como pedogenéticos (v.g. argilización; silificación) que contribuyeron a su compactación y/o cementación (Gama-Castro *et al.*, 2007).

Los depósitos de cenizas volcánicas durante el intemperismo de éstas se liberan aproximadamente tres veces más sílice que aluminio. Sólo una parte de sílice se incorpora a los minerales de arcilla. Debido a la baja lixiviación que se presenta en el suelo bajo un clima ústico-isomésico, este clima se caracteriza por una estación seca que dura de 5 a 6 meses (Hidalgo *et al.*, 1997).

Muchos excedentes de sílice se concentran formando ópalo-A orgánico e inorgánico. Gran parte de los subsuelos de los Ustropepts (suelos de color amarillo, arcillosos a veces pedregosos con arcilla montmorillonítica) tiene más ópalo-A y arcillas que los horizontes superficiales. Cuando se pierde el suelo superior son erodables y el subhorizonte, subyacente, queda expuesto a cambios por humedecimiento y secado, provocando compactación y endurecimiento de las arcillas ricas en ópalo-A, las que forman el tepetate (Miehlich, 1992).

3.3.3. Principales minerales.

Según Izquierdo-Castro (2004), los principales componentes minerales primarios observados en láminas delgadas de los tepetates son:

- Vidrio volcánico.
- Plagioclasas.
- Hornblenda.
- Magnetita.
- Hipersteno.
- Cuarzo.
- Cristobalita.
- Limonita.
- Hematina.
- Albita.
- Andesita.
- Ortoclasa.
- Haloisita.
- Esmectita.
- Illita.
- Montmorillonita.

3.3.4. Características Físicas y Químicas.

Características Físicas.

El tepetate utilizado en el experimento se clasifica como duripán (Velázquez-Rodríguez y Flores-Román 1997). El duripán es una capa cementada por sílice (SiO_2), que puede estar expuesta o dentro de los primeros 100 cm de profundidad del suelo. El color varía de pardo claro a amarillento, también se pueden encontrar tonos rojizos. Los duripanes se consideran estables; cuando se sumergen en agua no se disgregan. En el campo, se presenta como una masa continua y compacta, al estar expuesta puede adquirir forma columnar o puede fragmentarse en bloques de dimensión variable por la acción de cambios de temperatura y humedad. Puede presentar agentes cementantes secundarios como óxidos de hierro y carbonatos de calcio, en ocasiones se encuentran capas pequeñas de forma laminar generalmente sobre la superficie, con apariencia de costras de color blanquecino normalmente discontinuas (Guerrero-Eufracio *et al.*, 1992). La densidad real se puede encontrar entre 2.4 y 2.8 g/cm^3 (Peña y Zebrowski, 1992).

Características Químicas.

Se ha reportado que el pH de los tepetates es alcalino al medirse en agua y neutro en KCl 1N. Los porcentajes de C (0.1-0.2 %) y de N (0.03- 0.04 %), son generalmente bajos, lo que manifiesta que estos materiales no son colonizados por plantas o microorganismos. El P disponible para las plantas normalmente se encuentra sólo en trazas. Las deficiencias de N, materia orgánica y del P representan serias restricciones para el crecimiento de las plantas y deben mejorarse. El K se encuentra en cantidades medias a altas (1.2-2.4 meq/100g); el Ca (7.7-26.3 meq/100g) y el Mg (6.2-8.9 meq/100g) se presentan generalmente en niveles altos (Etchevers *et al.*, 1992^b). Respecto a la capacidad de intercambio catiónico, se han reportado valores mayores a los 15 meq/100 g de suelo y un alto contenido de bases intercambiables: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ (0.9-1.7 meq/100g) y K^+ (Zebrowski *et al.*, 1997).

3.3.5. Distribución.

Los suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos son ampliamente estudiados, sin embargo, la superficie cubierta por éstos no es todavía bien conocida. La localización y extensión puntal se conoce exclusivamente en los países que cuentan con inventarios por ejemplo, México, Ecuador y en forma parcial Nicaragua y Chile (Zebrowski, 1992).

En México, cerca del 27% de la superficie del eje Neovolcánico Transmexicano presenta un horizonte endurecido (Figura 3). Sin embargo, en ciertos estados de la república, la extensión ocupada por los tepetates es elevada: por ejemplo Tlaxcala las capas endurecidas abarcan una superficie de 54%. Otros estados que presentan un porcentaje considerable son: Hidalgo, Querétaro y Jalisco, además de Aguascalientes y San Luis Potosí. Se localizan generalmente en climas subhúmedos y semiáridos con época de sequía bien definida. (Guerrero-Eufracio *et al.*, 1992).

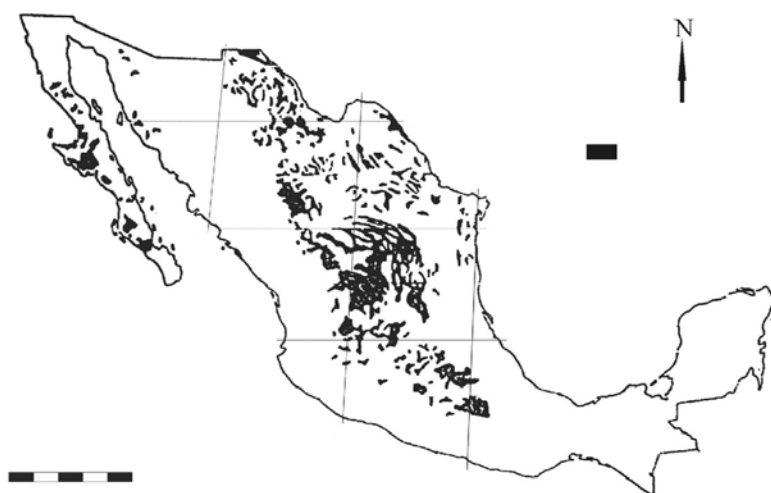


Figura 3. Distribución de tepetate en México, según Flores-Román *et al.* (1991).

3.3.6. Importancia.

Los horizontes endurecidos, intervienen de forma negativa en la dinámica ambiental, ya que sus características físicas, mecánicas y químicas (alta densidad, baja conductividad hidráulica y retención de humedad así como pobre fertilidad, bajo contenido de MO, N, y baja disponibilidad de P), son restrictivas para el desarrollo de la vegetación. Por otro lado, los tepetates debajo de suelos, producen discontinuidades litológicas, impidiendo la infiltración del agua y propician el escurrimiento lateral, marcando una superficie en donde se producen los deslizamientos. Por ello, esta capa puede favorecer la erosión e impedir la recarga de acuíferos (Gama-Castro *et al.*, 2007).

Desde el punto de vista agrícola el afloramiento de tepetate, representa una reducción en la producción de alimentos, dificulta la labranza y su habilitación se vuelve costosa. Además, representa un problema social, económico y ambiental. El agricultor debe abandonar sus tierras que frecuentemente son su único patrimonio, pierde por tanto su empleo y sus bienes; se reduce la producción de alimentos al disminuir las áreas de cultivo, con ello se debe recurrir a invadir áreas naturales. Lo que contribuye, al empobrecimiento de la diversidad, ampliación de áreas susceptibles a erosión y por ende, se pierden los servicios ecosistémicos que las áreas naturales proporcionan.

Debido a las características restrictivas tanto físicas como químicas y al cada vez más común afloramiento del tepetate por procesos erosivos, se vuelve imperante el llevar a cabo investigaciones encaminadas a mitigar el impacto del afloramiento de tepetate en los agrosistemas, no sólo para el mantenimiento de la agricultura sino también, para la preservación de ecosistemas y la disminución de áreas erosionadas. También es importante considerar su amplia distribución en el país.

3.4. Fertilizantes químicos inorgánicos.

3.4.1. Definición.

Un fertilizante químico inorgánico es cualquier sustancia inorgánica sintética que aporte a las plantas uno o varios de los elementos nutritivos indispensables para su crecimiento normal u óptimo (Ruda *et al.*, 2004).

3.4.2. Clasificación.

Pueden ser simples o compuestos según el número de elementos fertilizantes que aporten. Asimismo, pueden ser binarios o terciarios, si en su composición participan dos ó tres elementos principales. Los fertilizantes terciarios contienen N, P y K, independiente de cualquier otro elemento nutritivo adicional (Ruda *et al.*, 2004).

En los fertilizantes compuestos los elementos nutritivos pueden haberse agrupado por mezcla de fertilizantes simples, o bien, por reacción química, que integra los elementos más estrechamente. En este caso se habla de fertilizantes complejos (Ruda *et al.*, 2004).

Estado físico.

Los fertilizantes se pueden encontrar en tres estados sólido, líquido y gaseoso. Los *fertilizantes sólidos* son los de mayor uso y suelen presentarse en las siguientes formas:

- Polvo: con grado de finura variable según el tipo de fertilizante.
- Granulados: aquellos en los que al menos el 90 % de las partículas presentan un tamaño de 1-4 mm.
- Cristalinos: que facilitan la manipulación y distribución.
- Perlados (*prill*): mediante el sistema de pulverización en una torre de gran altura, se obtienen esferas de tamaño uniforme, al solidificarse las gotas durante la caída.
- Macrogranulados: constituidos por grandes gránulos, de 1-3 cm de diámetro e incluso mayores, de liberación progresiva de los elementos nutritivos (Simpson, 1991).

Dentro de los fertilizantes líquidos, los tipos comunes son los siguientes:

- Suspensiones: se puede tratar de arcillas dispersas en el agua que pueden mantenerse en soluciones sobresaturadas de alguna sal (generalmente cloruro potásico) para alcanzar concentraciones totales elevadas en forma líquida.
- Soluciones con presión: soluciones acuosas de nitrógeno en las que participa como componente el amoníaco anhidro con concentración superior a la que se mantiene en equilibrio con la presión atmosférica.
- Soluciones normales o clara sin presión: soluciones acuosas que contienen uno o varios elementos nutritivos disueltos en agua (Simpson, 1991).

Dentro de los Fertilizantes gaseosos solo se emplea un compuesto:

- Gaseoso: únicamente se emplea el amoníaco anhidro, que es un gas a temperatura y presión normal. Para facilitar su almacenaje y transporte, se comprime hasta llegar al estado líquido, vuelve a transformarse en gas cuando se inyecta en el suelo (Simpson, 1991).

Cada fertilizante aplicado al suelo tendrá una dinámica distinta. A continuación, se describe de manera general la dinámica de los fertilizantes empleados en la presente investigación.

3.4.3. Dinámica en el suelo.

El fertilizante usado como fuente de nitrógeno fue el sulfato de amonio, posee 21% de Nitrógeno. A pesar de su gran solubilidad en agua no se pierde por lixiviación ya que el amonio es adsorbido por el complejo coloidal del suelo. Únicamente puede haber pérdidas por lixiviación en suelos muy sueltos con poca capacidad de cambio (suelos arenosos). Debido al ión sulfato, este fertilizante tiende a acidificar el suelo, por lo que resulta adecuado para aquellos cultivos que requieren un medio ácido, o cuando se desee acidificar el suelo (Fassbender y Borremisza, 1994).

Las formas más sencillas y asimilables, que puede absorber la planta son: sales amónicas (NH_4^+), nitritos (NO_2^-) y nitratos NO_3^- (Buckman y Brady, 1985).

El fertilizante empleado como fuente de fósforo fue superfosfato de calcio simple. El fósforo está presente en los suelos integrando compuestos orgánicos e inorgánicos insolubles. Los vegetales los absorben fundamentalmente como ortofosfato primario H_2PO_4^- y como ortofosfato secundario HPO_4^{2-} de la solución del suelo (Fassbender y Borremisza, 1994).

El abastecimiento de fósforo a la planta depende fundamentalmente de dos factores:

- 1) Factor intensidad: corresponde a la concentración de H_2PO_4^- en solución.
- 2) Factor capacidad: se refiere a la renovación del H_2PO_4^- ya que este es extraído por las raíces y la concentración en la solución es baja. Es la reserva de fósforo en el suelo que puede ser transferida a la solución (Fassbender y Borremisza, 1994).

A diferencia de otros fertilizantes, el problema principal de los fosfatos es la solubilidad del fósforo. La riqueza de un fertilizante fosfórico esta dada por la suma de P_2O_5 soluble en agua y en ácido cítrico o sus sales, el “fósforo asimilable” es aquel soluble en agua y en citrato de amonio (Fassbender y Borremisza, 1994).

El fósforo soluble en agua se asimila con mayor rapidez que el fósforo soluble en citratos. Para conseguir una respuesta rápida en los cultivos los fertilizantes fosfóricos deben poseer al menos 50% de P_2O_5 soluble en agua, estos fertilizantes son adecuados en cultivos de ciclo corto y para cultivos de escaso desarrollo radical. Los fertilizantes con menor porcentaje de P_2O_5 soluble en agua son de acción lenta y son convenientes en cultivos de ciclo largo (Fassbender y Borremisza, 1994).

En suelos ácidos se recomiendan fertilizantes poco solubles en agua aunque también interesa que haya una pequeña parte soluble en agua para garantizar que se satisfagan las necesidades del desarrollo de la vegetación; en cambio, en suelos básicos se deben utilizar formas solubles (Fassbender y Borremisza, 1994).

El tipo de fertilizante, la cantidad y el estado físico, son características que se deben tener en cuenta antes de ser aplicados. Además, es necesario considerar los requerimientos nutricionales de la especie vegetal (a corto y largo plazo) y las condiciones del suelo, es decir las carencias nutricionales. La aplicación de fertilizantes químicos se incrementó en las últimas décadas. Sin embargo, el uso desmedido e inadecuado de éstos tiene consecuencias indeseables al ambiente, la salud y la economía de agricultores y consumidores.

3.4.4. Importancia.

Los fertilizantes inorgánicos comerciales son fáciles de transportar, almacenar y aplicar. Su empleo se multiplicó en todo el mundo entre 1950 y 1989. Actualmente, estos fertilizantes sirven para producir comida para alimentar a una de cada tres personas en el mundo; se estimó que sin ellos, la producción de alimentos en el mundo caería un 40% (Fierro y Dílmer, 2006).

Por otro lado, cuando los fertilizantes inorgánicos se utilizan por períodos prolongados la fertilidad del suelo disminuye drásticamente. Sucede, particularmente en áreas donde se aplicaron únicamente fertilizantes inorgánicos concretamente nitrógeno y fósforo. Los suelos se agotan (se deterioran las propiedades físicas y químicas), sin embargo, el empleo de abonos orgánicos puede recuperar su fertilidad (Salazar-Sosa *et al.*, 2009).

Aunada a la reducción de la fertilidad del suelo, el uso de fertilizantes inorgánicos además de ser cada vez más costoso es ineficiente, debido en parte, a los métodos de aplicación inapropiados. Los nutrientes minerales no absorbidos en su totalidad por el cultivo, son dejados en el ambiente y pueden contaminar el suelo, el aire y el agua (Salazar-Sosa *et al.*, 2009).

3.5. Abonos orgánicos.

3.5.1. Definición.

Los abonos orgánicos, son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los cuales las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes; el suelo, con la descomposición de estos abonos, se ve enriquecido (Romero, 1997).

El empleo de los abonos orgánicos para conservar y mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y conseguir mayores rendimientos, se conoce desde la antigüedad.

En los abonos orgánicos se incluyen: los estiércoles, compostas, vermicompostas, abonos verdes, residuos de las cosechas, residuos orgánicos industriales, aguas negras y sedimentos orgánicos. Los abonos orgánicos son variables en sus características físicas y químicas principalmente en el contenido de nutrientes; la aplicación constante de ellos, mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Sepúlveda *et al.*, 2010).

3.5.2. Estiércol.

El estiércol es el producto que se obtiene de la fermentación anaeróbica de los residuos alimentarios no utilizados por el rumiante. Los estiércoles están constituidos por las heces y la orina de los animales, mezclados con paja, residuos de cosecha u otros materiales usados como cama (Flórez, 2009).

La composición química de los estiércoles, es variable (Tabla 4). Urbano (2003) señala, que existen por lo menos cinco factores que influyen en la composición:

- a) Especie animal:
 - 1. Equinos y ovinos: contienen menos agua que los bovinos y porcinos. Fermentan con pronunciado aumento de temperatura y son de difícil conservación, se denominan estiércoles calientes.
 - 2. Bovinos y porcinos: son acuosos y de difícil fermentación. Conservan mejor sus nutrimentos. Se denominan estiércoles fríos.

- b) Edad de los animales: el animal en sus diferentes edades produce excrementos de composición variable. Cuando es joven, la capacidad digestiva del animal es mayor que cuando es adulto o viejo. Por ello, puede absorber de los alimentos mayores cantidades de nutrimentos como fósforo y nitrógeno.

- c) Variación con el régimen: animales que se encuentran en régimen de engorda, estabulados o semi-estabulados, producen estiércoles ricos en nutrimentos que aquellos en régimen de trabajo.

- d) Variación de las camas: los materiales utilizados en las camas de los animales en general se constituyen de hojas, paja, residuos de cosechas, aserrín de madera, tierra vegetal, etc. Cuanto mayor sea el poder absorbente del material de la cama, tanto mayor será su valor fertilizante. Cuanto más fácil sea su descomposición más rico será el estiércol obtenido.

- e) Régimen alimenticio: cuando en la ingesta de los animales abundan los forrajes verdes e, incluso, el ensilado y el heno, las deyecciones suelen ser más ricas en nitrógeno. La alimentación a base de granos produce deyecciones más ricas en fósforo, cuando se utiliza en la alimentación gran cantidad de raíces y tubérculos, las deyecciones se enriquecen en potasa.

Tabla 4. Contenido de nutrimentos en estiércoles de México, diferentes especies animales (Romero, 1997).

Determinaciones	Bovino	Porcino	Equino	Caprino
Humedad (%)	36,0	20,0	25,0	18,0
pH (relación 1:2)	8,0	7,2	7,0	7,5
Materia Orgánica (%)	70,0	68,0	60,0	55,0
Nitrógeno total (%)	1,5	3,7	1,2	2,5
Fósforo (%)	0,6	2,0	0,2	0,6
Potasio (%)	2,5	30,0	2,5	2,2
Calcio (%)	3,2	7,5	6,0	8,0
Magnesio (%)	0,8	2,3	0,2	0,2
Sodio (%)	1,6	0,3	0,1	0,1
Zinc (ppm)	130,6			
Manganeso (ppm)	264,0			
Hierro (ppm)	<354,0			
Relación C/N	26,0	13,0	33,0	18,0
Mineralización 1er año	35,0	65,0	30,0	32,0

Desafortunadamente, el uso de estiércol en los cultivos se basa únicamente en la experiencia de los agricultores, lo que lleva a una inadecuada dosificación del abono (Flórez, 2009). Es frecuente que no se consideren los factores que pueden influir en su composición química.

Un adecuado uso del estiércol debe implicar la determinación de contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Además se debe considerar, la demanda nutrimental del cultivo, velocidad de descomposición y sus efectos residuales; considerar estos aspectos, evitará una sobre-fertilización nitrogenada y una salinización del suelo (Palomo *et al.*, 2007).

El empleo de estiércol bovino, debe apegarse a procedimientos de aprovechamiento, anteponiendo riesgos de contaminación a los recursos del suelo y agua (Palomo *et al.*, 2007).

3.5.3. Dinámica en el suelo.

La dinámica del estiércol en el tepetate y los suelos, es amplia, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas, por ello, el uso de estiércol en la agricultura contribuye al incremento de los rendimientos del cultivo. Según Sepúlveda *et al.*(2010) los beneficios del uso de estiércol en los suelos son:

- Aporta elementos esenciales que requieren los cultivos.
- Tienen un efecto residual mayor que el de los fertilizantes químicos.
- Liberan nutrientes de manera gradual que favorece su disponibilidad para el desarrollo del cultivo.
- Mejoran la estructura del suelo, porosidad aireación y capacidad para la retención de agua.
- Forman complejos orgánicos con los nutrientes manteniendo a estos disponibles para las plantas.
- Elevan la capacidad de intercambio catiónico del suelo evitando que los nutrientes se pierdan por lixiviación.
- Liberan CO₂ durante su descomposición que forma ácido carbónico que solubiliza nutrientes de otras fuentes.
- Abastecen el carbono orgánico que se utiliza como fuente de energía para organismos heterotróficos presentes en el suelo.
- Aumenta la infiltración del agua, reduciendo el escurrimiento superficial lo que evita la erosión del suelo.
- Favorece una mayor resistencia de los agregados del suelo a ser dispersados por el impacto de las gotas de lluvia.
- Los efectos de los estiércoles permiten que el suelo sea más productivo, conserve su fertilidad y tenga un uso sostenido a través del tiempo.

3.5.4. Importancia.

Según Ruiz-Vega y Loaeza-Ramírez (2003), existen dos características importantes que deben tener las “tecnologías” para pequeños productores:

- a) Reducir la dependencia de recursos externos.
- b) Mantener y mejorar la biodiversidad en el sistema.

Sin embargo, estas características no incumben solo a pequeños productores. Los grandes productores pueden mejorar y aumentar su producción al procurar estas dos características. El uso de fertilizantes en varias zonas del país es cada vez mayor. En la producción agrícola, el empleo de fertilizantes implica una mayor inversión para los grandes productores. Por otro lado, para pequeños productores, la aplicación de fertilizantes no se considera sostenible, dada la escasez de recursos económicos (Ruiz-Vega y Loaeza-Ramírez, 2003).

El uso de abonos orgánicos como el estiércol, no sólo involucra el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo. El uso de estiércol implica una menor inversión económica en los cultivos, tanto de pequeños como grandes productores. Además, su uso adecuado repercutirá en una mejora ambiental, ya que el estiércol es considerado una fuente importante de contaminación ambiental.

Luévano y Velázquez (2001) refieren que en promedio cada cabeza de ganado excreta alrededor de 32.9 kg por día de estiércol. Por ello, son uno de los elementos más importantes de contaminación ambiental en regiones dedicadas a la ganadería.

Como es sabido, las excretas de ganado vacuno, caprino y porcino, presentan altas concentraciones de nitrógeno. El ganado de la industria pecuaria, es considerado fuente localizada de contaminación por nitratos. Según Palomo *et al.* (2007), el empleo de estiércol aporta al menos el 50% de la lixiviación de N-inorgánico, con respecto a otras fuentes nitrogenadas.

Existen problemas adicionales a la inadecuada aplicación de estiércol al suelo. Por ejemplo, la escorrentía directa desde las granjas de producción intensiva de ganado (vacuno, porcino y aves de corral) afecta el agua y contamina el aire por la producción de gases como: bióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrogeno, metano y monóxido de carbono (Palomo *et al.*, 2007).

El estiércol más que un desecho voluminoso y contaminante, debe ser visto como un recurso valioso para la agricultura, por su bajo costo y numerosos beneficios al suelo, esto siempre y cuando se aplique de manera responsable. Esta idea permitirá disminuir la inversión en fertilizantes, disminuir la contaminación a los recursos aire, agua y suelo; además, mantendrá y mejorará las propiedades físicas y químicas del suelo, lo cual no ocurre con los fertilizantes.

IV. Objetivos.

Objetivo general.

- Determinar la dosis de fertilización y abonamiento para obtener un alto rendimiento de la lechuga en tepetate fragmentado y mejorar la calidad del mismo, bajo condiciones de invernadero.

Objetivos específicos.

- Determinar las dosis de fertilizante y abono óptimas para el mejor rendimiento de la lechuga.
- Mejorar las características físicas y químicas del tepetate.

V. Hipótesis.

- El tratamiento con dosis alta de estiércol y fertilizante (EAFA), será el que obtendrá un mejor rendimiento de la lechuga por tener las dosis más altas de fertilizante y estiércol.
- Los tratamientos que contengan dosis altas y bajas de estiércol y lechuga mejorarán las características físicas y químicas del tepetate.

VI. Materiales y métodos.

6.1. Primera fase: Revisión de literatura y planeación de la investigación.

6.1.1. Revisión de literatura.

Previo a la planeación del experimento se realizó una recopilación de información referente al tepetate, especies vegetales, tipos de abono y fertilizantes además, ubicación de zonas con importantes afloramientos de tepetate en el país.

En la planeación de la investigación se establecieron los siguientes aspectos:

- Diseño experimental
- Selección de especie vegetal
- Número de plantas por maceta
- Kilogramos de tepetate por maceta.
- Sitio de recolecta del tepetate.
- Tipo de abono, fertilizante y dosis por maceta.
- Ubicación y condiciones del experimento.
- Parámetros de estudio en la especie vegetal y tepetate.

A continuación se describe cada uno de los puntos establecido.

6.1.2. Diseño experimental.

Se planteó, un diseño experimental bifactorial 3 X 3 que da un total de 9 tratamientos (Tabla 5), con distribución de los tratamientos completamente al azar con cuatro repeticiones. Lo cual resultó en 36 unidades experimentales, cada una con dos plantas, es decir, un cultivo de 72 plantas.

Cada unidad experimental se constituyó de una maceta que contenía cuatro kilogramos de tepetate fragmentado y dos plantas de lechuga. Además, de sus respectivas dosis de estiércol, fertilizante o ambos según el tratamiento al que pertenecían (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción de tratamientos establecidos.

Tratamientos	Significado.	Lechuga
4 repeticiones por cada tratamiento		2 plantas por maceta
E0F0	Sin estiércol-ni fertilizante.	plantas
EAFA	Estiércol dosis alta-fertilizante dosis alta	plantas
EAFB	Estiércol dosis alta-fertilizante dosis baja	plantas
EBFB	Estiércol dosis baja-fertilizante dosis baja	plantas
EBFA	Estiércol dosis baja-fertilizante dosis alta	plantas
EA	Estiércol dosis alta.	plantas
EB	Estiércol dosis baja.	plantas
FA	Fertilizante dosis alta.	plantas
FB	Fertilizante dosis baja.	plantas

Las letras **E** y **F**, indican si se trata de estiércol, fertilizante respectivamente o ambos, **E** = estiércol y **F** = Fertilizante. Las letras **A**, **B** y el numero **0**, indican las dosis aplicadas: **A** = dosis alta, **B** = dosis baja y **0** = sin.

6.1.3. Selección de la Especie Vegetal.

Como señalan Gavi *et al.* (1992), a partir de 1961 se realizaron diversos estudios sobre la problemática de baja fertilidad que limita los rendimientos de las especies que se desarrollan en el tepetate. Los autores, refieren como plantas indicadoras la lechuga, maíz para grano, cebada, veza y alfalfa.

Con base en la revisión de literatura se decidió, que la lechuga, especie *Lactuca sativa L var Grandes Lagos*, sería adecuada para la presente investigación, por las siguientes características:

- Es de rápido crecimiento (en tres meses incluso en dos puede alcanzar un tamaño comercial).
- Presenta raíces abundantes, ello contribuye a un aporte importante de materia orgánica.
- Es sensible a deficiencias de nitrógeno y fósforo así como agua (Barreiro, 1993).

6.1.4. Sitio de recolecta de tepetate.

Se eligió el municipio de Tetela del Volcán en el Estado de Morelos, como lugar de recolecta. Este sitio presenta un importante afloramiento de tepetate. El tipo de tepetate utilizado corresponde en términos edáficos a duripánes. Además, tepetate de esta zona fue utilizado con éxito en trabajos previos (Velázquez-Rodríguez *et al.*, 2001; Izquierdo-Castro, 2004, García-Cruz *et-al*, 2008).

6.1.5. Tipo de abono, fertilizante y dosis por maceta.

Se estableció el estiércol bovino como abono, por encontrarse con relativa facilidad, tener precio bajo y presentar una cantidad importante de nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos.

El estiércol, presenta color pardo grisáceo en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, con pH cercano a la neutralidad y alto contenido de materia orgánica, la relación C/N es mediana; las bases intercambiables presentan valores altos, Tabla 6 (Muñiz-Irigoyen, 2006).

Tabla 6. Características del estiércol bovino aplicado, según Muñiz-Irigoyen, 2006).

Color		pH (H ₂ O) (1:2.5)	C (%)	N (%)	C/N	Ca cmol ⁺ kg ⁻	Mg cmol ⁺ kg ⁻	Na cmol ⁺ kg ⁻	K cmol ⁺ kg ⁻
Seco	Húmedo								
10YR	10 YR								
3/2	4/2	7.5	64.29	3.63	17	10.25	4.38	26.48	11.13

Los tipos de fertilizantes considerados fueron, sulfato de amonio (soluble) como fuente de nitrógeno y superfosfato de calcio simple (soluble) como fuente de fósforo. Ambos fertilizantes se usan ampliamente en la agricultura.

El sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) contiene el 21% de N y el 24% de S. Mientras que el superfosfato de calcio simple (Ca(H₂PO₄)₂ * (CaSO₄ (2H₂O))) contiene del 18 al 21% de P₂O₅, es soluble en agua y contiene del 10 al 12 % de S (Díaz-Avelar, 2001).

Las dosis aplicadas, se determinaron con base en estudios previos en estos mismos materiales y responden a las deficiencias de nitrógeno y fósforo principalmente (Tabla 7).

Tabla 7. Dosis para cada tratamiento. Los valores se presentan en gramos por maceta y su equivalente en kilogramos y toneladas por hectárea.

Estiércol dosis alta EA	Estiércol dosis baja EB	Fertilizante dosis alta FA			Fertilizante dosis baja FB		
		N	P	K	N	P	K
150 g	75 g	1.0 - 0.6 - 00 g			0.8 - 0.4 - 00 g		
40 Mg ha ⁻¹	20 Mg ha ⁻¹	80 - 60 - 00 kg/ha			60 - 40 - 00 kg/ha		

Primero se colocó el estiércol (una semana antes del transplante) posteriormente el fertilizante (tres días después del transplante), ambos se aplicaron en dosis únicas.

6.1.6. Ubicación y condiciones del experimento.

El cultivo de la lechuga se estableció en condiciones de invernadero, para ello se utilizó el invernadero del Instituto de Geología, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

- La temperatura del invernadero se mantuvo en un intervalo de 15°C a 24°C.
- La humedad relativa (Hr) se mantuvo en un intervalo de 60 a 70%
- La Radiación luminosa fue de 11 horas en el invierno y 13 horas en el verano.
Lo más favorable para las plantas y suficiente para el desarrollo de la lechuga.

6.1.7. Parámetros de estudio en la Especie Vegetal: Lechuga.

Los parámetros evaluados en la especie vegetal fueron: diámetro parte aérea (DPA), altura parte aérea (APA), peso fresco hojas (PFH) y peso seco hojas (PSH); peso fresco raíz (PFR) y peso seco raíz (PSR).

6.2. Segunda fase: Trabajo en campo.

Se recolectaron 200 kg de tepetate en el municipio de Tetela del Volcán en el estado de Morelos (Figura 4), que fueron trasladados al Instituto de Geología.



Figura 4. Sitio de recolección del tepetate, se observa la importante extensión de su afloramiento.

El municipio se localiza al noreste del Estado de Morelos y se ubica geográficamente entre los paralelos 18° 57' 48" de latitud norte y los 99° 15' 12" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 2,040 metros sobre el nivel del mar (Figura 5). Tiene una superficie de 98.518 kilómetros cuadrados, representa el 1.99 % del total del Estado. Limita al norte con el Estado de México; al sur con el Municipio de Zacualpan de Amilpas; al este con el Estado de Puebla, y al oeste con el Municipio de Ocuituco (Gobierno del Edo de Morelos, 2009).



Figura 5. Distribución de los suelos con tepetate en el estado de Morelos y ubicación del sitio de recolecta, Tetela del Volcán, según Flores-Román *et al.* (1992).

6.3. Tercera fase: Trabajo en el Invernadero del Instituto de Geología.

Posterior a la recolecta, el material fue fragmentado manualmente y tamizado. Se utilizaron 2 tamices, el primero de 10 mm y el segundo de 2 mm. La selección del tamaño de fragmentos se hizo con base en estudios previos (Velázquez-Rodríguez *et al.*, 2001; Izquierdo-Castro, 2004, García-Cruz *et-al*, 2008), donde se llegó a la conclusión de que este tamaño de fragmentos era favorable para el crecimiento de las plantas en el tepetate.

Las macetas fueron rotuladas, cada etiqueta indicó la dosis de estiércol y/o fertilizante y el subíndice indica el número de repetición.

A la par de la fragmentación de tepetate se realizaron diversas actividades encaminadas a la preparación del material para el montaje del experimento. Entre estas, se realizó una prueba de germinación de semillas de lechuga (dos sobres de semilla de marca comercial).

Ambos sobres mostraron un 100 % de germinación, en un periodo de tres a siete días. Una vez verificada la germinación de las semillas, se estableció el almácigo. El sustrato usado fue turba y vermiculita, se sembraron 108 semillas de las cuales se seleccionaron 72. Se consideró un período de crecimiento (en almácigo) de la lechuga de 18 días, hasta tener un tamaño aproximado de entre 4 a 6 cm de altura.

Terminada la fragmentación y obtenido el crecimiento deseado de la planta, comenzó el montaje del experimento. En cada maceta se colocaron 4 kg de tepetate fragmentado. Además, se aplicó la dosis de estiércol que indicaba el tratamiento. Al suelo o material edáfico formado se le considera antrosol-hórtico (IUSS-WRB, 2006).



Una vez terminado lo anterior, se realizó el trasplante, se colocaron dos plantas de lechuga por maceta. Se eliminaron las más pequeñas y las más grandes (Figura 6).

Figura 6. Trasplante de las lechugas.

El acomodo de las macetas dentro del invernadero fue al azar, con el fin de no sesgar los resultados (Figura 7 y 8).

Figura 7. Distribución de las unidades experimentales, en la mesa del invernadero.

EAF _A ₃	EBF _B ₃	EB ₃	E0F ₀ ₄		EB ₁	FB ₃	EAF _B ₃	EBF _A ₂	FA ₂
E0F ₀ ₁	FA ₁	FB ₄	E0F ₀ ₂	EA ₃	E0F ₀ ₃	EA ₁	EBF _B ₄	EB ₄	EBF _A ₃
FA ₃	EBF _B ₂		EA ₂	EAF _B ₄	EAF _B ₄	FB ₂		EB ₂	EAF _A ₂
EAF _B ₁	EA ₄	FB ₁	EBF _A ₁	FA ₄	EBF _B ₁	EBF _A ₃	EAF _A ₄	EAF _A ₁	

E = estiércol; F = fertilizante; 0 = sin estiércol ni fertilizante, únicamente lechugas. El subíndice indica el número de repetición



Figura 8. Distribución de las macetas en la mesa del invernadero. Se muestra el cultivo 30 días después del transplante.

El fertilizante se agregó 3 días después de realizar el trasplante. Se disolvió en una pequeña cantidad de agua (50 ml. aprox.) y se vertió alrededor de las plantas.

El estiércol se aplicó una semana antes del trasplante. Tanto el estiércol como el fertilizante se agregaron en dosis únicas, dado que las macetas no tenían perforaciones.



A partir del trasplante, comenzó el cuidado de las plantas. Se vigilaba a diario su crecimiento, para detectar posibles plagas, fisiopatías, enfermedades, ritmo de crecimiento y coloración, y asegurar que tuvieran la cantidad suficiente de humedad (Figura 9). Además, se verificaba la temperatura del invernadero (intervalo de 15°C a 24°C).

Figura 9. Se vigilaba el desarrollo del cultivo, para prevenir cualquier eventualidad.

Trascurridos 85 días se realizó la cosecha. Se consideró el tiempo desde el momento del trasplante (Figura 10).



Figura 10. El corte se hizo a nivel de la base de la planta (cuello o nudo vital).

6.4. Cuarta fase: Trabajo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Instituto de Geología.

A partir de la cosecha de la lechuga el trabajo en el invernadero finalizó y las siguientes actividades se realizaron en el laboratorio de Fertilidad de suelos, del departamento de Edafología, Instituto de Geología de la UNAM.

Inmediatamente después del corte, se pesó (peso fresco, parte aérea). Una vez concluida la cosecha y obtenido el peso fresco, se colocaron en bolsas de papel debidamente rotuladas y se depositaron en la estufa a 80°C hasta peso constante. Posteriormente se determinó el peso seco.

Las macetas fueron colocadas en el cuarto de secado del invernadero y allí permanecieron durante dos semanas, hasta que el tepetate perdió el mayor contenido de humedad. Al pasar dicho tiempo se extrajeron las raíces y se tomó el peso en fresco. Posterior a esto, se colocaron en la estufa a 80° C hasta peso constante para obtener el peso seco.

El tepetate estuvo otras dos semanas secándose, para que perdiera toda la humedad. Una vez logrado, se tomaron muestras representativas de las macetas para comenzar las pruebas físicas y químicas correspondientes.

Los análisis físicos y químicos del tepetate se llevaron a cabo con base en Klute (1986) y Sparks (1996), respectivamente.

➤ Pruebas Químicas:

Se tomó una muestra representativa de cada una de las unidades experimentales que después fue tamizada a 2 mm. De este material, se tomaron las cantidades requeridas para cada una de las pruebas de laboratorio.

- pH en solución acuosa, relación 1:2.5, en potenciómetro marca Orion, modelo 920 A.
- Porcentaje de Materia Orgánica, por el método Walkley y Black.
- Porcentaje de Carbono, por el método de Walkley y Black.
- Capacidad de Intercambio Catiónico, suelos ácidos y neutros, Jackson.
- Bases Intercambiables (calcio y magnesio), por el método del Versenato, Cheng y Bray; sodio y potasio, por el método de flamometría, se usó el Flamómetro Corning modelo 400.

➤ **Pruebas Físicas:**

- Color en seco y en húmedo (Tablas de Munsell).
- Densidad aparente por el método de la probeta, Bayer.
- Densidad real por el método del picnómetro, Bayer.
- Agregación en seco, Kemper y Rosenau.
- Estabilidad de agregados, Kemper y Rosenau.

6.5. Quinta fase: Análisis estadístico.

Con los resultados obtenidos se efectuó un análisis de varianza para determinar el efecto de los tratamientos y posteriormente la prueba de Tukey para seleccionar las medias de los tratamientos que mejores resultados presentaron. Tales pruebas se realizaron con el programa JMP versión 5 (JMP, 2002).

VII. Resultados.

7.1. Parámetros Especie Vegetal.

El óptimo crecimiento de las plantas implica la conjunción de factores abióticos y bióticos. El satisfacer los requerimientos hídricos, de intensidad luminosa, temperatura, edáficos y espacio son tan solo una parte de las necesidades de cualquier cultivo. El adecuado aporte de nutrimentos durante el crecimiento de la planta es obviamente fundamental para su desarrollo. Además, se deben realizar inspecciones periódicas al cultivo para asegurarse que estén libres de plagas, enfermedades y fisiopatías.

7.1.1. Altura parte aérea (APA).

Como se puede observar hay una marcada diferencia entre el tratamiento EOF0 y el resto. Se encontró diferencia significativas en el tratamiento EOF0 con una altura de la parte aérea (APA) de 4.6 cm fue considerablemente menor al resto de los tratamientos (Tabla 8).

El tratamiento que presentó la mayor APA fue FA con un valor de 17.3 cm. Valores cercanos al anterior los tuvieron los tratamientos EAFA con 16.8 cm y EAFB con 16.4 cm. Los tratamientos EA, EBFA y EB, obtuvieron valores mayores a 15 cm y son, 15.6 cm, 15.4 cm y 15.2 cm respectivamente. El tratamiento EBFB consiguió una APA de 14.5 cm y FB llegó a 14.0 cm (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de altura parte aérea de la planta (APA), al final del experimento. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	APA (cm)	
FA	17.3	a
EAFA	16.8	a
EAFB	16.4	a
EA	15.6	a
EBFA	15.4	a
EB	15.2	a
EBFB	14.5	a
FB	14.0	a
EOF0	4.6	b

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

7.1.2. Diámetro parte aérea (DPA).

Se presentaron diferencias significativas en algunos tratamientos. Los mayores diámetros de la parte aérea (DPA) se obtuvieron en los tratamientos donde se aplicó estiércol y fertilizante de manera conjunta (Figura 11). Los resultados significativos se obtuvieron con dosis altas de estiércol y fertilizante. Los tratamientos EAFA y EBFA tuvieron los mayores DPA, de 14.7 y 14.3 cm, respectivamente. Por debajo de ellos se ubican los tratamientos EAFB, FA, FB y EBFB con DPA mayores a los 13 cm (Tabla 9). El tratamiento EA obtuvo un diámetro de 11.9 cm, mientras que el tratamiento EB resultó en un diámetro de 9.9 cm. El tratamiento EOF0 dio el DPA significativamente menor al resto de los tratamientos, con tan solo 2.4 cm (Tabla 9).

Tabla 9. Diámetro de la parte aérea de la planta (DPA). Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	DPA (cm)	
EAFA	14.7	a
EBFA	14.3	a
EAFB	13.7	a
FA	13.6	a
FB	13.3	ab
EBFB	13.3	ab
EA	11.9	ab
EB	9.9	b
EOF0	2.4	c

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).



Figura 11. Comparación entre los tratamientos EAFB₃, EOF0₁ y EOF0₄, se observa la diferencia en los diámetros y alturas.

7.1.3. Peso Fresco Hojas (PFH).

Se encontraron diferencias significativas. El tratamiento que presentó el valor más alto fue EAFA con un peso fresco hojas (PFH) de 158.7 g. Tal resultado, corresponde a lo planteado en la hipótesis, ya que, se esperaba que esa combinación proporcionara el rendimiento más alto en el cultivo de lechuga. En segundo lugar, se encuentra el tratamiento EAFB con un valor de 144.0 g (Tabla 10)

Posteriormente, se encuentra el tratamiento EBFA con 140.3 g de PFH. Después de ese grupo de tratamientos cuyos pesos fresco de hojas van mas allá de los 140 g, se tienen los tratamientos que rebasaron los 100 g. El tratamiento EBFB obtuvo un PFH de 114.9 g, mientras que el tratamiento FA presentó un valor de 104.8 g; el tratamiento EA obtuvo un PFH de 103.0 g y finalmente, el tratamiento FB 101.5 g (Tabla 10).

Dentro de los PFH bajos se tienen los tratamientos EB con 68.6 g y E0F0 con 0.8 g (Tabla 10).

Tabla 10. Peso fresco de las hojas (PFH) de lechuga. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	PFH (g)	
EAFA	158.7	a
EAFB	144.0	ab
EBFA	140.3	ab
EBFB	114.9	bc
FA	104.8	bcd
EA	103.0	cd
FB	101.5	cd
EB	68.8	d
E0F0	0.8	e

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

Como se puede apreciar en la Figura 12, existe una clara tendencia al incremento del PFH, cuando se emplea la combinación de estiércol y fertilizante. Las dosis altas de ambos las que repercuten en pesos frescos considerablemente mayores a dosis bajas o al uso de únicamente estiércol o fertilizante.



Figura 12. Comparación del crecimiento de plantas en los tratamientos EAFA₂, EBFB₃, E0F0₁ y FA₂.

7.1.4. Peso Seco Hojas (PSH).

Nuevamente se observa una tendencia al aumento de peso seco hojas (PSH) en los tratamientos donde se utiliza estiércol y fertilizante. Las dosis altas de ambos, presentan el mayor PSH (Tabla 11).

Los resultados indican que existen diferencias significativas. El tratamiento EAFA presentó el mayor PSH con 16.1 g. Con valores menores que el tratamiento EAFA se encuentran: EAFB y EBFA con 13.4 g y 12.8 g respectivamente. Los tratamientos considerados con pesos de medios a bajos son, EBFB 10.5 g, EA 9.5 g y FB 9.1 g (Tabla 11).

Los PSH bajos los presentaron los tratamientos FA (fertilizante dosis alta) con 8.0 g y EB con 6.2 g. El tratamiento extremadamente bajo lo obtuvo EOF0 con un peso de 0.2 g, no alcanza el gramo de peso (Tabla 11).

Tabla 11. Peso seco de las hojas (PSH) de lechuga. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	PSH (g)	
EAFA	16.1	a
EAFB	13.4	ab
EBFA	12.8	ab
EBFB	10.5	bc
EA	9.5	bc
FB	9.1	bc
FA	8.0	c
EB	6.2	c
EOF0	0.2	d

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

7.1.5. Peso Fresco Raíz (PFR).

El tratamiento EOF0 obtuvo el menor valor de peso fresco de raíz (PFR), el peso fue de 0.8 g, significativamente menor al resto de los tratamientos (Figura 13). Entre los tratamientos EBFA, EBFB, EAFA, EB, EAFB, FB, EA y FA no se encontraron diferencias significativas. El valor mayor lo obtuvo el tratamiento EBFA con un PFR de 28.0 g, enseguida el tratamiento EBFB con 23.7 g y posteriormente EAFA con 22.3 g y finalmente EB con 20.3 g. Los tratamientos antes mencionados obtuvieron los mayores valores, por encima de 20 g. El tratamiento EAFB obtuvo un valor de 19.2 g menor a este se encontró el tratamientos FB con valor de 19.0 g, en seguida el tratamiento EA con un valor de 17.5 g, por ultimo, el tratamiento FA con un PFR de 16.1 g. A excepción del tratamiento EAFB, se puede considerar que la combinación de estiércol y fertilizante propician el mayor PFR (Tabla 12).

Tabla 12. Peso fresco de raíz (PFR). Promedio de cuatro repeticiones

Tratamientos	PFR (g)	
EBFA	28.0	a
EBFB	23.7	a
EAFA	22.3	a
EB	20.3	a
EAFB	19.2	a
FB	19.0	a
EA	17.5	a
FA	16.1	a
EOF0	0.8	b

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).



Figura 13. Comparación del desarrollo de raíces en dos tratamientos, FA y EAFA (respectivamente).

7.1.6. Peso Seco Raíz (PSR).

A diferencia de los resultados de peso fresco de raíz, el peso seco de raíz (PSR) muestra una tendencia, donde se puede ver que el EAFA tiene un mayor peso y que estos descienden gradualmente en el resto de los tratamientos donde se aplica estiércol y fertilizante, estiércol, fertilizante y por último la planta únicamente (Tabla 13).

El tratamiento E0F0 con valor de 0.1 g presentó el menor PSR respecto al resto de los tratamientos. Fue significativamente diferente a los tratamientos EAFA, EAFB y EBFB los cuales presentaron los valores mayores. Los tratamientos EBFA, FB, EA, EB y FA se presentaron valores intermedios entre el intervalo 4.7 g de EAFA y 0.1 g de E0F0 (Tabla 13). El tratamiento EAFA obtuvo un peso de 4.7 g (el mayor PSR registrado), enseguida se encuentra el tratamiento EAFB con 4.3 g, finalmente, el tratamiento EBFB 4.1 g. En los valores intermedios se encuentran, EBFA con 3.7 g, FB con 3.3 g, EA con 2.8 g, EB con 2.4 g y FA con 2.1 g (Tabla 13).

Tabla 13. Peso seco de raíz (PSR). Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	PSR (g)	
EA FA	4.7	a
EAFB	4.3	a
EBFB	4.1	a
EBFA	3.7	ab
FB	3.3	ab
EA	2.8	ab
EB	2.4	ab
FA	2.1	ab
E0F0	0.1	b

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$)

7.2. Pruebas Físicas.

7.2.1. Porcentaje de Agregación en seco.

Como se puede observar en la Tabla 14, el porcentaje de agregación no presentó diferencias significativas en la mayoría de los tratamientos. De entre todos los tamaños de agregados, los de 0.5-0.25 mm presentaron los menores porcentajes en los tratamientos. El porcentaje menor de 1.45% se encontró en el tratamiento FA, mientras que el valor mas alto de este tamaño se obtuvo en el tratamiento EA con un porcentaje de 2.83% (Tabla 14). El siguiente porcentaje mayor fue el tamaño de agregados de < 0.25 mm. El menor porcentaje lo presentó el tratamiento EAFA con valor de 2.88% y el mayor fue de 5.53% en el tratamiento EA (Tabla 14). El tamaño de 1-0.5 mm, presentó valores de 3.74% en el tratamiento FA y 7.06% en EA. Cabe señalar que estos dos valores presentan diferencias significativas (Tabla 14).

Tabla 14. Porcentaje de agregación en seco.

Tratamientos/Tamaño	< 0,25	0,5-0,25	1-0,5	2-1 (mm)	3-2	3-5	10-5	> 10
EAFA	2.88 a	1.67 a	4.30 ab	6.48 a	24.01 a	7.67 ab	40.26 a	12.73 a
EBFB	4.49 a	2.55 a	6.23 ab	8.01 a	26.46 a	4.98 b	36.91 a	10.37 a
EAFB	4.27 a	2.00 a	5.28 ab	6.81 a	24.88 a	8.76 a	40.47 a	7.55 a
EBFA	3.32 a	1.65 a	4.07 ab	6.06 a	23.55 a	7.09 ab	49.58 a	4.69 a
EA	5.53 a	2.83 a	7.06 a	8.30 a	25.39 a	6.28 ab	32.50 a	12.10 a
FA	3.25 a	1.45 a	3.74 b	5.61 a	24.26 a	7.52 ab	47.83 a	6.34 a
EB	4.46 a	2.11 a	5.05 ab	7.09 a	24.44 a	7.81 ab	39.60 a	9.45 a
FB	3.57 a	1.81 a	5.14 ab	7.10 a	24.97 a	6.26 ab	48.21 a	2.94 a
EOFO	4.93 a	2.06 a	5.04 ab	6.96 a	25.55 a	6.62 ab	44.21 a	4.62 a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

Los tamaños de 2-1 mm y 3-5 mm presentaron valores muy cercanos en la mayoría de los tratamientos. Por ejemplo, el porcentaje de agregación menor es de 5.61% en el tratamiento FA, mientras que en el tratamiento EBFB es de 4.98% (tamaño de agregados 2-1 mm y 3-5 mm, respectivamente). Por otro lado, el tamaño de agregados 2-1 mm el porcentaje mayor lo obtuvo el tratamiento EA con un valor de 8.30%, en el tamaño de 3-5 mm el tratamiento que obtuvo el valor mayor fue 8.76% (Tabla 14).

En los agregados de 3-5 mm se presentaron dos tratamientos con diferencia significativa esto corresponde al tratamiento EBFB con valor de 4.98% y EAFB con valor de 8.76% (Tabla 14). Los agregados de 10-5 mm tuvieron los porcentajes más altos en todos los tratamientos. Los agregados de esta dimensión rebasan por mucho los porcentajes obtenidos en tamaños de agregación menores (Tabla 14).

El valor menor registrado fue de 32.50 de EA, el mayor corresponde al tratamiento EBFA de 59.58% (Tabla 14).

Los agregados >10 mm, a pesar de que en este tamaño no se encontraron diferencias significativas, se puede observar en la Tabla 14, que los porcentajes tiene un amplio rango, a diferencia del resto de los tamaños. El porcentaje mayor lo presentó el tratamiento EAFA cuyo valor es 12.73%, el porcentaje menor fue de 2.94% del tratamiento FB (Tabla 14).

La mayoría de los porcentajes altos se obtuvieron de los tratamientos con dosis de estiércol alta. Por otro lado, los porcentajes menores se presentaron generalmente en los tratamientos con fertilizante en dosis alta o baja (sin estiércol). No se observaron diferencias significativas en la generalidad de los tratamientos, no obstante, se puede notar que la disgregación es baja, puesto que prevalecen los tamaños de agregados que se consideraron inicialmente (tamaños 3-2 y 10-5 mm) y que son los que muestran los porcentajes más altos en todos los tratamientos. Sin embargo, es posible notar que la presencia de dosis altas de estiércol promueve y mantiene la agregación. Por último, el tratamiento E0F0 que es considerado testigo, presentó porcentajes cercanos a los valores mayores, generalmente (Tabla 14).

7.2.2. Porcentaje de Estabilidad en húmedo.

No se encontró diferencia significativa en la prueba de estabilidad de agregados en los tratamientos. Los valores presentaron intervalos estrechos, en la mayoría de los tratamientos. El tamaño de agregados de 0.25 mm obtuvo los porcentajes mas bajos. El valor menor lo presentó el tratamiento EBFA de 2.60%, el valor mayor lo obtuvo el tratamiento EB de 5.05% (Tabla 15). Los agregados de 0.5 mm presentaron valores bajos en la mayoría de los tratamientos. Los valores van de 6.88% en el tratamiento EBFA a 11.95% en el tratamiento EB. Como se puede observar, ambos tratamientos siguieron el mismo patrón (Tabla 15). En el tamaño de 1.0 mm se observa el mismo comportamiento que en los dos tamaños anteriores. Nuevamente el tratamiento EBFA y EB presentan los valores extremos de estabilidad; EBFA tiene el valor menor de 7.67% y EB el valor mayor de 11.4% (Tabla 15).

Tabla 15. Porcentaje de estabilidad de agregados en húmedo.

Tratamientos/Tamaño	0.25	0.5	1.0 (mm)	2	3	5
EAFA	3.06 a	7.47 a	8.58 a	26.41 a	7.61 a	46.88 a
EBFB	3.37 a	7.24 a	8.15 a	25.39 a	8.79 a	47.07 a
EAFB	4.05 a	9.7 a	8.46 a	20.97 a	6.57 a	50.26 a
EBFA	2.60 a	6.88 a	7.67 a	21.17 a	6.15 a	55.53 a
EA	3.66 a	8.23 a	8.78 a	25.00 a	9.32 a	45.01 a
FA	3.44 a	7.8 a	9.40 a	29.06 a	8.12 a	42.19 a
EB	5.05 a	11.95 a	11.14 a	26.19 a	6.55 a	39.12 a
FB	4.27 a	10.40 a	10.90 a	26.75 a	6.96 a	40.73 a
E0F0	3.17 a	7.64 a	8.06 a	19.27 a	6.33 a	55.53 a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

Los agregados de 2 mm presentaron valores altos en comparación con los antes mencionados. Los valores van de 29.06% en el tratamiento FA a 19.27% en E0F0. Como se recordará, el tratamiento FA presentó valores bajos en la prueba de agregación en seco, no así para la prueba en cuestión. El tratamiento E0F0 presentó en la prueba de agregación en seco porcentajes que se ubicaban a la mitad del intervalo o cercanos a los valores mas altos, esto en la mayoría de los tratamientos y tamaños de agregación. Aquí observamos lo que se esperaba obtener, es decir, que el testigo presentara los porcentajes bajos en la prueba de agregación en seco, dado que según lo propuesto en la hipótesis, la presencia de materia orgánica (estiércol) contribuiría, a incrementar el porcentaje de agregación y su estabilidad en los tratamientos que la tuvieran (Tabla 15).

7.3. Pruebas Químicas.

7.3.1. pH.

Como se puede observar en la Tabla 16, el intervalo de pH, se mantuvo cercano a pH neutro. El pH menor lo presentó el tratamiento FA con un valor de 6.2, además presentó diferencia significativa respecto a los tratamientos: EAFA, EBFB, EAFB, EA, éstos tratamientos presentan los valores mas altos. Siendo el de mayor valor el tratamiento EA con un pH de 7.0. Los valores bajos los presentan los tratamientos FA (mencionado), FB y EOF0 (Tabla 16). Los tratamientos EBFA y EB no muestran diferencia significativa con el resto de los tratamientos, se podría considerar que presentan un valor medio dentro del intervalo señalado (Tabla 16).

Tabla 16. Valores de pH de los tratamientos.

Tratamientos	pH	
EAFA	6.7	ab
EBFB	6.7	ab
EAFB	6.9	a
EBFA	6.6	abc
EA	7.0	a
FA	6.2	c
EB	6.7	abc
FB	6.3	bc
EOF0	6.4	bc

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

A pesar de encontrar diferencia significativa en pocos tratamientos y pH cercano al neutro, hay una tendencia a la disminución de pH en los tratamientos que presenta dosis bajas y altas de fertilizante, siendo estas últimas las que tienen una influencia más notoria. Sin embargo, los resultados sugieren que la presencia de estiércol atenúa el impacto del fertilizante en el pH. Los tratamientos que poseían dosis altas de fertilizante y estiércol en dosis alta o baja mantuvieron un pH mayor en comparación con los que sólo tenían fertilizante.

El estiércol en dosis alta sin fertilizante (EA), incrementó el pH, lo que indica que puede no sólo mantener un pH neutro sino también elevarlo, esto se evidencia al compararlo con el tratamiento EOF0 (Tabla 16).

7.3.2. Porcentaje de Materia Orgánica (% MO).

Se encontraron diferencias significativas en el tratamiento EA respecto a FA, FB y EOF0, el resto de los tratamientos no presentó diferencias significativas; aunque es visible, la influencia de la dosis de estiércol. Los porcentajes de materia orgánica (% MO) mayores los presentaron los tratamientos EAFA, EAFB y EA; a continuación EB, EBFA y EBFB; finalmente los % MO menores se encontraron en los tratamientos FA, FB y EOF0 (Tabla 17). Como se esperaba, los % MO altos los presentan los tratamientos con dosis altas y bajas de estiércol con o sin fertilizante. El porcentaje mayor corresponde al tratamiento EA (3.49% MO), el porcentaje menor se dio en el tratamiento EOF0 (0.10% MO). Los porcentajes más bajos se obtuvieron en los tratamientos que únicamente tenían fertilizante. Los tratamientos FA (0.17% MO), FB (0.15% MO) además del mencionado EOF0 (Tabla 17).

Tabla 17. Porcentaje de materia orgánica (% MO).

Tratamientos	MO	
	(%)	
EAFA	2.60	ab
EBFB	1.09	bc
EAFB	2.22	abc
EBFA	1.17	bc
EA	3.49	a
FA	0.17	c
EB	1.23	bc
FB	0.15	c
EOF0	0.10	c

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

Se planteaba que el crecimiento de raíces aumentaría el % de MO en los tratamientos donde no se adicionó estiércol, sin embargo, esto no fue así.

Mas adelante, se mostraran los resultados de pesos de raíces, cabe ahora adelantar que a pesar de que se obtuvieron pesos importantes de raíces en los tratamientos con fertilizante, estas raíces eran principales, la cantidad de raíces secundarias y pelos absorbentes fue considerablemente baja.

Lo anterior nos lleva a plantear que no únicamente la cantidad de raíces repercute en el % MO sino también que tipo de raíces se presente, ya que, menor tamaño de las raíces permitirá que estas se incorporen con mayor facilidad al tepetate.

Según la clasificación de materia orgánica en suelos derivados de cenizas volcánicas de Fassbender y Bornersza (1987) citados en Vázquez-Alarcon (1997), los tratamientos EAFA, EAFB, y EA tienen una clase pobre. El resto de los tratamientos tiene clase muy pobre ya que tuvieron valores menores a 2.

7.3.3. Porcentaje de Carbono (% C).

Se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos presentaron porcentajes de carbono (% C) bajos. Como se esperaba, los % C mayores se presentaron en los tratamientos con dosis altas de estiércol, EA 2.03 % C, EAFA 1.52 % C y EAFB con 1.29 % C. Los restantes tratamientos se encuentran por debajo del 1 % C, valores pobres de carbono. El tratamiento EB obtuvo un porcentaje de 0.71 % C, EBFB 0.63 % C, FA 0.10 % C, FB 0.09 % C y E0F0 con 0.06 % C (Tabla 18).

Tabla 18. Porcentaje de Carbono.

Tratamientos	C (%)	
EAFA	1.52	ab
EBFB	0.63	bcd
EAFB	1.29	abc
EBFA	0.68	bcd
EA	2.03	a
FA	0.10	cd
EB	0.71	bcd
FB	0.09	cd
E0F0	0.06	d

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

La dosis alta de estiércol aumenta los niveles de carbono. Las dosis bajas no logran llevar los % C más allá del 1% que es un porcentaje muy bajo (Tabla 18).

La planta a pesar de aportar materia orgánica que a su vez suministra carbono al tepetate, no es suficiente para mejorar los porcentajes de carbono. Según la clasificación de carbono en suelos derivados de cenizas volcánicas de Fassbender y Bornersza (1987) citados en Vázquez-Alarcon (1997), el % C en los tratamientos, EAFA, EAFB y EA se clasifican como pobres; EBFB, EBFA, FA, EB, FB, E0F0 se clasifican como muy pobres.

7.3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT).

En general la capacidad de intercambio catiónico en los tratamientos es alta. Se encontraron diferencias significativas. El tratamiento que presentó la CICT mas alta fue EAFA de 31.25 cmol+kg⁻¹. Los tratamientos con valores menores al anterior fueron EBFA con 28.63 cmol+kg⁻¹, FB 28.25 cmol+kg⁻¹ y EA 27.00 cmol+kg⁻¹. En seguida se encuentran los tratamientos EB 26.25 cmol+kg⁻¹, EAFB 25.50 cmol+kg⁻¹ y FA 25.13 cmol+kg⁻¹. El tratamiento EOF0 24.88 cmol+kg⁻¹ y EBFB 22.63 cmol+kg⁻¹ presentaron los valores menores. Sin embargo, según Cottenie (1980) citado en Vázquez-Alarcon (1997), entra en la clase alta. El resto de los tratamientos fueron estadísticamente equivalentes, también altos (Tabla 19).

Tabla 19. Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT).

Tratamientos	CICT (cmol+kg ⁻¹)	
EAFA	31.25	a
EBFB	22.63	b
EAFB	25.50	ab
EBFA	28.63	ab
EA	27.00	ab
FA	25.13	ab
EB	26.25	ab
FB	28.25	ab
EOF0	24.88	ab

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$).

Las características mineralógicas del tepetate permiten que este tenga de manera natural capacidad de intercambio catiónico alta. Los resultados sugieren que la materia orgánica proveniente del estiércol, permitió que los valores de CICT se incrementaran.

7.3.5. Bases Intercambiables.

7.3.5.1. Calcio.

No se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos presentó valores de Ca, superiores a 10 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ (Tabla 20).

Los tratamientos que presentaron los valores mas altos son EBFA 15.60 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$, EAFA 14.80 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$, EAFB 14.55 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ y EB 14.40 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$. En seguida, se ubican los tratamientos EA 13.95 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$, E0F0 con valor de 13.5 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$. El tratamiento FB tuvo valor de 12.98 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$. Los valores bajos los presentaron los tratamientos EBFB 10.60 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ y FA 10.20 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ (Tabla 20). Según Etcheverst *et al.* (1971) citado en Vázquez-Alarcon (1997) los niveles de calcio tienen clasificación alta (>10).

Tabla 20. Contenidos de calcio en el tepetate después del experimento. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	Ca ($\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$)	
EAFA	14.80	a
EBFB	10.60	a
EAFB	14.55	a
EBFA	15.60	a
EA	13.95	a
FA	10.20	a
EB	14.40	a
FB	12.98	a
E0F0	13.50	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$)

7.3.5.2. Magnesio.

No se encontraron diferencias significativas. Los tratamientos que presentaron los mayores valores son: FA con 14.55 cmol+kg^{-1} y EAFA con 13.93 cmol+kg^{-1} . Enseguida se encuentran los tratamientos, en orden decreciente: EBFA 11.37 cmol+kg^{-1} y FB 11.17 cmol+kg^{-1} . Posteriormente, se encuentran los tratamientos EAFB 10.70 cmol+kg^{-1} ; EBFB 10.27 cmol+kg^{-1} ; EA 10.50 cmol+kg^{-1} y EOF0 10.00 cmol+kg^{-1} . Al final se encuentra el tratamiento EB con un valor de 9.07 cmol+kg^{-1} (Tabla 21). Según Etcheverst *et al.* (1971) citado en Vázquez-Alarcon (1997) los niveles de magnesio tienen clasificación alta (>3).

A diferencia del Ca, el magnesio se encuentra en niveles menores, la mayoría de los tratamientos se ubica en niveles de 10 cmol+kg^{-1} o ligeramente arriba de 10 cmol+kg^{-1} (Tabla 21).

Tabla 21. Contenidos de magnesio en el tepetate después del experimento. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	Mg (cmol+kg^{-1})
EAFA	13.93 a
EBFB	10.27 a
EAFB	10.70 a
EBFA	11.37 a
EA	10.50 a
FA	14.55 a
EB	9.07 a
FB	11.17 a
EOF0	10.00 a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$)

7.3.5.3. Sodio.

Se encontraron diferencias significativas en algunos de los tratamientos. Los valores mayores de sodio los presentaron los tratamientos EBFA 1.58 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ y EAFA 1.55 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ que además, son estadísticamente equivalentes, ambos son altos. El tratamiento FB presentó un valor de 1.30 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$. Los tratamientos EAFB, FA y EB obtuvieron el mismo valor, este fue de 1.27 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ (Tabla 22).

Los niveles menores de sodio los presentaron los tratamientos EOF0 1.11 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ y EA con 1.02 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$. Cabe señalar que este último tratamiento presentó diferencia significativa respecto a los tratamientos EBFA y EAFA que resultaron con los valores mayores de sodio (Tabla 22).

Tabla 22. Contenidos de sodio en el tepetate después del experimento. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	Na ($\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$)
EAFA	1.55 a
EBFB	1.14 ab
EAFB	1.27 ab
EBFA	1.58 a
EA	1.02 b
FA	1.27 ab
EB	1.27 ab
FB	1.30 ab
EOF0	1.11 ab

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$)

7.3.5.4. Potasio.

En la determinación de potasio se encontraron tratamientos con diferencias significativas. El tratamiento EA obtuvo el mayor valor para la prueba de potasio con $3.35 \text{ cmol+kg}^{-1}$. Posteriormente, se encuentran los tratamientos, EAFB $2.85 \text{ cmol+kg}^{-1}$, EAFA $2.64 \text{ cmol+kg}^{-1}$, EB $2.53 \text{ cmol+kg}^{-1}$ y EBFB $2.13 \text{ cmol+kg}^{-1}$, con valores por encima de $2.00 \text{ cmol+kg}^{-1}$. Por último, se encuentran los tratamientos con los niveles más bajos de potasio tales son: EOF0 con $1.97 \text{ cmol+kg}^{-1}$, EBFA $1.88 \text{ cmol+kg}^{-1}$, FB igual a $1.37 \text{ cmol+kg}^{-1}$ y en último lugar FA $1.20 \text{ cmol+kg}^{-1}$ (Tabla 23).

En el caso del potasio es posible notar efectos de las diferentes dosis. Los resultados sugieren una tendencia al incremento del K en los tratamientos que presentan tanto fertilizante como estiércol, la dosis alta de estiércol obtuvo un valor considerablemente mayor al resto de los tratamientos (Tabla 23). Según Etcheverst *et al.* (1971) citado en Vázquez-Alarcon (1997) los niveles de potasio se clasifican como altos (>0.6).

Tabla 23. Contenidos de potasio en el tepetate después del experimento. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamientos	K (cmol+kg^{-1})	
EAFA	2.64	abc
EBFB	2.13	bcd
EAFB	2.85	ab
EBFA	1.88	cde
EA	3.35	a
FA	1.20	e
EB	2.53	abc
FB	1.37	de
EOF0	1.97	cde

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes ($p \leq 0.05$)

VIII. Discusión.

8.1. Parámetros Especie Vegetal.

El tratamiento EAFA (estiércol dosis alta y fertilizante dosis alta), obtuvo los mayores valores para las variables DPA (diámetro parte aérea) con 14.7 cm, PFH (peso fresco hojas) con 158.7 g, PSH (peso seco hojas) con 16.1 g y PSR (peso seco raíz) con 4.7 g. Por otro lado, el valor mayor de PFR (peso fresco raíz) lo presentó el tratamiento EBFA (estiércol dosis baja y fertilizante dosis alta) con 28.0 g, en el caso de la APA (altura parte aérea) el tratamiento FA (fertilizante dosis alta) con 17.3 cm, tuvo el valor mayor. En todas los parámetros analizados el tratamiento EOF0 (sin estiércol ni fertilizante) tuvo valores significativamente menores al resto de los tratamientos (Tablas 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

Los resultados indican que la dosis EAFA promueve un mejor rendimiento de la lechuga, esto queda reflejado al presentar los mayores valores en los parámetros vegetativos analizados. La adición de una dosis alta de fertilizante permitió que se cubrieran las necesidades nutrimentales de la planta (de manera rápida), que el tepetate no puede cubrir por su carencia de nitrógeno y fósforo, y la poca disponibilidad de potasio, calcio, sodio y magnesio debido a las características físicas del material, compactación (Etchevers *et al.*, 1992^b).

Mientras que la adición de estiércol en dosis alta permitió, aumentar los nutrimentos y que estos se distribuyeran por toda la maceta, lo que probablemente estimuló el desarrollo radical que implicó un mayor aprovechamiento de estos y por ende, un mayor crecimiento foliar. Además, el crecimiento de raíces y el aporte de microorganismos provenientes del estiércol, probablemente produjeron una aceleración en la intemperización del tepetate lo cual pudo producir un aumento en la liberación de elementos como Ca, Mg, Na y K (Flores-Román *et al.*, 2011) esenciales para el crecimiento de la planta. De esta manera, la suma del estiércol y fertilizante en dosis altas permitieron el mayor desarrollo de la planta.

Aunado a lo anterior, el aporte de materia orgánica condujo al mejoramiento de las características físicas del tepetate, ello implicó que el agua se distribuyera de manera homogénea por la maceta, lo que mantuvo y promovió la proliferación de raíces en el tratamiento (EAFA). Si bien, el desarrollo de raíces está sujeto a los nutrimentos disponibles en el suelo, las condiciones físicas de éste también condicionan su crecimiento, figura 11 (Gil-Martínez, 1994).

La abundancia de raíces no sólo permite un mayor crecimiento de la planta, también influye en las características físicas y químicas del suelo, en este caso el tepetate. Las raíces suministran materia orgánica, dan soporte mecánico a los agregados, evitan la erosión hídrica y eólica (Acevedo-Sandoval *et al.*, 2001).

Respecto a los parámetros vegetativos PSH y PSR el tratamiento EAFA presentó los valores mayores y significativamente diferentes al resto de los tratamientos que sólo contenían alguno de los dos factores, es decir, estiércol o fertilizante (Tablas 11 y 13). Lo anterior se atribuye a la asociación lineal positiva entre la producción de peso seco y la concentración de cada de los macronutrientes, N, P, K, Ca y Mg (Premuzic, *et al.*, 1995).

Para la lechuga los principales índices de madurez y crecimiento adecuado son el tamaño del producto, la compactación de la cabeza y el tiempo desde el transplante, además de la apariencia como color y forma de la hoja que sea crujiente y vigorosa, tanto el tamaño como la compactación son los criterios de cosecha y calidad ampliamente utilizados (Alzate, 2008) las lechugas producidas por el tratamiento EAFA, cumplen con tales criterios (Figuras 1 y 12).

Otra opción, al cosechar lechugas de bajo peso, es que sean picadas o precortadas para la producción de mix para colocar en bandejas y envases (Vallejo-Cabrera y Estrada-Salazar *et al.*, 2004).

La combinación de estiércol y fertilizante (alta-baja, baja-alta y baja-baja), resultó en valores intermedios, es decir, que se ubicaban entre los mayores dados por el tratamiento EAFA y los menores de E0F0, en los parámetros vegetativos analizados (Tablas 8,9,10, 11, 12 y 13).

La aplicación únicamente de fertilizante en dosis alta no resultó en un rendimiento mayor de la planta, tal situación pone de manifiesto que las necesidades de la planta van más allá de contar con los nutrientes necesarios. A su vez, las características físicas de tepetate a pesar de estar fragmentado no permiten un desarrollo adecuado de la planta, el fertilizante proporciona los nutrientes para el crecimiento de la planta pero no mejora las características físicas del suelo (Peña-Cabriales *et al.*, 2002).

Cuando las condiciones físicas del sustrato no son las adecuadas para el cultivo, se tiene poco crecimiento de raíces. El crecimiento de estas queda confinado a los lugares donde se encuentran los nutrientes y el agua (Quesada-Roladan *et al.*, 2005) probablemente estos lugares sean únicamente las partes profundas de las macetas.

Otra condicionante para el desarrollo de raíces es el material en el que crecen, cuando este es compacto el desarrollo de raíces se estanca al encontrarse con obstáculos físicos. Además, la baja porosidad y alta densidad, son limitantes en sucesos fisiológicos importantes tales como intercambio gaseoso, disponibilidad de nutrientes y de recursos hídricos (Quesada-Roladan *et al.*, 2005).

En el caso del estiércol, hay una situación similar, la aplicación únicamente de estiércol aún en dosis alta y a pesar de sus múltiples bondades no es suficiente para obtener un mayor rendimiento del cultivo de lechuga en tepetate, la liberación de nutrimentos es gradual, esto se observó en todos los parámetros vegetativos analizados (Tablas 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

Los factores que intervienen en el crecimiento de las plantas tienen relaciones complejas y sumamente ligadas que, si funcionan armónicamente dan como resultado una adecuada producción del cultivo.

8.2. Pruebas Físicas.

8.2.1. Porcentaje de Agregación en seco.

No se encontraron diferencias significativas en los tratamientos. Sin embargo, es evidente que se inició el proceso de agregación y disgregación. Se obtuvieron agregados < 0.25 a > 10 mm, en diferentes porcentajes y en todos los tratamientos. Es importante recordar que el tamaño de fragmentos del tepetate inicial fue de 2 y 10 mm. Los tamaños que presentaron los mayores porcentajes fueron de 3-2 mm y 10-5 mm.

Los resultados sugieren, que la fragmentación, la incorporación de estiércol, fertilizante y la planta, activan el proceso de agregación y microagregación (Tabla 14). Este hecho ya fue reportado por Prat *et al.* (2003), en su experimento en tepetates, donde encontraron agregados de diversos tamaños en los tratamientos con tepetate fragmentado y dosis de estiércol.

El efecto de la combinación de los factores estiércol, fertilizante y planta, aún no se refleja cuantitativamente (en diferencias estadísticamente significativas), probablemente porque el factor tiempo no es suficiente. La acción de la MO como agente agregante, se ve en un período de tiempo mayor. Por otro lado, Cuevas *et al.* (2004), mencionan que la agregación puede variar a lo largo de determinados periodos de tiempo, tales como una estación o un año, los agregados pueden formarse, desintegrarse y re-agregarse periódicamente; el tamaño de estos puede variar.

El mayor porcentaje de agregados > 10 mm, sugieren que a pesar del corto período del cultivo/experimento, la combinación de los factores estiércol, fertilizante y planta, favorece la formación de macroagregados. De manera independiente, los factores no presentan resultados sobresalientes (Tabla 14). No se descarta la recementación por los amorfos silíceos del tepetate.

Acevedo-Sandoval *et al.* (2001), señalan que a corto plazo, la transformación de la materia orgánica es baja y ella favorece la formación de macroagregación, según dichos autores, conforme el proceso de humificación aumenta, disminuye el porcentaje de macroagregados y se eleva la presencia de microagregados, esto concuerda con los resultados obtenidos. Donde incluso se obtuvieron agregados mayores a > 10 mm, en todos los tratamientos. Sin embargo, fueron los tratamientos con estiércol en dosis alta y baja con y sin fertilizante los que tuvieron mayores porcentajes.

Un hecho a resaltar, es que la agregación también ocurrió en los tratamientos donde no se incorporó estiércol, incluso en tratamientos donde la influencia de la planta fue escasa, debido a su reducido crecimiento, concretamente en el tratamiento E0F0 (sin estiércol ni fertilizante). La agregación y microagregación se debe en estos casos (E0F0) y probablemente en los tratamientos con fertilizante (FB fertilizante dosis baja y FA fertilizante dosis alta) a procesos físico-químicos (González-Chavéz *et al.*, 2004).

Acevedo-Sandoval *et al.* (2001) señalan que lo anterior puede deberse a la presión que ejerce el material superior, éste provoca compactación y unión entre las partículas. Además, hay un efecto de recementación por la sílice amorfa en solución (proceso físico-químico) y la presencia de arcillas.

En los tratamientos E0F0 y FA, FB, es claro (al observar el material durante las pruebas físicas) que la agregación se encaminaba más hacia un encostramiento o recementación por material fino que a una agregación, esto también fue reportado por Prat, *et al.* (2003).

Por otro lado, el tamaño de agregados que se presentaron en mayor porcentaje en varios tratamientos va de 3 >10 mm, lo cual es benéfico. Según Lauffer *et al.* (1997), los agregados de 2 a 4.8 mm de diámetro son considerados como los agregados de tepetates más estables y resistentes a la erosión.

Narro (1994) y Acevedo-Sandoval (2001) refieren que sólo los macroagregados de 4 a 10 mm proporcionan propiedades físicas favorables para el crecimiento de los cultivos.

Prat *et al.* (2003), propone que la aplicación de estiércol a tepetate roturado incrementa el porcentaje de agregados de la clase 2 a 11 mm, y con ello, se incrementa su capacidad de retención de agua, conductividad hidráulica e infiltración.

La presencia de MO es un factor determinante en la formación de agregados, además impide la recementación esto no se observa con el uso exclusivo de la planta, fertilizante o ambos.

8.2.2. Porcentaje de Estabilidad en húmedo.

Los resultados obtenidos concuerdan con los presentados por Acevedo-Sandoval *et al.* (2001) quien menciona que los porcentajes de agregados fueron similares a los que obtuvo en el análisis en seco. Sin embargo, los agregados <2-3 mm se incrementaron de una a dos unidades respecto a los porcentajes registrados en la prueba de agregación en seco, esto en la mayoría de los tratamientos (Tabla 15).

Por los resultados que se obtuvieron y que además se respaldan por investigaciones como la de Acevedo-Sandoval *et al.* (2001), se considera que los agregados formados en los tepetates son estables en agua.

Los porcentajes de agregados de 2-1 mm y menores, se incrementaron ligeramente en comparación con la agregación en seco. Lo anterior sugiere que el proceso de disgregación en húmedo es mayor en estos tamaños. El proceso de disgregación obedece a los ciclos de humedecimiento y secado (Czarnes *et al.*, 2000). A pesar de ello, la disgregación no es significativa estadísticamente.

Es conveniente considerar que los agregados con tamaño de 0.05 a 0.25 mm son susceptibles a la erosión hídrica. Por ello, una vigilancia de la estabilidad de agregados en el tiempo es indispensable para prevenir la erosión (Oleschko *et al.*, 1992).

Los resultados del tratamiento EOF0 (sin estiércol ni fertilizante), indican su baja estabilidad en húmedo. Al comparar los resultados de agregación en húmedo y en seco, es posible notar el incremento del porcentaje de agregados menores a 2mm, mientras que agregados de 2-3 mm, 3-5 mm disminuyeron en comparación con la agregación en seco del mismo tratamiento.

8.3. Pruebas Químicas.

8.3.1. pH.

Los tratamientos que contenían fertilizante en dosis baja ó alta, presentaron valores menores de pH, en comparación con los tratamientos que no tenían fertilizante (Tabla 16). La disminución del pH, en los tratamientos con fertilizante puede deberse al fertilizante nitrogenado empleado, sulfato de amonio.

Cuando el ión sulfato se disocia con el agua, forma ácido sulfúrico con los H contenidos en la solución, esta reacción puede provocar la acidificación (INPOFOS, 1997). El efecto acidificante del fertilizante nitrogenado, sulfato de amonio, fue reportado en investigaciones tales como, Díaz-Avelar (2001), Izquierdo-Castro (2004), Vargas-González (2004) y García-Cruz (2005); quienes adicionaron este fertilizante en algunos de sus tratamientos y observaron una disminución del pH en comparación con el resto de los tratamientos que no lo contenían.

En los tratamientos donde además de fertilizante se agregó estiércol, se puede observar también una disminución en el pH. Sin embargo, los valores de pH no fueron menores a 6.65 que fue el pH menor observado en tratamientos donde se combinaron estiércol y fertilizante (Tabla 16).

Es importante mencionar que los tratamientos donde se combinaron estiércol y fertilizante, hay una influencia de ambos factores sobre el pH. Se puede observar en la Tabla 16, que mientras el fertilizante tiende a disminuir el pH, acidificar, el estiércol contrarresta este efecto y mantiene un pH elevado, debido probablemente a los elementos básicos que aporta, tales como calcio, magnesio y sodio (Serrato-Sánchez *et al.*, 2002).

8.3.2. Porcentaje de Materia Orgánica (% MO).

Los mayores % MO se obtuvieron en los tratamientos donde se adiciono estiércol en dosis altas. Los abonos orgánicos incluyendo el estiércol tienen la ventaja de liberar los nutrimentos de forma gradual lo que favorece su disponibilidad para el desarrollo de los cultivos (Julca *et al.*, 2006). Esto se refleja en los resultados, las dosis altas de estiércol produjeron lechugas con mayores pesos.

Otro aspecto a considerar sobre el efecto del estiércol en los mayores % MO es la abundancia de raíces. Los tratamientos que contenían estiércol en dosis alta o bajo con o sin fertilizante presentaron raíces abundantes. Las raíces secretan o exudan compuestos de carbono tales como, mucigel (mezcla de polisacáridos, proteínas, lípidos, vitaminas y fitohormonas que rodean especialmente el extremo de las raíces); ácidos orgánicos, aminoácidos y azúcares simples excretadas por las raicillas de las plantas; sustancias celulares orgánicas: producidas por la senescencia de la epidermis radical (Jackson, 1993).

Los tratamientos con fertilizante en dosis alta o baja presentaron valores por debajo del 1% MO. Los fertilizantes son absorbidos por las plantas con relativa rapidez desde el momento de su aplicación y no aportan materia orgánica (Peña-Cabriales, *et al.*, 2002).

La manera en la que estos (fertilizantes) podrían contribuir a incrementar el % MO es indirecta. Al crecer la planta el desarrollo de raíces puede contribuir a incrementar el porcentaje de materia orgánica, al producir exudados o secreciones radicales. Sin embargo, el desarrollo radical en los tratamientos con fertilizantes, en ambas dosis, fue menor al obtenido en los tratamientos donde se aplican estiércol y fertilizante (Tabla 17). Por otro lado, las secreciones de las raíces aunque aportan MO son insuficientes para incrementar los porcentajes de esta en el tepetate (Tabla 17).

El tratamiento EOF0 (sin estiércol ni fertilizante) presentó valores extremadamente bajos de MO. Se esperaba tal resultado, debido a que los tepetates tienen propiedades químicas que les otorgan baja fertilidad natural, los % MO y nitrógeno total son bajos. A pesar de ello, los tepetates presentan composiciones minerales potencialmente rica en cationes intercambiables (Gama-Castro *et al.*, 2007).

Los resultados que se presentan coinciden con los reportados por, Álvarez-Solís *et al.* (2000), Velázquez-Rodríguez *et al.* (2001), Izquierdo-Castro (2004), García-Cruz (2005), García-Cruz *et al.* (2008), quienes a través de sus investigaciones encontraron que los % MO se incrementaban al adicionar abonos orgánicos, particularmente estiércol, ya que el aporte de materia orgánica por parte de la planta *per se* es mínimo.

Las dosis altas de estiércol permitieron incrementar el % MO directamente e indirectamente, al proporcionar nutrimentos para el desarrollo radical de la planta. Además, el estiércol tiene una distribución mayor a través del sustrato lo que permite que la raíz aumente su superficie y se expanda (Figura 13).

La especie vegetal al crecer en condiciones de baja fertilidad como las que presenta el tepetate en estado natural, no logra su crecimiento y por ello se vuelve menos probable que pueda aportar MO; la planta incluso teniendo los nutrimentos para su desarrollo aporta cantidades mínimas de materia orgánica (Tabla 17, tratamientos que contienen sólo fertilizante) . Tendría que considerarse un tiempo mayor incluso de varios años para que los restos de la planta se incorporaren al sustrato y se reflejara en un incremento en el % MO.

8.3.3. Porcentaje de carbono (% C).

Los niveles pobres de C, se deben a la carencia de MO en el tepetate en estado natural. Sus características físicas y químicas, impiden el establecimiento de especies vegetales y microorganismos, que son las principales fuentes de materia orgánica, ello se refleja en porcentajes de 0.06% de carbono, obtenidos en el tratamiento E0F0 (Tabla 18), donde además el crecimiento de la plantas fue bajo (Tablas, 8, 9, 10).

En condiciones naturales el C se incorpora al suelo a través del aporte continuo de material orgánico, principalmente de origen vegetal. En los suelos cultivados el mayor aporte de C sucede con los residuos de cosecha (aportan polímeros complejos como celulosa y lignina) y los aportes de la materia orgánica por las raíces y los exudados y productos de descomposición radical (rizodepositación), permiten porcentajes altos de C (Martínez *et al.*, 2008).

Sin embargo, los tratamientos con fertilizante (únicamente) que tuvieron plantas con crecimientos adecuados tanto de la parte aérea como de raíces, reflejan que para el caso del cultivo de lechuga en tepetate, el aporte de C por las raíces y exudados es bajo, el tratamiento FB (fertilizante dosis baja) tuvo un porcentaje de carbono de 0.09 y FA (fertilizante dosis alta) 0.10% de C. Sin embargo, la permanencia de los residuos de cosecha contribuye a la acumulación del C, la materia orgánica de los tejidos de hojas, tallos y raíces aportan polímeros complejos como celulosa y lignina.

Los abonos de origen animal proveen de materia orgánica que contribuye al incremento de C, con efectos diferentes respecto a los residuos orgánicos (Martínez *et al.*, 2008). Los tratamientos con estiércol en ambas dosis produjeron porcentajes de C de entre 0.71 a 2.03, EB y EA respectivamente, que aunque bajos son significativamente mayores a los obtenidos en los tratamientos E0F0, FA y FB (Tabla 18), el efecto del estiércol en los porcentajes de C es directo y notorio, los residuos de cosecha tienen efecto

importante en el porcentaje de C, sin embargo, esto se reflejan en un periodo de tiempo mayor.

La aplicación de abonos orgánicos es indispensable para el establecimiento del cultivo en el tepetate, dada su carencia de C. El carbono proporcionado por las raíces no se refleja significativamente en el tepetate. La aplicación de estiércol elevó los porcentajes de C. A pesar de ello, los niveles se clasificaron como pobres y muy pobres.

No obstante, se debe considerar que los restos de las cosechas (hojas, tallos y raíces), pueden revertir la situación, aunque de manera gradual. Es indispensable por tanto, la incorporación de MO en el tepetate, mediante la aplicación de estiércol y por efecto de la especie vegetal.

8.3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (CICT).

La capacidad de intercambio catiónico alta en todos los tratamientos (Tabla 19) se podría deber a las características del tepetate original, ya que, presenta materiales amorfos los cuales se asocian a capacidades de intercambio catiónico altas (Etchevers *et al.*, 1992^a). Además se sabe, que una capacidad de intercambio catiónico mayor a 25 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$, indica gran capacidad de adsorción de cationes, debida a la matriz arcillosa y a la presencia de cationes intercambiables Ca^{2+} y Mg^{2+} , como reflejo del intemperismo (Rodríguez-Tapia *et al.*, 2004).

El tratamiento EAFA (estiércol dosis alta fertilizante dosis alta) presentó el mayor valor de CICT (31.25 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$), probablemente debido a la MO aporta estiércol tiene un importante papel en el incremento de la CICT. La materia orgánica, suministrada por el estiércol, es conocida por su capacidad de aumentar los sitios de intercambio para la adsorción de nutrimentos (Castellanos *et al.*, 2000).

Se logró observar una tendencia a aumentar la CICT en los tratamientos que contenían estiércol con o sin fertilizante. La dosis aplicada de estiércol fue determinante para poder rebasar el valor del tratamiento E0F0 (24.88 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$). Es decir, al incrementar la dosis de estiércol se aumenta la CICT. Los resultados coinciden con lo reportado por Díaz-Avelar (2001), García-Cruz (2005) y García-Cruz *et al.* (2008).

El tratamiento FB obtuvo el valor cercano a los obtenidos en los tratamientos con estiércol, probablemente por los procesos de disgregación del material que ocasionan una mayor superficie de reacción (García-Cruz, 2005). Por otro lado, la absorción de nutrimentos pudo permitir la proliferación de sitios de intercambio en el tepetate que además, ya presentaba una CICT alta de manera natural (Izquierdo-Castro, 2004).

En el caso de los tratamientos EBFB (22.63 cmol+kg⁻¹) y EAFB (25.50 cmol+kg⁻¹) la disminución de la capacidad de intercambio catiónico puede deberse al proceso de microagregación y macroagregación. Los procesos de agregación pueden disminuir la superficie de reacción. Las partículas de menor tamaño, tales como las arcillas, se unen reduciendo los sitios de reacción, por ende, la capacidad de intercambio catiónico (Acevedo-Sandoval y Flores-Román, 2000).

8.3.5. Bases intercambiables: calcio, magnesio, sodio y potasio.

Los niveles de Ca y Mg fueron altos en todos los tratamientos, no se encontraron diferencias significativas (Tablas 20 y 21). El Ca se presentó de 10.20 cmol+Kg⁻¹ en el tratamiento FA a 15.60 cmol+Kg⁻¹ en el EBFA, el Mg se obtuvo en un intervalo de 9.07 cmol+Kg⁻¹ en el tratamiento EB a 14.55 cmol+Kg⁻¹ en el tratamiento FA, tales resultados se atribuyen a la presencia de carbonatos de calcio (CaCO₃) y magnesio (MgCO₃), en cantidades habitualmente importantes en los tepetates (Guerrero-Eufracio *et al.*, 1992). Además, se atribuye a la alteración de minerales ferromagnesianos (Flores-Román *et al.*, 2011).

Respecto al Na, los tratamientos EAFA (1.55 cmol+Kg⁻¹) y EBFA (1.58 cmol+Kg⁻¹) fueron significativamente altos respecto al tratamiento EA (1.02 cmol+Kg⁻¹), esto pudo deberse a la mayor absorción de Na por la planta, el resto de los tratamientos no presentó diferencias significativas (Tabla 22).

Los niveles relativamente uniformes del Na se atribuyen a que es un elemento común en los tepetates (regularmente en menor proporción que el resto de las bases). Se encuentra, gracias a materiales como, la albita (NaAlSi₃O₈), la andesita-labrador (Na,Ca.Al₂Si₂O₇) y vidrios de riólita sódica (Cruz *et al.*, 1992) es decir, a la presencia de feldespatos sódicos, los niveles de Na resultantes, son considerados adecuados para los cultivos (Flores-Román *et al.*, 2011).

Uno de los principales argumentos contra el uso de estiércol para abonar los cultivos, es su importante contenido de sales. Ha sido frecuente el abuso de las dosis de estiércol en cultivos de todas partes del mundo, lo que ha repercutido en contaminación del suelo.

Se ha reportado por ejemplo, la aplicación de cantidades muy altas, hasta más de 200 Mg ha⁻¹, esto saliniza el suelo pero lo más crítico es que lo sodifica, contaminando el recurso edáfico con consecuencias reversibles pero de recuperación costosa (Serrato-Sánchez *et al.*, 2002). Los resultados de la presente investigación, dejan claro que la adecuada dosificación de estiércol no representa riesgo para el cultivo.

El cultivo de lechuga es muy sensible a niveles altos y bajos de bases, no presentó señales de daños o deficiencias en su crecimiento, ni en los tratamientos con valores “altos” de Na ni en los “bajos”. El aporte de Na, por las dosis aplicadas de estiércol no presento niveles de riesgo para el cultivo de lechuga.

En el caso del K, los niveles obtenidos fueron altos en todos los tratamientos. Se encontraron diferencias significativas (Tabla 23) a considerar EA (3.35 cmol+Kg⁻¹) que fue significativamente mayor a los tratamientos EBFA (1.88 cmol+Kg⁻¹), FA (1.20 cmol+Kg⁻¹), FB (1.37 cmol+Kg⁻¹) y E0F0 (1.97 cmol+Kg⁻¹).

Los resultados sugieren que la adición de estiércol incrementa los niveles de K ya que los tratamientos con estiércol se ubican en los niveles mas cercanos al tratamiento EA el incremento importante se da cuando se aplica en dosis altas, el K es un elemento abundante en el estiércol (Muñiz-Irigoyen, 2006). Lo anterior aunado, al efecto que tienen la especie vegetal en el intemperismo de los materiales, principalmente las raíces, las Tablas 12, 13 y la Figura 13, muestran que el desarrollo de las raíces fue considerablemente mayor en los tratamientos con estiércol y fertilizante. Mientras que los tratamientos que contenían únicamente fertilizante tuvieron los niveles menores de K y menor desarrollo de raíces.

Los niveles altos de K encontrados en todos los tratamientos, se deben a que se encuentra de manera natural en los tepetates, incluso en niveles superiores a los normales. El potasio disponible para el crecimiento de las plantas, procede de la intemperización de materiales ricos en este elemento (Etchevers *et al.*, 1992^a), por ejemplo, feldespatos como la ortoclasa -KAlSi₃O₈- (Cruz *et al.*, 1992).

En el tepetate, que contiene cantidades importantes de macroelementos, (y microelementos) es necesaria la activación del proceso de intemperización. Un primer paso para lograrlo es su fragmentación. Sin embargo, esto no es suficiente para conseguir una eficaz disponibilidad de macroelementos.

En la presente investigación y en otras como las de Acevedo-Sandoval *et al.* (2001), Izquierdo-Castro (2004), Vargas-González (2004), García-Cruz (2005), García-Cruz *et al.* (2008) y Flores-Román *et al.* (2011) que trabajaron con abonos orgánicos y especies vegetales, fue evidente lo crucial de estos dos factores (abonos orgánicos y especie vegetal) para “agilizar” el proceso de intemperización de tepetate y por tanto, sea incorporado de manera “rápida” y eficaz a la agricultura o bien se implementen planes de reforestación con una probabilidad de éxito mayor.

El estiércol por su parte, liberó bases intercambiables aprovechables por las plantas. La adición de estiércol al suelo frecuentemente resulta en un aumento en la actividad biológica. En general, esto incrementa la disponibilidad de muchos nutrientes para las plantas, incluidos los macro y micronutrientes.

En el proceso de descomposición de la materia orgánica, los microorganismos del suelo liberan CO₂, el cual, al combinarse con el agua, forma ácido carbónico que puede hacer solubles a sales como el calcio, el estiércol tienen un papel importante en la oxidación y reducción de los elementos esenciales haciéndolos más aprovechables por las plantas. La materia orgánica es descompuesta y sintetizada gracias a los microorganismos. Además, el estiércol contribuye con una mayor velocidad de infiltración, conductividad hidráulica y retención de agua en tanto que la densidad aparente disminuye (Serrato-Sánchez *et al.*, 2002).

IX. Conclusiones.

- El tratamiento con dosis alta de estiércol y dosis alta de fertilizante (EAFA) obtuvo el mayor rendimiento de lechuga en la parte aérea.
- La altura de la planta no se ve influenciada por el estiércol y fertilizante, en sus diferentes combinaciones y dosis.
- La aplicación de estiércol y fertilizante en dosis altas (EAFA) promovió un mayor diámetro de la parte aérea.
- Los tratamientos con estiércol y fertilizante propician una mayor cantidad y distribución de raíces que se manifiesta en pesos frescos y secos elevados. Siendo considerable cuando las dosis de ambos son altas (EAFA).
- Los porcentajes de estabilidad de agregados son cercanos a los porcentajes de agregación en seco, lo que indica que los agregados formados son estables. El tamaño de agregados 2-1 mm y menores a 1 mm aumentaron respecto a los porcentajes de agregación en seco.
- El tamaño y distribución de los fragmentos de tepetate y agregados formados es considerado adecuado para el cultivo.
- El fertilizante sulfato de amonio, tuvo efecto acidificante; mientras que, el estiércol permitió mantener un pH neutro, al liberar bases. La combinación de ambos permite mantener el pH cercano al neutro, siempre y cuando ambos sean aplicados en las mismas dosis.
- La presencia de materiales amorfos en el tepetate repercute en una capacidad de intercambio catiónico alta, la cual se incrementa con la presencia de estiércol.
- En general, las bases intercambiables provenientes del tepetate y materia orgánica resultaron en niveles adecuados para el cultivo de lechuga.

X. Perspectivas generales.

Con base en los resultados obtenidos y la información generada por la presente investigación, se propone la lechuga y las dosis recomendadas (altas) de estiércol y fertilizante, como factores eficaces en la producción del cultivo de lechuga y habilitación del tepetate.

Si bien es cierto, las características físicas y químicas del tepetate representan todo un reto a la tarea de restauración edáfica, es posible que la capa endurecida sea integrada a la actividad agrícola y a los programas de restauración ecológica. El empleo de abonos orgánicos tales como el estiércol de bovino resulta en beneficios inmediatos tanto a los cultivos como al mejoramiento de las características del tepetate. Además, el uso adecuado de estiércoles en la agricultura y restauración edáfica permitirá que se aproveche sus cualidades, de esta manera dejarían de ser un serio problema de contaminación de agua, suelo y aire en zonas ganaderas.

Por otro lado, el uso de especies vegetales de importancia comercial como la lechuga permite al agricultor obtener una remuneración económica en relativamente poco tiempo. Simultáneamente a ello, sus tierras se restauran para que en un futuro pueda ampliar nuevamente la variedad de sus cultivos. Con ello, se podría frenar paulatinamente la invasión desmedida de ecosistemas, es decir, frenar el crecimiento de la frontera agrícola.

Tomando como antecedente la presente investigación el paso a seguir sería el cultivo de lechuga en terrenos tepetatosos; considerando el ciclo del cultivo corto que dura 80 días, en época de lluvias con 600 a 700 mm se puede lograr el cultivo.

XI. Referencias bibliográficas.

- Acevedo-Sandoval, O., Flores-Román, D., 2000, Génesis of white fragipans of volcanic origin: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 17, 152-162.
- Acevedo-Sandoval, O., Velázquez-Rodríguez, A., Flores-Román, D., 2001, Agregación por especies vegetales y abonos orgánicos en tepetates fracturados en condiciones de invernadero: *Terra Latinoamericana*, 19, 363 – 373.
- Álvarez-Solís, J.D., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers-Barra, J.D., 2000, Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos: *Agrociencia*, 34, 523-532.
- Alzate, J.F., Loiza., L.F., 2008, Cultivo de lechuga: Bogotá, Colombia, Colinagro, 37 p.
- Barreiro-Perera, M., 1993, La Lechuga: dos caras de una moneda: *Revista Claridades Agropecuarias*, mayo, 1- 44.
- Buckman, H.O., Brady, N.C., 1985, *Naturaleza y propiedades de los suelos*: Nueva York, E.U.A, UTEHA, 32 p.
- Brown, R.B., 2009, *Textura del suelo*: Florida, E.U.A., IFAS-Universidad de Florida, 10 p.
- Cabria, F., Calandroni, M., Monterubbianesi, G, 2002, Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas: *Ciencia del Suelo*, 20, 69-80.
- Castellanos, J.Z., Uvalle, J.X., Aguilar, A., 2000, *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*: INCAPA, 226 p.
- Cerdas, A., Montero, C., 2004, *Guías técnicas del manejo poscosecha de apio y lechuga para el mercado fresco*: San José, Costa Rica, Fittacori, 45 p.
- Cuevas, B.J., Dorner, F.J., Ellies, A., 2004, Elementos de física y mecánica para evaluar la sustentabilidad de suelos agrícolas: *Revista Ciencia del Suelo Nutrición Vegetal*, 4, 1-13.
- Cruz, D.J., Cajuste, L.J., Carrillo, G.R., Osore, C.E., Grajales, M.O., 1992, Disponibilidad de K nativo, factores Q/I y potenciales químicos en tepetates de México: *Terra*, número especial 10, 399-407.

-
-
- Czarnes, S.A, Dexter, R., Bartola, F., 2000, Wetting and drying cycles in the maize rhizosphere under controlled conditions. *Mechanics of the root adhering soil: Plant Soil*, 221, 253-271.
 - Díaz-Avelar, J.I., 2001, Influencia de especies vegetales, abono y fertilizante, sobre algunas de las características químicas de tepetate fragmentado, en condiciones de campo: D.F., México, Facultad de Ciencias, Biología, UNAM, tesis de licenciatura, 86 p.
 - Domínguez, V.A., 1997, Tratado de fertilización: Madrid, España, Mundi-Prensa, 493 p.
 - Etchevers, J.D., Cruz, H.L., Mares, A. J., Zebrowski, C., 1992a, Fertilidad de los tepetates. I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la sierra nevada, México: *Terra*, número especial 10, 379-384.
 - Etchevers, J.D., López, R.M., Zebrowski, C., Peña, D., 1992b, Características químicas de tepetates de referencia de los estados de México y Tlaxcala, México: *Terra*, número especial 10, 171-77.
 - Fassbender, H.W., Borremisza, E., 1994, Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina: San José, Costa Rica, IICA, 369 p.
 - Fierro, G., Dílmer, M., 2006, Escuela de agricultores para el manejo integral del cultivo de papa. Manual y Guías de campo: Colombia, Corpoica, 140 p.
 - Flores-Román, D., González-Velázquez, A., Alcalá-Martínez, J.R., Gama-Castro, J.E., 1991, Los Tepetates: *Revista de Geografía INEGI*, 3, 37-42.
 - Flores-Román, D., Alcalá-Martínez, J.R., González-Velázquez, A., Gama-Castro, J.E., 1992, Suelos con fragipán de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo. El caso del Noreste del estado de Morelos, México: *Revista del Instituto de Geología-UNAM*, 10, 151-163.
 - Flores-Román, D., Alcalá-Martínez, J.R., González-Velázquez, A., Gama-Castro, J.E., 1996, Duripans in subtropical and temperate subhumid climate of the Trans-México Volcanic Belt: *Revista de Ciencias Geológicas*, 13, 228-239.
 - Flores-Román, D., Muñiz-Irigoyen, C.G., Galicia-Palacios, M. S., Ferrera-Cerrato, R., Zenteno, G., 2011, Enmiendas orgánicas y durazno, *Prunus persica* (L.) Bastch, en el mejoramiento de una capa endurecida, tepetate tipo duripan: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63, 479-486.
 - Flórez, S. J., 2009, Agricultura Ecológica. Manual y Guía didáctica: Barcelona, España, Mundi-Prensa, 192 p.
-
-

-
-
- Gama-Castro, J., Solleiro-Rebolledo, E., Flores-Román, D., Sedov, S., Cabadas-Báez, H., Díaz-Ortega, J., 2007, Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glasis de Buenavista, Morelos: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59, 133-145.
 - García-Cruz, A., 2005, Habilitación de un tepetate por efecto de mejoradores biológicos: D.F, México, Instituto de Geología, UNAM, tesis de maestría, 101 p.
 - García-Cruz, A., Flores-Román, D., García-Calderon, N.E., Ferrera-Cerrato, R., 2008, Efecto de enmiendas orgánicas, higuera y micorriza sobre las características de un tepetate: Terra Latinoamérica, 26, 309-315.
 - Gavi, R.F., Nuñez, E., Mares, J.A., 1992, Evaluación de dos rocas fosfóricas como fuente de fósforo para dos especies cultivadas en un tepetate: Terra, número especial 10, 392-397.
 - Gil-Martínez, F., 1994, Elementos de Fisiología Vegetal: Madrid, España, Mundi-Prensa, 1147 p.
 - González-Chávez, M.C.A., Gutiérrez-Castorena, M.C., Wright, S., 2004, Hongos micorrízicos y arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad: Terra Latinoamericana, 22, 507-514.
 - Gobierno del Estado de Morelos, 2009, Tetela del Volcán: <http://www.teteladelvolcan.gob.mx/> (en internet, consultada diciembre del 2009).
 - Guerrero-Eufracio, E.G., Luna-Mosqueda, J.L., Caballero- Ochoa, E., 1992, Distribución de los tepetates de la Republica Mexicana escala 1: 4.000.000: Terra, número especial 10, 131-136.
 - Hidalgo, C., Quantin, P., Elsass, F., 1997, Caracterización mineralógica de los tepetates tipo fragipán del Valle de México, *en* Zebrowski, C., Quantin, P., Trujillo, G. (eds.), III simposio internacional sobre suelos volcánicos endurecidos, 1996: Quito, Ecuador, 65-72.
 - Instituto de la Potasa y el Fosfato (INPOFOS), 1997, Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo: Quito, Ecuador, INPOFOS, sp.
 - IUSS working group, WRB (IUSS-WRB) 2006, World reference base for soil resources 2006: Roma, Italia, World Soil Resources Reports No. 103, FAO, 145 p.

-
-
- Izquierdo-Castro, T., 2004, Efecto de composta, vermicomposta y fertilizante en la producción de cempasuchil (*Tapetes erecta* L.) y la formación de agregados a partir de un tepetate fragmentado: D.F., México, Facultad de Ciencias, Biología, UNAM, tesis de licenciatura, 110 p.
 - Jackson, W.R., 1993, Humic, fulvic and microbial balance: organic soil conditioning: E.U.A., Jackson Research Center, 946 p.
 - JMP, 2002, JMP Statistics and Graphics Guide Version 5: Cary, Carolina del Norte., E.U.A., SAS Institute, 315-334.
 - Julca, A.O., Meneses, L.F., Blas, S.R., Bello, A.S., 2006, La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura: IDESIA, 24, 49-61.
 - Klute, A., 1986, Methods of soils analysis: Madison, Wisconsin, E.U.A., American Society of Agronomy and Soil Science Society of American, 1118 p.
 - Lauffer, M., Leroux, Y., Prat, Ch., Janeau, L.J., 1997, Organización superficial de los tepetates cultivados (Texcoco, México), *en* Zebrowski, C., Quantin, P., Trujillo, G. (eds.), III simposio internacional de suelos volcánicos endurecidos, 1996: Quito, Ecuador, 443-456.
 - León, L.A., 2001, Fertilidad de suelos: diagnóstico y control: Bogotá, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 183 p.
 - Luévano, G. A., Velázquez, G. N., 2001, Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: de problema ambiental a excelente recurso: Revista Mexicana de Agronegocios, 9, 306-320.
 - Lyon, W.C., Pearson M.J., 2000, The color of soil: E.U.A., The Science Teacher, 62 p.
 - Martínez, H.E., Fuentes, J.P., Acevedo, E.H., 2008, Carbono orgánico y propiedades del suelo: Revista Ciencia del Suelo Nutrición Vegetal, 8, 68-96.
 - Meza-Pérez, E., Geissert-Kientz., D., 2003, Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del Cofre de Perote, Veracruz: Revista Foresta Veracruzana, 5, 57-61.
 - Meza-Pérez, E., Geissert-Kientz, D., 2006, Estabilidad de estructura en andisoles de uso forestal y cultivados: Terra Latinoamericana, 24, 163-170.
 - Miehllich, G., 1992, Formation and properties of tepetate in the central highlands of México: Terra, número especial 10, 138-144.

-
-
- Muñiz-Irigoyen, C.G., 2006, Mejoramiento de la calidad de un tepetate por la influencia de enmiendas orgánicas y una especie vegetal (*Prunus persica* L Batsh) en condiciones de invernadero: México, D.F., Instituto de Geología, UNAM, tesis de maestría, 98 p.
 - Narro, F.E., 1994, Física de suelos con enfoque agrícola: México, Trillas, 103 p.
 - Narro, G.G., Narro, B.S., 2003, Química Agrícola: Madrid, España, Mundi-Prensa, 195 p.
 - Osuna-Ceja, E.S., Figuero-Sandoval, B., Oleschko, K., Flores-Delgadillo, M.L., Martínez-Menes, M.R., González-Cossío, F.V., 2006, Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza: *Agrociencia*, 40, 27-38.
 - Oleschko, K.H., Arias, R., Cabrera C., 1992, Los índices de estabilidad de la estructura del suelo (ejemplo de dos suelos de México): *Terra*, número especial 10, 151-165.
 - Palomo, R. M, Martínez, R. G., Figueroa, V. U., 2007, Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales al Disminuir Riesgos de Contaminación en Actividades Agropecuarias: *CULCyT//Sustentabilidad*, 4, 4-14.
 - Peña-Cabriales, J.J., Grageda-Cabrera., O.A., Vera-Núñez, J.A., 2002, Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (¹⁵N): *Terra*, 20, 51-56.
 - Peña, H.D., Zebrowski, C., 1992, Caracterización Física y mineralógica de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada: *Terra*, número especial 10, 131-136.
 - Porta-Casonellas, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M., 2008, Introducción a la edafología, uso y protección del suelo: Catalunya, España, Mundi-Prensa, 220 p.
 - Prat, Ch., Ordaz, Ch. V., Rugama, J.A., 2003, Impacto de la roturación y del manejo agronómico de un tepetate sobre su estructura: *Terra*, 21, 109-115.
 - Premuzic, Z., De los Ríos, A., Clozza, M., Miniño, H., Vilella, F., Yorio, A.F., 1995, Absorción y distribución de macronutrientes en lechuga: *Horticultura Argentina*, 14, 68-73.
 - Quesada-Roldan, G., Méndez-Soto., C., 2005, Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas: *Agronomía Mesoamericana*, 16, 171-183.

-
-
- Reyes, J.I., 1996, Fundamentos teórico prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo: México, Universidad Autónoma Metropolitana, 128 p.
 - Rodríguez-Tapia, S., Ortiz-Solorio, C.A., Hidalgo-Moreno, C., Gutiérrez-Castorena, M.C., 2004, Los tepetates de la ladera oeste del cerro Tláloc: Saprophyta, sin endurecimiento pedológico: *Terra Latinoamericana*, 22, 11-21.
 - Romero, R.L., 1997, Abonos orgánicos y químicos en producción sanidad y absorción nutrimental de papa y efecto en el suelo: Chapingo, México, Colegio de Posgraduados, tesis de maestría, 113 p.
 - Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M., 2004, Propiedades Físicas del suelo: Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Departamentos de Suelos y Aguas, 143 p.
 - Ruda, E., Mongiello, A., Acosta, A., 2004, Contaminación y salud del suelo: Buenos Aires, Argentina, UNL, 198 p.
 - Ruiz-Vega, J., Loaeza-Ramírez, G., 2003, Evaluación de abonos verdes en asociación con maíz de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca, México: *Terra*, 21, 409-415.
 - Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H.I., Vazqu ez-Vazqu ez, C., López-Martínez, J.D., Fortis-Hernández, M., Zuñiga-Tarango, R., Amado- lvarez, J.P., 2009, Distribución de nitrógeno disponible en suelo abonado con estiércol bovino en maíz forrajero: *Terra Latinoamérica*, 27, 373-382.
 - Sandoval-Estrada, M., Stolpe-Lau, N., Zagal-Venegas, E., Mardones-Flores, M., Celis-Hidalgo, J., 2008, Aporte de carbono orgánico de la labranza cero y su impacto en la estructura de un andisol de la precordillera andina chilena: *Agrociencia*, 42, 139-149.
 - Schwaner-Aguilera, S.A., 2006, Solubilización de roca fosfórica Carolina del Norte por cepas de *Aspergillus Níger* Van Tieghem y su evaluación en plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en invernadero: Valdivia, Chile, Escuela de agronomía, Facultad de Ciencias agrarias, Universidad Austral de Chile, tesis de licenciatura, 93 p.
 - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2009, Informe de la Situación del medio ambiente en México: Tlalpan, D.F., México, Gobierno Federal-SEMARNAT, 357 p.
 - Sepúlveda, S.F., Tapia, F.F., Ardiles, R.S., 2010, Beneficios de la materia orgánica en los suelos: Arica, Chile, INIA-URURI, 22 p.
-
-

-
-
- Serrato-Sánchez, R., Ortiz-Arellano, A., Dimas-López, J., Berúmen-Padilla, S., 2002, Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México: Terra, 20, 329-336.
 - Simpson, K., 1991, Fertilizers and manures: New York, E.U.A., John Wiley and Sons, 135 p.
 - Soriano, S.M.D., Pons, M. V., 2001, Prácticas de Edafología y Climatología: Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia, 38 p.
 - Sparks, D.L., 1996, Methods of soils analysis: Madison, Wisconsin, E.U.A., American Society of Agronomy and Soil Science Society of American, 1390 p.
 - Tapia-Goné, J.J., 2003, Identificación de hongos micorrízicos arbusculares aislados de suelos salinos y su eficiencia en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L): Colima, México, Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y agropecuarias, tesis doctoral, 137 p.
 - The American Phytopathological Society, 2001, Plagas y enfermedades de la lechuga: Madrid, España, Mundi-Prensa, 87 p.
 - Urbano, T.P., 2003, Tratado de Fitotecnia General: Barcelona, España, Mundi-Prensa, 389 p.
 - Vargas-González, T.A., 2004, Producción de clavel (*Dianthus caryophyllus*;L) y su efecto en la formación de agregados en un tepetate fragmentado: D.F, México, Facultad de Ciencias, Biología, UNAM, tesis de licenciatura, 111 p.
 - Velázquez-Rodríguez, A.S., Flores-Román, D., 1997, Formación de agregados estables a partir de un duripán del estado de Morelos (México) por parte de especies vegetales perennes en condiciones de invernadero, *en* Zebrowski, C., Quantin, P., Trujillo, G. (eds.), III simposio internacional suelos volcánicos endurecidos, 1996: Quito, Ecuador, 170-177.
 - Velázquez-Rodríguez, A.S., Flores-Román, D., Acevedo-Sandoval, O.A., 2001, Formación de agregados en tepetates por influencia de especies vegetales: Agrociencia, 35, 311-320.
 - Vallejo-Cabrera, F.A., Estrada-Salazar, E.I., 2004, Producción de Hortalizas de clima cálido: Palmira, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 330 p.
 - Vázquez-Alarcon, A., 1997, Guía para interpretar el análisis Químico del agua y suelo: Chapingo, Estado de México, México, Universidad Nacional Autónoma Chapingo-Departamento de suelos, 31 p.

-
- Vigliola, M., 1988, Manual de horticultura: Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur, 90 p.
 - Zebrowski, C., 1992, Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina: Terra, número especial 10, 15-23.
 - Zebrowski, C., Quantin, P., Trujillo, G., 1997, Suelos volcánicos endurecidos, *en* Zebrowski, C., Quantin, P., Trujillo, G. (eds.), III simposio internacional sobre suelos volcánicos endurecidos, 1996: Quito, Ecuador, 1-9.

XII. Anexos.

Anexo I. Valores de F.

Pruebas Físicas.

Prueba, Porcentaje de Agregación en seco.

Tabla 1-I. Análisis de Varianza para los tratamientos establecidos (valores de F).

FACTOR/TAMAÑO	>10	10 - 5	5 - 3	3 - 2	2 - 1	1 - 0,5	0,5 - 0,25	< 0,25
ESTIÉRCOL	0,1067	0,0413	0,3055	0,9942	0,5954	0,2813	0,287	0,8516
FERTILIZANTE	0,8199	0,1242	0,4895	0,6028	0,0772	0,0095	0,0238	0,0089
ESTIR * FERTI	0,5623	0,4574	0,0369	0,9498	0,6494	0,3057	0,4014	0,6863

Tamaño en mm.

Prueba, Porcentaje de Estabilidad en húmedo.

Tabla 2-I. Análisis de Varianza para los tratamientos establecidos (valores de F).

FACTOR/TAMAÑO	0.25	0.5	1	2	3	5
ESTIERCOL	0,9862	0,9776	0,6928	0,8837	0,3876	0,9423
FERTILIZANTE	0,1385	0,1599	0,708	0,5809	0,9638	0,8452
ESTIER * FERTILI	0,1628	0,0654	0,1689	0,025	0,0039	0,0359

Tamaño en mm.

Pruebas Químicas.

Tabla 3-I. Análisis de Varianza para los tratamientos establecidos (valores de F).

FACTOR	PH REAL	%CARBONO	% M. O	C. I. C
ESTIÉRCOL	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,2015
FERTILIZANTE	0,0959	0,4616	0,459	0,0647
ESTIER * FERTI	0,7249	0,6047	0,6028	0,0282

Tabla 4-I. Análisis de Varianza para los tratamientos establecidos (valores de F).

FACTOR	CALCIO	MAGNESIO	SODIO	POTASIO
ESTIÉRCOL	0,1412	0,3913	0,4932	< 0,0001
FERTILIZANTE	0,514	0,0375	0,0021	0,0001
ESTIER * FERTI	0,0622	0,9311	0,1162	0,9834

Parámetros especie vegetal.

Tabla 5-I. Análisis de Varianza para los tratamientos establecidos (valores de F).

FACTOR	ALTURA	DIÁMETRO	PFH	PSH	PFR	PSR
ESTIÉRCOL	0,0011	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,003	0.0078
FERTILIZANTE	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,003	0.0048
ESTIER*FERTIL	0,0002	<0,0001	0,0087	0,08	0,1155	0.7506

El diámetro y altura se midieron en cm. Las siglas significan lo siguiente: PFH= Peso fresco hojas; PSH= Peso seco hojas; PFR= Peso fresco raíz y PSR= Peso seco raíz.

Anexo II.

Tratamientos contra plagas, enfermedades y fisiopatías en el cultivo de lechuga. En los tratamientos y controles, se deben seguir las dosis y recomendaciones de los fabricantes al momento de su aplicación.

Tabla 1-II. Se presentan algunos tratamientos para combatir las plagas frecuentes en el cultivo de lechuga.

Plaga	Tratamientos.
Trips (<i>Thrips tabaci</i>)	Destruir residuos de cultivos del interior y de los alrededores del invernadero. Estimular la presencia de <i>Coccinella</i> sp (catarinas) que son deperadores de Trips.
Minadores (<i>Liriomyza trifolii</i> y <i>Liriomyza huidobrensis</i>)	Dar un tratamiento cuando se vean las primeras galerías con: Abamectina, Metidation + Piridafention.
Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	Trampas de plástico amarillo, trampas atrayentes y de luz.
Pulgones (<i>Myzus persicae</i> , <i>Narsonovia ribisnigri</i> y otros)	Los controles químicos que se aplican para otras plagas normalmente eliminan a los pulgones.
Gusano de alambre (<i>Agriotes lineatus</i>)	Se recomienda tratar al suelo antes de sembrar con Clorpirifos, Oxamil o Foxim. Si se detecta la plaga con el cultivo plantado, conviene agregar al agua de riego alguno de los productos anteriores.
Gusano gris (<i>Agrotis segetum</i>)	Hay insecticidas antiinsectos del suelo o tratamientos aéreo cuando se detecte la plaga.
Mosca del cuello (<i>Phorbia platura</i>)	Tratar con Acefato, las hojas mordidas por estos gusanos.
Caracoles y babosas	Trampas como Bio Tram, contenedores que atraen y atrapan a los caracoles.

Fuente: The American Phytopathological Society, 2001.

Tabla 2-II. Se presentan algunos tratamientos para combatir las enfermedades frecuentes en el cultivo de lechuga.

Enfermedad	Tratamientos
Antracnosis (<i>Marssonina panattoniana</i>)	Se recomienda la desinfección del suelo y de la semilla y fungicidas como Captan.
Botritis o moho gris (<i>Botrytis cinerea</i>)	Esta enfermedad se puede controlar a partir de medidas preventivas basadas en la disminución de la profundidad y densidad de plantación, además de reducir los excesos de humedad. Materias activas: Benomilo, Captan, Iprodiona, Procimidona, Vinclozolina.
Mildiu veloso (<i>Bremia lactucae</i>)	Para combatir se recomiendan las siguientes materias activas: Captan, Zineb, etc.
Esclerotinia (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	Tratar con Dicloran e Iprodiona.
Septoriosis (<i>Septoria lactucae</i>)	Se puede controlar con: Difeconazol, Propineb + Triadimefon, Ziram
Virus del Mosaico de la Lechuga (LMV)	Leche de vaca, su aplicación en aspersión limita el ataque de virus en plantas.
Virus del Bronceado del Tomate (TSWV)	Leche de vaca, su aplicación en aspersión limita el ataque de virus en plantas.

Fuente: The American Phytopathological Society, 2001.

Tabla 3-II. Se presentan algunos tratamientos para combatir las fisiopatías más frecuentes en el cultivo de lechuga.

Fisiopatía	Tratamientos
Latencia de la semilla y mala germinación	Para romper la latencia se puede hacer: Prerefrigeración en cámara fría (2°C, 48 horas). Pregerminación con agua (48 horas a remojo).
Puntas de las hojas jóvenes quemadas	Evita los excesos de nitrógeno, con objeto de prevenir posibles fitotoxicidades por exceso de sales.
Espigado o subida de la flor	Cuidar los factores climáticos e hídricos en el cultivo.
Enrojecimiento de hojas	Evitar someter al cultivos a temperaturas que rebasan su intervalo óptimo.

Fuente: The American Phytopathological Society, 2001.