

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO



DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**EFFECTO DEL MANEJO INTEGRADO DE LABRANZA Y MEJORADORES EN
INDICADORES QUÍMICOS EN UN SUELO FRANCO ARCILLOSO DE
AMBIENTE SEMIÁRIDO**

Por:

MOISES PINTO GARCIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo de 2014

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

**EFFECTO DEL MANEJO INTEGRADO DE LABRANZA Y MEJORADORES EN
INDICADORES QUÍMICOS EN UN SUELO FRANCO ARCILLOSO DE
AMBIENTE SEMIÁRIDO**

Por:

MOISES PINTO GARCIA

TESIS

Que somete a consideración del H. jurado examinador como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobado por el comité de Tesis

Asesor principal:



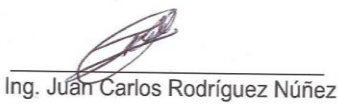
Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor



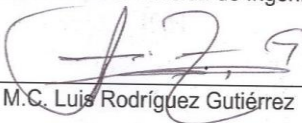
Dr. Santos Gabriel Campos

Asesor



Ing. Juan Carlos Rodríguez Núñez

Coordinador de la División de Ingeniería Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez



Coordinación de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2014

DEDICATORIAS

A mi padre: **Roberto Pinto**; por darme la vida, por quererme, por tu esfuerzo como padre, porque has estado conmigo en las buenas y en las malas.

A mi madre: **Teresa García** porque tú eres la mejor, la que más quiero, tú me has dado la amistad, el amor, tus consejos, tu trabajo y tu grande esfuerzo para que nosotros triunfemos.

A mi Hija: **Rosita Ivett**, mi grande amor, lo mejor de mi vida, mi alegría, porque tú eres lo más importante en esta vida, tú cambiaste mi vida hacia la felicidad. Te amo, te quiero mi hermosa bebe.

A mi Esposa: **Yesi**, porque te amo, te quiero, porque tu formas parte de mis logros, somos uno mismo MYA. Por siempre.

A mi carnal: **Dorian**, tu ejemplo me ha servido para triunfar, tus consejos, tu forma de vivir, tu apoyo, tu amistad y por tu oración, gracias carnal.

A mi carnal: **Roberto**, porque tú eres ejemplo a seguir, tu esfuerzo, tu responsabilidad, tu trabajo, tu apoyo y tu amistad, gracias carnal

A mi carnal: **José**, tu apoyo, tu confianza, tus palabras celebres, tu amistad, gracias carnal.

A mi carnal: **Manuel**, por tu ejemplo, tu alegría, tu forma de ver la vida, tu apoyo y amistad gracias carnal.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a Jesús por protegerme, darme la vida, darme la oportunidad de estudiar, darme una familia, por todos los regalos que me has dado. Gracias señor.

A mi hija **Rosita Ivett**, mis padres: **Roberto Pinto y Teresa García**, mis hermanos: **Dorian, Roberto, José y Manuel**, mi esposa **Yesi**, a mi madrina: **Cande y Elva**, a mis primas: **Carmen, Toñi y Lanchi**, a mi Compadre **Francisco García**, mis Abuelitos: **José Pinto y Silvina López; Manuel García y Francisca Calvo**; A la Familia **García Calvo** y sus descendientes, tía **Reinita** y a la familia **Calvo Pérez**. Gracias por estar conmigo y brindarme su apoyo.

A la UAAAN, por darme todas las oportunidades para crecer profesionalmente, para aquellos maestros que me enseñaron algunos elementos que me servirá en la vida profesional.

Al **Dr. Martin Cadena Zapata, Dr. Santos Gabriel Campos Magaña, Ing. Juan Carlos Rodríguez Núñez**, por la paciencia, la enseñanza y el tiempo para apoyarme en la realización de mi tesis. Muchas gracias.

A mis profesores: M.C. Juan A. Guerrero, Dr. Martin Cadena, Dr. Santos Gabriel Campos, M.C. Héctor Uriel Serna, M.C. Juan Arredondo Valdez, Dr. Jesús R. Valenzuela, M.C. Tomas Gaytán Muñiz, M.C Blanca Elizabeth de la Peña, Dr. Edmundo Peña, M.C. Genaro Demuner., Gracias por aportar sus conocimientos y brindarme su amistad.

A mis amigos: Claudia López, Levi Espinosa, Augusto Cordero, Víctor Cruz, Fidel Calvo, Adoniram Escalante, Oliver Ramírez y Héctor, gracias por sus consejos y amistad.

A mis compañeros de Maquinaria Agrícola: Hugo Enrique Ruiz, Gerardo Gonzales, Liliel Velázquez, Víctor Ventura. Gracias por la amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCION	1
II.HIPOTESIS	4
III.OBJETIVO.....	4
IV. REVISION DE LITERATURA.....	5
4.1 Calidad del suelo	5
4.2 Sistemas de labranza e indicadores de fertilidad de suelo.....	6
4.3 Labranza Convencional	9
4.4 Labranza Vertical.....	10
4.5 Labranza Cero.....	11
4.6 Abonos Orgánicos	13
4.7 Composta.....	13
4.8 Micorriza.....	15
4.9 Algas Marinas.....	17
V. MATERIALES Y METODOS.....	19
5.1 Textura	19
5.2 Distribución de parcelas	19
5.3 Métodos para evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo.....	21
5.3.1 Determinación de la Materia Orgánica por el método de oxidación.....	21
5.3.2 Determinación del % de Nitrógeno Total por el método de estimado.....	22
5.3.3 Determinación del fósforo por el Método de Olsen modificado	22
5.3.4 Determinación del pH por el método potenciométrico.....	24
5.3.5 Determinación de la conductividad eléctrica por el método de conductímetro	26
5.3.6 Análisis estadístico.....	27
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	28
6.1 Análisis estadísticos del Nitrógeno total con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.....	28

6.2 Análisis estadísticos del Fosforo con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.	33
6.3 Análisis estadísticos de la Conductividad Eléctrica con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.	36
6.4 Análisis estadísticos del potencial Hidrogeno (pH) con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.	37
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
VIII. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones favorables del compost	14
Cuadro 2. Datos para la curva de calibración para cuantificar el fosforo	24
Cuadro 3. Escala de los valores de pH	25
Cuadro 4. Clasificación de la conductividad eléctrica	27
Cuadro 5. Análisis de varianza con respecto al Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 0-15 cm	28
Cuadro 6. Análisis de medias con respecto al Nitrógeno total en el suelo con tratamientos de labranza a una profundidad de 0-15 cm	29
Cuadro 7. Análisis de varianza con respecto al Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 15-30 cm	30
Cuadro 8. Análisis de medias con respecto al Nitrógeno total en el suelo con tratamientos de labranza a una profundidad de 15-30 cm	30
Cuadro 9. Análisis de varianza con respecto al Fosforo en el suelo a una profundidad de 0-15 cm.	34
Cuadro 10. Análisis de varianza con respecto al Fosforo en el suelo a una profundidad de 15-30 cm	34
Cuadro 11. Análisis de medias con respecto al Fosforo en el suelo con tratamientos de labranza a una profundidad de 15-30 cm.....	35
Cuadro 12. Análisis de medias con respecto al Fosforo en el suelo con interacción de los tratamientos a una profundidad de 15-30 cm	35
Cuadro 13. Análisis de varianza con respecto a la conductividad eléctrica en el suelo a una profundidad de 0-15 cm.....	36
Cuadro 14. Análisis de varianza con respecto a la conductividad eléctrica en el suelo a una profundidad de 15-30 cm.....	37
Cuadro 15. Análisis de varianza con respecto al pH en el suelo a una profundidad de 0-15 cm.	38
Cuadro 16. Análisis de varianza con respecto al pH en el suelo a una profundidad de 15-30 cm.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del terreno experimental.....	20
Figura 2. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 0-15 cm.	29
Figura 3. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 15-30 cm.	31
Figura 4. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de M.O. en el suelo a una profundidad de 0-15cm.....	32
Figura 5. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de M.O. en el suelo a una profundidad de 15-30 cm.....	33

RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo para determinar el efecto en algunas propiedades químicas del suelo en un experimento de tres sistemas de labranza: Labranza convencional (LC), Labranza vertical (LV), Cero labranza (NL) y 3 mejoradores de suelo: Micorriza (M1), Composta miyaorganic (M2) y algaenzims (M3) y un testigo (M0); en el mediano plazo, en un suelo franco arcilloso de ambiente semiárido de la UAAAN, México.

En el experimento se utilizó un diseño de bloques al azar con 9 parcelas de 40 m x 12 m y cada una de ellas dividido en subparcelas. Se aplicaron dosis de 1 kg Ha⁻¹ para la Micorriza, 3 ton Ha⁻¹ de composta y 1 l Ha⁻¹ de algaenzimas. Para la evaluación se obtuvieron los contenidos de Nitrógeno total por el método de estimado; el fosforo por el método de Olsen modificado, la conductividad eléctrica por el método de conductivimetro, el pH por el método del potenciómetrico.

Para este proyecto se evaluó el ciclo de invierno-primavera 2013, donde se tomaron muestras de suelo a profundidad de 0 a 15 y de 15 a 30 cm para los análisis correspondientes. Los datos obtenidos en el laboratorio fueron analizados a través del programa R versión 2.14.0; Los resultados mostraron que las parcelas con labranza cero obtuvieron valores mayores de contenido de nitrógeno total en las dos profundidades ($\alpha=0.05$). Para el P no se encontraron diferencias significativas en relación a la labranza y mejorador; en la interacción de labranza convencional y testigo se observó mayor cantidad de P disponible en el suelo. Para la CE no existió diferencias significativas con respecto a las labranzas y mejoradores de suelo, sin embargo los datos encontrados se encuentran en el rango óptimo para la producción agrícola, lo mismo sucedió con el pH donde no se encontró diferencias significativas en ningún sistema de labranza y mejorador de suelo.

Palabras clave: Mejoradores orgánicos de suelo, sistemas de labranza, propiedades químicas del suelo.

I. INTRODUCCION

La aplicación de técnicas de preparación de tierra y de labranza inadecuada es una de las principales causas de la degradación del suelo ya que deteriora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos causando baja productividad agrícola (FAO, 2000). Se estima que el 15% de la superficie mundial sufre algún tipo de deterioro causada por las actividades del hombre como son el sobre pastoreo, la deforestación y las malas prácticas agrícolas (López, *et al* 2010).

La degradación del suelo (pérdida de suelo por erosión) en México es una de las principales causa de la degradación química con 34.9 millones de hectáreas que representa el 17.9 % de la superficie nacional (SEMARNAT, 2009). La pérdida de la cobertura vegetal disminuye el contenido de materia orgánica, disponibilidad de agua y nutrimentos, principalmente nitrógeno (N) y Fosforo (P), (Bayer *et al.*, 2001 y Roldan *et al.*, 2005).

En la actualidad el uso de los sistemas de labranza debe permitir un ahorro máximo de energía y asegurar un deterioro mínimo de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Figueroa y Ventura, 1990). La fertilización biológica (biofertilización) es una alternativa viable que puede complementar o sustituir la fertilización química (Alarcón y Ferrera, 2000).

El manejo adecuado del suelo mediante prácticas de labranza de conservación como son la labranza cero, labranza vertical tienen ventajas como: reducir las pérdidas del suelo y agua en un 20% y 50% respectivamente, incrementa el contenido del agua en el suelo en climas áridos y semiáridos, aumenta la resistencia a la erosión eólica e hídrica, mejoramiento de la estructura, rugosidad del suelo y los residuos sobre el mismo, así como el contenido de materia orgánica, además reduce los tiempos a la siembra y disminuye los costos de producción (Montes, 1991).

Las tecnologías de labranza de conservación podrían reducir significativamente los costos de la preparación del suelo y del control de malezas. La reducción de la tasa de erosión y del riesgo de producción, y un aumento en la fertilidad del suelo son beneficios posibles en el largo plazo (Bravo *et al.*, 1992).

Se han propuesto diferentes alternativas para conservar y proteger el suelo. Una de ellas es el empleo de la labranza de conservación, donde la práctica consiste en dejar los residuos de las cosechas anteriores en la superficie del terreno, sin roturar o voltear el suelo, como se hace tradicionalmente. La cobertura del suelo con rastrojo disminuye el efecto de la erosión e incrementa el contenido de la MO, mejorando con ello las propiedades físicas, químicas, biológicas, y la fertilidad del suelo (Cardini, 1993).

Los sistemas de labranza reducida, labranza vertical, labranza cero, ofrecen varias ventajas al compararlos con la labranza convencional, entre las cuales sobresalen la reducción hasta un 90 % de la pérdida de suelo, 25 % de reducción de los costos de producción (Uresti y Cadena 1994).

Un eficiente manejo de los rastrojos en cero labranzas permite reintegrar al suelo aproximadamente un 50 % del peso total de la sementera. Esto significa que los mismos cultivos restituyen al suelo gran parte de los nutrientes extraídos (provenientes del suelo y los fertilizantes), especialmente P y K, además de proteger al suelo contra la erosión, como también contribuir a la economía de minimizar los costos de agua ya que retienen mayor humedad en el suelo (Crowwetto, 1992).

Para la conservación de los ecosistemas agrícolas se aplican distintas prácticas de labranza y se utilizan los residuos de cosecha para cubrir la superficie, alterando al mínimo posible la composición, la estructura y la biodiversidad natural del suelo. La fertilización biológica utilizando micorrizas vesículo-arbusculares (*Glomus intraradices*) constituye una alternativa viable que puede complementar o sustituir la fertilización química (Salinas *et al.*, 2005).

La composta ha adquirido cada vez mayor importancia como fuente de nutrimentos para el suelo y las plantas en los sistemas de agricultura orgánica, y en aquellos sistemas agrícolas que pretenden ser más sustentables (Bullock *et al.*, 2002). La aplicación de enmiendas orgánicas es decir los residuos de origen animal y vegetal que se adiciona al suelo mejora las propiedades físicas, la actividad biológica y la fertilidad de los suelos (Herencia *et al.*, 2008). Por lo tanto el estiércol composteado es una alternativa ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y disminuir el uso de los fertilizantes inorgánicos (Eghball *et al.*, 2004).

Un paso positivo hacia la introducción de los recursos de algas nativas en México es el uso de biofertilizantes derivados de las algas como una alternativa para mejorar las condiciones de cultivos negativos, como la progresiva degradación de los ecosistemas, suelos y la contaminación de las tierras agrícolas causadas por los fertilizantes sintéticos (Hernández *et al.*, 2013).

El uso de biofertilizantes es una alternativa para mejorar las condiciones de los campos mexicanos y para todo el mundo. Los fertilizantes biológicos no contaminan el suelo y la atmósfera, ayudan a producir alimentos sanos. Las Algas marinas y sus derivados se utilizan en la agricultura como posibles reguladores del crecimiento vegetal (Villarreal *et al.*, 2003)

II.HIPOTESIS

La aplicación de mejoradores integrados a la labranza cero mejora las propiedades químicas del suelo en el mediano y largo plazo.

III.OBJETIVO

Medir y cuantificar el efecto integrado de labranza con mejorador de suelo en las propiedades químicas N, P, CE, pH como indicadores de la calidad.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Calidad del suelo

La calidad de un suelo es un concepto que permite conocer que tan adecuadamente el suelo ejecuta todas sus funciones, esto es su capacidad para funcionar. Algunas definiciones se presentan a continuación:

La habilidad de un suelo para sostener el crecimiento del cultivo, lo cual incluye factores tales como grado de labranza, agregación, contenido de materia orgánica, profundidad del suelo, capacidad de retención de agua, tasa de infiltración, cambios de pH, capacidad nutrimental entre otros (Power y Myers, 1989).

La capacidad de un suelo para producir cultivos nutritivos de manera sustentable durante largo tiempo, así como mejorar y mantener la calidad ambiental y promover la salud de plantas, animales y humanos (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 2001; Gutiérrez *et al.*, 2003).

Los cambios temporales en las propiedades del suelo con la labranza, son indicadores que se usan para determinar si mejora la calidad del suelo, si es estable o si disminuye con el tiempo (Lal, 1998). Lo anterior permite establecer niveles críticos de indicadores de calidad del suelo, asignar un factor de peso y relacionarlo con la productividad (Lal, 1994).

Los indicadores de calidad del suelo son propiedades físicas, químicas y biológicas que pueden ser medidas cualitativa o cuantitativamente y que proveen pistas acerca de que tan adecuadamente un suelo funciona (Gregorich *et al.*, 1994). Necesitan ser medidos espacialmente a través de la evaluación de las propiedades del suelo las cuales deben ser fáciles de medir, aun los más sensibles a cambios generados por las prácticas de manejo, cuyos valores indicarían la calidad (Larson y Pierce, 1991).

El indicador de calidad del suelo de interés para esta investigación son los indicadores químicos que son aquellas propiedades que inciden sobre la relación suelo-planta, calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo y disponibilidad

de nutrimentos para plantas y microorganismos. Algunas de ellos son pH, conductividad eléctrica, N-P-K extractables, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, capacidad de intercambio de cationes, capacidad de adsorción de fosfatos, contenido de micronutrientes disponibles (Doran y Parkin, 1994; Larson y Pierce, 1991).

4.2 Sistemas de labranza e indicadores de fertilidad de suelo

Los sistemas de labranza pueden afectar la fertilidad del suelo. En un estudio en un suelo franco arenoso Sainju *et al.*, (2002) concluyeron que con o sin fertilización nitrogenada, las concentraciones de C orgánico del suelo y N fueron mayores en la labranza cero en comparación con la labranza convencional teniendo como resultado (23,5 a 24,9 con cobertura vegetal vs 19,9 a 21,4 Mg ha⁻¹ sin cobertura vegetal y 1,92 a 2,05 vs 1,58 a 1,76 Mg ha⁻¹, respectivamente).

El contenido y colocación del nitrógeno en el perfil del suelo es afectado por la labranza. En un estudio sobre el carbono orgánico y nitrógeno en un Mollisol, Puget y Lal, (2005) obtuvieron resultados donde no hay diferencias en las concentraciones de carbono y nitrógeno orgánico a una profundidad mayor a 50 cm con tres sistemas de labranza (Labranza cero, Labranza vertical y Labranza convencional). También mencionan que entre los tres tratamientos de labranza a una profundidad menor o igual a 5 cm, las concentraciones de N fueron significativamente diferentes.

Los efectos de los diferentes sistemas de labranza sobre C orgánico y N orgánico varían en relación a la profundidad, Angers *et al.*, (1997) encontraron que en la profundidad de 0 a 10 cm, los contenidos de C Y N fueron mayores en la labranza cero que bajo labranza convencional, mientras que en los niveles más profundos (20-40 cm) se observó la tendencia inversa. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de labranza en el C orgánico total y almacenamiento N total hasta 60 cm de profundidad.

La labranza de conservación es una alternativa para incrementar la fertilidad del suelo, Blevins *et al.*, (1983), encontraron que a una profundidad de 0-15 cm de la

superficie, el carbono orgánico y el N con la labranza cero fueron dos veces más altos comparados con la labranza convencional. En la labranza cero sin agregación de cal el pH disminuye en comparación con la labranza convencional.

El contenido de nitrógeno en el suelo depende principalmente de la materia orgánica. Galeana De la Cruz (2000) comprobó el aumento de materia orgánica en los tratamientos con labranza de conservación y cobertura de veza en los primeros 5 cm del suelo mostrando una diferencia significativa entre los sistemas de labranza. También menciona que entre los ciclos de cultivos se observó un incremento de materia orgánica en la capa de 0-5 cm en la labranza cero; Estos resultados indican que la labranza cero mejora el contenido de materia orgánica y el nivel de fertilidad del suelo, favoreciendo la sostenibilidad de este recurso.

La incorporación de residuos de la cosecha anterior de un cultivo al suelo en conjunto con labranza cero incrementa el contenido de materia orgánica. Figueroa (1992) al respecto, comenta que la labranza de conservación incrementa el contenido de materia orgánica en la superficie del suelo, induciendo modificaciones en los procesos bioquímicos y químicos en esta zona.

Según Galeana De la Cruz (2000) el incremento del contenido de nitrógeno total en la superficie del suelo en la labranza cero, resulta del incremento en la acumulación de materia orgánica de 0-5 cm de profundidad; este contenido se reduce al incrementar la profundidad del suelo, aspecto asociado con la disminución del contenido de materia orgánica.

En investigaciones realizadas por Sierra y Rojas (2008), encontraron que el principal elemento que se incrementa al aumentar la materia orgánica es el contenido de nitrógeno en el suelo, por lo general más del 95 % del Nitrógeno total del suelo se encuentra en estado orgánico formando parte de la materia orgánica.

El rendimiento en grano de cualquier cultivo depende de la labranza, propiedades químicas, físicas y biológicas. Ardell *et al.*, (2006) evaluaron los rendimientos de maíz por 5 años en un suelo franco arcilloso donde encontraron que al aplicarles fertilizantes de Nitrógeno obtuvieron incremento en el rendimiento de granos en

ambas labranzas (NL, LC) pero con un 16 % más de rendimiento máximo promedio en la labranza convencional.

Para el productor es conveniente reducir el gasto con fertilizantes inorgánicos como es la incorporación de P, por lo que es conveniente encontrar un sistema de labranza que permita la acumulación de P a una profundidad en donde la planta puede extraerla. Motta, *et al.*, (2002) determinaron que el fosforo (P) extraíble fue mayor con la labranza cero que con el arado de vertedera a una profundidad de 22.5 en un suelo franco arenoso muy fino. En un suelo franco arenoso fino el P tiende a acumularse a una profundidad de 15 a 22.5 cm con sistemas de labranza que no sea el de vertedera, en estas profundidades la cero labranza tiene el mayor fosforo (P) extraíble.

En un estudio de labranza en un suelo franco limoso, Hussain *et al.*, (1999) concluyeron que el pH del suelo no fue diferente entre los 3 sistemas de labranza en ninguno de los 8 años que tardo el experimento. Los valores de K y P variaron con el año y el tratamiento. Las diferencias en las concentraciones de nutrientes se debieron principalmente a la estratificación dentro de la profundidad de 0-15 cm. Los valores de P de la labranza vertical con arado de cincel fueron significativamente mayores que la no labranza y la labranza convencional en 1995 y sigue siendo significativamente más alto que en la labranza convencional en 1996.

En un experimento de cuatro años en un suelo franco limoso con tratamientos (labranza cero, labranza convencional) para el cultivo de maíz en Italia, Tabaglio, *et al.*, (2009), encontraron antes del experimento que el pH 6.46 ± 0.19 , N total $1.10 \pm 0.02 \text{ g kg}^{-1}$, P disponible $24.3 \pm 2.6 \text{ mg kg}^{-1}$ y CE de $112 \pm 10 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$. Después se obtuvo los siguientes resultados: Al final de la prueba de cuatro años el pH del suelo es prácticamente el mismo que en el comienzo, el contenido de fosforo P disponible no fue significativa en ninguna de las profundidades, en la labranza cero se encontró 2 mg kg^{-1} mayor que el fosforo disponible de la labranza convencional. En las parcelas de labranza cero mostraron un contenido del 5% de nitrógeno superior a parcelas de labranza convencional a una

profundidad de 5 y 10 cm. En la capa del suelo de 0-10 cm el contenido de nitrógeno para la labranza cero fue de 1.26 g kg⁻¹ vs 1.15 g kg⁻¹ para la labranza convencional. La diferencia es pequeña, pero labranza cero sigue siendo significativamente mayor que la labranza convencional. En cuanto a la CE se encontró de 95 µS cm⁻¹ para las dos labranzas. Los datos demostraron una fertilidad química después de cuatro años de tratamiento en la labranza cero.

Por otro lado, Lal *et al.*, (1979) encontraron que después de 12 años de tratamiento continuo el P fue más alto de 0 a 10 cm de profundidad bajo labranza cero que bajo labranza convencional. El fosforo disponible, según Dick *et al.*, (1991) fue mayor en la superficie de 0-7.5 cm con cero labranza comparada con la labranza convencional

En el estudio de Galeana De la Cruz (2000) el pH del suelo estadísticamente no muestra cambios significativos por efecto de los diferentes tratamientos de sistemas de labranza y cobertura a una profundidad de 0-5 y 5-30 cm. Por otra parte; Karlen *et al.*, (1994) no encontraron diferencias significativas sobre el pH al estudiar diferentes sistemas de labranza.

4.3 Labranza Convencional

En un estudio realizado en la comarca lagunera, Salazar *et al.*, (2003) mencionaron que la mayor producción de forraje se obtuvo en parcelas preparadas con labranza convencional es decir barbecho mas rastra donde se le agrego fertilización con nitrógeno con un promedio de 33 t ha⁻¹ y la menor se genero con labranza cero sin fertilización 17 t ha⁻¹.

En tratamientos de incorporación de N en combinación con la labranza convencional en un suelo franco limoso, Blevins *et al.*, (1977) encontraron que el pH del suelo se redujo al aumentar las dosis de N; el pH fue menor con la labranza cero que con labranza convencional.

En un estudio del maíz con dos tipos de labranza e incorporación de fertilizantes nitrogenados, Rice *et al.*, (1986) encontraron que en labranza convencional junto

con la labranza cero obtuvieron el mismo rendimiento de grano, sin embargo en el mismo estudio se comparo el rendimiento con los dos tipos de labranza pero sin incorporación de fertilizantes nitrogenados donde se obtuvo un mayor rendimiento para labranza convencional.

4.4 Labranza Vertical

Ernst y Betancur (2004) evaluaron una variante del arado de cinceles, conocido como "Paratill", en la producción de maíz; en sus resultados obtuvieron incrementos en rendimiento de más de 1.0 ton ha^{-1} de grano con respecto a la siembra directa. En otras investigaciones se han observado incrementos significativos en rendimiento de grano de maíz, sin afectar la absorción de nitrógeno (Al-Kaisi y Licht, 2004).

En un estudio de la labranza con arado de cincel con distintas dosis de nitrógeno, Jagadamma *et al.*, (2007) encontraron el efecto del sistema de cultivo de la concentración de Nitrógeno total (TN) donde fue significativo para los primeros 20 cm de profundidad del suelo, pero no por debajo de 20 cm de profundidad. Independiente de la dosis de N, la concentración de TN fue mayor en el cultivo de maíz que en la de soja.

En un estudio donde se estudio la labranza con arado de cincel, Licht y Al-Kaisi, (2005) compararon el rendimiento de grano del maíz y absorción de N con tres tipos de labranza (Labranza convencional, labranza con arado de cincel y labranza cero) donde encontraron que no hay diferencias significativas entre los sistemas de labranza.

La labranza influye en el cambio de pH y P en algunos suelos. Duiker y Beegle, (2000) estudiaron el efecto de la labranza vertical (discos de cincel) en algunas propiedades químicas de un suelo franco limoso donde no se observo un efecto significativo en la labranza de pH. El pH promedio de la tierra vegetal fue de entre 6,5 y 6,6 en todos los tratamientos de labranza (labranza vertical, labranza convencional y labranza cero). Al aplicar cal al suelo en la labranza vertical el pH aumentó gradualmente con la profundidad. El fosforo P extraíble a una

profundidad de 0-5 cm fue dos veces mayor con la labranza vertical que con la labranza convencional. El nivel de fósforo extraíble disminuyó rápidamente con la profundidad en la labranza cero y más lentamente con la labranza vertical. En la profundidad de 10-15 cm, el P extraíble en la labranza cero fue significativamente menor que en labranza vertical, mientras que el P extraíble en la labranza vertical y labranza convencional fueron intermedios.

4.5 Labranza Cero

La labranza cero se conoce como siembra directa o no labranza. El uso de la labranza cero tiene efectos benéficos, como reducción de la erosión, de maleza y de fertilizantes químicos, y la restauración de la fertilidad del suelo, debido fundamentalmente a los residuos de cosecha que no son removidos por la labranza convencional (Salinas *et al.*, 2002 ; Tiscareño *et al.*, 1999).

En un estudio para determinar el efecto en las características físicas y químicas del suelo con cuatro sistemas de labranza mencionaron que los resultados mostraron que las parcelas con labranza cero poseyeron valores mayores de densidad aparente, pH, contenido de nitrógeno, de fósforo, de materia orgánica y estabilidad de agregados (Ramírez *et al.*, 2006).

Bowman y Halvorson (1998) mencionaron que el contenido de nitrógeno se incrementa en las capas superficiales, debido a la concentración de residuos vegetales en la superficie y a la reducción neta de la actividad biológica en los sustratos de origen vegetal en ausencia de labores de labranza. El fósforo presenta una concentración mayor en las capas superficiales (Lal *et al.*, 1994).

El sistema de no labranza es decir la labranza cero es más eficiente en el almacenamiento de N en la parte superior del suelo a partir de los cultivos de cobertura de leguminosas, a largo plazo este sistema puede incrementar el N disponible en el suelo para el maíz (Amado *et al.*, 1998).

El sistema de no labranza permite el aumento en la concentración de algunas propiedades químicas del suelo. Salinas *et al.*, (2000) reportaron que en los

sistemas de labranza cero lograron concentraciones mayores de nitrógeno inorgánico en la capa superficial (30.2 kg/ha y 48 kg/ha) en dos tipos de suelo en Michoacán comparado con (16.4 kg/ha y 30.6 kg/ha) en la labranza convencional.

La labranza cero y mínima son una opción viable para el productor en la región lagunera ya que disminuye los costos de producción, esto se debe a la acumulación de residuos a través del tiempo que son una fuente de materia orgánica que puede reflejarse en una mayor concentración de nitrógeno inorgánico (Salazar *et al.*, 2003).

El principal efecto de la cero labranza sobre las propiedades químicas del suelo está vinculado al aumento de la materia orgánica, donde el cambio de materia orgánica después de cuatro años de cero labranza en un mollisol de Chile Central en que se cultiva una rotación trigo-maíz dejando los residuos de cosecha sobre el suelo, donde la mayor acumulación de materia orgánica ocurrió en los primeros dos centímetros del suelo, pero la diferencia fue significativamente superior hasta los cinco centímetros de profundidad entre los tratamientos de manejo (Acevedo, 2003).

Los cambios químicos con respecto al pH en sistemas de labranza cero disminuyen en la capa superficial de estiércoles y fertilizantes nitrogenados y por la descomposición superficial de los residuos de los cultivos (Mahler y Harder, 1984).

La labranza cero retiene mayor fertilidad en los diferentes tipos de suelos. Ramírez *et al.*, (2006) mencionaron que los resultados, mostraron que las parcelas con labranza cero poseyeron valores mayores de densidad aparente, pH, contenido de nitrógeno, de fósforo, de materia orgánica y estabilidad de agregados, aunque muchos de los resultados no fueron estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$).

4.6 Abonos Orgánicos

Los abonos orgánicos (Estiércoles, compostas y residuos de cosecha) se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Castellanos, 1982).

De los abonos orgánicos, las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos, para el suelo favorece su fertilidad mejorando algunas de las propiedades químicas, físicas y biológicas, incrementa la actividad microbiana y facilita el transporte de nutrientes a la planta a través de las raíces (Trinidad, 2000).

4.7 Composta

El composteo consiste en la conversión biológica de diversos residuos de origen orgánico con base en el control de temperatura y agua, principalmente. El material que resulta de este proceso permite ser utilizado como biofertilizante, ya que además de proporcionar nutrimentos para las plantas, contiene alto contenido de humus, por lo que es factible usarlo como mejorador de suelos (Santamaría., 1996).

La biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido (Sztern y Pravia, 1999).

Cuadro 1. Condiciones favorables del compost

Condición	Ámbito Aceptable	Condición optima
Humedad	40-65%	50-60%
Oxígeno	5%	8%
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Temperatura C	55-75	65-70 C
Tamaño de partícula mm	0.5-1.0	65-70 C
Color	Marrón oscuro-negro ceniza	
Olor	sin olor desagradable	

Fuente: Sztern y Pravia, 1999.

La composta es un abono orgánico que ayuda a mejorar la fertilidad de los suelos. López *et al.*, (2001) obtuvieron resultados donde indican cambios en las características químicas del suelo (Materia Orgánica, N y P) antes y después de la siembra. Donde los abonos orgánicos, principalmente la composta con dosis de 20 a 30 t ha⁻¹, son una alternativa para sustituir a la fertilización inorgánica.

En un estudio donde se incorporo composta Salazar *et al.*, (2004) encontró que la CE tuvo un valor inicial de 2.558 dS m⁻¹, 2.808 dS m⁻¹, y 1.308 dS m⁻¹ en el tratamiento de compost. Al terminar la incubación aumentaron en 0.43 dS m⁻¹ para compost, teniendo al final del proceso valores de 2.99 dS m⁻¹, 3.85 dS m⁻¹, y 2.47 dS m⁻¹, respectivamente.

El rango optimo de salinidad para la producción agrícola se considera normal hasta un valor de 4 dS m⁻¹ (Salazar *et al.*, 2004). Lo cual significa que la aplicación de este mejorador (compost) no presentara problemas de salinidad para los suelos.

Al biodegradarse el estiércol libera iones que aumentan la concentración salina del suelo. En un estudio Salazar *et al.*, (2004) mencionan que la fórmula utilizada por el productor y el testigo se encuentra en niveles adecuados de CE para la siembra de tomate con 2.36 y 2.58 dS m⁻¹, respectivamente. Según los resultados que ellos obtuvieron indican que no se deben aplicar dosis superiores a 80 kg de estiércol por hectárea en el cultivo. Los valores de conductividad eléctrica se incrementan al doble con los niveles de estiércol, incluso los niveles 160 y 120 t

ha⁻¹ rebasan los límites de CE para un suelo normal ya que sus rangos son mayores de 4 dS m⁻¹, por lo que se debe tener un cuidado a la hora de hacer recomendaciones, ya que los excesos de aplicación de estiércol podrían contaminar el suelo. Se recomienda que en los suelos arcillosos se inicie con la aplicación de estiércol en el primer año con una dosis que fluctúe entre los 80 y 120 t ha⁻¹ y para el segundo año, dependiendo del análisis de suelo, disminuirla según la concentración salina del mismo.

4.8 Micorriza

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) son visibles únicamente al microscopio y no forman estructura reproductivas del tipo sexual; además, su establecimiento no genera cambios en la morfología de la raíz de la planta hospedante (Alarcón, 2000). Estos hongos mediante la actividad del micelio externo, facilitan la asimilación de nutrimentos (P, N, Ca, Mn, Mg, Zn, etc.) que la planta puede aprovechar. Asimismo, contribuyen en la funcionalidad fisiológica de la planta hospedante, propiciando incrementos en su capacidad de crecimiento (Alarcón *et al.*, 1998). Ante este efecto, la planta dirige una buena parte de sus fotosintatos hacia el sistema radical de modo que los hongos puedan captar compuestos de carbono para satisfacer sus requerimientos nutricionales y facilitar el mutualismo de la simbiosis entre ambos componentes (Smith y Read, 1997).

Según Jeffries y Barea, (2001) los hongos micorrizas mejora la biodisponibilidad de los principales nutrientes de la planta como son el N y P a través de la rizosfera. También los hongos micorrizas restablecen la vegetación natural en una zona degradada (Miller y Jastrow, 1994).

La micorriza forma asociación simbiótica con la mayoría de las plantas bajo condiciones naturales y de invernadero. El hongo recibe carbohidratos de la planta hospedera que en nuestro experimento fue avena forrajera, mientras que la planta a través de las hifas del hongo recibe fosforo (P) y otros nutrimentos, por las raíces colonizadas (Mukerji *et al.*, 2002).

Dentro de los beneficios que reciben las plantas al ser colonizadas por los HMA se encuentran: Incremento del área de absorción de nutrimentos al interior de la raíz ya que eficientiza la acumulación de fósforo y otros elementos y su rápida movilización al tejido del hospedero; eficiente la degradación de compuestos orgánicos; las plantas colonizadas obtienen protección en contra de agentes fitopatógenos; ayuda al desarrollo de la planta hospedera estimulando la formación de auxinas, citoquininas, giberelinas para la regularización de crecimiento; incrementa el mecanismo de defensa y ofrece tolerancia a condiciones de estrés biótico y abiótico; ayuda al ciclo de nutrimentos y propicia el incremento de la biomasa, absorción de agua (Mukerji *et al.*, 2002).

Las bacterias y los hongos son capaces de proveer a la planta diferentes nutrientes en forma asimilable. Esto puede ocurrir mediante diferentes procesos, como por ejemplo la inoculación de plantas con micorrizas contribuye a incrementar la absorción de agua y a solubilizar los minerales mediante la fosfatasa ácida, y a transformar el fósforo que se encuentra en el suelo, formando compuestos estables, en formas disponibles para la planta. (Bethlenfavay, 1993; Linderman, 1993).

Al inocular HM en las plantas, éstas presentan mayor sanidad, vigor e incluso calidad, características que repercuten en la capacidad de adaptación a diferentes condiciones edáficas y climáticas, así como en su productividad. Desde el punto de vista ecológico, los HM han sido considerados como elementos primordiales en la funcionalidad de los sistemas productivos (Ferrato y Alarcón, 2001).

La micorrización aumenta la tolerancia de las plantas a la salinidad es decir a la conductividad eléctrica alta y a la sequía, y las hace más resistentes a los ataques de patógenos que infectan a la planta por sus raíces (Barea, 2002).

Los beneficios que aportan los HMA a los cultivos los hacen competitivos con los fertilizantes en forma inorgánica (Díaz *et al.*, 2005; Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2008; Irizar *et al.*, 2003).

En varios cultivos se ha reportado que la inoculación micorrizica puede competir o superar los rendimientos obtenidos de la fertilización química (Díaz *et al.*, 2008).

Según McGonigle *et al.*, (1999); Miller y Jastrow (1992), cuando la labranza se intensifica se originan disturbios en el suelo que afectan los propágulos de los HMA, se reduce la micorrización, y en el maíz hay menor absorción de P.

En plantas de maíz con micorriza se han reportado incrementos en biomasa, proteínas soluble, contenido foliar de P, N, K, Ca, Mg y Zn, comparadas con plantas no micorrizadas (Arihara y Karasawa, 2000 y Khalil *et al.*, 1994).

En un estudio del frijol cultivado en diferentes sistemas de labranza, Salinas *et al.*, (2005) reportaron que los niveles de materia orgánica, N, P, K en tres profundidades de suelo, fueron semejantes cuando se comparo la fertilización 40N-20P-00K con la inoculación de HMA.

De acuerdo a Aguirre, (2006) las ventajas que tiene el HMA en el contexto de sostenibilidad agrícola, se deben al bajo costo del insumo (valor comercial de los fertilizantes \$850.00 ha⁻¹ vs. \$30.00 ha⁻¹ del HMA), y a que no impacta la contaminación de suelo y agua como lo hace la fertilización inorgánica.

4.9 Algas Marinas

Estudios han mencionado una amplia gama de beneficios al aplicar extractos de algas marinas en las plantas como pronta germinación de las semillas, mejora de rendimientos de los cultivos, resistencia biótica y al estrés abiótico y una mayor vida útil de productos perecederos (Norrie y Keathley, 2005).

Las cianobacterias o cianofitas, microalgas azul-verde que conllevan los derivados de algas, fijan el nitrógeno del aire donde se aplican, foliar o suelo, en beneficio de las leguminosas y no leguminosas. La diferencia está en que las bacterias nitrificantes que viven en simbiosis con las leguminosas, las parasitan extrayéndoles carbohidratos, lo que no sucede con las cianobacterias, pues son de vida libre, tienen clorofila y sintetizan sus propios carbohidratos (Canales, 2001).

El incremento en los rendimientos y la buena calidad de los frutos como efecto del uso de las algas marinas y sus derivados en la agricultura, se debe a que las algas marinas contienen: todos los elementos mayores, todos los elementos menores y todos los elementos traza que ocurren en las plantas; además 27 sustancias naturales reportadas hasta ahora cuyos efectos son similares a los de los reguladores de crecimiento de las plantas; vitaminas, carbohidratos, proteínas, sustancias biocidas que actúan contra algunas plagas y enfermedades, y agentes quelatantes como ácidos orgánicos y manitol (Meeting *et al.*, 1990; Crouch y Van Staden 1993).

De acuerdo a Ahmad *et al.*, (2010) resultados de estudios anteriores reportaron que un poco de fertilizantes en su forma líquida elaborados a partir de algas marinas primas que se encuentran en algunos países como por ejemplo algaenzims en México (Sánchez *et al.*, 2003), se ha comprobado que aumenta la absorción de nutrientes, lo que puede mejorar el crecimiento, desarrollo y producción de varias especies de cultivos agrícolas.

Fox y Cameron (1961) y López *et al.*, (1994), en sus respectivos trabajos, reportan la acción de las enzimas como fuente de vida. Es de considerarse que al aplicar foliarmente extractos de algas marinas por ejemplo, las enzimas que estas conllevan, refuerzan en las plantas su sistema inmunitario (más defensa) y su sistema alimentario (más nutrición) y activan sus funciones fisiológicas (más vigor). Resultado: plantas más sanas con mejor nutrición y más vigorosas.

Tinajero (1993), encontró que en cilantro los rendimientos fueron iguales al aplicar al suelo 2 l/ha de extracto de algas marinas ALGAENZIMS MR o 20 ton/ha de estiércol bovino.

Los efectos de aplicación de derivados de extractos de algas marinas en el cultivo de tomate tienen como resultado incremento a la resistencia a las heladas (senn y Kingman, 1978). En otro experimento realizado para el tomate se incremento el contenido de N, P, K, Mg y Fe, (Blunden y Wilgoose, 1977).

V. MATERIALES Y METODOS

El experimento se localiza en el campo denominado el “Bajío” dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro localizada a 7 kilómetros al sur de la ciudad de Saltillo cuyas coordenadas geográficas son 25°23'42” latitud norte y 100°59'57” longitud oeste con una altura de 1743 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Koppen modificado por García (1973) el clima de Buenavista se expresa bajo la siguiente fórmula: $BS_0kx'(w)(e')$, que significa seco-árido, templado con verano fresco largo, con régimen de lluvias escasas todo el año tendiendo a llover más en el verano y clima extremo la temperatura media anual es de 16.9 °C, con una precipitación media anual de 435 milímetros, la evaporación media anual oscila entre los 1956 milímetros. Los vientos predominantes tienen una dirección noreste, con velocidades de 25.5 km h⁻¹.

5.1 Textura

La textura del suelo según el triangulo de clasificación de partículas propuesta por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos es Franco-arcilloso donde cuenta con un 40% de arcilla, 30% de arena y 30% de limo.

5.2 Distribución de parcelas

Para su estudio se consideró un arreglo experimental de parcelas subdivididas con 9 parcelas de 40 metros de largo por 12 metros de ancho y en cada una de las parcelas se fue dividida en sub parcelas, usando las siguientes dosis de aplicación: 1 kg Ha⁻¹ para Micorriza, 1 l Ha⁻¹ de Algaenzimas y 3 ton Ha⁻¹ en composta con una distribución de bloques al azar.

Se utilizaron tres sistemas de labranza: convencional (**LC**), vertical (**LV**) y mínima o cero (**NL**).

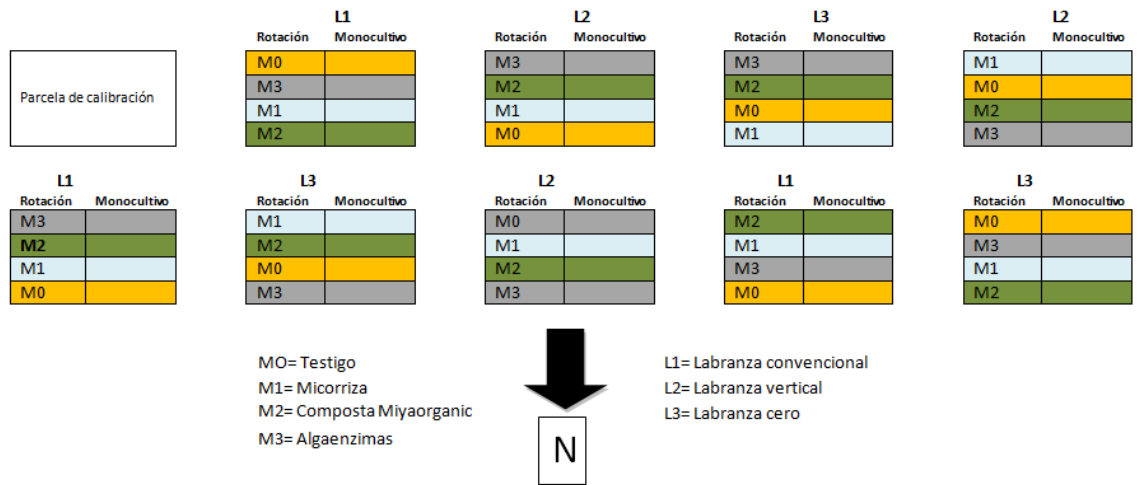


Figura 1. Distribución del terreno experimental

Los tratamientos se representaron como:

- M0 = Testigo
- M1 = Micorriza
- M2 = Composta Miyaorganic®
- M3 = Algaenzimas®

Las subparcelas donde se aplicaron los mejoradores de suelo se ubicaron completamente al azar dentro de las parcelas de cada sistema de Labranza. Se tomaron muestras de suelo al final de la cosecha en todas las parcelas incluyendo al testigo. Las muestras fueron llevados al laboratorio de mecánica de suelos del Departamento de Maquinaria Agrícola en donde se molieron y tamizaron a un tamaño de partícula de 2 mm, ya preparada las muestras se llevaron al departamento de suelo en los laboratorios de pedología y química del suelo para determinar las propiedades químicas.

5.3 Métodos para evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo

5.3.1 Determinación de la Materia Orgánica por el método de oxidación

La materia orgánica se determinó por el método de oxidación parcial descrito por Walkley y Black (1934).

Procedimiento

- Pesar 1 g de suelo seco tamizado a 2 mm y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Procesar un blanco con reactivos por triplicado.
- Adicionar exactamente 10 ml de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo.
- Agregar cuidadosamente con una pipeta 20 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado a la suspensión, girar nuevamente el matraz y agitar de esa forma durante un minuto.
- Dejar reposar durante 30 minutos sobre una lamina de asbesto o sobre una mesa de madera, evitando las mesas de acero o cemento.
- Añadir 200 ml de agua destilada (H_2O).
- Añadir 5 ml de ácido fosfórico (H_3PO_4) concentrado.
- Adicionar de 5 a 10 gotas del indicador de difenilamina ($C_{12}H_{11}N$).
- Titular con la disolución de sulfato ferroso ($FeSO_4$) gota a gota hasta un punto final verde claro.

Cálculos

$$\% M. O. = \left[\frac{(NK_2Cr_2O_7 * VK_2Cr_2O_7) - (NFeSO_4 * VFeSO_4) * 0.68}{\text{peso muestra}} \right]$$

Donde:

- N = Normalidad
- V = Volumen
- $K_2Cr_2O_7$ = Dicromato de Potasio

- $FeSO_4$ = Sulfato ferroso
- 0.68= Constante

5.3.2 Determinación del % de Nitrógeno Total por el método de estimado

Es posible obtener una idea general del contenido total de nitrógeno en un suelo a partir del contenido en materia orgánica del mismo ($M.O.* 0.05 = N$), (Jackson, 1976).

La fórmula para calcular el % de Nitrógeno Total es:

$$\%N = \frac{\%M.O}{20}$$

5.3.3 Determinación del fósforo por el Método de Olsen modificado

Para el método de Olsen es recomendable en suelos con un pH mayor a 7.

Fundamento. El método se basa al reducir el ácido fosfomolibdico con el cloruro estanoso se forma azul de molibdeno, cuya intensidad del color es proporcional a la concentración de fosforo, el contenido de P_2O_3 se cuantifica comparando, a través de un colorímetro o un fotoelectrocolorímetro, el color de las soluciones analizadas con el de los patrones.

Procedimiento

1. Extracción

La solución de Bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$ 0.5M) a pH de 8.5 disuelve cantidades de P del suelo parecida a la extraída por las plantas, según lo comprobó Olsen. La muestra debe estar tamizada y secada al aire.

- Pesar 2.5 gr de suelo y vaciarlo en un matraz Erlenmeyer, añadiendo 50 ml de la solución de bicarbonato de sodio y una cucharada de carbón activado.
- Ponerlo en el agitador mecánico durante 30 min.
- Filtrar a través del papel filtro.

2. Determinación

Desarrollo del color y comparación; la formación de un color azul establece al reaccionar el P extraído con el molibdato, en presencia del cloruro estanoso (SnCl_2), lo cual servirá para cuantificación del P.

- Medir 20 ml del filtrado colocarlo en un matraz de aforación de 100 ml.
- Añadir una gota del indicador p-nitrofenol. Eliminar el exceso de gases con agitación.
- A la mezcla descolorada se añaden 10 ml del reactivo de molibdato de amonio.
- Llevar a volumen con agua destilada hasta la marea.
- Agregar una gota de SnCl_2 (reactivo de la reducción). La aparición de un color azul indica la presencia de P.
- Mezclar muy bien el contenido del matraz y esperar 5 minutos para que el color azul se desarrolle completamente.
- Leer en el fotocolorímetro con filtro rojo de 650 n, entre los 5 y 20 minutos (existe un lapso útil de 15 minutos). Las lecturas realizadas después de 20 minutos dan resultados erróneos.
- Muestra testigo; es la que se corre sin fosforo siguiendo los pasos anteriores.

Curva de calibración.

Se prepara de una sal pura de potasio KH_2PO_4 (fosfato mono potásico), tomando 0.2197gr de sal y aforando con agua destilada a 1000 ml con agua destilada con un matraz volumétrico; teniendo una solución 10 veces concentrada (5ppm).

De la solución anterior se mide alícuotas para obtener las disoluciones del trabajo.

Cuadro 2. Datos para la curva de calibración para cuantificar el fosforo

ml a tomar de la solución de 5ppm	Aforación con agua Destilada	Concentración final de las Soluciones patrón de trabajo
0.5 ml	100ml	0.025ppm=99
1.0 ml	100ml	0.05 ppm=89
2.0 ml	100ml	0.1 ppm=79
4.0 ml	100ml	0.2 ppm=64
6.0 ml	100ml	0.3 ppm=54
8.0 ml	100ml	0.4 ppm=42
10 ml	100ml	0.5 ppm=33

Las soluciones patrón sirve para situar los puntos que forman la curva de calibración, siguiendo el mismo procedimiento que para las muestras del suelo. Deben verificarse con frecuencia estos puntos de la curva, pues las condiciones de los reactivos y la operación pueden cambiar de un tiempo a otro.

Fórmula para el cálculo de P_{total} .

$$X = \frac{Y - .00558}{0.5095} * 100$$

Donde:

- X= ppm de P_{total} .
- Y= Absorbancia de cada muestra

5.3.4 Determinación del pH por el método potenciométrico

Antes de conectar el aparato a la línea, se debe comprobar que los electrodos estén dentro de un vaso que contenga agua destilada. Se enciende el aparato, se calibra con la solución buffer de pH 7, tomando en cuenta la temperatura y se mide en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2.

Se introduce el electrodo en la solución que se va analizar, esperar a que actué el electrodo y al emitir un sonido, tomar la lectura.

Procedimiento para calcular el pH de las parcelas:

- Pesar 10 g de suelo en un frasco de vidrio o plástico de boca ancha.
- Adicionar 20 ml. de agua destilada al frasco conteniendo el suelo.
- Con un agitador mecánico, agitar la mezcla de suelo durante 30 minutos.
- Dejar reposar durante 15 minutos.
- Calibrar el medidor de pH con las soluciones reguladores pH 4.00 y 7.00 o 7.00 y 10.00 según el suelo, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
- Agite nuevamente la suspensión e introduzca el electrodo en la suspensión.
- Registre el pH al momento en que la lectura se haya estabilizado.

Cuadro 3. Escala de los valores de pH

Menos de 4.6	Extremadamente acido
4.6-5.19	Muy fuertemente acido
5.2-5.59	Fuertemente acido
5.6-6.19	Medianamente acido
6.19-6.59	Ligeramente acido
6.6-6.79	Muy ligeramente acido
6.8-7.19	Neutro
7.2-7.39	Muy ligeramente alcalino
7.4-7.79	Ligeramente alcalino
7.8-8.39	Mediana mente alcalino
8.4-8.79	Fuertemente alcalino
8.8-9.39	Muy fuertemente alcalino
Mas de 9.4	Extremadamente alcalino

5.3.5 Determinación de la conductividad eléctrica por el método de conductímetro

La conductividad eléctrica es la concentración aproximada de sales solubles en los extractos de suelo y agua, y es la inversa de la resistencia expresada en ohmios.

$$C = \frac{I}{R}$$

Donde:

- I= intensidad de la corriente en amperes,
- R= resistencia de ohmios
- C= conductividad eléctrica de una disolución de Mhos

Procedimiento

- Se muestreara en cada parcela obteniendo 300 gr de suelo tamizado de malla de 2 mm, se pone en un vaso, se le agrega agua destilada mezclando muy bien hasta formar una pasta saturada, esto significa que se deslice fácilmente el suelo de la espátula y que en la parte superior del vaso se forme un espejo.
- Tomar en cuenta la cantidad de agua utilizada, para luego sacar el porcentaje de saturación que es: volumen del gasto de agua destilada entre el peso del suelo utilizado por 100.
- Después de saturar se deja reposar aproximadamente 24 horas para que el suelo libere las sales presentes en el. Pasada las 24 horas filtrar con un embudo Buchner (con un papel filtro sobre el embudo), un matraz de filtración y conectar al vacío, se deja conectado hasta obtener aproximadamente 30 ml de extracto.
- La conductividad eléctrica se lee en el conductímetro y la lectura que nos da se expresa en dS/Mto

Buscando en el cuadro de clasificación que tipo de suelo corresponde al resultado de la muestra.

Cuadro 4. Clasificación de la conductividad eléctrica

Cuadro de clasificación de la conductividad eléctrica	
Suelo no salino	<2.5 dS/Mto
Suelo ligeramente salino	2.5-3.5 dS/Mto
Suelo medianamente salino	3.5-7.0 dS/Mto
Suelo altamente salino	7.0-15.0 dS/Mto
Suelo muy salino	>15 dS/Mto

5.3.6 Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos obtenidos se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial mediante análisis de muestras repetidas. Las unidades experimentales (labranza y mejorador) cuentan con 12 tratamientos y 3 repeticiones en total serán 36 unidades experimentales. Para su análisis se utilizó el paquete de diseños experimentales R versión 2.14.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

Se obtuvo resultados del tercer ciclo del proyecto con respecto a las propiedades químicas del suelo (N, P, CE, pH), donde se procedió a la realización de un análisis estadístico de todos los datos con sus respectivos procedimientos. Estos datos nos permiten realizar comparaciones y así dar una discusión del proyecto.

6.1 Análisis estadísticos del Nitrógeno total con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.

En Cuadro 5 se observa los resultados del análisis de varianza del contenido de Nitrógeno total en el estrato de 0-15 cm, existe una diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza pero no en los otros factores. Esto quiere decir que en el tercer ciclo del proyecto empieza a verse reflejado las diferencias entre los sistemas de labranza. A diferencia del segundo ciclo del trabajo realizado por González, (2013) en donde no hubo diferencias significativas en relación al Nitrógeno total en ninguna de las profundidades y tratamientos. Por otra parte, los análisis de varianza (Cuadro 7 y Cuadro 5) se observan que en los mejoradores de suelo con respecto al N total no hubo diferencias significativas estadísticamente en ninguna de las dos profundidades. Esto coincide con Santiago (2012) donde menciona que no existe diferencia significativa con respecto a la aplicación de mejoradores de suelos en las unidades experimentales.

Cuadro 5. Análisis de varianza con respecto al Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 0-15 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	0.0037678	0.00188388	6.7705	0.004661 **
Mejoradores de Suelo	3	0.0005885	0.00019615	0.705	0.558409
Interacción	6	0.0005872	0.00009787	0.3517	0.901844
Residuales	24	0.0066779	0.00027825		

Al realizare la prueba de Tukey a los resultados de las labranzas, el sistema de labranza cero resulto con el mayor contenido de N total en el estrato bajo análisis,

el valor es estadísticamente diferente a los otros dos sistemas bajo evaluación (Figura 2). Esto coincide con Angers *et al.*, (1997) donde encontraron que en la profundidad de 0 a 10 cm, los contenidos de C Y N total fueron mayores en la labranza cero que bajo labranza convencional. Blevins *et al.*, (1983), encontraron que a una profundidad de 0-15 cm de la superficie, el carbono orgánico y el N total con la labranza cero fueron dos veces más altos comparados con la labranza convencional. En relación al contenido de nitrógeno total (N), Ramírez *et al.*, (2006) se observó que el contenido de N total en la capa superficial fue mayor en los sistemas de labranza cero.

Cuadro 6. Análisis de medias con respecto al Nitrógeno total en el suelo con tratamientos de labranza a una profundidad de 0-15 cm

Tratamientos	Medias	Grupos
L3	0.115050304	a
L2	0.097481263	b
L1	0.090791113	b

Tratamientos con letras iguales pertenecen al primer rango estadístico e indican que no existe diferencia significativa en la prueba de Tukey al 5% de significación.

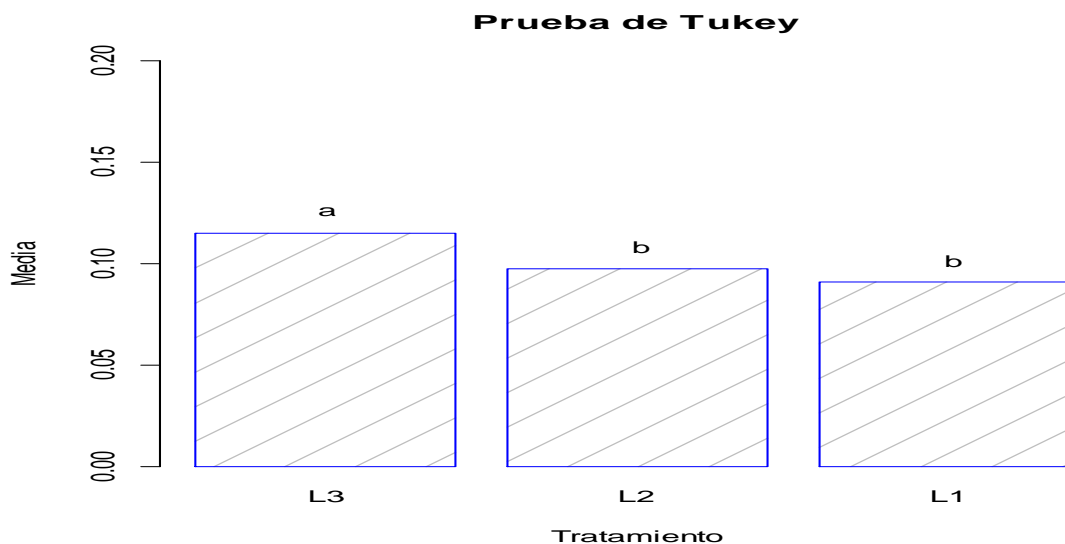


Figura 2. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 0-15 cm.

En Cuadro 7 se observa los resultados del análisis de varianza del contenido de Nitrógeno total en el estrato de 15-30 cm, existe una diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza pero no en los otros factores.

Cuadro 7. Análisis de varianza con respecto al Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 15-30 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	0.003228	0.00161402	4.9463	0.0159 *
Mejoradores de Suelo	3	0.0010482	0.00034939	1.0707	0.3801
Interacción	6	0.0014117	0.00023529	0.7211	0.6367
Residuales	24	0.0078314	0.00032631		

Al realizare la prueba de Tukey a los resultados de las labranzas, el sistema de labranza cero y labranza vertical resulto con el mayor contenido de N total en el estrato bajo análisis, el valor es estadísticamente diferente al sistema de labranza convencional (Figura 3). Esto coincide con lo reportado por Sainju *et al.*, (2002) donde concluyeron que con o sin fertilización nitrogenada, las concentraciones de C orgánico del suelo y N total fueron mayores en la labranza cero en comparación con la labranza convencional. También Salinas *et al.*, (2000) reportaron que en los sistemas de labranza cero lograron concentraciones mayores de nitrógeno inorgánico en la capa superficial (30.2 kg/ha y 48 kg/ha) en dos tipos de suelo en Michoacán comparado con (16.4 kg/ha y 30.6 kg/ha) en la labranza convencional.

Cuadro 8. Análisis de medias con respecto al Nitrógeno total en el suelo con tratamientos de labranza a una profundidad de 15-30 cm

Tratamientos	Medias	Grupos
L3	0.102108984	a
L2	0.084396298	ab
L1	0.080283464	b

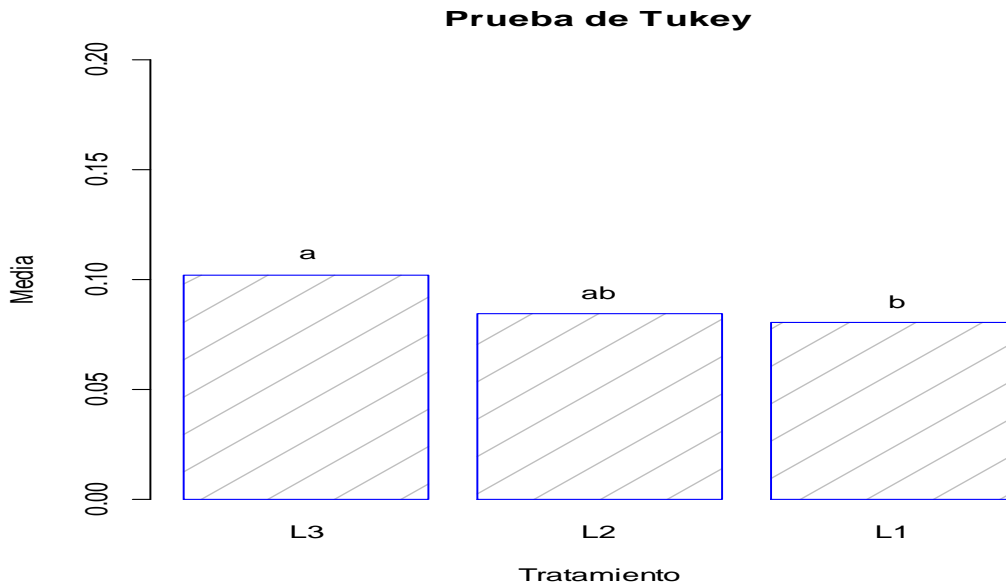


Figura 3. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de Nitrógeno total en el suelo a una profundidad de 15-30 cm.

El contenido de nitrógeno total en el suelo en las dos profundidades en la labranza cero es mayor en comparación con la labranza vertical y labranza convencional esto se debe a que en la labranza cero mantiene mayores residuos orgánicos e incremento de la **M.O.** Al realizar la prueba de Tukey a los resultados de las labranzas, el sistema de labranza cero resulto con el mayor contenido de **M.O.** en el estrato bajo análisis, el valor es estadísticamente diferente a los otros dos sistemas (LC, LV) bajo evaluación (Figura 4; Figura 5). Por otra parte en estudios realizados por Galeana De la Cruz (2000) comprobó el aumento de materia orgánica en los tratamientos con labranza de conservación y cobertura de veza en los primeros 5 cm del suelo mostrando una diferencia significativa entre los sistemas de labranza. También menciona que entre los ciclos de cultivos se observo un incremento de materia orgánica en la capa de 0-5 cm en la labranza cero; Figueroa (1992) al respecto, comenta que la labranza de conservación incrementa el contenido de materia orgánica en la superficie del suelo, induciendo modificaciones en los procesos bioquímicos y químicos en esta zona.

Según Galeana De la Cruz (2000) el incremento del contenido de nitrógeno total en la superficie del suelo en la labranza cero, resulta del incremento en la

acumulación de materia orgánica de 0-5 cm de profundidad; este contenido se reduce al incrementar la profundidad del suelo, aspecto asociado con la disminución del contenido de materia orgánica. En investigaciones realizadas por Sierra y Rojas (2008), encontraron que el principal elemento que se incrementa al aumentar la materia orgánica es el contenido de nitrógeno en el suelo, por lo general más del 95 % del Nitrógeno total del suelo se encuentra en estado orgánico formando parte de la materia orgánica.

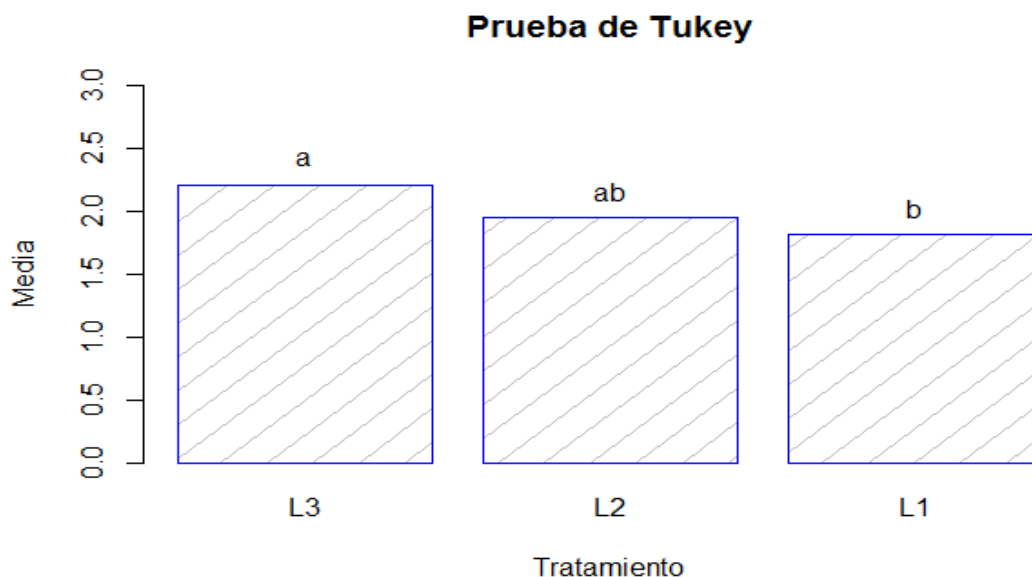


Figura 4. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de M.O. en el suelo a una profundidad de 0-15cm.

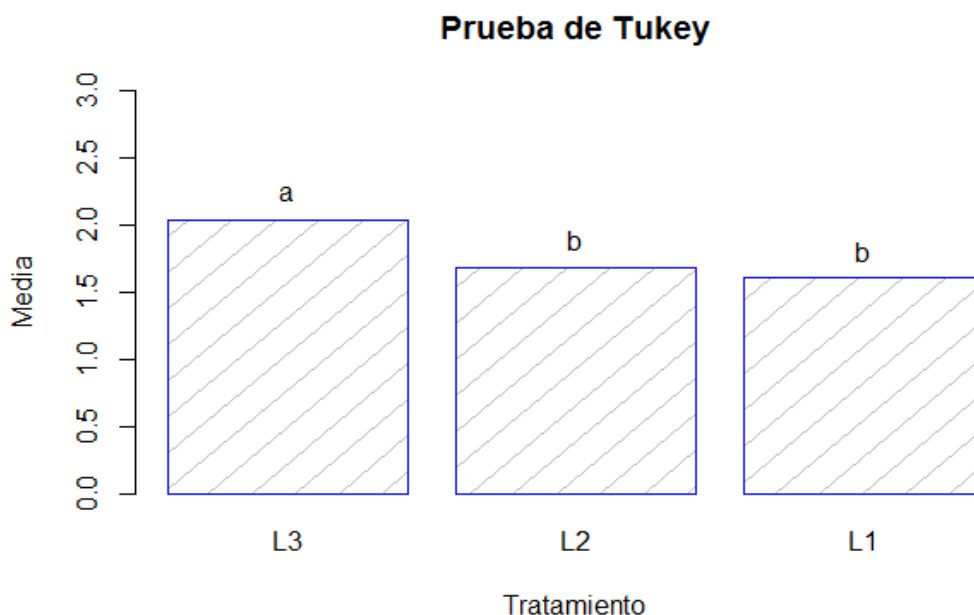


Figura 5. Comparación de medias de los tratamientos de labranza sobre el contenido de M.O. en el suelo a una profundidad de 15-30 cm.

6.2 Análisis estadísticos del Fosforo con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.

En el Cuadro 9 se observa los resultados del análisis de varianza del contenido de Fosforo en el estrato de 0-15 cm, se observa en el resultado que no existe una diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza y mejoradores de suelo. Esto coincide con Santiago (2012) donde menciona que no existe diferencia significativa con respecto a los tratamientos de mejoradores de suelos. Para esta variable Tabaglio *et al.*, (2009), mencionaron al final del experimento que el contenido de fosforo P disponible no fue significativa en ninguna de las profundidades, 0-5, 5-10 cm con respecto a la labranza. Lozano *et al.*, (1997) menciona que a partir de los 5 cm de profundidad las diferencias entre tratamientos de labranza no presentan diferencias en los contenidos de P que se puedan atribuir a los tratamientos de labranza en ninguna de las épocas evaluadas.

Cuadro 9. Análisis de varianza con respecto al Fosforo en el suelo a una profundidad de 0-15 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	36.4	18.18	0.1271	0.8813
Mejoradores de Suelo	3	172.9	57.644	0.4029	0.7522
Interacción	6	1237.7	206.276	1.4419	0.2402
Residuales	24	3433.4	143.059		

En el Cuadro 10 se observa los resultados del análisis de varianza del contenido de Fosforo en el estrato de 15-30 cm, el resultado demuestra que no existe una diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza, mejoradores de suelo, pero si en la interacción entre sistemas de labranza y mejoradores de suelo. En relación a que no existen diferencias significativas en los sistemas de labranza y mejoradores de suelo Prieto *et al.*, (2010) concluyeron que los tratamientos de labranza no logaron introducir mejoras significativas en las características químicas de este suelo durante el tiempo que duró el experimento. Por otro lado, Lal *et al.*, (1979) encontraron que después de 12 años de tratamiento continuo el P fue más alto de 0 a 10 cm de profundidad bajo labranza cero que bajo labranza convencional. El fosforo disponible, según Dick *et al.*, (1991) en un estudio de 18 años fue mayor en la superficie de 0-7.5 cm con cero labranza comparada con la labranza convencional.

Cuadro 10. Análisis de varianza con respecto al Fosforo en el suelo a una profundidad de 15-30 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	228.02	114.012	1.3619	0.27527
Mejoradores de Suelo	3	12.52	4.173	0.0498	0.98492
Interacción	6	1700.39	283.398	3.3853	0.01459 *
Residuales	24	2009.15	83.714		

Analizando el Cuadro 11 del análisis de medias con respecto a la labranza, se obtiene que no existen diferencias significativas estadísticamente pero numéricamente se observa mayor contenido de P en la labranza convencional.

Esto coincide con la conclusión de Kiessling *et al.*, (2004) donde menciona que en LC, el rastrojo es incorporado, distribuyéndose en todo el perfil analizado. La labranza favorece la descomposición más rápida de los residuos, en la profundidad laboreada, mineralizando las formas orgánicas y favoreciendo el contenido de P. Es por ello que en la zona más profunda analizada, en LC son mayores, las formas inorgánica y extractable de P, que en NL.

Cuadro 11. Análisis de medias con respecto al Fosforo en el suelo contratamientos de labranza a una profundidad de 15-30 cm

Tratamientos	Medias	Grupos
L1	48.74942755	a
L3	45.91985607	a
L2	42.59142951	a

En el Cuadro 12 de comparación de medias de las interacciones entre los sistemas de labranza y mejoradores de suelo sobre el contenido de fosforo se observa que la labranza convencional junto con el mejorador testigo mantienen una cantidad mayor de P en comparación con las demás interacciones. Actualmente no se han encontrado resultados similares con respecto a esta interacción, por lo tanto no se puede concluir algo lógico porque aun es el tercer ciclo del proyecto, es conveniente esperar u observar que puede suceder en el cuarto ciclo del proyecto porque generalmente los cambios en este nutriente se observan en el largo plazo.

Cuadro 12. Análisis de medias con respecto al Fosforo en el suelo con interacción de los tratamientos a una profundidad de 15-30 cm

Tratamientos	Medias	Grupos
L1:M0	65.37520447	a
L3:M1	51.7670919	ab
L3:M2	48.7903173	ab
L3:M3	47.51455677	ab
L1:M2	46.40235527	ab
L2:M1	44.60320577	ab
L1:M3	44.0143932	ab
L2:M3	43.9162578	ab
L2:M2	43.45829243	ab

L1:M1	39.20575727	ab
L2:M0	38.38796203	b
L3:M0	35.6074583	b

6.3 Análisis estadísticos de la Conductividad Eléctrica con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.

En el Cuadro 13 y Cuadro 14 representan los análisis de varianza con respecto a las dos profundidades. Los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Pero cabe mencionar que el índice de salinidad que tiene el suelo en cada parcela del experimento no presenta problemas de salinidad. Tal como lo menciona Salazar *et al.*, (2004) el rango óptimo de salinidad para la producción agrícola se considera normal hasta un valor de 4 dS m⁻¹. La conductividad eléctrica con respecto a este proyecto aun no se puede comparar si ha incrementado o disminuido, es importante seguir evaluando esta variable para observar algún cambio o diferencias. Lucas (2011) concluyo que el suelo donde se cultivaron las plantas inoculadas con HMA mostró una menor variación de pH y CE con respecto a las características iniciales del suelo esto sucedió en un ciclo del cultivo. En un estudio donde se incorporo composta Salazar *et al.*, (2004) encontró que la CE tuvo un valor inicial de 2.558 dS m⁻¹, 2.808 dS m⁻¹, y 1.308 dS m⁻¹ en el tratamiento de compost. Al terminar la incubación aumentaron en 0.43 dS m⁻¹ para compost, teniendo al final del proceso valores de 2.99 dS m⁻¹, 3.85 dS m⁻¹, y 2.47 dS m⁻¹, respectivamente.

Cuadro 13. Análisis de varianza con respecto a la conductividad eléctrica en el suelo a una profundidad de 0-15 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	0.6302	0.315118	1.8024	0.1865
Mejoradores de Suelo	3	0.3538	0.117926	0.6745	0.5761
Interacción	6	0.5589	0.093151	0.5328	0.7779
Residuales	24	4.196	0.174832		

Cuadro 14. Análisis de varianza con respecto a la conductividad eléctrica en el suelo a una profundidad de 15-30 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	0.2237	0.11186	0.191	0.8274
Mejoradores de Suelo	3	2.847	0.94901	1.6204	0.2109
Interacción	6	3.7512	0.62519	1.0675	0.4089
Residuales	24	14.0555	0.58564		

6.4 Análisis estadísticos del potencial Hidrogeno (pH) con respecto a las dos profundidades 0-15; 15-30 cm.

En Cuadro 15 y 16 se observa los resultados del análisis de varianza del contenido de pH en el estrato de 0-15 cm y 15-30 cm correspondientemente, donde se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los sistemas de labranza y mejoradores. Esto coincide con la investigación de Hussain *et al.*, (1999) donde concluyeron que el pH del suelo no fue diferente entre los 3 sistemas de labranza en ninguno de los 8 años que tardo el experimento. Tabaglio *et al.*, (2009), encontró que después de 4 años con tratamientos de labranza convencional y labranza cero el pH fue el mismo que en el comienzo. Duiker y Beegle, (2000) estudiaron el efecto de la labranza vertical (discos de cincel) en algunas propiedades químicas de un suelo franco limoso donde no se observo un efecto significativo en la labranza con respecto al pH. En el estudio de Galeana De la Cruz (2000) el pH del suelo estadísticamente no muestra cambios significativos por efecto de los diferentes tratamientos de sistemas de labranza y cobertura a una profundidad de 0-5 y 5-30 cm. También; Karlen *et al.*, (1994) no encontraron diferencias significativas sobre el pH al estudiar diferentes sistemas de labranza.

Cuadro 15. Análisis de varianza con respecto al pH en el suelo a una profundidad de 0-15 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	0.043717	0.0218583	3.2594	0.05594
Mejoradores de Suelo	3	0.022881	0.0076269	1.1373	0.354
Interacción	6	0.063978	0.010663	1.59	0.19325
Residuales	24	0.16095	0.0067063		

Cuadro 16. Análisis de varianza con respecto al pH en el suelo a una profundidad de 15-30 cm

Análisis de Varianza					
	GL	SC	CM	FC	Pr(>F)
Sistemas de Labranza	2	0.0389	0.019451	0.9384	0.4051
Mejoradores de Suelo	3	0.05752	0.019175	0.9251	0.4437
Interacción	6	0.12737	0.021227	1.0241	0.4337
Residuales	24	0.49745	0.020727		

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de tres ciclos de cultivo (2011-2013) se puede llegar a lo siguiente:

Existieron diferencias significativas entre los sistemas de labranza en relación al contenido de nitrógeno total en el suelo, en las dos profundidades; en la labranza cero se observaron los valores más altos. La labranza cero tiene mayores residuos orgánicos, por lo tanto tiene mayor contenido de materia orgánica que se ve reflejado en un mayor contenido de Nitrógeno total.

En relación al fósforo se encontró diferencia significativa en la interacción entre la Labranza Convencional y testigo, con las Labranzas Vertical y Cero con testigo, en la profundidad de 15-30 cm sin embargo es conveniente esperar y observar que sucede en los ciclos posteriores de este proyecto para derivar una conclusión al respecto, ya que generalmente los cambios en este nutriente se observan en el largo plazo.

En los mejoradores de suelo aun no existen diferencias significativas en relación al contenido de N, P, CE, pH; en ninguna de las profundidades.

Los efectos de los sistemas de labranza hasta el momento no han influenciado de manera significativa en el contenido de P, CE, pH. El potencial Hidrógeno y la Conductividad Eléctrica están en un rango aceptable para los cultivos agrícolas.

Se recomienda seguir evaluando periódicamente las propiedades químicas del suelo por un periodo de tiempo más largo para observar los cambios producidos por los sistemas de labranza y mejoradores de suelo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. 2003. Sustentabilidad en cultivos anuales: cero labranzas manejo de rastrojos. Universidad de Chile, Departamento de Producción Agrícola. Serie Ciencias Agronómicas N° 8 Pp. 13-14, 29.
- Aguirre, J. L. 2006. Biofertilizantes Microbianos: Experiencias Agronómicas del Programa Nacional del INIFAP en México. Campo Experimental Rosario Izapa, INIFAP. Libro Técnico No. 2 México. 206 p.
- Ahmad, J. S. Kurnianingsih, R. Indah, J. N. Nicmatullah. 2010. Effect of seaweed extracts on growth and yield of rice plants. *Nusantara Bioscience* 2: 73-77.
- Alarcón, A. y Ferrara-Cerrato, R. 2000. Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México* 26(2), 191-203.
- Alarcón, A. 2000. Micorrizas. *In: Ferrara-Cerrato, R. y Alarcón, A. (eds.). Microbiología agrícola para el siglo XXI. Colegio de Postgraduados. (En prensa).*
- Alarcón, A.; Ferrara-Cerrato, R.; Villegas-Monter, A. y Almaraz S., J. J. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan y Pasq. *In. Zulueta R., R., Escalona A., M. Y Trejo A., D. (eds.). Avances de la Investigación Micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. p. 119-126.*
- Al-Kaisi, M., y Licht, M. A. 2004. Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. *Agronomy journal*, 96(4), 1164-1171.
- Amado, T. J. C., Fernández, S. B., y Mielniczuk, J. 1998. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. *Journal of soil and water conservation*, 53(3), 268-271.
- Angers, D. A., Bolinder, M. A., Carter, M. R., Gregorich, E. G., Drury, C. F., Liang, B. C., ... y Martel, J. 1997. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research*, 41(3), 191-201.

- Arihara, J., y Karasawa, T. 2000. Effect of previous crops on arbuscularmycorrhizal formation and growth of succeeding maize. *Soilscience and plantnutrition*, 46(1), 43-51.
- Barea J, M. 2002. Las micorrizas arbusculares componente clave en la productividad y estabilidad de agroecosistemas. Departamento de Microbiología del suelo y sistemas simbióticos Estación Experimental del Zaidin, CSIC, Profesor Albareda 1, 18008 Granada, España.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pillon, C. N, y Sangoi, L. 2001. Los cambios en fracciones de la materia orgánica del suelo bajo subtropical sin labranza sistemas de cultivo. *Suelo Science Society of America Diario*, 65 (5), 1473-1478.
- Bethlenfalvay, G. 1993. "The Mycorrhizal Plant-Soil System in Sustainable Agriculture", en Ferrera, R. y R. Quintero (eds). *Agroecología, sostenibilidad educación*. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Blevins, R. L., Thomas, G. W., Smith, M. S., Frye, W. W., y Cornelius, P. L. 1983. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil and Tillage Research*, 3(2), 135-146.
- Blevins, R. L., Thomas, G. W., y Cornelius, P. L. 1977. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. *Agronomy Journal*, 69(3), 383-386.
- Blunden, G., P.B. Wildgoose. 1977. The effects of aqueous seaweed extract and kinetic on potato yields. *J. Sci. Food Agric.* 28:121-125.
- Bowman, R. A., y Halvorson, A. D. 1998. Soil chemical changes after nine years of differential N fertilization in a no-till dryland wheat-corn-fallow rotation. *Soil science*, 163(3), 241-247.
- Bravo, E. M., Van, N. Martien., Contreras, J. R., Jiménez J. L., Morales, G. M. 1992. El potencial de la labranza de conservación en la Mixteca Oaxaqueña. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F. México. 41 pág.

- Bulluck III, L. R., Brosius, M., Evanylo, G. K., y Ristaino, J. B. 2002. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, 19(2), 147-160.
- Canales López, B. 2001. Uso de Derivados de Algas Marinas en la Producción de Tomate, Papa, Chile y Tomatillo. Resultados de investigación de la empresa PalauBioquim, S.A. de C.V., fabricante de derivados de algas marinas para uso en la agricultura.
- Cardini, J. 1993. Guía práctica de siembra directa en cultivos forrajeros. Buenos Aires, Argentina.
- Castellanos R., J. Z. 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios Técnicos 7(8): 32. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.
- Crouch, I. J., y Van Staden, J. 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plantgrowthregulation*, 13(1), 21-29.
- Crowwetto, C. 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Concepción - Chile. CIMMYT.
- Díaz F A, I Garza C, V Pecina Q, N Montes G. 2008. Respuesta del sorgo a micorriza arbuscular y Azospirillum en estrés hídrico. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 35-42.
- Díaz, F. A. M Alvarado C, M Cantú A, I Garza C. 2005. Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agric. Tec. Mex.* 31:153-163.
- Dick, W. A., McCoy, E. L., Edwards, W. M., & Lal, R. (1991). Continuous application of no-tillage to Ohio soils. *Agronomy Journal*, 83(1), 65-73.
- Doran, J. W., y Parkin, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. *SSSA special publication*, 35, 3-3

- Duiker, S. W., y Beegle, D. B. 2006. Distribuciones de fertilidad del suelo a largo plazo en la siembra directa, sistemas de cincel / disco y la vertedera arado / disco. *Suelo y Laboreo Investigación*, 88 (1), 30-41.
- Eghball, B., Ginting, D., y Gilley, J. E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, 96(2), 442-447.
- Ernst, O. y Betancur, O. 2004. Efecto del laboreo subsuperficial y manejo del barbecho químico sobre la disponibilidad de N-NO₃ en el suelo y rendimiento de maíz en siembra directa después de avena pastoreada. *Agrociencia*. Vol VIII (1): 29-40.
- Ferrato, C. R. y Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*. Universidad Autónoma del Estado de México. Vol 8 Num 2. México.
- Ferrera-Cerrato R., A Alarcón. 2008. Biotecnología de los hongos micorrizicos arbusculares. In: *Biofertilización como Tecnología Sostenible*. A Díaz F, N MayekP (eds). Plaza y Valdés/CONACYT. Pp: 25-38.
- Figuroa, S. B. y Morales, F. J. 1992. Manual de Producción de Cultivos con Labranza de Conservación. Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. Pp.31-45.
- Figuroa, S. B., y E. Ventura R. Jr. 1990. Instructivo para la evaluación del proyecto. Efecto de la labranza en la estructura del suelo y su relación con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Salinas, San Luis Potosí, México.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de tierras y aguas de la FAO*, 2000. Roma Italia. Pp. 264
- Fox, A. B. y Cameron, G. A. 1961. *Food Science, Nutrition and Health*. Six Edition. Ed. Edward Arnold, a división of Hodder Headline PLC, 338 Euston Road, London NW1 3BH (1995).

- Galeana, De la Cruz. M. 2000. Efecto de dos sistemas de labranza en las características físicas y químicas en un suelo. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México.
- González, L. G. 2013. Efecto en el corto plazo de sistemas de labranza y mejoradores en los indicadores N, K Y MO en un suelo franco arcilloso. Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.
- Gregorich, E. G., Monreal, C. M., Carter, M. R., Angers, D. A., y Ellert, B. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian journal of soil science*, 74(4), 367-385.
- Gutiérrez C, Ma. Del C., C. A. Ortiz S. y P. Sánchez G. 2003. Edafología General. Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 74-84 pp.
- Halvorson, A. D., Mosier, A. R., Reule, C. A., y Bausch, W. C. 2006. Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agronomy journal*, 98(1), 63-71.
- Herencia, J. F., Ruiz, J. C., Melero, S., Garcia Galavis, P. A., y Maqueda, C. 2008. A short-term comparison of organic v. conventional agriculture in a silty loam soil using two organic amendments. *The Journal of Agricultural Science*, 146(06), 677-687.
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J., y Hernández-Carmona, G. 2013. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanumlycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, Vol. 25 n.4 Pp. 1-10.
- Hussain, I., Olson, K. R., Wander, M. M., y Karlen, D. L. 1999. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil and tillage Research*, 50(3), 237-249.
- Irizar G M, P Vargas, D Garza, C Tut, M Rojas, A Trujillo, R García, D Aguirre, J Martínez, S Alvarado, O Grageda, J Valero, J Aguirre . 2003. Respuesta de

- cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agric. Tec. Mex.* 29:213-225.
- Jackson, M. L. 1976. *Análisis Químico de Suelos*. Ediciones Omega. Pag.255.
- Jagadamma, S., Lal, R., Hoelt, R. G., Nafziger, E. D., y Adey, E. A. 2007. Nitrogen fertilization and cropping systems effects on soil organic carbon and total nitrogen pools under chisel-plow tillage in Illinois. *Soil and Tillage Research*, 95(1), 348-356.
- Jeffries, P., y Barea, J. M. 2001. Arbuscularmycorrhiza—a key component of sustainable plant-soil ecosystems. In *Fungal Associations* (pp. 95-113). Springer Berlin Heidelberg.
- Karlen, D. L., Andrews, S. S., y Doran, J. W. 2001. Soil quality: Current concepts and applications. *Advances in agronomy*, 74, 1-40.
- Karlen, D. L., Wollenhaupt, N. C., Erbach, D. C., Berry, E. C., Swan, J. B., Eash, N. S., & Jordahl, J. L. (1994). Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil and Tillage Research*, 31(2), 149-167.
- Khalil, S., Loynachan, T. E., y Tabatabai, M. A. 1994. Mycorrhizal dependency and nutrient uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. *Agronomy journal*, 86(6), 949-958.
- Kiessling, R; Galantini, J; Kruger, H; Venanzi, S. 2004. Cambios en las formas de P en suelos con distintos sistemas de labranzas. EEABordenave – INTA.
- Lal, R. 1979. Zero-tillage. In: *The Science Encyclopedia of soil*. Part. 1. Physics, Chemistry, Biology, Fertility and C.V. Finkl, Jr. (eds). Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Pennsylvania. Pp. 616-620.
- Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Soil management support services. USDANRCS, Washington. 57 p.
- Lal, R. 1998. Soil quality and agricultural sustainability. In: soil quality and agricultural sustainability. Lal, R.(ed.). Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 3-12 pp.

- Lal, R., Logan, T. J., Shipitalo, M. J., Eckert, D. J., Dick, W. A., y Carter, M. R. 1994. *Conservation tillage in the Corn Belt of the United States* (pp. 73-114). Lewis Publishers Inc...
- Larson, W. E., y Pierce, F. J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world: proceedings of the International Workshop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai, Thailand, 15-21 September 1991*. [Bangkok, Thailand: International Board for Soil Research and Management, 1991]..
- Licht, M. A., y Al-Kaisi, M. 2005. Corn response, nitrogen uptake, and water use in strip-tillage compared with no-tillage and chisel plow. *Agronomy journal*, 97(3), 705-710.
- Linderman, R. 1993. "Effects of Microbial Interactions in the Mycorrhizosphere of Plant Growth and Health" en Ferrera, R. y R. Quintero (eds). *Agroecología, sostenibilidad y educación*. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados Montecillo, Estado de México.
- López D. A. Williams, R. M., Miehlike, K. Mazana, J. 1994. Enzimas, Fuente de Vida. Fundación de Investigación Inmunológica (IERF), 1+822 Monticelo Place, Evanston, Illinois 60201 - 1748. Imprenta Weber Offset GmbH. D 80993 Munich. Ed. en español, EdikaMed, S.L. C/San Salvador 63-65. 08024 Barcelona, España. (1994).
- López Martínez J.D., Martínez Parada, P.E. 2010. Corn forage yield with tillage systems, organic and inorganic fertilization. *Revista Científica UDO Agrícola* 10, Pp. 55-59.
- López, M. J. D. Díaz, E. A. Martínez, y R. E. Valdez, C. R. D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra Latinoamericana. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México. Vol. 19 Núm. 4. Pp. 293-299
- Lozano, Z., Cabrera, S., Peña, J. y Adams, M. (1997). Efecto de los sistemas de labranza sobre dos inceptisoles de los llanos occidentales de Venezuela. i.

- propiedades químicas de los suelos. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP). Araure, Edo. Portuguesa. 14 Vol. 5, N° 1 y 2.
- Lucas, S. L. G. 2011. Fertilización Fosfatada en Chile Guajillo (*Capsicumannuum* L.) y su Interacción con Hongos Micorrízicos Arbusculares. Tesis de Postgrado. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Mahler, R. L., y Harder, R. W. 1984. The influence of tillage methods, cropping sequence, and N rates on the acidification of a northern Idaho soil. *Soil science*, 137(1), 52-60.
- McGonigle, T. P., Miller, M. H., y Young, D. 1999. Mycorrhizae, crop growth, and crop phosphorus nutrition in maize-soybean rotations given various tillage treatments. *Plant and Soil*, 210(1), 33-42.
- Metting, B., Zimmerman, W. J., Crouch, I., y van Staden, J. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. *Introduction of applied phycology.SPB, The Hague*, 589-627.
- Miller, R. M., y J. D. Jastrow 1992. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*. Bethlenfalvay G J, R G Linderman (eds). ASA SpecialPubl. No. 54. Pp:29-44.
- Miller, R. M., y Jastrow, J. D. 1994. Vesicular-arbuscularmycorrhizae and biogeochemical cycling. *Mycorrhizae and plant health*. APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 189-213.
- Montes, M. C. 1991. Los Sistemas de Labranza para la Agricultura de Secano. Seminarios Técnicos Vol. 8 N° 15. Pp. 231-233.
- Motta, A. C., Reeves, D. W., y Touchton, J. T. 2002. Tillage intensity effects on chemical indicators of soil quality in two coastal plain soils. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(5-6), 913-932.
- Mukerji, K. G., Manoharachary, C., y Chamola, B. P. (Eds.). (2002). *Techniques in mycorrhizalstudies*. Springer. Pp.3-486
- Norrie, J., y Keathley, J. P. 2005. Benefits of ascophyllumnodosum marine-plant extract applications to Thompson Seedless grape production. In X

International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production 727 (pp. 243-248).

- Power, J. F., y Myers, R. J. K. 1989. The maintenance or improvement of farming systems in North America and Australia. In *Soil quality in semi-arid agriculture. Proceedings of an international conference sponsored by the Canadian International Development Agency* (pp. 11-16).
- Prieto, B., Peroza, J. A., & Grandet, G. (2010). Efecto de labranza y manejo de materiales orgánicos sobre algunas propiedades físicas y químicas de un verticendoaquept del valle del sinú, córdoba colombia. *Temas Agrarios*, 15(2).
- Puget, P., y Lal, R. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil and Tillage Research*, 80(1), 201-213.
- Ramírez, B. C. E. Figueroa, S. B. Ordaz, C. V. M. Volke, H. V. H. 2006. Efecto del sistema de labranza cero en un vertisol. *TERRA Latinoamericana, Universidad Autónoma Chapingo, México. Vol. 24 (1), Pp. 109-118.*
- Rice, C. W., Smith, M. S., y Blevins, R. L. 1986. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1206-1210.
- Roldán, A., Salinas-García, J. R., Alguacil, M. M., Díaz, E., y Caravaca, F. 2005. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma*, 129(3), 178-185.
- Sainju, U. M., Singh, B. P., y Whitehead, W. F. 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil and Tillage Research*, 63(3), 167-179.
- Salazar S. E., C. Vázquez V., J. A. Leos R., M. Fortis H., J. A. Montemayor T., R. Figueroa V., J. D. López M. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate

- (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo riego sub-superficial. *Revista Internacional de Botánica Experimental OYTON*. 53:259-273.
- Salazar, S. E. Beltrán, M. A. Fortis, H. M. Leos, R. J. A. Cueto, W. J. A. Vázquez, V. C. y Peña, C. J. J. 2003. Mineralización de Nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 569-575
- Salinas, G. J. R., Gallardo, V. M. y Caballero, H. F. 2000. Efecto de labranza en la distribución de carbono y nutrimentos. En: *Simposium Internacional de Labranza de Conservación*. Culiacán, Sinaloa, México.
- Salinas-García, J. R., Velázquez-García, J. D. J., Gallardo-Valdez, M., Díaz-Mederos, P., Caballero-Hernández, F., Tapia-Vargas, L. M., y Rosales-Robles, E. 2002. Tillage effects on microbial biomass and nutrient distribution in soils under rain-fed corn production in central-western Mexico. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 143-152.
- Salinas-García, J. R.; Díaz, F. A.; Garza, C. E. y Garza, C. I. 2005. Efectos de labranza y biofertilización en propiedades del suelo que afectan a la sostenibilidad de la producción del frijol. *Ciencia Technol. Aliment.* Vol. 5:30-34.
- Sánchez, J. V., Ilyina, A., Jiménez, L. M., Torres, V. R., Herrera, R. R., López, B. C., y Martínez, J. R. 2003. Isolation of microbial groups from a seaweed extract and comparison of their effect on a growth of pepper culture (*Capsicum annuum* L.). *BectMock*, 44, 92-96.
- Santamaría R., S. 1996. Aspectos biotecnológicos del proceso de vermicomposteo y su aplicación agronómica. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver.; México.
- Santiago, H. L. 2012. Efecto en el corto plazo de los mejoradores de suelo en indicadores de macro elementos. Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México.

- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2009. Caracterización y diagnóstico para el ordenamiento ecológico general del territorio. Mexico D.F. Pp. 29-57.
- Senn, T. L. 1987. Seaweed and plant Growth. Traducido al Español por Canales López Benito. Crecimiento de Alga y Planta. Ed. Alpha Publishing Group, Houston, Texas, USA. (1994).
- Sierra B., Carlos y Rojas W., Carlos. 2008. La materia orgánica y su efecto en las características físico-químicas y biológicas del suelo. INIA La Platina y La Serena. Pág 11.
- Smith, S. E. and Read, D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd. ed. Academic Press, Hortcourt Brace & C. Publishers. London, United Kindom.
- Sztern D., A. Pravia M. 1999. Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos. Oficina de planeamiento y presupuesto. Unidad de desarrollo municipal. Organización panamericana de la salud. Organización Mundial de la Salud.
- Tabaglio, V., Gavazzi, C., y Menta, C. 2009. Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize. *Soil and Tillage research*, 105(1), 135-142.
- Tinajero, R. F. 1993. Aplicación de Algas Marinas y Estiércol Bovino en suelo arcilloso, en Cultivo de Cilantro (*Coriandrum sativum*). Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah., México.
- Tiscareño-López, M., Báez-González, A. D., Valle, M. V., Potter, K. N., Stone, J. J., Vargas, M. T., y Alonso, R. C. 1999. Agricultural research for watershed restoration in central México. *Journal of soil and water conservation*, 54(4), 686-692.
- Trinidad, S. A. 2002. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subsecretaria de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Sistema de Agronegocios Agrícolas. Abonos orgánicos. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de postgraduados. Campus Montecillo.

- Uresti, G.J., Cadena, Z. M. 1994. Eficiencia de tres prácticas para conservar el suelo y su productividad en la zona tropical del centro de Veracruz. Revista INIFAP Agricultura Técnica en México. (En Prensa).
- Walkley, A., y Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soils science*, 37(1), 29-38.