



*Enseñar la explotación de la tierra, no la
del hombre*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS



MAESTRÍA EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Propiedades del suelo bajo sistemas de labranza en cultivo en callejones

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible

Presenta:

Perez Rosales Alejandro



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

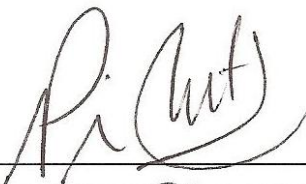
Chapingo, México, Noviembre 2010

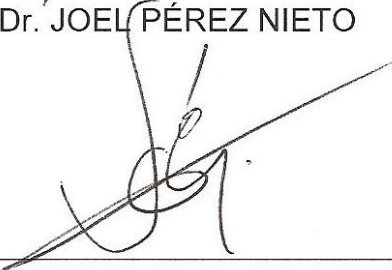


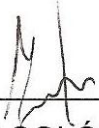
Propiedades del suelo bajo sistemas de labranza en cultivo en callejones

Tesis realizada por **Alejandro Perez Rosales** bajo la dirección del Dr. Joel Pérez Nieto y asesorado por el Dr. Eduardo Valdés Velarde y el M.C. Estaban Solórzano Vega. Ha sido aprobada y aceptada por el Comité Revisor como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

DIRECTOR: 
Dr. JOEL PÉREZ NIETO

ASESOR: 
Dr. EDUARDO VALDÉS VELARDE

ASESOR: 
M. C. ESTEBAN SOLÓRZANO VEGA

DEDICATORIA

A mi Madre, la Sra. Juana Rosales Martínez, por haberme dado el don de la vida, por enseñarme a querer al campo y por su apoyo incondicional, durante todos mis estudios, le dedico este y todos mis logros.

A mi Padre, el Sr. Julio Pérez Delgado, por brindarme el milagro de la vida.

A mi pequeñita Vanessa, que es la luz que ilumina mi camino.

A mi querida Virginia, por ser la madre de mí bebe y estar a mi lado para apoyarme en todo momento.

A la Biol. Elvia Pérez Rosales por ser la mejor hermana que pude haber tenido.

A mi pequeña hermana Elizabeth Pérez Rosales, que es un pedacito de cielo.

A toda mi familia que siempre ha estado allí, cuando la he necesitado.

A México que me dio la gracia de hacer un posgrado.

A todos aquellos hombres y mujeres de ciencia que en algún u otro momento fueron un motor de inspiración.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Suelos, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado en la Maestría en Ciencias En Agroforestería para el Desarrollo sostenible.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

A mi madre por su apoyo y consejos en esta nueva etapa de mi vida.

Al Técnico Javier G. Martínez Gálvez y a su esposa la Sra. Tomasa Rojas Constantino por su apoyo y amistad.

Al Dr. Joel Pérez Nieto por su asesoría en la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Eduardo Valdés Velarde por la revisión y sugerencias en la realización de la tesis.

Al M. C. Esteban Solórzano Vega por la revisión, sugerencias y material fotográfico otorgado para la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Antonio Vázquez Alarcón, por las facilidades otorgadas para la utilización del Laboratorio de Química de Suelos.

Al Dr. David Cristóbal Acevedo por las facilidades otorgadas para la utilización del Laboratorio de Física de Suelos.

A mis dos grandes amigos que me apoyaron en la fase de campo, M.C. Faustino Hernández Santiago y M.C. Fidel Sánchez Hernández.

Un agradecimiento muy especial a la M.C. Virginia Martínez Rojas, por apoyarme incondicionalmente y por estar conmigo en esta nueva etapa de nuestras vidas junto a nuestra pequeña Vanessa.

DATOS BIOGRÁFICOS

Alejandro Perez Rosales nació en Jalapa, Veracruz el 01 de enero de 1982, el hijo mayor del Sr. Julio Pérez Delgado y de la Sra. Juana Rosales Martínez. Reside hasta la fecha en el municipio de Chicoloapan de Juárez, México. Unió su vida con Virginia Martínez Rojas con quien tiene una hija de 10 meses de edad que recibe el nombre de Vanessa Perez Martínez.

Su educación Básica la inicio en 1988 en la Escuela Primaria República de Irak, en México D. F. hasta el segundo año, posteriormente continuo su educación básica en el Estado de México en el municipio de Valle de Chalco Solidaridad en la Escuela Primaria 19 de Septiembre. De 1994 a 1997 cursó en la Secundaria Técnica 119 “Juan Rulfo” ubicada dentro del mismo municipio. Su educación media superior la realizó en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No 35 en Valle de Chalco Solidaridad del año 1997 a 2000. Para sus estudios de nivel superior ingresó en el año 2001 a la Universidad Autónoma Chapingo, donde en el 2006 se graduó como Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia.

Su desarrollo profesional inicio en el estado de Guerrero en una Consultoría Forestal, posteriormente colaboro con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX).

En el 2008 ingresó al Programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible en la Universidad Autónoma Chapingo donde realizó la investigación titulada Propiedades del Suelo bajo Sistemas de Labranza en Cultivo en Callejones.

PROPIEDADES DEL SUELO BAJO SISTEMAS DE LABRANZA EN CULTIVO EN CALLEJONES

SOIL PROPERTIES UNDER TILLAGE SYSTEMS IN ALLEY CROPPING

Perez-Rosales A; Pérez-Nieto J.

RESUMEN

La combinación de la agroforestería con la labranza de conservación es una alternativa viable para obtener mayores beneficios, reducir el riesgo ambiental, así como, para recuperar la fertilidad física, biológica y química de los suelos. En el presente trabajo se evaluaron dos sistemas de labranza de conservación en cultivo en callejones sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo a los 11 años de establecido. El experimento se desarrolló en dos tipos de suelo, Mollisol e Inceptisol con el cultivo de frijol y durazno. El diseño experimental utilizado fue Cuadro Latino. Se encontró que la labranza cero (LC) mostró el mayor contenido de humedad gravimétrica a la profundidad 1 a 34 cm durante el ciclo; se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el contenido de fósforo extractable (PE), en la profundidad de 1 a 4 cm en ambos tipos de suelo en los tratamientos de LC y labranza mínima (LM) comparados con la labranza convencional (LCV). En el suelo Mollisol el carbono orgánico (CO), materia orgánica (MO) y nitrógeno total (NT) fue mayor en el tratamiento de LC a 1.15 m de la hilera de árboles, mientras que en el suelo Inceptisol el CO y MO fueron mayores en la LCV en el centro de la parcela y el NT en la LM y LC a 1.5 m de la hilera de árboles. No se encontraron diferencias estadísticas en la cantidad de residuos producidos por tipo de poda. En ambos tipos de suelo la LM produjo la mayor cantidad de rendimiento de frijol por hectárea con 1.35 t en el suelo Mollisol y 0.97 t en el suelo Inceptisol.

Palabras clave: Agroforestería, cultivo en callejones, labranza de conservación, Mollisol e Inceptisol.

ABSTRACT

The combination of agroforestry with conservation tillage is a viable alternative to obtain greater benefits, reduce environmental risk and recover the physical, biological and chemical fertility of soil. In this study, two systems of conservation tillage in alley cropping were evaluated in relation to some physical and chemical soil properties at 11 years after being established. The experiment was conducted in two types of soil, Mollisol and Inceptisol with dry bean and peach tree. The experimental design used was Latin Square. The zero tillage (ZT) showed the highest gravimetric moisture content at a depth of 1 to 34 cm during the cycle; highly significant differences ($p \leq 0.01$) in the content of extractable phosphorus (EP) were observed at a depth of 1 to 4 cm in both types of soil in the ZT and minimum tillage (MT) treatments compared with the conventional tillage (CT). In the Mollisol soil the organic carbon (OC), organic matter (OM) and total nitrogen (TN) were greater in the ZT treatment to 1.15 m in the row of trees, whereas in the Inceptisol soil OC and OM were greater in the CT in the center of the plot and the TN in MT and ZT to 1.5 m in the row of trees. There were no statistical differences in the amount of residues produced by type of pruning. In both types of soil the MT produced the greater amount of yield by hectare of dry bean with 1.35 t in the Mollisol soil and 0.97 t in the Inceptisol soil.

Key words: Agroforestry, alley cropping, conservation tillage, Mollisol, Inceptisol.

ÍNDICE

RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
2.1.1 Objetivos particulares	4
3. HIPÓTESIS	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1 La lucha contra la erosión	8
4.2 Uso sostenible del suelo	8
4.3 Funciones de los árboles en la práctica agroforestal	9
4.4 Cultivo en callejones	11
4.4.1 Sistema agroforestal fríjol-durazno	13
4.4.1.1 Cultivo del durazno	14
4.4.1.2 Cultivo de fríjol	14
4.5 Generalidades y tipos de labranza.....	15
4.5.1 Labranza convencional	16
4.5.2 Labranza de conservación.....	16
4.5.2.1 Labranza en camellones.....	17
4.5.2.2 Labranza en franjas	17
4.5.2.3 Labranza mínima.....	17
4.5.2.4 Labranza cero o no-labranza.....	18
4.5.3 Productividad	18
4.5.4 Mejora en la calidad del suelo	18

4.5.4.1 Efecto de la labranza en la erosión.....	18
4.5.4.2 Almacenamiento de agua	19
4.5.4.3 Densidad aparente	20
4.5.4.4 pH	20
4.5.4.5 Materia orgánica.....	21
4.5.4.6 Nitrógeno	21
4.5.4.7 Fósforo	22
4.6 Avances en labranza de conservación.....	22
5. MATERIALES Y MÉTODOS	26
5.1 Localización de los experimentos	26
5.2 Condiciones climáticas de los experimentos.....	26
5.3 Tipos de suelo.....	26
5.4 Geología.....	27
5.5 Hidrología.....	27
5.6 Especies y variedades utilizada en los experimentos	28
5.7 Descripción de tratamientos.....	28
5.8 Diseño experimental y de tratamientos	31
5.9 Toma y análisis de datos.....	33
5.10 Determinación de las variables respuesta.....	34
5.10.1 Humedad gravimétrica	34
5.10.2 Densidad aparente.....	36
5.10.3 pH	38
5.10.4 Carbono orgánico.....	38
5.10.5 Materia orgánica	39
5.10.6 Nitrógeno total.....	41
5.10.7 Fósforo extractable	43
5.10.8 Rendimiento de materia seca de avena (cultivo previo).....	44
5.10.9 Cantidad de residuos por tipo de poda dejados sobre el suelo.....	44
5.10.10 Densidad de población de fríjol.....	44
5.10.11 Rendimiento de grano de fríjol.....	44
5.10.12 Rendimiento biológico de fríjol	45

5.10.13 Índice de cosecha de frijol	45
5.10.14 Cantidad de residuos de cosecha de frijol	46
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
6.1 Propiedades físicas en los suelos Mollisol e Inceptisol	47
6.1.1 Comportamiento de la humedad gravimétrica	47
6.1.1.1 Humedad gravimétrica a la profundidad 1 a 34 cm	47
6.1.1.2 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza a 1 a 4 cm de profundidad	48
6.1.1.3 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza a 16 a 19 cm de profundidad	50
6.1.1.4 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza a 31 a 34 cm de profundidad	51
6.1.1.5 Humedad gravimétrica en labranza convencional a 3 profundidades	53
6.1.1.6 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza mínima a 3 profundidades	55
6.1.1.7 Humedad gravimétrica en labranza cero a 3 profundidades	57
6.1.2 Densidad aparente de 1 a 34 cm de profundidad	58
6.2 Propiedades químicas en los suelos Mollisol e Inceptisol	59
6.2.1 pH de 1 a 34 cm de profundidad.....	59
6.2.2 Carbono orgánico de 1 a 34 cm de profundidad	60
6.2.3 Materia orgánica de 1 a 34 cm de profundidad	61
6.2.4 Nitrógeno de 1 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	62
6.2.5 Fósforo extractable de 1 a 34 cm de profundidad.....	63
6.3 Propiedades físicas en el perfil de los suelos Mollisol e Inceptisol en los sistemas de labranza	64
6.3.1 Densidad aparente.....	64
6.4 Propiedades químicas en el perfil de los suelos Mollisol e Inceptisol en los sistemas de labranza	65
6.4.1 pH	65

6.4.2 Carbono orgánico del suelo	65
6.4.3 Materia orgánica	66
6.4.4 Nitrógeno total	66
6.4.5 Fósforo extractable	67
6.5 Propiedades físicas del suelo de 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	68
6.6 Propiedades químicas del suelo de 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	69
6.7 Propiedades físicas del suelo de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	73
6.8 Propiedades químicas del suelo de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	74
6.9 Propiedades físicas del suelo de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	78
6.10 Propiedades químicas del suelo de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	79
6.11 Propiedades físicas del suelo por sistema de labranza y profundidad de muestreo en los suelos Mollisol e Inceptisol	81
6.11.1 Sistema de labranza convencional	81
6.11.2 Sistema de labranza mínima	82
6.11.3 Sistema de labranza cero	83
6.12 Propiedades químicas del suelo por sistema de labranza y profundidad de muestreo en los suelos Mollisol e Inceptisol	83
6.12.1 Sistema de labranza convencional	83
6.12.2 Sistema de labranza mínima	85
6.12.3 Sistema de labranza cero	87
6.13 Propiedades físicas del suelo a dos distanciamientos de los surcos a la hilera de árboles en los suelos Mollisol e Inceptisol	89
6.14 Propiedades químicas del suelo a dos distanciamientos de los surcos a la hilera de árboles en el suelo Mollisol	90

6.15Propiedades químicas del suelo a dos distanciamientos de los surcos a la hilera de árboles en el suelo Inceptisol.....	91
6.16Rendimiento de avena en el suelo Mollisol	92
6.17Residuos de poda de los árboles de durazno en el suelo Mollisol	93
6.18Componentes de rendimiento de fríjol	94
6.18.1 Número de plantas por hectárea.....	94
6.18.2 Rendimiento de grano de fríjol	95
6.18.3 Rendimiento biológico de fríjol	97
6.18.4 Índice de cosecha del fríjol.....	98
6.18.5 Residuos de cosecha de fríjol	99
7. CONCLUSIONES.....	100
8. RECOMENDACIONES	102
9. BIBLIOGRAFÍA	104

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción del tratamiento de distanciamiento del surco a la hilera de árboles.	31
Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de labranza de 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	68
Cuadro 3. Propiedades químicas del suelo en los sistemas de labranza a 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	69
Cuadro 4. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de labranza de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	74
Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo en los sistemas de labranza de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	75
Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de labranza de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	78
Cuadro 7. Propiedades químicas del suelo en los sistemas de labranza de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol	79
Cuadro 8. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza convencional en los suelos Mollisol e Inceptisol	82
Cuadro 9. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza mínima en los suelos Mollisol e Inceptisol	82
Cuadro 10. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza cero en los suelos Mollisol e Inceptisol	83
Cuadro 11. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza convencional en los suelos Mollisol e Inceptisol	84
Cuadro 12. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza mínima en los suelos Mollisol e Inceptisol	86

Cuadro 13. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza cero en los suelos Mollisol e Inceptisol	88
Cuadro 14. Comparación de medias a dos distancias de muestreo a la hilera de árboles en tres sistemas de labranza en el suelo Mollisol a una profundidad de 1 a 34 cm	89
Cuadro 15. Comparación de medias a dos distancias de muestreo a la hilera de árboles en tres sistemas de labranza en el suelo Mollisol a una profundidad de 1 a 34 cm	90
Cuadro 16. Comparación de medias a dos distancias de muestreo a la hilera de árboles en tres sistemas de labranza en el suelo Inceptisol a una profundidad de 1 a 34 cm	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tecnología MIAF.....	11
Figura 2. Efecto del sistema de cultivo en callejones sobre los factores bióticos y abióticos.....	12
Figura 3. Sistema de labranza cero en el suelo Mollisol e Inceptisol.	29
Figura 4. Sistema de labranza mínima en el suelo Mollisol e Inceptisol.	29
Figura 5. Sistema de labranza convencional en el suelo Mollisol e Inceptisol.....	30
Figura 6. Surcos adyacentes a la hilera de árboles en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	30
Figura 7. Dimensiones y croquis de distribución de los tratamientos en el suelo Mollisol de la tabla agrícola San Martín del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.....	32
Figura 8. Dimensiones y croquis de distribución de los tratamientos en el suelo Inceptisol, de la tabla agrícola San Juan del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.....	32
Figura 9. Extracción de la muestra de suelo para la determinación de humedad gravimétrica y densidad aparente.....	35
Figura 10. Traslado y secado de la muestra para la determinación de humedad gravimétrica y densidad aparente.....	36
Figura 11. Características de la barrena de doble cilindro utilizada en los muestreos de densidad aparente y humedad gravimétrica.	37
Figura 12. Barrena de doble cilindro modificada para condiciones de Chapingo, México.	37
Figura 13. Procedimiento de agitado de la muestra para su posterior lectura de pH.	38

Figura 14. Determinación de materia orgánica por el método de Walkley y Black.....	40
Figura 15. Pesado y digestado del muestra de suelo para la determinación de NT.....	41
Figura 16. Proceso de destilación de la muestra de suelo, para su posterior titulación.....	42
Figura 17. Preparación de la curva de calibración y lectura de las muestras para fósforo extractable.	43
Figura 18. Procedimiento para la estimación de la densidad de población y rendimiento de grano de frijol (conteo y cosecha de plantas de frijol).	45
Figura 19. Procedimiento para la trilla y limpia del frijol.	45
Figura 20. Procedimiento para la determinación del índice de cosecha.	46
Figura 21. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza en el suelo a una profundidad de 1 a 34 cm en el suelo Mollisol.....	47
Figura 22. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza en el suelo a una profundidad de 1 a 34 cm en el suelo Inceptisol.....	48
Figura 23. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza de suelo a la profundidad 1 a 4 cm, en el suelo Mollisol.	49
Figura 24. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza de suelo a la profundidad 1 a 4 cm, en el suelo Inceptisol.	50
Figura 25. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 16 a 19 cm, en el suelo Mollisol.	50
Figura 26. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 16 a 19 cm, en el suelo Inceptisol.	51
Figura 27. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 31 a 34 cm, en el suelo Mollisol.	52
Figura 28. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 31 a 34 cm, en el suelo Inceptisol.	52

Figura 29. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza convencional del suelo a tres profundidades en el suelo Mollisol.....	54
Figura 30. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza convencional del suelo a tres profundidades en el suelo Inceptisol.....	55
Figura 31. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza mínima del suelo a tres profundidades en el suelo Mollisol.....	56
Figura 32. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza mínima del suelo a tres profundidades en el suelo Inceptisol.....	56
Figura 33. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza cero del suelo a tres profundidades en el suelo Mollisol.....	57
Figura 34. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza cero del suelo a tres profundidades en el suelo Inceptisol.	58
Figura 35. Densidad aparente del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de fríjol.	59
Figura 36. pH del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de fríjol.....	60
Figura 37. Carbono orgánico del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de fríjol.	61
Figura 38. Materia orgánica del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de fríjol.	62
Figura 39. Nitrógeno total del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de fríjol.....	63
Figura 40. Fósforo extractable del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de fríjol.	64
Figura 41. Comportamiento de la densidad aparente en el perfil del suelo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	65
Figura 42. Comportamiento del pH en el perfil del suelo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	65

Figura 43. Comportamiento del carbono organico en el perfil del sielo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	66
Figura 44. Comportamiento de la materia orgánica en el perfil del sielo por sistema y labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.	66
Figura 45. Comportamiento del nitrógeno total en el perfil del sielo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	67
Figura 46. Comprtamiento del Fósforo extractable en el perfil del sielo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	67
Figura 47. Comparación de medias de rendimiento de avena por sistema de labranza en el ciclo anterior al establecimiento de fríjol.....	93
Figura 48. Comparación de medias de residuos de poda incorporados a la suelo de las hileras de árboles.	93
Figura 49. Densidad de poblacion de fríjol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	94
Figura 50. Rendimiento de fríjol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	95
Figura 51. Rendimiento biologico de fríjol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.....	97
Figura 52. Indice de cosecha de fríjol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.	98
Figura 53. Residuos de cosecha producidos en el cultivo frijol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.	99

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos, la sobreexplotación de los recursos naturales y los sistemas agropecuarios intensivos, han causado un deterioro acelerado de los ecosistemas, propiciando que los fenómenos meteorológicos sean más intensos y severos, tales como los procesos erosivos, que de manera natural pueden durar miles de años y que con las condiciones actuales de deterioro ambiental se incrementan, generando pérdida de áreas de cultivo, ganaderas, forestales, disminución de la fertilidad de los suelos y retención de agua, que a su vez se manifiestan en el decremento de la cantidad y calidad de los productos agropecuarios.

La erosión hídrica es el principal factor del deterioro de los suelos agrícolas de México. Se ha estimado que el 61% de la tierra de labor del país presenta pendientes mayores a 4% (Turrent y Cortés, 2005).

Un manejo apropiado del suelo y agua implica ejecutar diversas prácticas de conservación, tales como prácticas mecánicas, vegetativas y agronómicas. El propósito principal de estas prácticas es mantener el suelo y los nutrimentos en su lugar y conservar el agua dentro del sistema el mayor tiempo posible, evitando su salida y transporte por erosión fuera del sistema. Si las tierras cultivables no se protegen contra la erosión, el problema puede llegar a ser severo o muy severo, especialmente en terrenos de ladera (Pérez *et al.*, 2002).

La innovación y utilización de técnicas productivas que minimicen el efecto negativo en el ambiente, deben ser una alternativa económica para que los pequeños productores puedan utilizarlas de acuerdo a las condiciones de su entorno, sin que estas tenga que cambiar de manera radical el patrón de cultivos que estos han utilizado por generaciones.

La milpa intercalada en árboles frutales es una nueva tecnología multi-objetivo que podría ayudar a atenuar la crisis actual de la pequeña unidad de

producción sin dejar de producir maíz en el ámbito inferior a 5 ha de tierra de labor (Turrent y Cortés, 2005).

En el sistema de árboles frutales intercalados con cultivos anuales se aprovecha de manera integral el suelo, el agua, la luz y la mano de obra familiar. A su vez los cultivos anuales pueden ser rotados y sujetos a interacción agronómica mediante su cultivo en franjas alternas y microrrotantes (Turrent y Cortés, 2002).

Turrent y Cortés (2005) señalan que en el altiplano de México los productores tradicionales desarrollaron el sistema de milpa intercalada en hileras de árboles frutales, según se aprecia en la región de Huejotzingo, Puebla. En cambio, en la región Serrana Mazateca, Oaxaca, los productores tradicionales distribuyen sus frutales (duraznero y manzana) dentro de la milpa en arreglo aparentemente al azar.

Turrent y Cortés (2005) comenzaron la investigación con las especies durazno, maíz y frijol en Huejotzingo, Puebla y desarrolló la tecnología MIAF (Milpa Intercalada en Árboles Frutales) a partir del sistema tradicional y de varios conceptos de la agronomía clásica.

La combinación de técnicas de la agricultura convencional y aquellas prácticas de manejo que reduzcan la degradación de los recursos naturales son una alternativa no sólo para los pequeños productores, sino que pueden ser empleadas o modificadas de acuerdo a las condiciones del ambiente físico natural, para ser utilizadas en grandes extensiones de tierra en donde es posible la mecanización, tal es el caso de la labranza de conservación en sistemas agroforestales en donde se emplea rotación de cultivos, variedades e híbridos comerciales de cereales o leguminosas; así mismo se combinan las prácticas mecánicas y vegetativas de conservación de suelo que reducen los efectos negativos que la agricultura genera. En este sentido, Krishnamurthy *et al.* (2003) afirman que la agroforestería puede mejorar la calidad de vida y el paisaje natural, al tiempo que genera riqueza y conserva los recursos naturales. La agroforestería es una combinación interactiva de las ciencias forestales,

agronómicas y/o pecuarias en la misma unidad de la tierra, es un enfoque práctico para el desarrollo rural sostenible.

En las tablas agrícolas experimentales de San Martín y San Juan del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, se establecieron los módulos demostrativo de sistemas de labranza del suelo en Agroforestería donde Villarreal (2000) realizó la evaluación de línea base de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sometido a sistemas de labranza: cero, mínima y convencional, en riego y temporal, en la cual las características del suelo no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.005$); lo que indica que se partió de condiciones similares.

Después de 7 años de tratamiento en las tablas agrícolas experimentales antes mencionadas, Trucios (2005) evaluó los cambios de las características físicas, químicas y biológicas a tres profundidades del suelo, el rendimiento y los costos variables de producción del cultivo de maíz. Estadísticamente no se encontraron cambios significativos por efecto de los sistemas de labranza en las características físicas, químicas y biológicas, en ninguna clase y profundidad del suelo. Los sistemas de labranza cero y mínima del suelo presentaron mayor rendimiento biológico y de grano en términos absolutos y menores costos variables de producción en comparación con el sistema de labranza convencional en ambos suelos.

De acuerdo a lo anterior en la presente investigación se evaluó un sistema agroforestal de frijol en tres sistemas de labranza del suelo a los 11 años de tratamiento, a fin de comparar el efecto de tres tipos de labranza en agroforestería sobre algunas propiedades físicas y químicas del suelo y como éstas afectan en el sistema de producción de árboles frutales intercalados con cultivos anuales.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de tres sistemas de labranza en dos tipos de suelo a tres profundidades y dos distanciamientos de los surcos a la hilera de árboles sobre las propiedades físicas y químicas del suelo a fin de determinar bajo qué sistema de manejo de suelo se proporciona al cultivo de frijol las mejores condiciones para su desarrollo.

2.1.1 Objetivos particulares

- Identificar el sistema de labranza del suelo que modifica las propiedades físicas y químicas del suelo a fin de proporcionar mejores condiciones agronómicas al cultivo del frijol para el incremento de su rendimiento.
- Determinar la profundidad del suelo en la que se manifiestan diferencias estadísticas en las propiedades físicas y químicas, producidas entre los sistemas de labranza.
- Diferenciar la profundidad del suelo en la que cada sistema de labranza manifiestan diferencias estadísticas en las propiedades físicas y químicas.
- Comparar el efecto de dos distanciamientos del surco a la hilera de árboles de durazno sobre las propiedades físicas y químicas de suelo para determinar la influencia de los árboles.
- Evaluar el tipo poda de los árboles de durazno a fin de determinar el sistema de conducción que produce la mayor cantidad de residuos.
- Valorar 2 sistemas de labranza de conservación del suelo en el cultivo de avena y frijol para determinar el sistema que incrementa los componentes de rendimiento con relación al sistema de labranza convencional.

3. HIPÓTESIS

El sistema de labranza de cero tiende a modificar las propiedades físicas y químicas del suelo que tienen efectos favorables sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol, de ya que con el paso reducido de la maquinaria y la incorporación de materia orgánica, se mejoran los niveles de humedad gravimétrica, densidad aparente, nitrógeno total y fósforo extractable.

En la profundidad de 1 a 4 cm y 16 a 19 cm, se modifican las propiedades físicas y químicas de suelo por efecto de la aplicación de los sistemas de labranza, ya que en estas profundidades es donde se realiza el mayor movimiento de suelo en los sistemas de labranza convencional, labranza mínima y cero.

Con el sistema de labranza convencional no se modifican las propiedades físicas y químicas del suelo a través del perfil de 1 a 34 cm, ya que el manejo que se le da al suelo bajo este sistema tiende a homogenizar los estratos del suelo. Por otro lado en los sistemas de labranza de conservación las propiedades físicas y químicas tienden a presentar un gradiente que está en función de la profundidad, es decir, el pH y densidad aparente son menores en las capas superiores del suelo, mientras que el carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo extractable son mayores en los primeros estratos del suelo, debido a que en el sistema de labranza de conservación se hace un poco o nulo paso de maquinaria lo que reduce el movimiento de suelo y con ella limita la homogenización de las capas de suelo, como en el sistema de labranza convencional.

El sistema de poda de copa produce la mayor cantidad de residuos, dado que el crecimiento del árbol es mayor que en los sistemas de poda V y líder central.

Los distanciamientos de los surcos a las hileras de árboles frutales no presentan diferencias estadísticas en la densidad aparente, pH, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo extractable, sin embargo, los árboles al tener un sistema radical más extenso y profundo les permite la extracción de una mayor cantidad nutrientes, lo cual incrementara la densidad aparente, pH, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo extractable conforme el distanciamiento del surco es menor a la hilera de árboles.

En el cultivo de avena el sistema de labranza cero incrementa el rendimiento de materia seca por hectárea, ya que mejora las propiedades físicas y químicas del suelo.

El sistema de labranza cero tiene influencia positiva sobre los componentes de rendimiento del frijol, debido a que tiende a mejorar las características físicas y químicas del suelo en comparación con la labranza mínima y convencional.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

Los suelos protegidos por la vegetación mantienen su integridad. La vegetación minimiza la acción del viento y dispersa las gotas de lluvia, reduciendo su fuerza erosiva. El agua se filtra poco a poco entre la hojarasca, penetrando posteriormente en el suelo. Si la cantidad de lluvia supera la capacidad del suelo para absorberla, el agua en exceso se desplaza por la superficie, pero la vegetación ralentiza su movimiento (Smith y Smith, 2006).

Al verse desprovistos de la cubierta protectora de vegetación y hojarasca, a causa de la labranza, la tala de troncos, el pastoreo y la construcción de carreteras y estructuras urbanas, los suelos quedan expuestos a la erosión: la remoción de partículas por el viento y el agua con una velocidad mayor que la de formación de suelo nuevo (el suelo se forma a una tasa aproximada de una tonelada métrica por hectárea por año) (Smith y Smith, 2006).

La compactación del suelo intensifica el problema. La maquinaria pesada desde los grandes tractores agrícolas hasta los equipos de construcción, compacta el suelo de amplias áreas de terreno (Smith y Smith, 2006).

Tanto la erosión eólica como la hídrica dejan la tierra yerma, estéril. En todo el mundo se destruyen y abandonan anualmente unos 12 millones de hectáreas de tierra cultivable a causa de una gestión inadecuada del suelo (Smith y Smith, 2006).

Los efectos de la erosión se dejan notar tanto en el sitio donde tiene lugar como fuera de él. La erosión de los suelos agrícolas y forestales reduce la cantidad de materia orgánica y aumenta la cantidad de arcilla. Esto provoca una disminución de la capacidad de retención de agua del suelo, aumentando las condiciones de aridez con un tiempo seco, y la posibilidad de inundaciones cuando el tiempo es lluvioso (Smith y Smith, 2006).

4.1 La lucha contra la erosión

Los elevados niveles de erosión actuales están forzando a los agricultores a emplear técnicas alternativas. Usualmente, el cultivo de la tierra implica el arado del suelo y la plantación en hileras para controlar las malas hierbas más fácilmente. Estas prácticas, caras y trabajosas, exponen al suelo a una fuerte erosión. Las nuevas técnicas de cultivo, llamadas sistemas de labranza para la conservación, van desde una labranza reducida hasta una ausencia del uso del arado. En los sistemas sin labranza la plantación se establece sobre los restos del cultivo previo. Con una aplicación inicial de herbicidas se eliminan las malas hierbas y se evita la necesidad de plantar en hileras. La labranza para la conservación reduce en forma significativa la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes del suelo, lo que da paso a unas poblaciones más abundantes y diversificantes de microorganismos e invertebrados edáficos (Smith y Smith, 2006).

La labranza cero produce un incremento inmediato de la cobertura de residuos, lo que disminuye la erosión eólica en relación a los sistemas de labranza convencionales (Buchiazzo y Aimar, 1998).

4.2 Uso sostenible del suelo

Un programa completo y eficiente de conservación de suelos debe incluir tanto prácticas mecánicas como vegetativas y agronómicas, ya que las prácticas mecánicas controlan el escurrimiento y transporte de sedimentos pero tienen poco efecto sobre el desprendimiento de las partículas por impacto de las gotas de lluvia. Las prácticas vegetativas y agronómicas controlan tanto el transporte como el desprendimiento, haciéndolas más efectivas en el control de la erosión (Pérez *et al.*, 2002).

Una de las premisas más importantes del cultivo en callejón es que la adición de una cubierta orgánica, especialmente rica en nutrientes, tiene efecto favorable sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, y por lo tanto, de su productividad (Nair, 1997).

4.3 Funciones de los árboles en la práctica agroforestal

Las prácticas vegetativas son actividades que incluyen el desarrollo de plantas con el fin de evitar la erosión del suelo en terrenos en ladera, mejorando su capacidad productiva. La cobertura vegetal evita la erosión ya que amortigua el impacto de las gotas de lluvia que caen sobre el suelo y sus raíces evitan el arrastre por el escurrimiento superficial (Pérez *et al.*, 2002).

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes (siempre verdes), zacates o arbustos de crecimiento denso y resistente a la escorrentía. Se siembran en curvas a nivel para controlar la erosión y conservar el agua. En la mayoría de los casos, las barreras vivas pueden sustituir a las prácticas mecánicas siempre que se utilice una especie adecuada bien manejada (Pérez *et al.*, 2002).

Según Krishnamurthy *et al.* (2003) los cultivos se benefician de los árboles en los sistemas agroforestales debido a:

- Fijación biológica del nitrógeno. Los microorganismos (bacterias u hongos) presentes en los nódulos de la raíz de los árboles fijan el nitrógeno que pueden usar los cultivos.
- Abono verde. La hojarasca o las podas de los árboles incorporadas proporcionan nutrientes y materia orgánica al suelo. Los nutrientes son también proporcionados por las raíces de los árboles bajo la superficie del suelo para la formación de follaje, los cuales son usados eventualmente como abono verde para los cultivos.
- Conservación de agua. La materia orgánica que los árboles agregan al suelo (hojarasca y raíces) aumenta la habilidad de este para absorber y retener humedad.
- Rompeviento. Entre y durante las temporadas de cultivo, los árboles actúan como rompeviento y por tanto la tasa de evaporación causada por vientos elevados y secos.
- Descomposición de la raíz. La poda periódica de los árboles en los sistemas agroforestales provoca que una porción de sus raíces muera,

las cuales través de la descomposición se agregan de la materia orgánica del suelo.

- Reducción de la erosión. Las perennes leñosas plantadas en los setos a lo largo de los contornos actúan como una estructura física y reducen así la erosión del suelo y el escurrimiento del agua.

La hojarasca sobre la superficie del suelo, así como la protección por la copa del árbol, disminuyen la fuerza con la cual las gotas de lluvia golpean el suelo. Esto da como resultado cantidades más grandes de infiltración de agua, lo que disminuye la erosión del suelo por corrientes de agua.

- Control de malezas. Al permitir que las copas de los árboles crezcan entre las temporadas de cultivo, la sombra impide el crecimiento de maleza. La ausencia de roturación del suelo en los sistemas agroforestales previenen un incremento de la población de maleza. Los setos de los árboles actúan como barrera en contra de la diseminación de las semillas de malezas.

Las prácticas agroforestales en plantaciones son más productivas y económicamente más rentables que los sistemas de monocultivo; por lo tanto, las opciones agroforestales incrementan la productividad y rentabilidad de los actuales sistemas de monocultivo. Los resultados indican que incorporando innovaciones tecnológicas a los sistemas de monocultivo, como la diversidad biológica, se obtienen mayores beneficios económicos y menor riesgo, tanto ambiental como económico, ya que su productividad no depende de una sola especie vegetal (Montiel *et al.*, 2006).

La inclusión de frutales en la milpa también ofrece la posibilidad de anclar terrazas en formación en laderas y limitar el proceso erosivo (Turrent y Cortés, 2005).

La tecnología consiste en un cultivo de maíz, frijol (u otra leguminosa arbustiva y de porte bajo) y como árbol frutal el durazno, todos bajo interacción agronómica entre especies (Turrent y Cortés, 2005) (Figura 1).

Este sistema permite una mayor incidencia de radiación solar entre el maíz (mesocultivos). Con esta interacción se persigue (Turrent y Cortés, 2005):

1. Incrementar significativamente el número de hojas de maíz que reciben radiación solar fotosintéticamente activa sin reducir la densidad de plantación de maíz sobre la hilera.
2. La rotación anual entre especies (gramíneas-leguminosas) mejora la calidad del suelo.



Figura 1. Tecnología MIAF.

Fuente: Fotografía proporcionada por el M.C. Esteban Solórzano Vega.

4.4 Cultivo en callejones

El cultivo en callejón es un sistema de producción en cual los árboles y los arbustos, preferiblemente especies leguminosas de rápido crecimiento, son establecidos en setos vivos sobre tierras arables, con cultivos de alimentos sembrados en los callejones entre los setos vivos, generalmente se practica en áreas planas o topográficamente estables (Krishnamurthy *et al.*, 2003).

En este sistema la siembra de hortalizas y otros cultivos durante la fase establecimiento reduce las necesidades del manejo de la vegetación, tales como la aplicación de herbicidas y de chaponeadora. Los fertilizantes, aplicados a los cultivos herbáceos o a los árboles de huerto, estarán disponibles para los otros cultivos (Nair, 1997).

El cultivo en callejones es una tecnología agroforestal. Esta tecnología asegura el crecimiento de cultivos herbáceos entre los setos de arbustos y

árboles. Los setos son podados periódicamente para impedir la sombra sobre los cultivos en crecimiento (Nair, 1997).

El cultivo en callejón es una forma del llamado intercultivo de setos y combina las propiedades de un sistema de milpa tradicional con la producción de cultivos alimenticios (Nair, 1997).

En el sistema agroforestal de cultivo en callejones se presentan interacciones en el microclima, la biodiversidad, el secuestro de carbono, el ciclo de nutrientes y del agua que se reflejan en el mejoramiento de la producción como en la protección del medio (Figura 2). A pesar de la multiplicidad de ventajas positivas que este sistema de producción presenta ha ido desapareciendo durante el siglo XX, debido a la intensificación y mecanización de los sistemas agrícolas. (Dupraz *et al.*, 2005; citado por Quinkenstein, 2009).

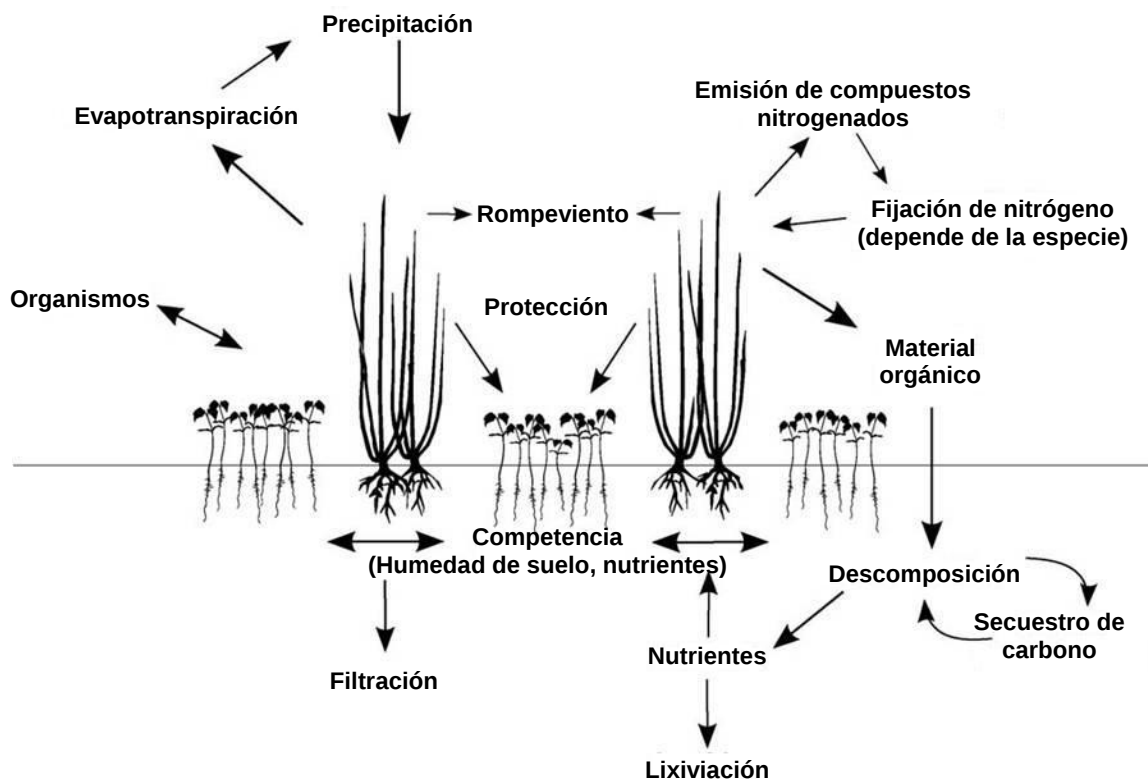


Figura 2. Efecto del sistema de cultivo en callejones sobre los factores bióticos y abióticos. Fuente: Quinkenstein, 2009.

El cultivo en callejones tiene un efecto de cortina rompeviento (que reduce pérdida de agua por evaporación) y asegura una retención de la humedad del suelo. Además, puede ser utilizado para interconectar diversos sistemas de cultivo, mejorando así las cosechas, aumento de la biomasa para la conversión en energía o materia prima para otro proceso, simultáneamente en el mismo espacio. El rango de potenciales aplicaciones del cultivo en callejones es muy amplio e incluye: cortina rompeviento, conservación de la vegetación endémica, control de la erosión y fijación de nitrógeno cuya demanda de fertilizantes nitrogenados disminuye. Las especies vegetales fijadoras de nitrógeno pueden ser utilizadas en suelos en recuperación o de baja fertilidad (Grünwald et al., 2005 citado por Quinkenstein, 2009).

El cultivo en callejones contribuye a mejorar las condiciones del microclima por lo que puede aumentar la estabilidad del rendimiento de los cultivos en zonas de alto riesgo (Quinkenstein, 2009).

Dada la importancia económica del cultivo del durazno, este se utiliza en el sistema de cultivos anuales asociados con árboles frutales, ya que según Turrent y Cortés (2002) este frutal funciona como motor económico del sistema, mientras que los cultivos anuales garantizan la seguridad alimentaria familiar.

4.4.1 Sistema agroforestal fríjol-durazno

El uso de la tierra de tipo agroforestal ocurre por toda la diversidad de las condiciones de la zona templada. Los tres sistemas más comunes han sido el uso agrosilvocultural de rompeviento y cortinas rompeviento para evitar la erosión del suelo en las llanuras ya las prácticas agrosilvopastoriles con ganado en muchos de los sistemas de llanuras y de bosques. Las combinaciones agrosilvoculturales de árboles frutales, nuez y cultivos herbáceos son el tercer sistema (Nair, 1997).

En el manejo de la milpa intercalada con árboles frutales se ha encontrado que en las condiciones del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) y bajo riego para un tercio de hectárea: 5.79 y 5.30 t de maíz en el sistema MIAF, en el ciclo PV 2002 a 2003, respectivamente, mientras que en

cultivo simple fueron de 0.96 y 1.35 t para el mismo ciclo. Este incremento en de rendimiento de maíz se debe al aumento en el número de mazorcas por planta que mantuvieron constante su peso y el peso de grano. Este cambio se asocio con la mayor disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa (Turrent y Cortés, 2005).

4.4.1.1 Cultivo del durazno

De acuerdo con datos de SIAP-SAGARPA (2007) la superficie nacional sembrada con esta especie es de 46,842 ha, el volumen de producción asciende a 220,319 toneladas (t) y el rendimiento promedio es de 5.283 t ha⁻¹. Por otro lado los estados con mayor producción son Michoacán, México y Zacatecas con 40. 562, 40. 533 y 36. 391 mil toneladas respectivamente; mientras que Chihuahua, Morelos y Aguascalientes son los estados de mayor rendimiento por hectárea con 14.328, 13.525, 12.176 t ha⁻¹, respectivamente.

4.4.1.2 Cultivo de frijol

En los valles altos de la mesa central, región que comprende parte de los estados de México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Morelos y Distrito Federal, se cosechan anualmente alrededor de 120 mil hectáreas con un rendimiento promedio de 650 kg ha⁻¹ (SAGARPA 2002; citado por Campos 2002). La mayoría de las siembras se llevan a cabo en condiciones de temporal en diferentes tipos de clima, suelo, métodos de siembra y fechas de siembra, en el periodo que va de mayo a julio; situación que influye en la diversidad de problemas que se presentan en el volumen de producción, en la disponibilidad de grano durante el año y en la gama de variedades que se utilizan (Campos, 2002).

Más que ningún otro cultivo, el frijol depende del uso de la no labranza para mantenerse como un cultivo ambientalmente adecuado. El poco residuo que se produce durante su desarrollo y después de la cosecha puede producir una erosión del suelo importante, a menos que se dejen los residuos sin disturbarse en la superficie del suelo (Figuerola *et al.*, 1992).

El frijol es muy sensible al calor, la sequía y a las temperaturas altas del suelo. Una buena cubierta del suelo mejora su producción en regiones muy cálidas. El aborto de las flores es común en los periodos calientes y secos, pero el periodo de floración largo que este cultivo presenta en el caso de las variedades intermedias del norte del país, mejora las posibilidades de la presencia de condiciones climáticas favorables para la formación de vainas (Figueroa *et al.*, 1992).

4.5 Generalidades y tipos de labranza

A pesar de que los productores son los principales interesados en la conservación de su recurso suelo, ya que constituye su forma de vida y su herencia, las presiones a corto plazo que tienen que enfrentar para la obtención de alimentos y/o ganancias económicas los han llevado a la adopción de esquemas de producción que dañan a su recurso suelo. Los incrementos en costos de producción debidos a las alzas de combustibles, costo de maquinaria, aumento en las tasas de intereses, presionan en la actualidad en forma más fuerte a los productores. Estas presiones son quizá más agudas para los productores de bajos recursos los cuales cuentan con un capital financiero limitado y con muy poca o nula cantidad de equipo agrícola. La labranza de conservación ofrece ahorros considerables en combustible y maquinaria (Figueroa *et al.*, 1992).

La labranza se puede definir como la manipulación química, física o biológica de los suelos para optimizar la germinación y emergencia de la semilla y establecimiento de la plántula (Violic, 1989).

En el análisis de un sistema de labranza, se debe tomar en cuenta tanto los efectos de largo plazo tal como los de corto plazo. Los de corto plazo son los que afectan al cultivo inmediato, mientras que los de largo plazo son los que afectaran las propiedades físicas y químicas del suelo a través del tiempo (Barnett, 1989).

El exceso de laboreo puede deteriorar la estructura del suelo, debido que acelera la oxidación de la materia orgánica, produce daños mecánicos a los agregados e induce la compactación del suelo (Navarro, 2000).

4.5.1 Labranza convencional

Se considera como un sistema en el cual el suelo superficial se invierte por medio del arado, incorporando materia orgánica residual de la cosecha anterior con uno o dos pasos de la rastra utilizando tracción animal o mecánica (Barnett, 1989).

Pitty (1997; citado por Rojas, 2001) menciona que a labranza convencional es un método usado frecuentemente en varios sistemas de producción, sin embargo, tienen efectos negativos como aumento en la erosión, disminución del contenido de materia orgánica y alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como un mayor consumo de combustible y uso de mano de obra

4.5.2 Labranza de conservación

Una alternativa para lograr la conservación del suelo, agua y ahorrar energía en la agricultura, consiste en desarrollar y adoptar sistemas de labranza y uso de residuos de cosecha que sean adecuados a las condiciones del suelo, cultivo y clima existente (Navarro *et al.*, 2000).

La labranza de conservación más que una nueva técnica agrícola, es un tratamiento diferente de las labores fundamentales de siembra y cuidado de los cultivos. El concepto de labranza de conservación desafía muchas prácticas que los productores han creído y seguido por generaciones, por lo que la labranza de conservación es un cambio en la filosofía de la producción de cultivos que en un cambio en los métodos del cultivo (Figuerola *et al.*, 1992).

Es un sistema que consiste en la pasada de arado o cincel o incluso no-labranza, que deja un mantillo protector en la superficie del terreno (Violic, 1989), que reducen la pérdida del suelo o del agua, en comparación al sistema convencional (Kilmer, 1982; citado por Barnett, 1989).

Los principios de la labranza de conservación son: a) evitar la quema de residuos de la cosecha, b) no invertir el perfil del suelo y c) conservar suficientes residuos como mantillo (Nochebuena *et al.*, 2002).

Se identifican cuatro sistemas básicos de labranza de conservación que son: labranza en camellones, labranza en franjas, labranza mínima, labranza cero o no-labranza (Navarro *et al.*, 2000).

4.5.2.1 Labranza en camellones

Se deja el suelo si disturbar o laborear hasta antes de la siembra, utilizando escardillas o removedores de residuos se laborea aproximadamente un tercio de la superficie del terreno al momento de la siembra. Esta se hace en bordes o en camellones a una altura de 10 a 15 cm en la parte media de los surcos. El control de malezas se realiza con una combinación de escardas y herbicidas, las labores de cultivo se utiliza para reconstruir los bordos (Navarro, 2000).

4.5.2.2 Labranza en franjas

El suelo se deja sin laborear hasta antes de la siembra. Al momento de sembrar se laborean franjas aislada de suelo aproximadamente un tercio de la superficie del terreno, con arado rotatorio, un cincel en la línea de siembra o una escardilla. El control de malezas se realiza con una combinación de herbicidas y escardas (Navarro, 2000).

4.5.2.3 Labranza mínima

Es un sistema de labranza de conservación que admite un laboreo con cinceles, en lugar de un laboreo con arado de vertederas o discos que usa el sistema de labranza convencional (Pérez, 1996). El control de malezas se realiza mediante una combinación de herbicidas y escardas (Navarro, 2000).

4.5.2.4 Labranza cero o no-labranza

En éste tipo de labranza solo se prepara una franja angosta, que generalmente no es más que un corte hecho por los discos de la máquina sembradora o por la punta de un espeque o coa (Barnett, 1989). El control de malezas se realiza principalmente con la aplicación de herbicidas (Navarro, 2000).

4.5.3 Productividad

Otro problema presente en las decisiones diarias del productor es el del tiempo y la mano de obra disponible. Estas variables han ocasionado una tendencia a buscar el ahorro en el tiempo y la disminución en la mano de obra a través del uso de maquinaria y equipos agrícolas más grandes, a fin de cubrir en un menor tiempo una superficie más amplia. Pero aun con estas herramientas, el agricultor utiliza más tiempo en la realización de operaciones de labranza que en cualquier otro aspecto de la producción del cultivo. A menudo esta operación demandante de tiempo entra en conflicto con operaciones cruciales en la producción como lo es la siembra del cultivo (Figueroa *et al.*, 1992).

Los beneficios de la reducción o eliminación de la labranza son fácilmente comprendidos en estos puntos críticos de competencia por el tiempo disponible para realizar una labor agrícola, ya que al eliminar las operaciones de labranza se puede proceder a realizar otras operaciones de cultivo (Figueroa *et al.*, 1992).

4.5.4 Mejora en la calidad del suelo

4.5.4.1 Efecto de la labranza en la erosión

La labranza de conservación disminuye considerablemente la erosión debido a que incrementa la estabilidad de los agregados y mantiene las tasas de infiltración más altas en el suelo. Si el sistema de labranza de conservación se acompaña de un mantillo de residuos vegetales que cubran más del 70% de

la superficie del suelo, entonces prácticamente la erosión se reduce a cero (Figueroa *et al.*, 1992).

Para el caso de la erosión eólica se observaba que la labranza convencional produjo pérdidas entre 25 y 29 t ha año, por el contrario, cuando se dejó el suelo sin laborear la cantidad erosionada dependió de la dirección del surcado del ciclo agrícola anterior. Cuando esta orientación fue paralela a la dirección del viento dominante se perdieron 36 t ha año, pero cuando la orientación fue perpendicular al viento dominante no hubo pérdida de suelo (Figueroa *et al.*, 1992).

4.5.4.2 Almacenamiento de agua

En general la labranza es una de las maneras con la que se puede incrementar la capacidad de agua *in situ* debido a que la misma produce un incremento en la porosidad del suelo y por consiguiente en la capacidad de almacenamiento del mismo. La labranza de conservación, por el contrario, puede producir incrementos en la captación y disponibilidad del agua del suelo debido a la tasas de infiltración más altas que ocurren bajo este sistema, a los cambios en la curva característica del suelo que van asociados al mismo y a la disminución en la tasa de evaporación debido a la presencia de mantillo (Figueroa *et al.*, 1992).

El agua de lluvia puede almacenarse en las depresiones superficiales del suelo, infiltrarse o escurrir cuando existe pendiente. Las labranzas pueden influir notablemente en estas alternativas a través de una variación en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además de la presencia de rastros en la superficie o semienterrados crean pequeños reservorios que ayudan a retener el agua de lluvia dándole al suelo la oportunidad de que se infiltre (Marelli, 1998).

La humedad gravimétrica o libre es la que se halla por encima de la capacidad de campo, retenida solo por tensiones menores a 1/3 de atmósfera (Navarro, 2003).

4.5.4.3 Densidad aparente

En los primeros años de establecida la labranza cero se ha observado que el suelo aumenta su densidad aparente, es decir, el suelo tiende a compactarse debido a que raíces, rastrojos y la mesofauna demoran algún tiempo en generarse y construir los conductos naturales, y con ello mejorar la infiltración del agua (Crovetto, 1999).

Una de las bondades de mantener el suelo sin inversión del perfil es la conservación de la estructura del suelo. Al conservar la estructura del suelo, la densidad aparente y, más específicamente, la porosidad, permiten mantener mejores condiciones para el movimiento del aire y agua, y el desarrollo de las raíces. Al barbechar se destruye la porosidad, provocando un aumento en la densidad aparente y una reducción en la velocidad de infiltración del agua en el suelo (Martínez y Jasso, 2005).

4.5.4.4 pH

La acidez tiene varias fuentes: el humus o materia orgánica, arcillas aluminosilicatas, óxidos hidratos de Fe y Al, sales solubles y CO_2 . La materia orgánica o humus contiene grupos reactivos de carboxilo, fenólicos e imídicos que son capaces de ligar iones H^+ . Tales grupos saturados de H^+ se comportan como ácidos débiles y el H^+ ligado colateralmente se disocia, dependiendo de la constatación de disociación del ácido formado (Ortiz, 1990).

Así mismo este autor menciona que la acidez del suelo depende parcialmente de los procesos de nutrición de las plantas y el lavado e intemperización del suelo. Al funcionar la planta y al desprenderse el CO_2 por las raíces se forma el H_2CO_3 , y otros ácidos orgánicos en el suelo.

Roldan *et al.* (2007) en un estudio en labranza cero en maíz y frijol encontraron que el pH en el cultivo de maíz a las profundidades 0 a 5 y 5 a 15 cm no mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), ya que el valor de pH fue 8.1 y 8.0 en la labranza convencional. Por otro lado en el cultivo de frijol encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las profundidades y entre los sistemas de labranza, en donde el sistema de labranza cero mostró valores de pH

inferiores al sistema de labranza convencional, pH de 8.0 en LC y pH de 8.2 en LCV, a la profundidad de 0 a 5 cm, mientras que en LC y LCV a la profundidad de 5 a 15 cm el pH fue 8.2 y 8.1 respectivamente

4.5.4.5 Materia orgánica

La materia orgánica (MO) del suelo es una acumulación de materia de plantas muertas, parcialmente descompuestas y residuos de animales y plantas resintetizados parcialmente. La materia orgánica contribuye al crecimiento de la vegetación determinando las propiedades químicas, biológicas y físicas del suelo. La MO proporciona casi todo el nitrógeno, del 50% a 60% de fósforo, y hasta 80% de azufre (Bohn *et al.*, 1993).

Un mayor contenido de MO superficial es una característica deseable porque está relacionada a una mayor retención de humedad, ya que esa puede retener hasta 20 veces su peso en agua (Bohn *et al.*, 1993) y una mayor agregación de las partículas con lo cual se logra una tasa superior de infiltración de agua en el suelo e implica una mayor actividad biológica e incremento del contenido de nutrientes (Bergh, 1988).

El contenido de MO del suelo muestra una tendencia a creciente en los sistemas de labranza de conservación. Éste contenido se debe a la presencia de grandes cantidades de residuos de cosecha (más del 30%). El sistema de labranza mínima con arado rotario y de cincel mostró 3.15% y 3.12% de materia orgánica, respectivamente, mientras que el sistema de labranza convencional (2 pasos de arado de discos) obtuvo el 2.84% (Rusu *et al.*, 2009).

4.5.4.6 Nitrógeno

El nitrógeno es un factor importante en la descomposición de la MO para poder mantener así su equilibrio natural. Sin embargo, el arado y las herramientas de cultivo, al acelerar los procesos biológicos provocan pérdidas y/o concentraciones excesivas que alteran la cadena de descomposición biológica y de fertilidad del suelo (Sierra, 1989; citado por Crovetto, 1999).

En los sistemas de labranza de conservación la disponibilidad de nitrógeno es limitada y la provisión de agua y su eficiencia de uso son mayores que en sistemas convencionales (Gambaudo, 1998). Crovetto (1999) señala que cuando se presenta un exceso de agua en el suelo, esta desplazará al oxígeno, lo que puede significar pérdidas de nitrógeno nítrico, debido a que los microorganismos aeróbicos tomar el oxígeno del nitrato en ausencia del oxígeno atmosférico, lo cual va a significar pérdidas por gasificación de nitrógeno molecular contenido en el nitrato.

4.5.4.7 Fósforo

El fósforo es un elemento químico vital de importancia en la nutrición vegetal, desempeñando un papel fundamental en un gran número de reacciones enzimáticas (Crovetto, 1999). Este elemento se hace más fácilmente disponible en suelos ácidos, en la MO tienen una función esencial, al descomponerse la MO libera citratos, oxalatos, tartratos y lactatos los cuales se combinan más fácilmente con el Fe, y Al que con el P. El resultado es la formación de menos Fe soluble y Fosfato de Al y la disponibilidad de más fósforo (Ortiz, 1990)

Rusu *et al.* (2009) mencionan que el contenido de fósforo extractable en el suelo cambió significativamente bajo la influencia del sistema de la labranza. Así, la labranza con arado rotatorio (142 mg kg^{-1}) y arado de cincel (135 mg kg^{-1}) mostró mayor cantidad de fósforo extractable en los primeros 0 a 20 cm superiores de suelo, con respecto al sistema de labranza convencional (dos pasos de arado de discos) (108 mg kg^{-1}).

4.6 Avances en labranza de conservación

Galeana *et al.* (1999) en una investigación sobre la influencia de la labranza de conservación y la fertilización en maíz sobre el suelo, evaluaron la población de lombrices de marzo a noviembre con muestreos mensuales en bloques de $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}$, en donde se contó el número de lombrices y se expreso por metro cuadrado, encontrando la mayor población de lombrices en

los meses de junio a septiembre que comprende los meses de mayor temperatura media mensual de 18°C a 20°C. El sistema de labranza de conservación permitió mayor número de lombrices (208 m³) en comparación al sistema de labranza tradicional (56 lombrices m⁻³); la mayor población se encontró en la labranza de conservación con cobertura de veza (268.8 m³) en comparación con la cobertura de cebada que fue de 146.8 lombrices m⁻³. La menor población (48 lombrices m⁻³) de lombrices se encontró en la labranza tradicional con raíz de cebada, que fue 5.6 veces menor que en la labranza de conservación con cobertura de veza. Esto indica que las coberturas favorecen la proliferación de las lombrices debido a que el suelo no se remueve y se tiene material orgánico que condiciona el medio para el desarrollo de estos organismos.

España *et al.* (2001) evaluaron el efecto de la labranza de convencional, mínima y cero en el cultivo de maíz sobre la mineralización del N y la contribución de los residuos de cosecha al N del suelo, en donde encontraron que la cantidad de N liberado a partir de los residuos de cosecha para la labranza de convencional fue de 49.61 kg ha⁻¹, en labranza cero 33.56 kg ha⁻¹, y en labranza mínima 36.21 kg ha⁻¹, la diferencia entre el contenido de N mineral a 265 días y antes de la aplicación de residuos fue mayor en labranza convencional, en relación con la labranza cero, 57.90 y 47.41 kg ha⁻¹, respectivamente. La aplicación de residuos de cosecha con relaciones de C:N y lignina:N bajas en el suelo.

Mora *et al.* (2001) evaluaron el efecto de tres sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo, y encontraron que la densidad aparente al inicio del cultivo en el tratamiento de labranza cero fue mayor en 0.08 Mg m⁻³, comparada con la labranza convencional, mientras que al final del ciclo la diferencia fue de 0.06 Mg m⁻³. La resistencia a la penetración a 10 cm de profundidad manifestó valores mayores en 0.75 M pa, al inicio del ciclo de cultivo en el tratamiento de labranza cero comparada con el tratamiento de labranza convencional con quema de residuos; el contenido de humedad del suelo a la profundidad de 0 a 30 cm obtuvo de 2% a 5% más en labranza cero

que en labranza convencional. No se observó una respuesta directa en el rendimiento del trigo, por efecto de las diferencias entre densidad y resistencia a la penetración en los tratamientos de labranza cero y labranza convencional.

Pérez (1996) en una evaluación de sistemas de labranza en Nochixtlán, Oaxaca, encontró que la labranza cero mostró mayor efecto favorable sobre el rendimiento de grano que en la labranza reducida y convencional en los tres años de evaluación, así mismo la rentabilidad del sistema de labranza cero al tercer año de evaluación mostró significativamente mayor efecto sobre el ingreso neto que en los sistemas de labranza reducida y convencional.

Tapia *et al.* (2002) compararon el efecto de la labranza de conservación y la labranza convencional sobre los escurrimientos y la salida de sedimentos en tierras de ladera. Encontraron que la labranza de conservación muestra el efecto de la cobertura del suelo, para propiciar la reducción de la erosión (>80%) y el escurrimiento (>45%), en relación con la labranza convencional con movimiento de suelo en agricultura de ladera. La labranza de conservación con cobertura reduce en más de 80% las pérdidas de materia orgánica y nitrógeno con valores de 22 kg ha⁻¹ y de 6.5 kg ha⁻¹, respectivamente. En labranza convencional las pérdidas son 137 kg ha⁻¹ y 19.6 kg ha⁻¹, respectivamente.

Bravo *et al.* (2007) compararon el sistema de labranza convencional con el sistema de labranza con el cultivo de chícharo, en donde encontraron que el sistema de labranza cero fue superior estadísticamente en rendimiento de grano con 2.7 t ha⁻¹, al sistema de labranza convencional con 2.5 t ha⁻¹, mientras que para rendimiento biológico se obtuvo que el sistema de labranza convencional (3.0 t ha⁻¹) fue mayor al sistema de labranza cero (2.3 t ha⁻¹). Así mismos estos autores mencionan que el rendimiento de grano tiende a incrementarse durante años secos en el sistema de labranza cero.

Carter *et al.* (2009) en su estudio de la influencia de la labranza de conservación y la rotación de cultivos, determinaron que no se presentaron diferencias estadísticas entre la labranza convencional y la labranza cero en el cultivo de papa. Por otro lado, en la densidad aparente no se presentaron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza. En cuando a materia

orgánica encontraron que el sistema de labranza convencional fue menor en el contenido de carbono del suelo en los cultivos de papa (452 g m^{-2}), cebada (604 g m^{-2}) y trébol rojo (641 g m^{-2}), con respecto al sistema de labranza cero donde obtuvo 808 g m^{-2} para papa, 786 g m^{-2} en cebada y 752 g m^{-2} en trébol rojo. En relación al nitrógeno total obtuvieron una tendencia similar, donde el sistema de labranza cero mostró 73 g m^{-2} en papa, 81 g m^{-2} en cebada y 70 g m^{-2} en trébol rojo, mientras que en el sistema de labranza convencional se obtuvieron 43 g m^{-2} en papa, 63 g m^{-2} en cebada y 61 g m^{-2} en trébol rojo.

Gal *et al.* (2007) en un estudio sobre labranza cero y labranza convencional con arado de vertedera y rotación de cultivos después de 28 años de su aplicación, encontraron que los sistemas de labranza tienen mayor impacto sobre el almacenamiento de carbono orgánico, nitrógeno total, densidad aparente y pH del suelo que la rotación de cultivos y de las interacciones de los sistemas de labranza y cultivos.

Roldan *et al.* (2007) señalaron que en el sistema de labranza cero existe una mayor acumulación de residuos lo que mejora las características físicas y químicas del suelo, con respecto al sistema de labranza convencional (arado de vertedera). Los beneficios de este tipo de labranza de conservación tienen mayor influencia en la capa de 0 a 5 cm, que en las capas más profundas, así mismo, el sistema de labranza cero promueve la propagación de las micorrizas y de esta manera contribuye a una agricultura sustentable a largo plazo

La carencia de diferencias estadísticamente significativas en los efectos de los sistemas de labranza sobre las propiedades y productividad del suelo es común durante los primeros años de observación y constituye un problema para evaluaciones de corto plazo, por lo que la implementación de experimentos a largo plazo puede permitir la manifestación de los beneficios que la labranza de conservación sobre las propiedades del suelos y como estas influyen en la productividad de los cultivos (Pérez, 1996).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización de los experimentos

La presente investigación se desarrolló en condiciones de riego en la tabla agrícola San Martín 18 y en condiciones de temporal en la tabla agrícola San Juan 122 y 123 del campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, durante el ciclo agrícola de 2008 a 2009.

La tabla agrícola experimental San Martín se ubica entre los 19°36'27'' y 19°39'9'' de latitud Norte y entre los 98°52'45'' y 98°53'16'' de longitud Oeste. La tabla agrícola experimental San Juan se ubica entre los 19°36'27'' y los 19°39'9'' de latitud Norte y entre los 98°52'45'' y los 98°53'16'' de longitud Oeste.

5.2 Condiciones climáticas de los experimentos

La tabla agrícola experimental San Martín presenta un clima $C(W_0)(w)b(i')$, templado subhúmedo con una precipitación media anual de 700 mm., régimen de lluvias en verano y una temperatura media anual entre 12°C y 18°C. La tabla agrícola experimental San Juan presenta un tipo de clima $C(W_1)(w)b(i')$, templado subhúmedo con una precipitación media anual entre 800 y 900 mm, régimen de lluvias en verano y una temperatura media anual entre 12°C y 18°C. (García 1986).

5.3 Tipos de suelo

El tipo de suelo de la tabla agrícola experimental San Martín 18 se clasifica como Mollisol, el cual es considerado como suelo mineral, formado bajo una vegetación herbácea de gramíneas en climas templados de subhúmedos a semiáridos (Porta y López-Acevedo, 1994). Tiene un estrato superficial de 15 a 30 cm de espesor, color pardo oscuro, textura migajón

limosa y consistencia ligeramente dura; seguido de otro estrato de 20 a 30 cm de espesor, textura arcillosa o arcillo limosa, color pardo oscuro y estructura fuertemente desarrollada, poliédrica angular; por debajo de ambos estratos subyace otro estrato de textura migaron limoso o franco, de color que varía de pardo a gris muy oscuro, ricos en bases y bien estructurados. Este suelo tiene una alta capacidad de retención de humedad, son medianamente ricos en contenido de materia orgánica y muy ligeramente ácidos (Cachon *et al.*, 1974)

El suelo de la tabla agrícola experimental San Juan 122 y 123 se clasifica como Inceptisol que proviene del latín (*incipiere*) (Porta y López-Acevedo, 1994), es moderadamente profundo, presenta un estrato superficial de 70 a 80 cm de espesor, franco en la parte superior hasta 50 o 55 cm de profundidad en la que cambia a migajón arenoso; seguido de un estrato de textura arena migajosa fuertemente cementado. Este suelo es de fertilidad media, con moderada capacidad de retención de humedad, permeabilidad rápida alto contenido de MO y de reacción neutra a alcalina. Sus principales restricciones son la susceptibilidad a la erosión, con una estructura débilmente desarrollada (Cachon *et al.*, 1974).

5.4 Geología

La tabla agrícola experimental SM-18 pertenece a los terrenos planos que son depósitos aluviales lacustres del periodo cuaternario, mientras que los terrenos de la tabla agrícola experimental SJ-122 y SJ-123 se observan dentro de las distribuciones de la zona de lomerío donde se tiene lavas y tobas volcánicas (Cachon *et al.*, 1974).

5.5 Hidrología

La hidrología de la zona de estudio la constituyen corrientes periódicas torrenciales que van de este a oeste atravesando la planicie aluvial para desembocar en el lago de Texcoco (Cachon *et al.*, 1974).

5.6 Especies y variedades utilizada en los experimentos

En el ciclo otoño invierno, en la tabla agrícola experimental SM-18 se evaluó avena variedad. Esmeralda, ya que en esta tabla agrícola experimental se cuenta con riego. Para el ciclo primavera verano en ambas tablas agrícolas experimentales SM-18, SJ-122 y SJ-123 se evaluó la variedad de frijol “OTI”. En las líneas de árboles de durazno se tuvo la variedad Diamante.

El distanciamiento entre los surcos de frijol en las dos tablas agrícolas experimentales fue de 0.75 m y la distancia entre plantas de 0.08 m, para una densidad de población de 166250 p ha⁻¹. La dosis de fertilización del cultivo de avena fue 40-15-00, mientras que para el cultivo de frijol la dosis de fertilización fue 40-40-00.

La fecha de siembra de la vena fue el 10 de diciembre de 2008 y la del cultivo de frijol en la tabla agrícola experimental SM-18 fue el 16 de julio de 2009, mientras que en la tabla agrícola experimental SJ-122 y SJ-123 fue 7 de agosto de 2009.

5.7 Descripción de tratamientos

Los tratamientos a evaluar en el décimo primer año se describen a continuación:

Labranza Cero (LC). Este tratamiento implica ninguna remoción del suelo ni antes ni después de la siembra dejando al menos 30% de la superficie cubierta con residuos del cultivo anterior. Siembra con sembradora de labranza cero y control químico de malezas (Figura 3).



Figura 3. Sistema de labranza cero en el suelo Mollisol e Inceptisol.

Labranza mínima (LM). Este tratamiento implica realizar un paso de arado de cinceles antes de la siembra; ninguna labor después, dejando al menos 30% de superficie cubierta con residuos del cultivo anterior. Siembra con sembradora de labranza cero y control químico de malezas (Figura 4).



Figura 4. Sistema de labranza mínima en el suelo Mollisol e Inceptisol.

Labranza convencional (LCV). Este tratamiento implica una aradura con arado de discos, un rastreo con rastra, primera y segunda labores, dejando menos de 15% de residuos del cultivo anterior. Siembra con sembradora de labranza cero con control mecánico y químico de malezas (Figura 5).



Figura 5. Sistema de labranza convencional en el suelo Mollisol e Inceptisol.

Tratamiento de tipo de poda en las hileras de árboles frutales. En el experimento se aplicaron tres tipos de podas: líder central, formación en V y poda en vaso, estos tres tratamientos solo se llevaron a cabo en la parcela SM-18.

Para la evaluación del distanciamiento del surco de frijol a la hilera de árboles se emplearon dos distanciamientos del surco de frijol a la hilera de árboles: 1.5 y 2.25 m en los sistemas de labranza en el suelo Mollisol e Inceptisol (Figura 6).



Figura 6. Surcos adyacentes a la hilera de árboles en los suelos Mollisol e Inceptisol.

En el Cuadro 1 se describe el tratamiento de distanciamiento del surco a la hilera de árboles.

Cuadro 1. Descripción del tratamiento de distanciamiento del surco a la hilera de árboles.

<i>Tratamiento</i>	<i>Descripción</i>
LCV-A	Labranza convencional a 1.5 m de la hilera de árboles
LCV-B	Labranza convencional a 2.25 m de la hilera de árboles
LCV-T	Labranza convencional centro de parcela
LM-A	Labranza mínima a 1.5 m de la hilera de árboles
LM-B	Labranza mínima a 2.25 m de la hilera de árboles
LM-T	Labranza mínima centro de parcela
LC-A	Labranza cero a 1.5 m de la hilera de árboles
LC-B	Labranza cero a 2.25 m de la hilera de árboles
LC-T	Labranza cero centro de parcela.

5.8 Diseño experimental y de tratamientos

En cada tabla agrícola experimental, los tratamientos de labranza cero, mínima y convencional se distribuyeron en tres hileras, tres columnas y tres repeticiones en un diseño experimental Cuadro Latino.

En las Figuras 7 y 8 se presentan los croquis de localización y distribución de los tratamientos de los tipos de labranza del suelo, en el suelo Mollisol e Inceptisol del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.

Carretera México-Texcoco	3m	46 m	3m	46 m	3m	46m	3m		Sentido de los sucos
								46m	
								46m	
								46m	

Figura 7. Dimensiones y croquis de distribución de los tratamientos en el suelo Mollisol de la tabla agrícola San Martín del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.

†: LC= Labranza Cero, LM = Labranza Minina, LCV = Labranza Convencional.

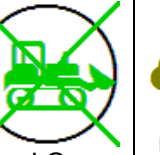
	3m	25	3m	25	3m	55m	3m		Sentido de los sucos
68m								52m	
68m								52m	
68m								52m	
	3m	20m	3m	20m	32m	3m			

Figura 8. Dimensiones y croquis de distribución de los tratamientos en el suelo Inceptisol, de la tabla agrícola San Juan del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.

†: LC= Labranza Cero, LM = Labranza Minina, LCV = Labranza Convencional.

El diseño experimental empleado el tratamiento de tipo de poda fue bloques completos al azar, donde cada hilera de árboles fue un bloque, se tomó como unidad experimental un árbol con tres repeticiones y dos bloques.

Para cada sistema de labranza del suelo sobre la profundidad se aplicó un diseño experimental en bloques completos al azar, donde se tuvo tres bloques y una repetición por bloque.

En el tratamiento de distanciamiento del surco de frijol a la hilera de árboles se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con tres bloques con una repetición del tratamiento en cada bloque.

5.9 Toma y análisis de datos

En los sistemas de labranza del suelo, dentro de cada parcela se delimitó una parcela útil de 400 m², en esta se realizaron los muestreos correspondientes a la variables que se cuantificaron en esta investigación.

Para el caso de las mediciones de las propiedades físicas del suelo, se tomaron muestras de las profundidades de 1 a 4 cm, 16 a 19 cm y 31 a 34 cm, esto es debido a que la barrena a utilizar presenta en la parte superior un anillo de 1 cm de ancho, el cual se usa para facilitar la extracción del anillo siguiente inferior que contiene la muestra; en cuanto al intervalo de muestreo de densidad aparente (Dap) y humedad gravimétrica del suelo (HG), se realizaron 20 días antes de la siembra, a intervalos de 10 días aproximadamente.

En el tratamiento de distanciamiento del surco de frijol a la hilera de árboles, solo se midió en una ocasión la densidad aparente a la profundidad 1 a 34 cm.

Las propiedades químicas utilizadas en la evaluación de los sistemas de labranza a las profundidades 1 a 4 cm (P1), 16 a 19 cm (P2) y 31 a 34 cm (P3), y distanciamiento del surco de frijol a la hilera de árboles a la profundidad 1 a 34 cm fueron: pH, MO (materia orgánica), Nitrógeno total (NT) y fósforo extractable (PE).

Para la realización de los análisis químicos se colectaron dentro de la parcela útil cinco submuestras en zig-zag para formar una muestra compuesta de un kg. En el caso de los análisis químicos realizados al tratamiento de distanciamiento del surco a la hilera de árboles, el muestreo se realizó en los árboles a los que se le practica el tipo de poda correspondiente, para esto se

utilizaron tres árboles por sistema de poda en cada tipo de poda de cada hilera para formar una muestra compuesta.

Para la determinación de las propiedades químicas del suelo, los muestreos se realizaron en la tabla agrícola experimental SM-18 el 18 de septiembre de 2009 y para la tabla agrícola experimental SJ-122 y SJ-123 el 12 de octubre de 2009, tanto para los tratamientos de tipos de labranza como para los distanciamientos del surco a la hilera de árboles de durazno.

La toma de los datos para el tratamiento de tipo de poda se realizó una vez terminada esta práctica de acuerdo al tipo de poda empleado, el periodo de las podas fue del 23 al 29 de enero de 2009. Este tratamiento consistió en la realización de la poda correspondiente para luego cuantificar la cantidad de residuos producidos por tipo de poda.

La variable de rendimiento de materia seca de avena fue tomada cuando se alcanzó la madurez fisiológica el día 2 de abril de 2009.

El análisis de los datos se realizó mediante un análisis de varianza y prueba de comparación medias de Tukey. Para la realización de las pruebas estadísticas se utilizó el paquete estadístico para microcomputadoras SAS V9 (Statistical Analysis System).

5.10 Determinación de las variables respuesta

5.10.1 Humedad gravimétrica

Se utilizó el método gravimétrico para la determinación de humedad gravimétrica (HG) en los suelos. Se basa en la medición de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de suelo. Esta masa de agua se calculó por la diferencia de peso entre la masa de suelo húmedo y la masa de suelo seco. Se considera como suelo seco aquel secado a la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante (NOM-021-SEMARNAT-2000, 2002) (Figura 9 y 10).

Se utilizó la barrena de doble cilindro, con la cual se obtuvieron dos muestras por parcela a las siguientes profundidades 1 a 4 cm, 16 a 19 cm y 31 a 34 cm. Para desecar las muestras de suelo se utilizó una estufa de aire

forzado. Las determinaciones de humedad se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos, del Departamento de Suelos. La fórmula utilizada para la obtención de esta variable es la siguiente ecuación:

$$HG = \left[\frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - (PB)} \right] * 100$$

Donde:

HG= Contenido de humedad gravimétrica (%)

PB= Peso del bote con tapa (g)

Psh= Peso del suelo húmedo (g)

PB+Psh= Peso del bote más peso del suelo húmedo (g)

PB+Pss= Peso del bote más peso del suelo seco (g)



Figura 9. Extracción de la muestra de suelo para la determinación de humedad gravimétrica y densidad aparente.



Figura 10. Traslado y secado de la muestra para la determinación de humedad gravimétrica y densidad aparente.

5.10.2 Densidad aparente

Para la medición de la densidad aparente (D_{ap}) se utilizó una barrena de doble cilindro (Figura 11 y 12), con la cual se obtuvieron dos muestras por parcela a tres profundidades en las parcelas de los sistemas de labranza. Para el caso de los tratamientos de distanciamiento del surco de fríjol a la hilera de árboles de durazno se tomó una muestra entre 16 a 19 cm. El intervalo de muestreo fue de 10 días aproximadamente, durante el ciclo de cultivo del fríjol, para las parcelas de sistemas de labranza, sin embargo, para el tratamiento de distanciamiento del surco a la hilera de árboles de durazno, se obtuvieron tres muestras por hilera, en la etapa de llenado de grano del cultivo de fríjol, a 1.50 y 2.25 m de distancia de la hilera de árboles. Una vez obtenida la muestra se pesó en fresco y se llevó a peso constante a una temperatura de 105°C en una estufa de aire forzado, posteriormente se obtuvo el valor de peso seco de suelo.

Las determinaciones de D_{ap} se realizaron en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Suelos.

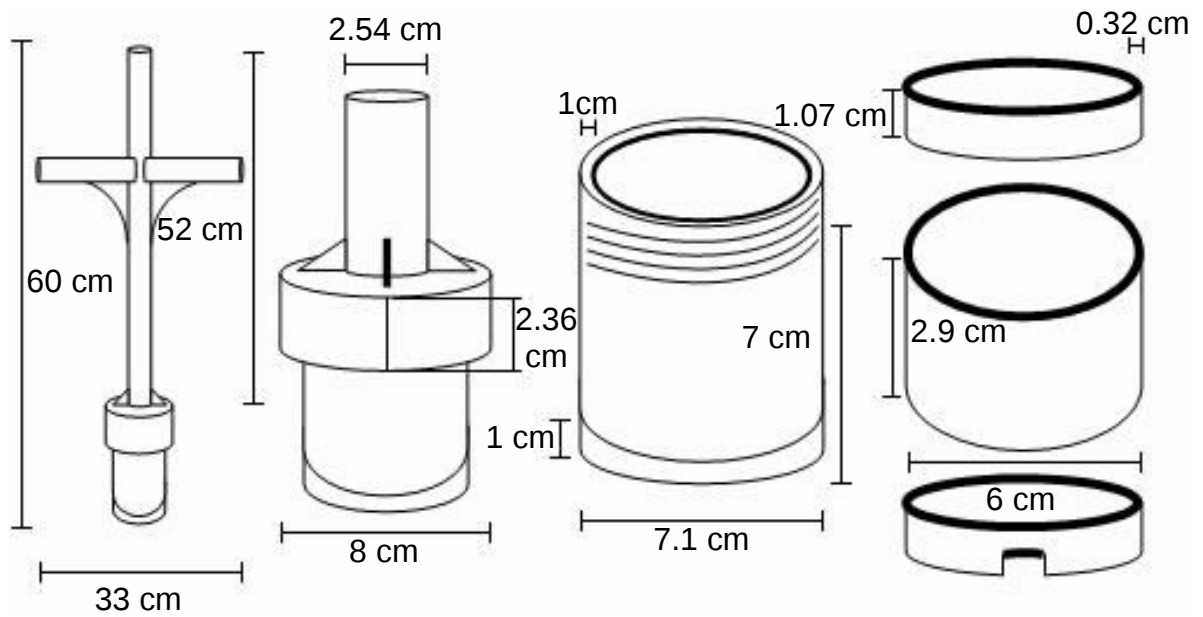


Figura 11. Características de la barrena de doble cilindro utilizada en los muestreos de densidad aparente y humedad gravimétrica.
Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la D_{ap} se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$D_{ap} = \left[\frac{P_{ss}}{V_{cm}} \right]$$

Donde:

D_{ap} = densidad aparente (g cm^{-3})

P_{ss} = Peso del suelo seco (g)

V_{cm} = Volumen del cilindro que contiene la muestra (cm^3)



Figura 12. Barrena de doble cilindro modificada para condiciones de Chapingo, México.

5.10.3 pH

Se utilizó el método electrométrico para la determinación del pH en muestras de suelo en una solución de agua destilada que indica la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002). Se utilizó un potenciómetro digital marca OAKTON. Se colocaron 10 g de suelo en botes de propileno de 100 ml, se añadieron 20 ml de agua destilada, lo cual da una relación suelo/solución 1:2. Se utilizó un agitador mecánico marca Ederbarch Corporation and Arbor, Michigan de 115 v, durante 20 minutos. Se calibró el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de 4, 7 y 10, teniendo cuidado de leer las muestras problema en el intervalo de pH correspondiente. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Química de Suelos, del Departamento de Suelos (Figura 13).



Figura 13. Procedimiento de agitado de la muestra para su posterior lectura de pH.

5.10.4 Carbono orgánico

Con los valores obtenidos de materia orgánica se procede al cálculo del carbono orgánico (CO) con la siguiente fórmula (NOM-021-SEMARNAT-2000) (2002):

$$CO = \left[\frac{B - T}{g} \right] * N * 0.39$$

Donde:

CO= Carbono orgánico (%).

B= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml).

T= Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml).

N= Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).

g= Peso de la muestra empleada (g).

El factor 0.39 resulta de multiplicar $\left[\frac{12}{4000} \right] * \left[\frac{1}{0.77} \right] * 100 = 0.39$

Donde:

$\left[\frac{12}{4000} \right]$ = Peso equivalente del carbono.

$\left[\frac{1}{0.77} \right]$ = Factor de corrección, debido a que se supone que el método oxida el 77% del C.

100= Conversión a porcentaje.

5.10.5 Materia orgánica

Se empleó la metodología de Walkley y Black descrita en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002). Se pesó 0.5 g de suelo y se colocó en un matraz Enrlenmeyer de 500 ml. Se añadió 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N con una pipeta volumétrica. Con una probeta se añadieron 20 ml de H_2SO_4 concentrado, se agitó 1 minuto. Se dejó reposar hasta que se enfrió. Se añadieron 200 ml de agua. Se agregaron 10 ml de H_2PO_4 y 0.1 g de NaF y de 20 gotas de indicador de difenilamina. Se tituló con $FeSO_4$ 0.5 N.

La determinación de (MO) se realizó en el Laboratorio de Química de Suelos del Departamento de Suelos (Figura 14).



Figura 14. Determinación de materia orgánica por el método de Walkley y Black.

Para determinar la cantidad de MO se empleó la siguiente ecuación:

$$MO = 10 \left[1 - \frac{M}{B} \right] * 1.34$$

Donde:

MO= Materia orgánica (%)

M= Sulfato ferroso gastados en la muestra problema (ml)

B= Sulfato ferroso gastado en el blanco (ml)

El factor 1.34 se deduce de la siguiente forma

$$1.0N * \left[\frac{12}{4000} \right] * \left[\frac{1.72}{0.77} \right] * \left[\frac{100}{0.5} \right] = 1.34$$

1.0= Normalidad del $K_2Cr_2O_7$

$\frac{12}{4000}$ = Peso en miliequivalentes del carbono

1.72= Factor de conversión de carbono en materia orgánica (MO)

0.77= Factor de recuperación de 77% determinado por Walkey

0.5= Peso de muestra

5.10.6 Nitrógeno total

El procedimiento empleado para la determinación de nitrógeno total (NT) fue Micro-Kjeldahl, el cual se describe en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002).

Se pesaron 0.5 g de muestra de suelo, se adicionaron 4 ml de ácido sulfúrico concentrado, la muestra se dejó en reposo 24 h. Se agregaron 1.1 g de mezcla de catalizadores y se calentó a 260°C hasta que el digestado se tornó claro. Las muestras se dejaron enfriar y se agregaron 4 a 5 ml agua, se dejó decantar las partículas de sílice con lo que se evitó la precipitación de cristales de sulfato de amonio. Se transfirió éste contenido al bulbo de la cámara de destilación del aparato. Se colocó en el tubo de salida del aparato de destilación un matraz Erlenmeyer de 125 ml con 10 ml de solución de ácido bórico con indicador. Se adicionó 10 de NaOH 10 N al bulbo de destilación. Se destiló aproximadamente 50 ml. El nitrógeno amoniacal se determinó por titulación con ácido 0.05 N.

La determinación de NT se realizó en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia (Figura 15 y 16).



Figura 15. Pesado y digestado del muestra de suelo para la determinación de NT.

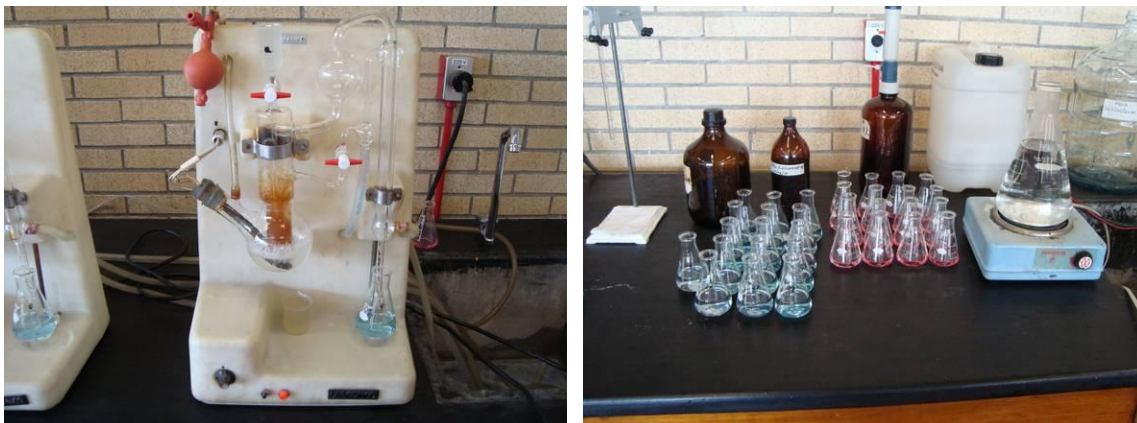


Figura 16. Proceso de destilación de la muestra de suelo, para su posterior titulación.

La concentración de NT en la muestra se determinó según la siguiente fórmula:

$$NT = \frac{(V_{muestra} - V_{blanco}) * N_{acido} * 14}{Pm * 10}$$

Donde:

NT= Nitrógeno total (%)

$V_{muestra}$ = Volumen de H_2SO_4 para titular la muestra (ml)

V_{Blanco} = Volumen de H_2SO_4 para titular el blanco (ml)

14= Peso miliequivalente del N (mg)

Pm = Peso de la muestra (g)

$\frac{1}{10}$ = Factor para convertir a porcentaje $\left(\frac{100}{1000} \right)$

N = Normalidad exacta H_2SO_4

$$Normalidad \ H_2SO_4 = \left(\frac{P_{Na_2CO_3}}{Pe_{Na_2CO_3} * Va} \right)$$

$P_{Na_2CO_3}$ = Peso de Na_2CO_3 (g)= 0.25 g.

$Pe_{Na_2CO_3}$ = Peso equivalente de Na_2CO_3 (g) = 53 g.

Va = volúmenes de ácido sulfúrico gastados en la titulación (L)

5.10.7 Fósforo extractable

Se utilizó el procedimiento de Olsen y colaboradores para la determinación del fósforo extractable (PE) para suelos alcalinos y el procedimiento de Bray y Kurtz para suelos ácidos, descritos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002).

Se pesaron 2.5 g de muestra suelo y se colocaron en tubos de propileno de 100 ml, se adicionó 50 ml de solución extractora, posteriormente la muestra se agitó por 30 minutos a 180 oscilaciones por minuto (opm), se colocó los tubos de propileno en posición horizontal. Se filtró con papel filtro Whatman 42. Para la determinación de P se tomó una alícuota de 5 ml del filtrado o 2 ml si la concentración de P era muy alta y se colocaron en un matraz aforado de 50 ml, se adicionó agua, 5 ml de solución reductora y se aforó. Después de la adición de cada reactivo se agitó la mezcla. Se determinó la absorbancia después de 30 minutos, y antes de una hora, a 882 nm. Paralelamente se preparó una curva de calibración de P.

Las determinaciones de PE se realizaron en el Laboratorio de Química de Suelos del Departamento de Suelos (Figura 17).



Figura 17. Preparación de la curva de calibración y lectura de las muestras para fósforo extractable.

Para la determinación de PE se empleó la siguiente ecuación:

$$PE = \text{ppm en CC} \times \left[\frac{\text{Volumen de extractante}}{\text{g de muestra}} \right] \times \left[\frac{\text{aforo}}{\text{alícuota}} \right]$$

Donde:

PE= fósforo extractable (mg kg^{-1})

ppm CC= Partes por millón en la curva de calibración

5.10.8 Rendimiento de materia seca de avena (cultivo previo)

Se consideró como rendimiento de materia seca de avena, a la cantidad de material vegetal que se encontró en un área de 1 m^2 . Para esto se realizó un muestreo al azar de la siguiente forma: con un marco cuadrado metálico de 1 m^2 , se lanzó de manera aleatoria sobre la parcela útil y se cortó al nivel del suelo el material vegetal, para luego se seco a peso constante en una estufa de aire forzado a 80°C durante 72 h; los valores obtenidos se extrapolaron a t ha^{-1} . Se realizaron 5 repeticiones por tratamiento,

5.10.9 Cantidad de residuos por tipo de poda dejados sobre el suelo

Esta variable sólo se determinó en el suelo Mollisol, durante la etapa de poda de los árboles de durazno. Los residuos obtenidos se pesaron en una báscula de reloj, posteriormente se obtuvieron tres muestras de los residuos de poda y se llevaron a peso constante en una estufa de aire forzado a 80°C durante 72 h, los valores obtenidos se extrapolaron a t ha^{-1} .

5.10.10 Densidad de población de fríjol

Se denominó densidad de población al número de plantas en madurez fisiológica por unidad de superficie, siendo en este caso el número de plantas en cinco metros lineales con seis repeticiones, extrapolada al número de plantas por hectárea (Figura 18 y 19).

5.10.11 Rendimiento de grano de fríjol

Es la cantidad de semilla producida por unidad de superficie, se tomó como muestra a la semilla producida en cinco metros lineales con seis repeticiones, expresados en gramos. Para efecto de los análisis estadísticos se extrapoló a t ha^{-1} (Figura 18 y 19).



Figura 18. Procedimiento para la estimación de la densidad de población y rendimiento de grano de frijol (conteo y cosecha de plantas de frijol).



Figura 19. Procedimiento para la trilla y limpia del frijol.

5.10.12 Rendimiento biológico de frijol

Consistió en la materia seca total de la planta expresada en términos de peso. La materia seca se determinó deshidratando el material vegetal en una estufa con circulación forzada de aire a 80°C, hasta que el peso seco fue constante. Esto se logró en un periodo de 72 horas, quedando el material vegetal con 4% a 8% de humedad residual. Se obtuvo una muestra de tres plantas con tres repeticiones.

5.10.13 Índice de cosecha de frijol

El índice de cosecha (IC) se determinó a la cosecha una vez que las plantas llegaron a la madurez fisiológica, se tomó una muestra de tres plantas con tres repeticiones por tratamiento, las cuales se llevaron a peso constante en

una estufa de aire forzado a 80°C durante 72 h, posteriormente se separaron los granos de la planta y se pesaron por separado (Figura 20).



Figura 20. Procedimiento para la determinación del índice de cosecha.

El IC se calculó mediante el planteamiento siguiente.

$$IC = \left[\frac{\text{Rendimiento de grano}}{\text{Rendimiento biológico}} \right] * 100$$

5.10.14 Cantidad de residuos de cosecha de fríjol

Esta variable representa la cantidad de forraje producido como resultado de los residuos de cosecha del fríjol, está constituida por la parte área de la planta y las vainas, la muestra se obtuvo de tres plantas con tres repeticiones por tratamiento, las cuales se llevaron a peso constante en una estufa de aire forzado a 80°C durante 72 h. Los valores se extrapolaron a t ha⁻¹.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Propiedades físicas en los suelos Mollisol e Inceptisol

6.1.1 Comportamiento de la humedad gravimétrica

6.1.1.1 Humedad gravimétrica a la profundidad 1 a 34 cm

El análisis de varianza determinó que el factor de variación de sistemas de labranza a la profundidad 1 a 34 cm en el suelo Mollisol no influyó significativamente sobre la HG del suelo en 7 de los 8 muestreos realizados, sin embargo, en el muestreo realizado el 28 de junio de 2009 se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Figura 21). Los sistemas de labranza cero y mínima no mostraron diferencias estadísticas entre sí, pero presentaron el mayor contenido promedio de humedad que el sistema de labranza convencional (32.26%, 34.73%, 34.43% respectivamente)

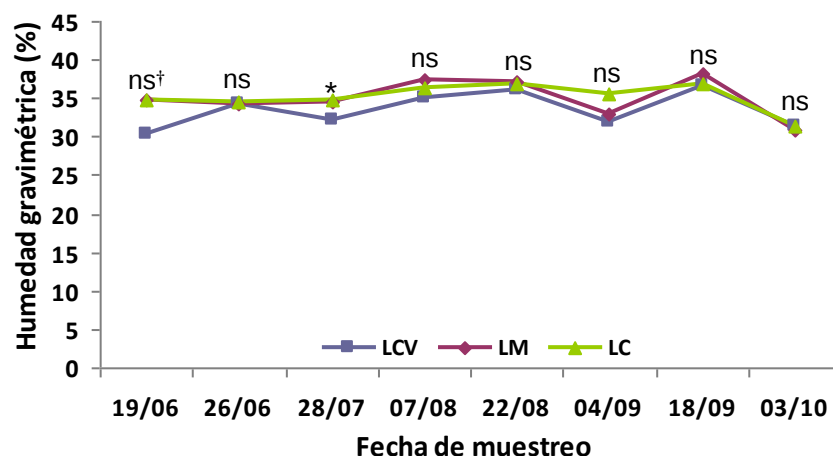


Figura 21. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza en el suelo a una profundidad de 1 a 34 cm en el suelo Mollisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

Igualmente en el suelo Inceptisol, sólo se encontró una fecha en la que la HG mostró diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza (Figura 22). En donde el sistema de labranza convencional presentó mayor contenido de

humedad con 22.77%, mientras, que el sistema de labranza con 17.58% y el sistema de labranza mínima con 16.62%, los cuales no fueron estadísticamente diferentes entre sí.

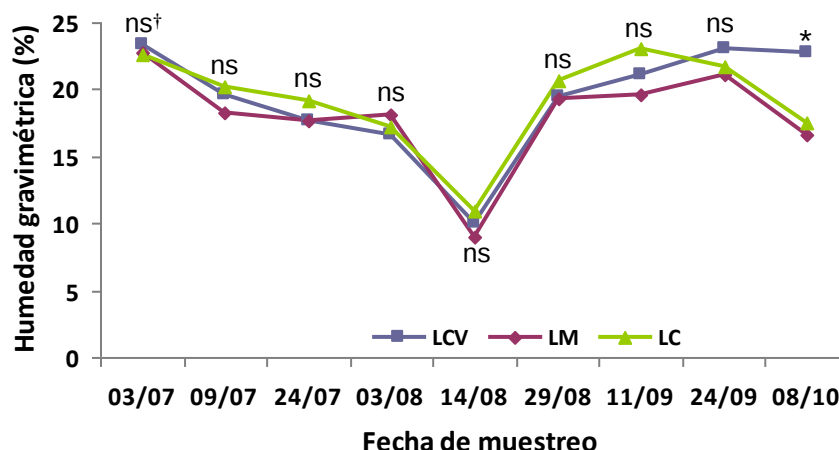


Figura 22. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza en el suelo a una profundidad de 1 a 34 cm en el suelo Inceptisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

En términos absolutos en ambos tipos de suelo se apreció que el sistema de labranza cero a lo largo del ciclo presentó mayor cantidad de humedad, con respecto al sistema de labranza convencional, probablemente debido a la mayor cantidad de MO presente en el suelo, lo que con cuerda con Marelli (1998) en donde afirma que el rastreo presente en la capa superior permite conservar el agua almacenada, ya que retarda la pérdida por evaporación, lográndose un uso más eficiente de la misma. La infiltración se incrementa pues disminuye el sellado superficial debido a la reducción del impacto de las gotas de lluvia por el rastreo.

6.1.1.2 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza a 1 a 4 cm de profundidad

En el tratamiento de sistemas de labranza a la profundidad de 1 a 4 cm en el suelo Mollisol se encontraron diferencias estadísticas en los muestreos realizados el 26 de junio y 28 de julio de 2009 (Figura 23). Para el muestreo realizado el 26 de junio no se encontraron diferencias estadísticas entre el sistema de labranza mínima (37.16%) y labranza cero (36.26%), no obstante,

se encontraron diferencias estadísticas con el sistema de labranza convencional (34.13%). Con respecto al muestreo del 28 de julio, en el sistema de labranza cero (36.16%) no se observó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) con la labranza mínima (33.66%), sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas entre la labranza cero y la labranza convencional (27.51%)

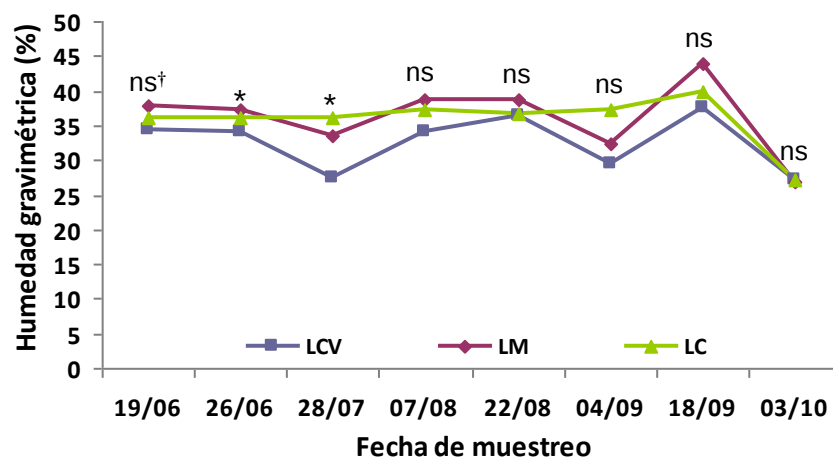


Figura 23. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza de suelo a la profundidad 1 a 4 cm, en el suelo Mollisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

Como resultado de la aplicación de los sistemas de labranza en la profundidad 1 a 4 cm en el suelo Inceptisol, se encontró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en dos fechas de muestreo (Figura 24). En la fecha de muestreo 09 de julio se observó una mayor cantidad de HG en el sistema de labranza cero (18.95%), así mismo, el efecto de este tratamiento es diferente estadísticamente al sistema de labranza mínima (14.21%) y labranza convencional (16.82%), en donde estos dos últimos tratamientos no fueron estadísticamente diferentes entre sí. Por otro lado, en el muestreo del 08 de octubre se encontró que el sistema de labranza convencional (25.09%) presentó diferencias estadísticas en relación a los sistemas de labranza de conservación (15.81% labranza cero y 15.23% labranza mínima)

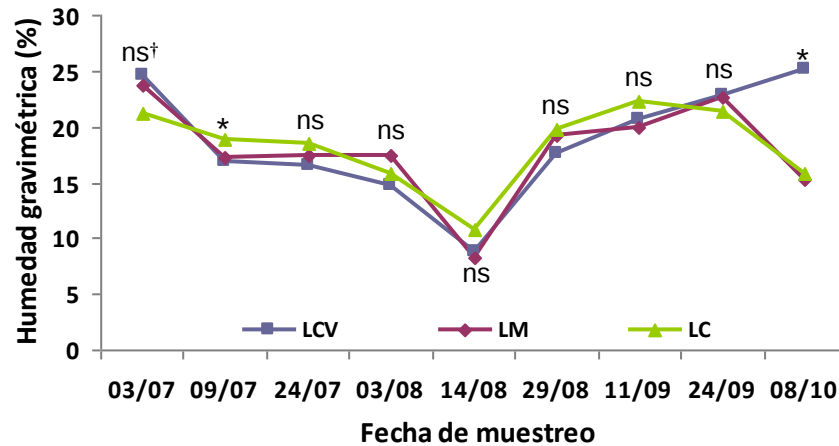


Figura 24. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza de suelo a la profundidad 1 a 4 cm, en el suelo Inceptisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

6.1.1.3 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza a 16 a 19 cm de profundidad

En la profundidad 16 a 19 cm en el suelo Mollisol (Figura 25), no se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza mínima (38.87%) y cero (35.19%), mientras que el sistema de labranza convencional (33.53%) si difirió estadísticamente de los dos sistemas anteriores de labranza.

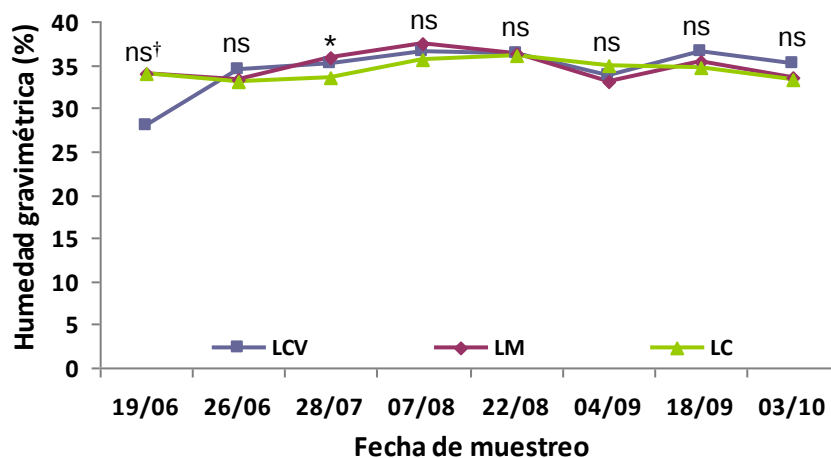


Figura 25. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 16 a 19 cm, en el suelo Mollisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

En cuanto a la profundidad 16 a 19 cm en el suelo Inceptisol se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los

sistemas de labranza en los muestreos del 11 y el 24 de septiembre (Figura 26). En el muestreo del 11 de septiembre se observó diferencias estadísticas entre el sistema de labranza cero, labranza convencional y labranza mínima, con 22.82%, 21.50%, y 18.62% respectivamente. De igual forma, en el muestreo del 24 de septiembre se encontraron diferencias estadísticas entre los tres sistemas de labranza aplicados, siendo la labranza convencional la que manifestó la mayor cantidad de húmeda gravimétrica presente en el suelo (23.61%), seguida por la labranza cero (21.68%) y posteriormente la labranza mínima (19.89%).

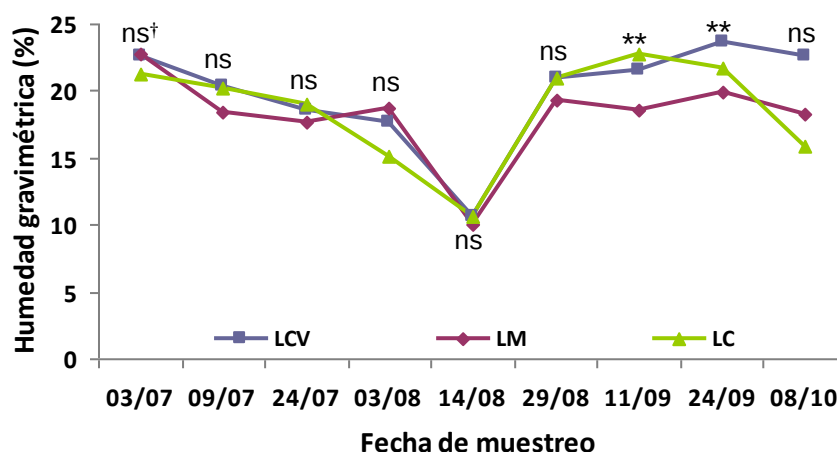


Figura 26. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 16 a 19 cm, en el suelo Inceptisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

6.1.1.4 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza a 31 a 34 cm de profundidad

En la profundidad 31 a 34 cm en el suelo Mollisol (Figura 27), no se observaron diferencias entre tratamientos. A pesar de no presentarse diferencias estadísticas, el comportamiento de la HG en el sistema de labranza cero fue mayor al del sistema de labranza mínima, y estos a vez presentaron una mayor cantidad de humedad que el sistema de labranza convencional.

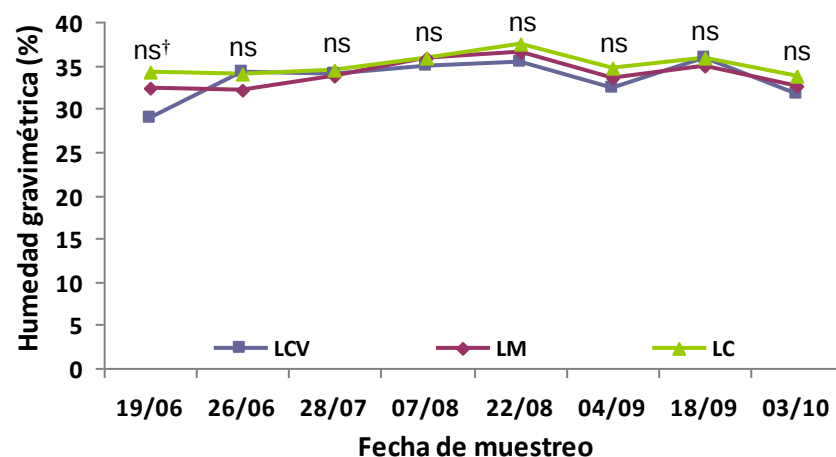


Figura 27. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 31 a 34 cm, en el suelo Mollisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

De acuerdo con los datos observados en el suelo Inceptisol (Figura 28), se encontró que en la fecha de muestreo del 14 agosto, el sistema de labranza cero (11.12%) y la labranza convencional (10.60%) no mostraron diferencias estadísticas entre sí, sin embargo, estos a su vez si fueron diferentes estadísticamente con el sistema de labranza minina (8.71%).

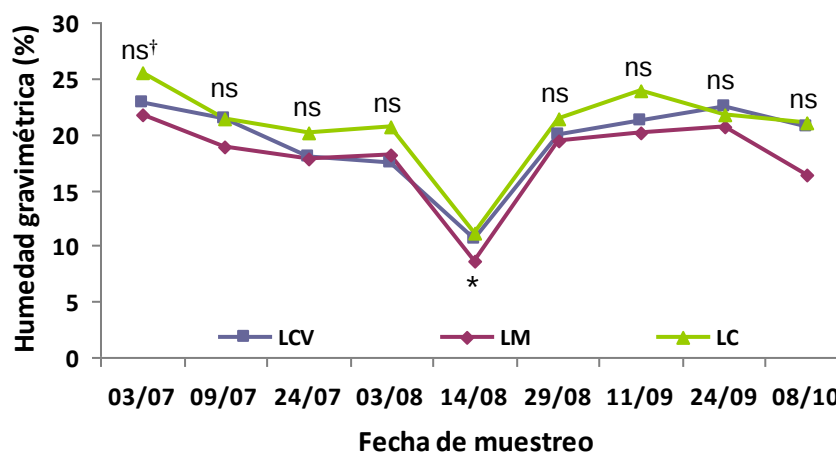


Figura 28. Comportamiento de la humedad gravimétrica en tres tipos de labranza del suelo a la profundidad 31 a 34 cm, en el suelo Inceptisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

Para el tratamiento de sistemas de labranza en tres profundidades se encontró que los sistemas de labranza de conservación tienden a presentar una mayor capacidad de retención de humedad a lo largo del ciclo de cultivo, esto

probablemente se debe a que en estos sistemas de manejo del suelo se presenta una cantidad mayor de MO que en el sistema de labranza convencional.

6.1.1.5 Humedad gravimétrica en labranza convencional a 3 profundidades

En el sistema de labranza convencional en el suelo Mollisol se encontraron tres momentos en los cuales el contenido de humedad mostró diferencias estadísticas (Figura 29). En el muestreo realizado el 28 de junio se observó que la humedad a la profundidad 1 a 4 cm (P1) (27.51%) presenta una diferencia estadística altamente significativa con respecto a la profundidad 31 a 34 cm (P3) (34.06%) y la profundidad 16 a 19 cm (P2) (35.19%), esto se debió probablemente a que la mayor cantidad de agua durante el muestreo se encontraba en esta última profundidad, la cual no había descendido a capas más profundas del perfil.

La misma tendencia se pudo observar en el muestreo del día 04 de septiembre, en donde las profundidades P2 (33.84%) y P3 (32.47%) fueron estadísticamente iguales, mientras que la profundidad P1 (29.58%) mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) con respecto a la profundidad P2. Así mismo, en la última fecha de muestreo (03 de octubre), se obtuvo el mismo comportamiento de la humedad en este sistema de labranza, siendo los tratamientos P2 (35.15%) y P3 (31.76%) estadísticamente iguales entre sí; ambos tratamientos presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) con el tratamiento P3 (27.09%)

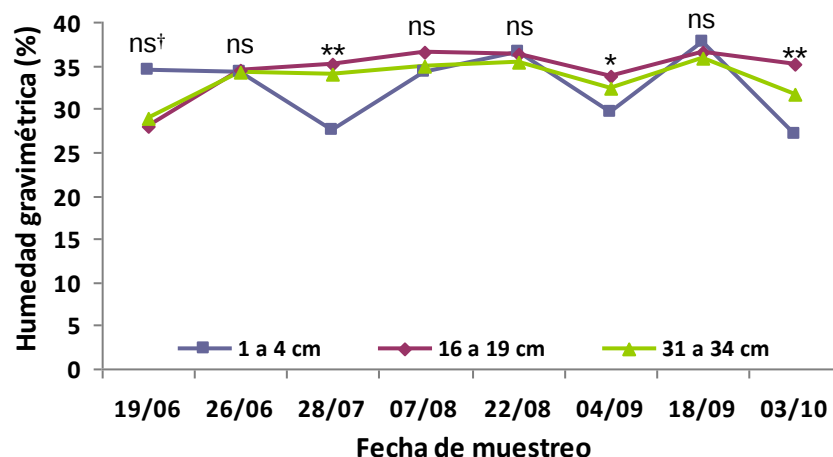


Figura 29. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza convencional del suelo a tres profundidades en el suelo Mollisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

Para el contenido de HG en el sistema de labranza convencional en el suelo Inceptisol se encontraron tres fechas de muestreo con diferencias estadísticas en las profundidades 1 a 4 cm, 16 a 19 cm y 31 a 34 cm en el sistema de labranza convencional (Figura 30). En la fecha del 09 de julio, se observó una mayor cantidad de humedad retenida en el suelo en la profundidad P3 el 21.43%, y la profundidad P2 el 20.43%, así mismo, no se encontraron diferencias estadísticas entre estos tratamientos, no obstante, se encontró que la profundidad P3 difiere estadísticamente de la profundidad P1 (16.82%).

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el muestreo realizado el 14 de agosto, donde la profundidad P2 y P3, no son diferentes entre sí estadísticamente, sin embargo, se presentó una diferencia entre las profundidades P2 (10.64%), P3 (10.60%) con la profundidad P1 (8.81%).

De igual manera, se encontró una tendencia similar en la fecha 29 de agosto donde las profundidades P2 (20.94%) y P3 (20.01%), no son estadísticamente diferentes, pero ambas presentan diferencias altamente significativas con relación a la profundidad P1 (17.61%).

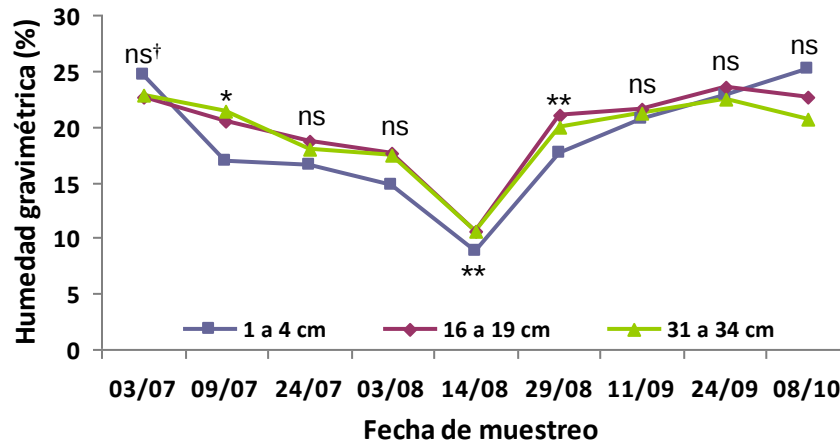


Figura 30. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza convencional del suelo a tres profundidades en el suelo Inceptisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

6.1.1.6 Humedad gravimétrica en los sistemas de labranza mínima a 3 profundidades

En el suelo Mollisol con el sistema de labranza mínima se encontraron dos fechas de muestreo en las cuales se presentaron diferencias estadísticas (Figura 31). En la fecha de muestreo del 26 de junio se obtuvo que el tratamiento P1 (37.16%) fue mayor y estadísticamente diferente a los tratamientos P2 (33.35%) y P3 (32.25%), con una alta significancia ($p \leq 0.01$). En la fecha de muestreo del 03 de octubre se observó que los tratamientos P2 y P3, fueron superiores y estadísticamente diferentes al tratamiento P1, con los siguientes valores promedio de HG: 33.52%, 32.52% y 26.85%, respectivamente.

6.1.1.7 Humedad gravimétrica en labranza cero a 3 profundidades

En el caso del sistema de labranza cero en el suelo Mollisol la tendencia de la humedad el suelo en la profundidad P1 fue ligeramente mayor al comportamiento de la humedad en los tratamientos P3 y P2, presentando en dos fechas de muestreo diferencias estadísticas (Figura 33). En el día 26 de junio se obtuvieron diferencias estadísticas entre la profundidad P1 (36.26%) y P2 (33.04%), y altamente significativas ($p \leq 0.01$) en la fecha 28 de junio, siendo estadísticamente diferentes entre si P1 (36.16%), P3 (34.48%), y P2 (33.53%).

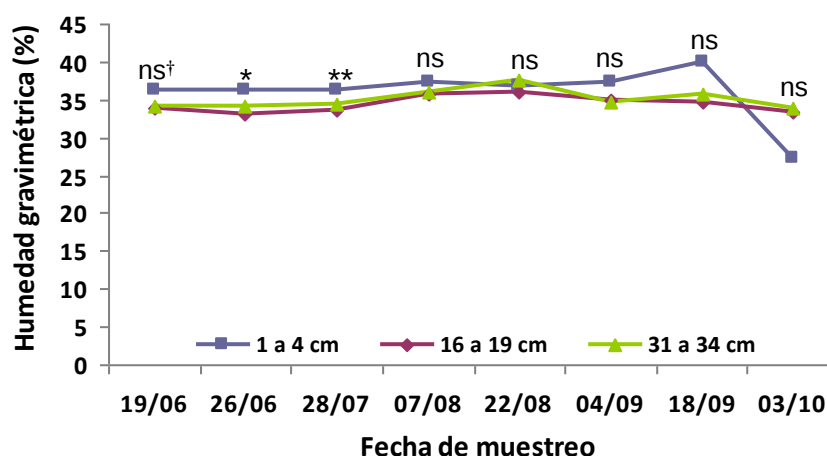


Figura 33. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza cero del suelo a tres profundidades en el suelo Mollisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

En el sistema de labranza cero en el suelo Inceptisol se obtuvieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) en la fecha de muestreo del 09 de julio, donde la profundidad P3 manifestó el mayor contenido de humedad (21.37%) que la profundidad P2 (20.23%) y la profundidad P1 (18.95%) (Figura 34).

En la siguiente fecha de muestreo correspondiente al día 24 de julio se observó que la profundidad P3 presentó el mayor contenido de humedad (20.15%) que la profundidad P2 (19.00%) y la profundidad P1 (18.46%), habiendo diferencias estadísticas entre la profundidad P3 y la profundidad P1.

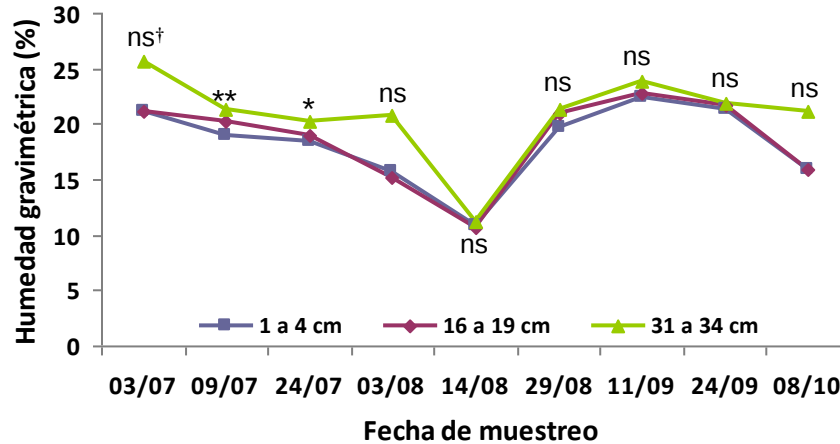


Figura 34. Comportamiento de la humedad gravimétrica en labranza cero del suelo a tres profundidades en el suelo Inceptisol.

†: ns= no significativo, * significativo $p \leq 0.05$ y ** altamente significativo $p \leq 0.01$

De acuerdo con la información anterior, el contenido de humedad presentó un comportamiento similar en los tres sistemas de labranza, ya que la profundidad P1 fue menor que la profundidad P2 y estas a su vez fueron menores a la profundidad P3, debido probablemente a que las capas superiores están mayormente expuestas a la superficie, con lo que la evaporación y absorción del agua por parte del planta aumenta en relación a la profundidad P3.

6.1.2 Densidad aparente de 1 a 34 cm de profundidad

Para la variable de Dap en la profundidad 1 a 34 cm no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en los sistemas de labranza aplicados a los suelos Mollisol e Inceptisol. A pesar de no manifestar una disminución de la densidad en los sistemas de labranza de conservación, Pecorari (1998) afirma que la fracción orgánica humificada que está en contacto con la fracción mineral, produce un efecto amortiguador que reduce el valor de la Dap (Figura 35).

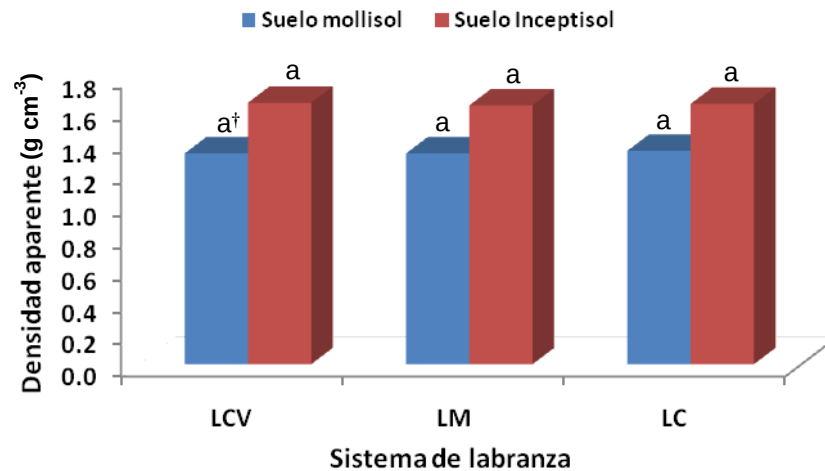


Figura 35. Densidad aparente del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de fríjol.

†: Barras con la misma letra, en cada tipo de suelo, no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

Por su parte Constantin *et al.* (2009) no encontraron diferencias estadísticas en la Dap entre el sistema labranza convencional y el sistema de labranza cero, sin embargo, encontró que el sistema de labranza cero (1.52 g cm^{-3}) mostró una mayor Dap que la labranza convencional (1.42 g cm^{-3}) a una profundidad de 0 a 30 cm.

6.2 Propiedades químicas en los suelos Mollisol e Inceptisol

6.2.1 pH de 1 a 34 cm de profundidad

Para la variable de pH (Figura 36), no se encontraron diferencias estadísticas dentro de cada tipo de suelo, sin embargo, se observó que en el suelo Mollisol se presentó un incremento en el pH, en el sistema de labranza convencional (7.44) seguido por el sistema de labranza cero (7.33), según Crovetto (1999) esto se debe a que los suelos con mayor contenido de MO tienen mayor poder tampón, es decir, podrán conservar o mejorar su pH original. Mientras en el suelo Inceptisol, el sistema de labranza cero (7.93) mostró una tendencia mayor en el valor de pH que el sistema de labranza convencional (7.71).

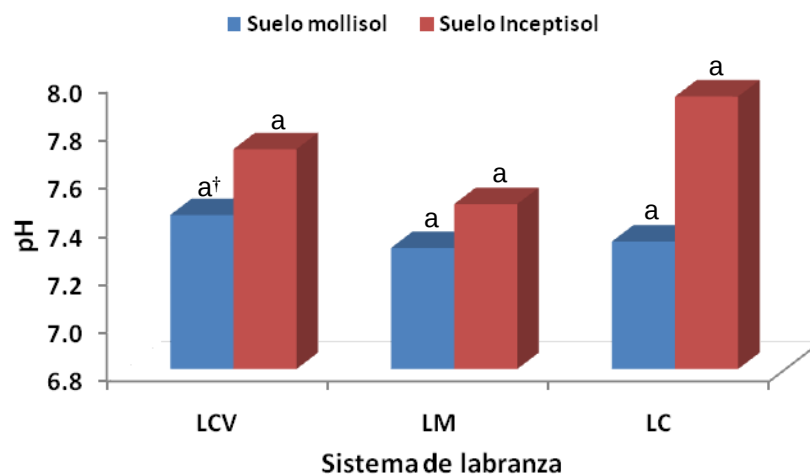


Figura 36. pH del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de frijol.

†: Barras con la misma letra, en cada tipo de suelo, no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.2.2 Carbono orgánico de 1 a 34 cm de profundidad

De igual forma que en la cantidad de pH del suelo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en el CO, sin embargo, se pudo observar que el CO encontrado en el sistema de labranza cero fue mayor al sistema de labranza mínima y convencional, dicha tendencia se manifestó tanto en el suelo Mollisol como en el Inceptisol (Figura 37). Constantin *et al.* (2009) no encontraron diferencias estadísticas entre el sistema de labranza convencional (1.05%) y cero (1.04%), sin embargo, obtuvieron una ligera cantidad mayor de CO en el sistema de labranza convencional.

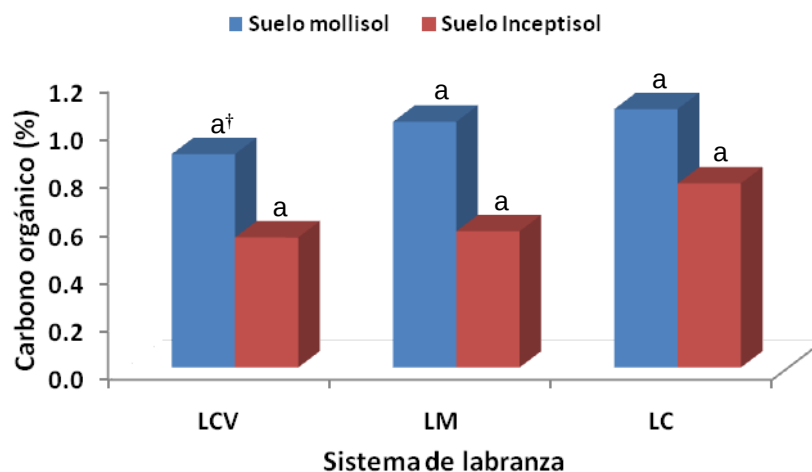


Figura 37. Carbono orgánico del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de frijol.

†: Barras con la misma letra, en cada tipo de suelo, no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.2.3 Materia orgánica de 1 a 34 cm de profundidad

No se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de MO en ambos tipos de suelos (Figura 38). No obstante, se presentó una tendencia similar a la cantidad de NT, ya que para ambos tipos de suelo la cantidad de MO fue mayor en el sistema de labranza cero, seguido por el sistema de labranza mínima y por último el sistema de labranza convencional. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Chen *et al.* (2010), ya que no reportan diferencias entre los sistemas de labranza del suelo a una profundidad de 0 a 30 cm, sin embargo, este autor determinó que el sistema de labranza mínima (0.961%) mostró el mayor contenido de MO con respecto a los sistemas de labranza cero (0.899%) y convencional (0.827%).

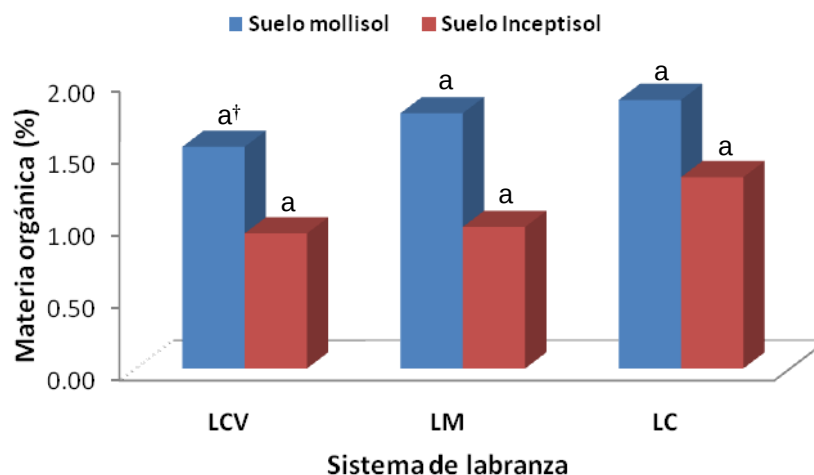


Figura 38. Materia orgánica del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de frijol.

†: Barras con la misma letra, en cada tipo de suelo, no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.2.4 Nitrógeno de 1 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

En el suelo Mollisol se encontraron diferencias estadísticas para la variable de NT, en donde el sistema de labranza cero (0.157%) presentó un valor superior al sistema de labranza mínima (0.150%), siendo estos a su vez iguales estadísticamente entre sí, manifestando estos sistemas de labranza diferencias estadísticas con el sistema de labranza convencional (0.129%). Una tendencia similar se observó en el suelo Inceptisol dado que el sistema de labranza cero (1.22%) mostró valores superiores de NT en relación al sistema de labranza mínima (0.098%) y labranza convencional (0.092%), en los cuales se encontraron diferencias estadísticas con el sistema de labranza cero (Figura 39).

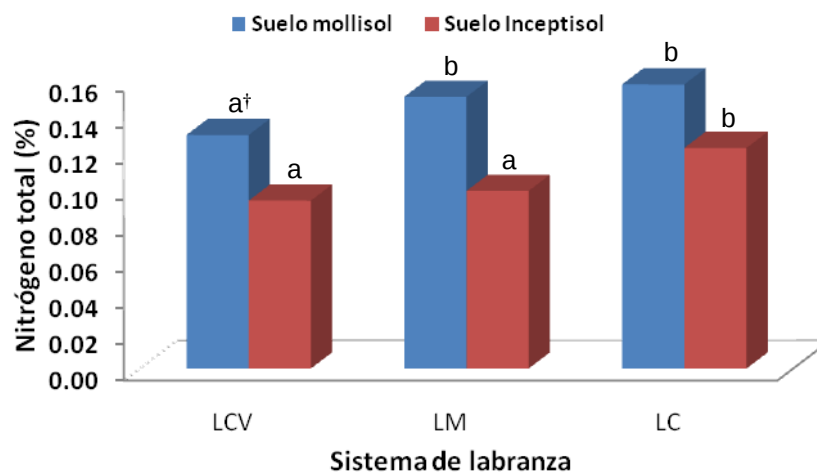


Figura 39. Nitrógeno total del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de frijol.

†: Barras con la misma letra, en cada tipo de suelo, no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

Según Chen *et al.* (2010) no reportaron diferencias estadísticas en el contenido de NT a una profundidad de 0 a 30 cm, sin embargo, encontraron que el sistema de labranza mínima (0.094%) mostró el mayor contenido de NT en relación al sistema de labranza cero (0.084%) y convencional (0.082%). Por otro lado, Constantin *et al.* (2009) no encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza convencional y cero, ya que en ambos sistemas reportaron 0.114% de NT.

6.2.5 Fósforo extractable de 1 a 34 cm de profundidad

En cuanto a la cantidad de PE no se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza. Se halló un comportamiento similar en ambos tipos de suelo, tal que el sistema de labranza cero mostró una ligera superioridad sobre la labranza mínima y convencional (Figura 40).

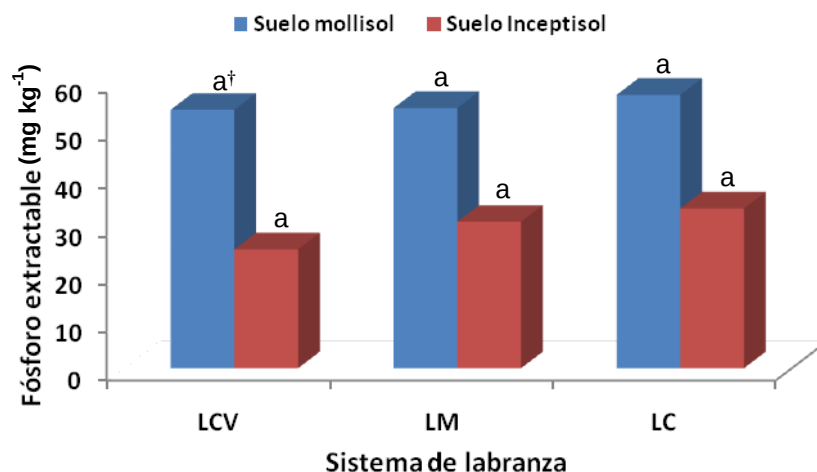


Figura 40. Fósforo extractable del suelo a la profundidad 1 a 34 cm por sistema de labranza y tipo de suelo con el cultivo de frijol.

†: Barras con la misma letra, en cada tipo de suelo, no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

En las variables de NT, MO, CO y PE se encontró que los sistemas de labranza de conservación, independientemente del tipo de suelo, tiende a aumentar la cantidad de estas.

6.3 Propiedades físicas en el perfil de los suelos Mollisol e Inceptisol en los sistemas de labranza

6.3.1 Densidad aparente

En el suelo Mollisol se apreció un incremento en la Dap en los tres sistemas de labranza del suelo, en donde se presentaron diferencias estadísticas en la profundidad de 16 a 19 cm, mientras que en el suelo Inceptisol, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en el perfil del suelo (Figura 41).

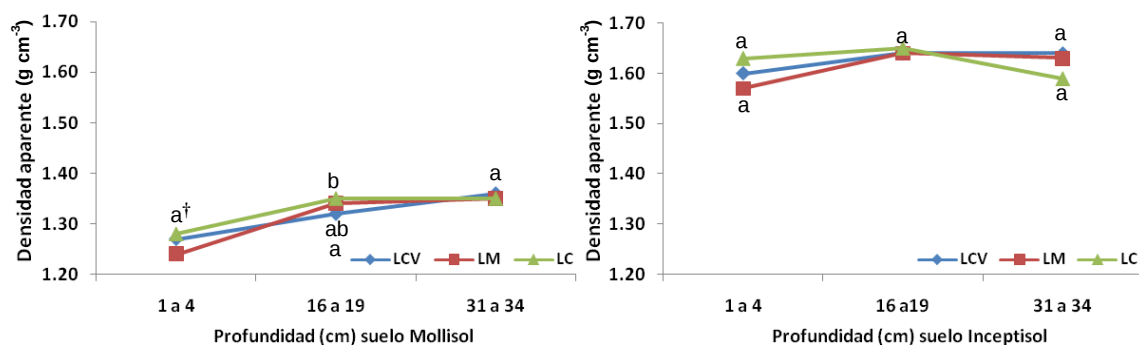


Figura 41. Comportamiento de la densidad aparente en el perfil del suelo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos en los suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Puntos con la misma letra en cada profundidad y tipo de suelo no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.4 Propiedades químicas en el perfil de los suelos Mollisol e Inceptisol en los sistemas de labranza

6.4.1 pH

Tanto en el suelo Mollisol como en el Inceptisol no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los sistemas de labranza en las profundidades de muestreo, no obstante, se apreció un aumento del pH en los tres sistemas de labranza en ambos suelos (Figura 42).

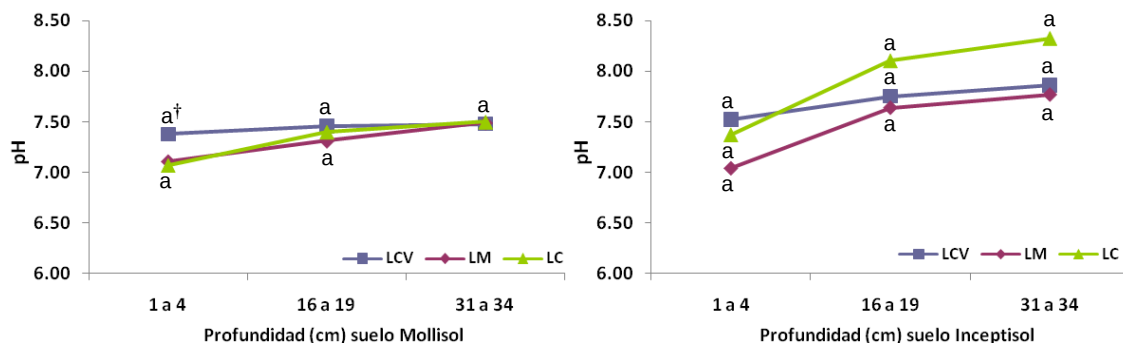


Figura 42. Comportamiento del pH en el perfil del suelo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos en los suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Puntos con la misma letra en cada profundidad y tipo de suelo no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.4.2 Carbono orgánico del suelo

No se encontraron diferencias estadísticas en el contenido de CO tanto en el suelo Mollisol como en el Inceptisol, por otra parte, se apreció que en el

sistema de labranza cero se obtuvo el mayor contenido de CO, seguido por el sistema de labranza mínima y convencional (Figura 43).

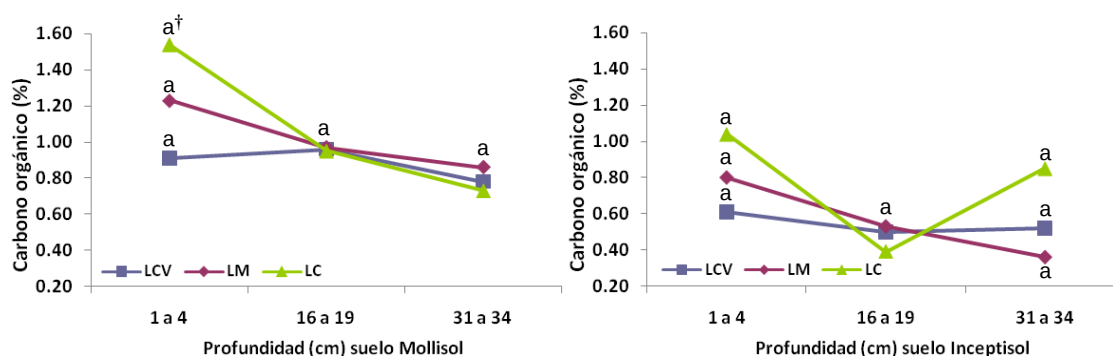


Figura 43. Comportamiento del carbono orgánico en el perfil del suelo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos de suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Puntos con la misma letra en cada profundidad y tipo de suelo no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.4.3 Materia orgánica

En los suelos Mollisol e Inceptisol no se encontraron diferencias estadísticas, sin embargo, se apreció que el contenido de MO fue mayor en el sistema de labranza cero con respecto a los sistemas de labranza mínima y convencional (Figura 44).

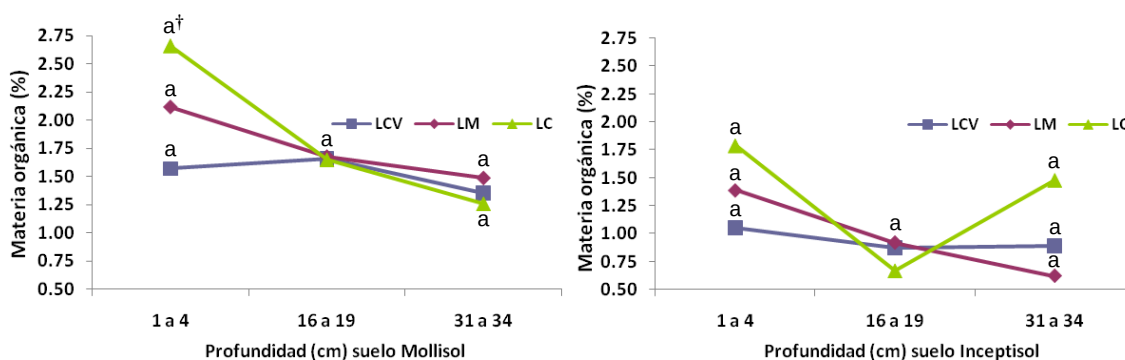


Figura 44. Comportamiento de la materia orgánica en el perfil del suelo por sistema y labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Puntos con la misma letra en cada profundidad y tipo de suelo no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.4.4 Nitrógeno total

Solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la profundidad de 1 a 4 cm en el suelo Mollisol, ya que el sistema de

labranza cero fue superior a los sistemas de labranza mínima y convencional. Se apreció una tendencia similar en el NT en los suelos Mollisol e Inceptisol, entre los tres sistemas de labranza a través del perfil en donde se encontró que la cantidad de NT disminuyó conforme se incrementa la profundidad de muestreo (Figura 45).

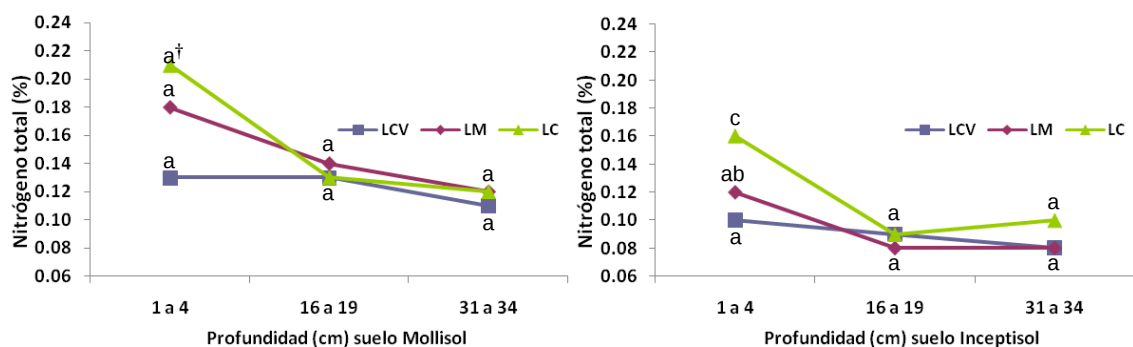


Figura 45. Comportamiento del nitrógeno total en el perfil del suelo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos de suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Puntos con la misma letra en cada profundidad y tipo de suelo no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.4.5 Fósforo extractable

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en la profundidad de 1 a 4 cm en el PE tanto en el suelo Mollisol como en el Inceptisol, así mismo, se apreció una disminución del fósforo extractable a través del perfil del suelo (Figura 46)

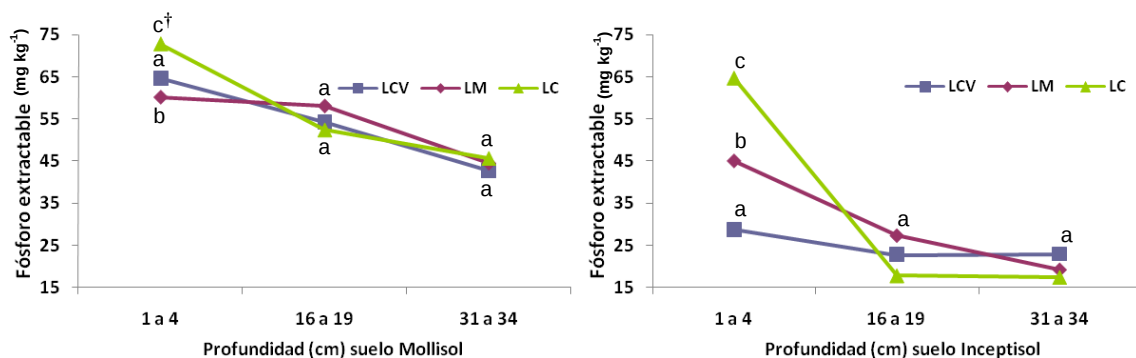


Figura 46. Comportamiento del Fósforo extractable en el perfil del suelo por sistema y labranza y profundidad en dos tipos de suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Puntos con la misma letra en cada profundidad y tipo de suelo no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.5 Propiedades físicas del suelo de 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

En la profundidad 1 a 4 cm en el suelo Mollisol e Inceptisol, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la Dap entre los sistemas de labranza aplicados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de labranza de 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Variables	LCV [†]	LM	LC	R ²	CV	DMS
Mollisol						
Densidad aparente (g cm^{-3})	1.27 ^{a¶}	1.24 ^a	1.28 ^a	0.91	2.25	0.137
Inceptisol						
Densidad aparente (g cm^{-3})	1.60 ^a	1.57 ^a	1.63 ^a	0.95	2.37	0.182

[†]: LCV= Labranza convencional, LM= Labranza mínima, LC= Labranza cero.

[¶]: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey ($p \leq 0.05$).

En el suelo Mollisol Bornios (2008) a los nueve años de tratamiento no encontró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la Dap, sin embargo, en el suelo Mollisol el sistema de labranza convencional (0.99 g cm^{-3}) mostró una densidad menor con respecto al sistema de labranza mínima (1.15 g cm^{-3})

Los valores obtenidos en la Dap del suelo en ambos tipos de suelo, manifestaron la misma tendencia, en donde el sistema de labranza mínima mostró la menor Dap, seguido por el sistema de labranza convencional, mientras que la mayor Dap se encontró en el sistema de labranza cero, estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Chen *et al.* (2010) cuyos valores de Dap fueron mayores en el sistema de labranza convencional (1.47 g cm^{-3}) seguidos por los sistemas de labranza cero (1.33 g cm^{-3}) y mínima (1.25 g cm^{-3}).

En la profundidad 1 a 4 cm del suelo Inceptisol no se encontraron diferencias estadísticas en la Dap, sin embargo se apreció una disminución de este valor en el sistema de labranza cero. Con respecto al sistema de labranza convencional, Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, reportó en el suelo

Inceptisol que el sistema de labranza cero (1.12 g cm^{-3}) fue superior al sistema de labranza convencional (0.84 g cm^{-3}).

6.6 Propiedades químicas del suelo de 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

En la profundidad 1 a 4 cm en el suelo Mollisol, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en las variables pH, CO, MO y NT entre los sistemas de labranza aplicados (Cuadro 3).

Cuadro 3. Propiedades químicas del suelo en los sistemas de labranza a 1 a 4 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Variables	LCV†	LM	LC	R ²	CV	DMS
Mollisol						
pH	7.38 ^{a¶}	7.11 ^a	7.07 ^a	0.93	1.56	0.540
Carbono orgánico (%)	0.91 ^a	1.23 ^a	1.54 ^a	0.97	11.14	0.659
Materia orgánica (%)	1.57 ^a	2.12 ^a	2.66 ^a	0.97	11.14	1.136
Nitrógeno total (%)	0.13 ^a	0.18 ^a	0.21 ^a	0.88	14.94	0.130
Fósforo extractable (mg kg^{-1})	64.68 ^a	60.09 ^b	72.74 ^c	0.99	0.90	2.831
Inceptisol						
pH	7.52 ^a	7.04 ^a	7.37 ^a	0.89	7.30	2.570
Carbono orgánico (%)	0.61 ^a	0.80 ^a	1.04 ^a	0.92	22.50	0.887
Materia orgánica (%)	1.05 ^a	1.39 ^a	1.79 ^a	0.92	22.50	1.530
Nitrógeno total (%)	0.10 ^a	0.12 ^{ab}	0.16 ^b	0.97	8.88	0.561
Fósforo extractable (mg kg^{-1})	28.72 ^a	45.07 ^b	64.68 ^c	0.99	6.60	14.650

†: LCV= Labranza convencional, LM= Labranza mínima, LC= Labranza cero.

¶: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey ($p \leq 0.05$).

Las determinaciones de pH en el suelo Mollisol, indican una disminución de este valor en el sistema de labranza cero (7.38) seguido por el sistema de labranza mínima (7.11) y convencional (7.07). Galeana *et al.* (1999) reportaron que el pH del suelo estadísticamente no muestra cambios significativos por efecto de los diferentes sistemas de labranza a las profundidades de 0 a 5 cm; sin embargo, observaron una disminución en el pH en el sistema de labranza de cero (6.95) comparado el sistema de labranza convencional (7.05); Bravo *et al.* (2007) reportaron que los cambios en el pH del suelo debidos al efecto de los sistemas de labranza fueron estadísticamente diferentes entre el sistema de

labranza convencional (8.29) y cero (8.19), cuya tendencia concuerda con los resultados obtenidos es esta investigación.

Resultados similares de pH reportó Bornios (2008) en el suelo Mollisol, sin diferencias estadísticas, sin embargo, encontró una disminución en el pH en los sistemas de labranza cero (6.65) con respecto a la labranza convencional (6.88) en el suelo Mollisol.

Se detectó una disminución del pH en el suelo Inceptisol entre los sistemas de labranza, en donde el sistema de mínima fue menor (7.04) al sistema de labranza cero (7.37) y convencional (7.52). Bornios (2008) en el suelo Inceptisol reportó una tendencia contraria ya que encontró que el pH del sistema de labranza convencional (6.71) fue menor al pH del sistema de labranza mínima (6.75) y cero (6.77).

Deibert *et al.* (2002) en la profundidad 0 a 7 cm encontraron que el pH fue mayor en el sistema de labranza convencional (7.80), mientras que en el sistema de labranza mínima (7.70) y cero (7.70) obtuvieron una disminución en el pH.

Chen *et al.* (2010) determinaron que el efecto del sistema de labranza convencional (7.42) sobre el pH no fue estadísticamente diferente al que presentaron los sistemas de labranza mínima (7.38) y cero (7.43), sin embargo, estos dos sistemas si mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre sí.

No se encontraron diferencias estadísticas en CO, MO, NT en el suelo Mollisol. Se observó que el sistema de labranza cero obtuvo valores más elevados que los sistemas de labranza mínima y el sistema de labranza convencional.

Sánchez *et al.* (1998) encontraron tras seis años de tratamiento, que el contenido de CO en el sistema de labranza cero fue 1.52%, en el sistema de labranza mínima de 1.35%, y en el sistema de labranza convencional de 1.24%; por otra parte Bravo *et al.* (2007) reportaron que el contenido de CO en el suelo fue de 0.95% en labranza convencional y 1.2% en labranza cero; estos resultados se asemejan a los obtenidos en el suelo Mollisol, 0.92% en labranza de convencional y 1.54% en labranza cero.

En el contenido de MO Bornios (2008) en el suelo Mollisol, reportó 4.23% en LC, 3.62 en LM y 2.40% en LCV, mientras que en el NT halló 0.21% en LC, 0.14% en LM y 0.11% en LCV.

Por otro lado, los resultados muestran que a pesar de no existir diferencias estadísticas en el contenido de MO en el suelo Inceptisol, el sistema de labranza cero presentó mayor contenido a la labranza mínima y convencional con 1.79%, 1.39% y 1.05% respectivamente. Esta tendencia del contenido de MO fue similar a la encontrada por Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, 2.89% en el sistema de labranza cero, 2.32% en labranza mínima y 1.30% en labranza convencional.

Galeana, *et al.* (1999) obtuvieron resultados similares en el contenido de MO, ya que a pesar de no haber encontrado diferencias estadísticas, hallaron un incremento en el contenido de MO en el sistema de labranza cero (1.64%) con respecto al sistema de de labranza convencional (1.36%).

Bergh (1998) encontró que el contenido de MO en la capa superficial (0 a 5 cm) fue mayor bajo el sistema de labranza cero (6.14%) a la determinada en labranza mínima (5.57%) y labranza convencional, aunque no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre la labranza cero y mínima. Los mayores contenidos superficiales de MO se podrían atribuir a la mayor parte de los residuos de cosecha de dichos sistemas se descomponen en la superficie. Chen *et al.* (2010) hallaron diferencias estadísticas entre el sistema de labranza convencional (0.887%) y los sistemas de labranza mínima (1.191%) y cero (1.114%), en cuanto al contenido de MO en el suelo, siendo el sistema de labranza mínima el que obtuvo la mayor cantidad de NT.

Deibert *et al.* (2002) reportaron que el sistema de labranza convencional presentó una menor cantidad de MO en el suelo con el 4.25%, mientras que los sistemas de labranza mínima y cero obtuvieron 4.90% de MO.

Por otro lado, la cantidad de NT reportada por Bergh (1998) fue 0.276% en labranza cero, 0.248% en labranza mínima y 0.236% en labranza convencional, cuya tendencia corresponde a la encontrada en esta investigación en el suelo Mollisol. Chen *et al.* (2010) reportaron que en los sistemas de labranza del

suelo se manifestaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), donde el sistema de labranza mínima (0.116%) presentó la mayor cantidad de NT en el suelo, seguido por el sistema de labranza cero (0.1%) y convencional (0.087%).

Según Bornios (2008) los resultados obtenidos después de nueve años de tratamiento en el suelo Inceptisol, indican que el sistema de labranza convencional fue estadísticamente superior al sistema de labranza cero y mínima, en el contenido de NT, sin embargo, los resultados encontrados en esta investigación señalan que el sistema de labranza cero (0.16%) fue estadísticamente superior al sistema de labranza convencional (0.10%), mientras que el sistema de labranza mínima (0.12%) fue estadísticamente igual a ambos sistemas en el contenido de NT.

Según lo reportado por Deibert *et al.* (2002) el sistema de labranza convencional (7.0 mg kg^{-1}) mostró una tendencia superior a los sistemas de labranza mínima (6.2 mg kg^{-1}) y cero (6.1 mg kg^{-1}), en cuanto a la cantidad de N-NO_3 contenido en el suelo.

En el suelo Mollisol se encontró que el PE presentó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los sistemas de labranza cero (72.74 mg kg^{-1}), labranza convencional (64.68 mg kg^{-1}) y labranza mínima (60.09 mg kg^{-1}). Así mismo, Bornios (2008) en el suelo Mollisol, reporta un incremento en el PE en el sistema de labranza cero (56.84 mg kg^{-1}) con respecto a la labranza convencional (19.97 mg kg^{-1}). En el trabajo realizado por Bergh (1998) se reportó un comportamiento similar con el PE, ya que este autor encontró en el sistema de labranza cero 29.3 mg kg^{-1} , en labranza mínima 23.4 mg kg^{-1} y en labranza convencional 15.8 mg kg^{-1} .

Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre los sistemas de labranza para el PE en el suelo Inceptisol, con 64.68 mg kg^{-1} para la labranza cero, 45.07 mg kg^{-1} para la labranza mínima y 28.72 mg kg^{-1} en la labranza convencional. De igual modo Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, reportó diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) en la cantidad de PE, donde el sistema de labranza cero

(50.00 mg kg⁻¹) fue superior a la labranza mínima (45.97 mg kg⁻¹) y convencional (30.67 mg kg⁻¹).

Los resultados obtenidos en ambos tipos de suelo, indican que la cantidad de PE del suelo fue mayor en el sistema de labranza convencional que en el sistema de labranza cero. Esta tendencia fue encontrada por Bravo *et al.* (2007) donde se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre el sistema de labranza convencional (12.7 mg kg⁻¹) y cero (24.6 mg kg⁻¹). En contraparte, Deibert *et al.* (2002) reportaron que los sistemas de labranza de conservación fueron superiores en el contenido de PE en relación al sistema de labranza convencional, es decir, el sistema de labranza cero obtuvo 15.0 mg kg⁻¹, labranza mínima 10.5 mg kg⁻¹ y el sistema de labranza convencional 7.5 mg kg⁻¹.

6.7 Propiedades físicas del suelo de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

En el suelo Mollisol, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la Dap entre la labranza cero (1.35 g cm⁻³), mínima (1.34 g cm⁻³) y convencional (1.32 g cm⁻³). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Mora *et al.* (2001) en donde la Dap mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos de labranza, se observó un aumento en la Dap del tratamiento de labranza cero (1.00 g cm⁻³) a la profundidad de 0 a 15 cm comparado con labranza convencional (0.94 g cm⁻³). Bornios (2008) en el suelo Mollisol, no reportó diferencias estadísticas entre estos sistemas de labranza, no obstante, la mayor Dap se localizó en la labranza mínima (1.11 g cm⁻³) seguida por la labranza convencional (10.02 g cm⁻³) y cero (10.77 g cm⁻³). Según Chen *et al.* (2010) los valores obtenidos en la Dap no son estadísticamente diferentes, sin embargo, se apreció un incremento en la Dap en el siguiente orden: labranza cero (1.46 g cm⁻³), labranza mínima (1.48 g cm⁻³) y labranza convencional (1.52 g cm⁻³) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de labranza de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Variables	LCV [†]	LM	LC	R ²	CV	DMS
Mollisol						
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.32 ^{a¶}	1.34 ^{ab}	1.35 ^b	0.99	0.39	0.251
Inceptisol						
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.64 ^a	1.64 ^a	1.65 ^a	0.99	0.93	0.073

[†]: LCV= Labranza convencional, LM= Labranza mínima, LC= Labranza cero.

[¶]: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

En el suelo Inceptisol, no se encontraron diferencias estadísticas a esta profundidad en la Dap, esta misma tendencia fue reportada por Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, cuyo valor en el sistema de labranza convencional (1.03 g cm⁻³) fue menor al sistema de labranza mínima (1.18 g cm⁻³) y cero (1.12 g cm⁻³).

6.8 Propiedades químicas del suelo de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Las variables pH, CO, MO, NT y PE., no manifestaron diferencias estadísticas, a la profundidad 16 a 19 cm en el suelo Mollisol. Se observó una disminución en el pH del suelo por efecto de los sistemas de labranza, ya que el sistema de labranza cero se determinó 7.40, en labranza mínima 7.31 y en labranza convencional 7.46. Los valores determinados por Bornios (2008) en el suelo Mollisol se asemejan a los anteriormente descritos, ya que este autor valoró el sistema de labranza cero con un pH de 7.12, labranza mínima y labranza convencional con 7.07 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del suelo en los sistemas de labranza de 16 a 19 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Variables	LCV†	LM	LC	R ²	CV	DMS
Mollisol						
pH	7.46 ^{a¶}	7.31 ^a	7.40 ^a	0.96	0.47	1.666
Carbono orgánico (%)	0.96 ^a	0.97 ^a	0.95 ^a	0.27	21.43	0.996
Materia orgánica (%)	1.66 ^a	1.68 ^a	1.65 ^a	0.27	21.43	1.718
Nitrógeno total (%)	0.13 ^a	0.14 ^a	0.13 ^a	0.81	4.48	0.029
Fósforo extractable (mg kg ⁻¹)	54.24 ^a	58.01 ^a	52.43 ^a	0.57	26.45	69.830
Inceptisol						
pH	7.75 ^a	7.64 ^a	8.10 ^a	0.88	5.51	2.074
Carbono orgánico (%)	0.50 ^a	0.53 ^a	0.39 ^a	0.78	23.78	0.546
Materia orgánica (%)	0.87 ^a	0.92 ^a	0.67 ^a	0.78	23.78	0.941
Nitrógeno total (%)	0.09 ^a	0.08 ^a	0.09 ^a	0.98	4.23	0.018
Fósforo extractable (mg kg ⁻¹)	22.73 ^a	27.31 ^a	17.81 ^a	0.46	65.62	71.370

†: LCV= Labranza convencional, LM= Labranza mínima, LC= Labranza cero.

¶: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

En el suelo Inceptisol se determinó un incremento del pH en el sistema de labranza cero (8.10) con respecto al sistema de labranza convencional (7.75), de igual manera, Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, detectó un incremento en el pH en el sistema de labranza cero (7.05) con respecto a los sistemas de labranza mínima (6.81) y convencional (6.97), estos datos concuerdan con los resultados obtenidos por Deibert *et al.* (2002) en donde el sistema de labranza cero mostró un valor de pH de 7.85, mientras que en el sistema de labranza convencional encontraron 7.70, por otra parte el sistema de labranza mínima mostró un valor de pH de 7.80. Chen *et al.* (2010) no obtuvieron diferencias estadísticamente significativas (p≤0.05) entre los sistemas de labranza convencional (7.47), mínima (7.47) y cero (7.48). Los resultados aportados Bergh (1998) para el pH indican que no existe efecto de tratamientos, ya que en el sistema de labranza cero obtuvo 6.2, labranza mínima 6.2 y en el sistema de labranza convencional 6.3.

El contenido de MO en suelo Mollisol osciló de 1.65% a 1.66% entre el sistema de labranza convencional y cero respectivamente. Sin embargo, Bornios (2008) en el suelo Mollisol reportó que el sistema de labranza del suelo Mollisol fue de alrededor de 1.96% en el sistema de labranza cero y de 1.99%

en el sistema de labranza convencional. Cabe resaltar que el sistema de labranza mínima fue el que obtuvo la mayor cantidad de MO (2.05%) contenida en el suelo.

En cuanto al contenido de MO a la profundidad de 10 a 20 cm Bergh (1998) no encontró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), sin embargo, observó en el sistema de labranza cero presentó 4.65% de MO, mientras que en los sistemas de labranza mínima y convencional halló 4.95% y 5.03% respectivamente. En esta investigación se apreciaron disminuciones en el contenido de MO y PE en el suelo Inceptisol, en donde se obtuvo 0.87% en el sistema de labranza convencional, 0.92% en labranza mínima y 0.67% en labranza cero de MO. Bornios (2008) en el suelo Inceptisol en lo referente al contenido de MO en el sistema de labranza cero y labranza convencional una tendencia semejante, ya que el encontró 1.22% en LC y 1.25% en LCV. Mientras que en el sistema de labranza mínima reportó 1.21%.

Chen *et al.* (2010) no encontraron diferencias estadísticas en el contenido de MO en el suelo entre la aplicación de los sistemas de labranza, sin embargo, observaron el mismo comportamiento entre los sistemas de labranza convencional (0.76%) y cero (0.70%). Deibert *et al.* (2002) determinaron que el contenido de MO en los sistemas de labranza convencional (3.75%) y mínima (3.78%), fue menor al contenido de MO en el sistema de labranza cero (4.15%).

En el suelo Mollisol el NT contenido en el suelo se mantuvo constante a través de los sistemas de labranza (0.13% a 0.14%), de igual manera los valores obtenidos por Bornios (2008) en el suelo Mollisol, no sufrieron cambios entre los sistemas de labranza (0.11%).

Bornios (2008) no detectó diferencias por efecto de tratamientos en el suelo Inceptisol en el NT, ya que en el sistema de labranza cero halló 0.07%, 0.06% en labranza mínima y 0.07% en labranza convencional. Deibert *et al.* (2002) encontraron que la cantidad de NT en el sistema de labranza convencional (3.2%) fue mayor a la que se encontró en los sistemas de labranza de conservación, i.e, labranza mínima (2.0%) y cero (1.2%). Bergh

(1998) reportó un contenido de NT en el sistema de labranza cero de 0.22%, labranza mínima 0.22%, y en el sistema de labranza convencional 0.22%.

El PE encontrado en el sistema de labranza cero en el suelo Mollisol fue menor (52.43 mg kg^{-1}) al encontrado en el sistema de labranza convencional (54.24 mg kg^{-1}). Sin embargo, se obtuvo el máximo de PE en sistema de labranza mínima (58.01 mg kg^{-1}), mientras que Bornios (2008) en el suelo Mollisol reportó que el sistema de labranza mínima (49.58 mg kg^{-1}) arrojó el menor valor de PE, siendo que los sistemas de labranza convencional (54.67 mg kg^{-1}) y cero (51.52 mg kg^{-1}) mostraron la misma tendencia antes descrita.

La cantidad de PE encontrado en el suelo Inceptisol, fue superior en labranza mínima (27.31 mg kg^{-1}), mientras que en labranza convencional se encontraron 22.73 mg kg^{-1} , y 17.81 mg kg^{-1} , en cero, mientras que Bornios (2008) en el suelo Inceptisol determinó que la mayor cantidad de PE se encontró en el sistema de labranza convencional (25.33 mg kg^{-1}) seguido por el sistema de labranza mínima (18.67 mg kg^{-1}) y cero (18.33 mg kg^{-1}). Bergh (1998) encontró que el PE en el sistema de labranza cero fue 4.3 mg kg^{-1} , en labranza mínima de 0.5 mg kg^{-1} y 13.7 mg kg^{-1} En el sistema de labranza convencional. Deibert *et al.* (2002) reportaron que el contenido de PE en el sistema de labranza cero osciló alrededor de los 5.5 mg kg^{-1} . Mientras que en los sistemas de labranza mínima y convencional la cantidad de PE fue 4.0 mg kg^{-1} .

Chen *et al.* (2010) no reportaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la cantidad de NT no obstante, determinaron que la cantidad de NT presentó una ligera disminución en el sistema de labranza convencional (0.07%) con respecto a los sistemas de labranza mínima (0.07%) y cero (0.06%), mientras que en los resultados obtenidos en esta investigación indican que el NT entre los tres sistemas de labranza en los dos tipos de suelos, mostraron un comportamiento constante, ya que no se observaron diferencias por efecto de tratamientos.

6.9 Propiedades físicas del suelo de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

No se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza en el suelo Mollisol en la Dap a la profundidad de 31 a 34 cm del suelo Mollisol (Cuadro 6).

Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo en los sistemas de labranza de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Variables	LCV [†]	LM	LC	R ²	CV	DMS
Mollisol						
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.36 ^{a¶}	1.35 ^a	1.35 ^a	0.93	1.30	0.084
Inceptisol						
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.64 ^a	1.63 ^a	1.59 ^a	0.98	1.60	0.125

[†]: LCV= Labranza convencional, LM= Labranza mínima, LC= Labranza cero.

[¶]: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

La Dap del suelo Mollisol no mostró cambios a través de los sistemas de labranza, ya que se encontró 1.36 g cm⁻³ en el sistema de labranza convencional, mientras que en el sistema de labranza cero y labranza mínima 1.35 g cm⁻³. Bornios (2008) en el suelo Mollisol, no encontró diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza, sin embargo, el sistema de labranza cero obtuvo 1.11 g cm⁻³, la labranza mínima 1.14 g cm⁻³ y la labranza cero 1.13 g cm⁻³.

De acuerdo a la información obtenida en las profundidades de 31 a 34 cm del suelo Inceptisol, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p≤0.05), así mismo, no se halló una tendencia en donde los sistemas de labranza de conservación mostraran superioridad con relación al sistema de labranza convencional en la Dap.

La Dap reportada por Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, indica que no existen diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza convencional (0.95 g cm⁻³), mínima (0.97 g cm⁻³) y cero (0.93 g cm⁻³).

6.10 Propiedades químicas del suelo de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Se observó un incremento en el pH, y en el contenido PE del suelo Mollisol, con 7.48, 42.63 mg kg⁻¹ para la labranza convencional, 7.49, 44.53 mg kg⁻¹ para la labranza mínima y 7.50, 45.70 mg kg⁻¹ para la labranza cero. La tendencia sobre la cantidad de PE encontrada en esta investigación similar a la observada por Deibert *et al.* (2002) quienes encontraron 4.0 mg kg⁻¹, en el sistema de labranza convencional y 4.5 mg kg⁻¹ en el sistema de labranza cero. Bornios (2008) en el suelo Mollisol, no detectó diferencias estadísticas en el pH y PE entre los sistemas de labranza cero (7.1, 29.33 mg kg⁻¹), mínima (7.4, 34.67 mg kg⁻¹) y convencional (7.31, 26.67 mg kg⁻¹) respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Propiedades químicas del suelo en los sistemas de labranza de 31 a 34 cm de profundidad en los suelos Mollisol e Inceptisol

Variables	LCV†	LM	LC	R ²	CV	DMS
Mollisol						
pH	7.48 ^{a¶}	7.49 ^a	7.50 ^a	0.34	1.97	0.710
Carbono orgánico (%)	0.78 ^a	0.86 ^a	0.73 ^a	0.80	13.40	0.512
Materia orgánica (%)	1.35 ^a	1.49 ^a	1.26 ^a	0.80	13.40	0.884
Nitrógeno total (%)	0.11 ^a	0.12 ^a	0.12 ^a	0.53	11.66	0.066
Fósforo extractable (mg kg ⁻¹)	42.63 ^a	44.53 ^a	45.70 ^a	0.93	17.60	37.456
Inceptisol						
pH	7.86 ^a	7.77 ^a	8.32 ^a	0.76	7.32	2.810
Carbono orgánico (%)	0.52 ^a	0.36 ^a	0.85 ^a	0.82	62.32	1.743
Materia orgánica (%)	0.89 ^a	0.62 ^a	1.48 ^a	0.82	62.33	3.005
Nitrógeno total (%)	0.08 ^a	0.08 ^a	0.10 ^a	0.96	6.93	0.030
Fósforo extractable (mg kg ⁻¹)	22.85 ^a	19.18 ^a	17.42 ^a	0.35	84.25	80.298

†: LCV= Labranza convencional, LM= Labranza mínima, LC= Labranza cero.

¶: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

Los resultados obtenidos indican que el sistema de labranza cero en los dos tipos de suelo tuvo un incremento en el valor del pH con respecto al sistema de labranza convencional esta tendencia concuerda con las determinación de pH que realizaron Deibert *et al.* (2002) con valores de 8.10 en el sistema de labranza cero y 8.00 en el sistema de labranza convencional. Sin

embargo, los datos recabados por Bornios (2008) no concuerdan con los descritos en esta investigación, ya que Bornios (2009) determinó 6.94 en labranza cero, 6.99 en labranza mínima y 7.01 en labranza convencional en el suelo Inceptisol.

En el caso de la MO del suelo Mollisol se encontraron valores similares a los obtenidos por Bornios (2008); en el sistema de labranza cero se mantuvo constante con 1.35%, el sistema de labranza mínima pasó de 1.50% a 1.49% y el sistema de labranza convencional paso de 1.30% a 1.26%.

En las profundidad de 31 a 34 cm del suelo Inceptisol, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), entre los sistemas de labranza de conservación con relación al sistema de labranza convencional en el pH, CO, MO, NT y PE.

En el suelo Inceptisol se encontró que el sistema de labranza cero (1.48%) mostró un mayor contenido de MO que el sistema de labranza convencional (0.89%) este mismo comportamiento lo detectaron Deibert *et al.* (2002) quienes encontraron 2.95% de MO en el sistema de labranza convencional y 3.35% en el sistema de labranza cero. Por el contrario Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, determinó que el sistema de labranza cero y el convencional contenían la misma cantidad de MO con 1.06%, mientras que la labranza mínima mostró 1.01%.

La cantidad de NT del suelo Mollisol no mostró cambios entre los sistemas de labranza, ya que se obtuvo 0.12% en el sistema de labranza convencional y mínima, mientras que en el sistema de labranza cero se encontró 0.11%. A su vez Bornios (2008) en el suelo Mollisol reportó 0.07% de NT en el sistema de labranza cero, 0.08% en el de sistema labranza mínima y 0.07% de NT en el sistema de labranza convencional.

La cantidad de NT encontrado en el suelo Inceptisol, fue la misma en los sistemas de labranza convencional (0.08%) y labranza mínima (0.08%), mientras que el sistema de labranza cero (0.10%) mostró la mayor cantidad de NT almacenado. En contraste los resultados de Bornios (2008) en el suelo

Inceptisol indican que la cantidad de NT encontrada en los sistemas de labranza cero y labranza convencional fue igual (0.06%)

En el suelo Inceptisol se presentó un incremento de la cantidad de PE en el sistema de labranza cero con respecto a los sistemas de labranza mínima y convencional, no obstante, Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, solo reportó que el sistema de labranza cero (19.00 mg kg^{-1}) es inferior al sistema de labranza convencional (20.33 mg kg^{-1}) y estos a su vez muestran un contenido menor de PE que el sistema de labranza mínima (21.00 mg kg^{-1}).

Los resultados obtenidos en ambos suelos indican que los sistemas de labranza de conservación tienden a aumentar la cantidad de NT en el suelo, esta tendencia se contrapone a la obtenida por Deibert *et al.* (2002); quienes encontraron que el sistema de labranza convencional (4.1 mg kg^{-1}) mostró una mayor cantidad de nitrógeno en relación al sistema de labranza mínima (2.5 mg kg^{-1}) y cero (2.4 mg kg^{-1}).

6.11 Propiedades físicas del suelo por sistema de labranza y profundidad de muestreo en los suelos Mollisol e Inceptisol

6.11.1 Sistema de labranza convencional

La Dap encontrada en el suelo Mollisol mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre la profundidad 1 a 4 cm (1.27 g cm^{-3}) y 31 a 34 cm (1.36 g cm^{-3}), donde probablemente este efecto sea debido a la compactación del suelo por el paso de maquinaria, originando que la capa superficial sea menos densa que las capas inferiores.

En el suelo Inceptisol se apreció una menor Dap en la capa 1 a 4 cm (1.60 g cm^{-3}) que en la capa 16 a 19 cm (1.64 g cm^{-3}) y 31 a 34 cm (1.64 g cm^{-3}), siendo estos dos últimos estadísticamente diferentes con respecto a la profundidad 1 a 4 cm. El contenido de MO influye de manera directa en la Dap, ya que la MO proporciona un mayor espacio poroso y con ello una Dap menor (Cuadro 8).

Según los resultados reportados por Gal *et al.* (2007) la Dap fue mayor en las profundidades 15 a 30 cm y en la profundidad 5 a 15 cm con una Dap de 1.16 g cm^{-3} , que en la capa de 0 a 5 cm donde se obtuvo 1.13 g cm^{-3} .

Cuadro 8. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza convencional en los suelos Mollisol e Inceptisol

Tratamiento	1 a 4	16 a 19	31 a 34	R ²	CV	DMS
	cm					
	Mollisol					
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.27 ^{a†}	1.32 ^{ab}	1.36 ^b	0.94	1.6	0.613
	Inceptisol					
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.60 ^a	1.64 ^b	1.64a ^b	0.93	0.96	0.0455

†: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.11.2 Sistema de labranza mínima

En el suelo Mollisol se presentó un aumento gradual en la Dap del suelo, ya que se registró en la profundidad 1 a 4 cm una Dap de 1.24 g cm^{-3} , mientras que en las profundidades 16 a 19 cm se encontró 1.34 g cm^{-3} y en la profundidad 31 a 34 cm 1.35 g cm^{-3} , las profundidades 16 a 19 cm y 31 a 33 cm fueron estadísticamente diferentes de la profundidad 1 a 4 cm. Esto indica una compactación del suelo, teniendo la capa superior menor Dap que las capas inferiores (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza mínima en los suelos Mollisol e Inceptisol

Tratamiento	1 a 4	16 a 19	31 a 34	R ²	CV	DMS
	cm					
	Mollisol					
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.24 ^{a†}	1.34 ^b	1.35 ^b	0.98	0.91	0.035
	Inceptisol					
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.57 ^a	1.64 ^a	1.63 ^a	0.97	1.71	0.0806

†: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey ($p \leq 0.05$).

Gal *et al.* (2007) encontraron que la Dap fue mayor en la profundidad 15 a 30 cm con un valor de 1.40 g cm^{-3} , mientras que en la profundidad 5 a

15 cm observaron una Dap de 1.37 g cm^{-3} , y en la capa de 0 a 5 cm 1.26 g cm^{-3} .

6.11.3 Sistema de labranza cero

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la Dap del suelo Mollisol entre las profundidades 1 a 4 cm con 16 a 19 cm y 31 a 34 cm, con 1.28 g cm^{-3} , 1.36 g cm^{-3} y 1.35 g cm^{-3} , respectivamente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza cero en los suelos Mollisol e Inceptisol

Tratamiento	1 a 4	16 a 19	31 a 34	R ²	CV	DMS
	cm					
	Mollisol					
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.28 ^{a†}	1.35 ^b	1.35 ^b	0.97	0.66	0.0257
	Inceptisol					
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.63 ^{ab}	1.65 ^a	1.59 ^b	0.99	0.90	0.0428

†: Medias seguidas de la misma letra, en cada fila, no son diferentes estadísticamente, según Tukey ($p \leq 0.05$).

En el sistema de labranza cero del suelo Inceptisol se pudo observar diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en la Dap, en la cual no se presentó una tendencia en el comportamiento de la concentración en función de la profundidad.

6.12 Propiedades químicas del suelo por sistema de labranza y profundidad de muestreo en los suelos Mollisol e Inceptisol

6.12.1 Sistema de labranza convencional

Los resultados obtenidos de los muestreos aplicados a tres diferentes profundidades en el sistema de labranza convencional en el suelo Mollisol indican que el pH, MO, CO y PE, no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$); en estas variables se pudo observar que el mayor contenido de MO (1.57%), CO (0.91%), NT (0.14%) y PE (64.68 mg kg^{-1}) se encontró en la capa de 1 a 4 cm en relación a lo obtenido en la capa de 31 a 34 cm. El pH, mostró una tendencia diferente: en la capa 1 a 4 cm un de pH de 7.38, en la capa 16 a 19 cm 7.46 y en la capa 31 a 34 cm 7.48 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza convencional en los suelos Mollisol e Inceptisol

Tratamiento	pH	CO [†]	MO	NT	PE
		%			(mg kg ⁻¹)
Mollisol					
1 a 4 cm	7.38 ^{a¶}	0.91 ^a	1.57 ^a	0.13 ^a	64.68 ^a
16 a 19 cm	7.46 ^a	0.96 ^a	1.66 ^a	0.13 ^a	54.24 ^a
31 a 34 cm	7.48 ^a	0.78 ^a	1.35 ^a	0.11 ^b	42.63 ^a
R ²	0.23	0.62	0.62	0.91	0.8
CV	1.69	14.69	14.43	5.44	15
DMS	0.3669	0.3803	0.6442	0.0206	23.495
Inceptisol					
1 a 4 cm	7.52 ^a	0.61 ^a	1.05 ^a	0.10 ^a	28.72 ^a
16 a 19 cm	7.75 ^a	0.50 ^a	0.87 ^a	0.09 ^a	22.73 ^a
31 a 34 cm	7.86 ^a	0.52 ^a	0.89 ^a	0.08 ^a	22.85 ^a
R ²	0.85	0.67	0.67	0.61	0.76
CV	3.83	29.74	29.74	15.28	11.61
DMS	0.8604	0.4732	0.8158	0.414	8.3649

†: CO= Carbono orgánico, MO= Materia orgánica, NT= Nitrógeno total, PE= Fósforo extractable.

¶: Medias seguidas de la misma letra, en cada columna, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

En cuanto al NT del suelo Mollisol se encontraron diferencias estadísticas entre las profundidades 1 a 4 cm (0.13%), 16 a 19 cm (0.13%) con la profundidad 31 a 34 cm (0.11%). Se pudo observar que la mayor concentración de NT se encuentra almacenada en la capa superior del suelo.

En el sistema de labranza convencional aplicado en el suelo Inceptisol, no se encontraron diferencias estadísticas, entre las variables pH, CO, MO, NT, PE, sin embargo, el contenido de CO y MO fue superior en la capa 1 a 4 cm (0.61%, 1.05%) que en las capas 16 a 19 cm (0.50%, 0.87%) y 31 a 34 cm (0.52%, 0.89%).

En el suelo Inceptisol el PE se apreció que la mayor cantidad de este permaneció en la capa superficial del suelo, lo que probablemente sea causado por un efecto de estratificación, sin embargo, Crozier *et al.* (1999) reportaron que en el sistema de labranza convencional en la profundidad 0 a 5 cm se hallaron 28 g m⁻³, mientras que en la capa de 0 a 10 se encontraron 14 g m⁻³ de PE.

Según los resultados reportados por Gal *et al.* (2007) en el sistema de labranza convencional, el pH se incrementó conforme se descendió dentro del perfil: en la profundidad 0 a 5 cm se encontró 6.65 de pH, en los 5 a 15 cm 6.74 y en los 15 a 30 cm 6.78. La MO mostró una tendencia similar con 23.9 g kg⁻³ en los 0 a 5 cm, 24.1 g cm⁻³ en los 5 a 15 cm y 24.5 g cm⁻³ en los 15 a 30 cm. El nitrógeno no mostró cambios en las diferentes profundidades siendo este de 1.9 g cm⁻³.

6.12.2 Sistema de labranza mínima

En el sistema de labranza mínima del suelo Mollisol no se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en las variables de pH, CO MO y PE, sin embargo, se pudo apreciar que existe una disminución en el pH, presentándose el menor valor en la capa de 1 a 4 cm con (7.11), con la relación a la capa 31 a 34 cm con 7.49. Una tendencia similar se pudo observar en cuanto a la cantidad de CO, MO y PE, en la capa de 1 a 4 cm se encontró 1.23%, 2.12% y 60.10 mg kg⁻¹, respectivamente, en la profundidad de 31 a 34 cm 0.86%, 1.49% y 44.53 mg kg⁻¹ respectivamente, lo que parece indicar que en el sistema de labranza mínima, los residuos de cosecha tienden a acumularse en las capas superiores del suelo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza mínima en los suelos Mollisol e Inceptisol

Tratamiento	pH	CO [†]	MO %	NT	PE (mg kg ⁻¹)
Mollisol					
1 a 4 cm	7.11 ^{a¶}	1.23 ^a	2.12 ^a	0.18 ^a	60.09 ^a
16 a 19 cm	7.31 ^a	0.97 ^a	1.68 ^a	0.14 ^b	58.01 ^a
31 a 34 cm	7.49 ^a	0.86 ^a	1.49 ^a	0.12 ^b	44.53 ^a
R ²	0.69	0.62	0.62	0.91	0.49
CV	2.32	22.85	22.79	9.03	25.38
DMS	0.4922	0.6813	1.1729	0.0394	40.039
Inceptisol					
1 a 4 cm	7.04 ^a	0.80 ^a	1.39 ^a	0.12 ^a	45.07 ^a
16 a 19 cm	7.64 ^b	0.53 ^{ab}	0.92 ^{ab}	0.08 ^b	27.31 ^b
31 a 34 cm	7.77 ^b	0.36 ^b	0.62 ^b	0.08 ^b	19.18 ^b
R ²	0.99	0.87	0.88	0.99	0.97
CV	1.36	18.1	18.11	3.28	13.41
DMS	0.2964	0.2995	0.5165	0.0094	11.907

†: CO= Carbono orgánico, MO= Materia orgánica, NT= Nitrógeno total, PE= Fósforo extractable.

¶: Medias seguidas de la misma letra, en cada columna, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

El NT en el suelo Mollisol se encontró en mayor cantidad en la capa de 1 a 4 cm con 0.18%, seguido de la capa 16 a 19 cm con 0.14% y la capa 31 a 34 cm con 0.12%, siendo estas dos últimas estadísticamente diferentes de la primera capa de suelo. Este fenómeno se debe probablemente a la limitada incorporación de residuos de cosecha que existe en capas inferiores disminuyendo de esta forma la mineralización de la MO en dichas capas de suelo

En el suelo Inceptisol se encontraron diferencias estadísticas en el sistema de labranza mínima entre las profundidades de muestreo con las variables de pH, CO, MO, NT y PE. Así mismo, se pudo apreciar un gradiente de concentración de menor a mayor de la capa superior a la inferior, siendo más notorio en la cantidad de CO, MO y PE. La presencia de una mayor concentración en las capas superficiales indica que probablemente los procesos de mineralización se estén efectuando en dichas capas, ya que al no ser incorporados en su totalidad en el suelo este proceso no se realice en capas

inferiores, originando niveles inferiores de estas propiedades a los encontrados en las capas superiores.

Gal *et al.* (2007) encontraron en la 0 a 5 cm 7.05 de pH, 35.7 g kg⁻¹ de MO, y 2.8 g kg⁻¹ de NT, en la profundidad 5 a 15 cm con 5.94 de pH, 26.6 g kg⁻¹ de MO, y 2.1 g kg⁻¹ de NT; y en la profundidad 15 a 30 se halló 5.39 de pH, 22.9 g kg⁻¹ de MO y 1.8 g kg⁻¹ de NT, dicha tendencia fue similar a la encontrada en esta investigación.

6.12.3 Sistema de labranza cero

En el sistema de labranza cero del suelo Mollisol no se encontraron diferencias estadísticas entre las profundidades estudiadas con las variables de pH, CO, MO, NT y PE sin embargo, para el pH se obtuvieron valores menores en la capa 1 a 4 cm con 7.07, seguida de la capa 16 a 19 cm con 7.40, y la capa inferior de 31 a 34 cm con 7.50. No obstante, para la CO, MO y PE se encontró una distribución contraria, es decir, en las capas superiores se hallaron concentraciones más altas que en las capas subsecuentes (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de medias de tres profundidades de muestreo en labranza cero en los suelos Mollisol e Inceptisol

Tratamiento	pH	CO [†]	MO	NT	PE
		%			(mg kg ⁻¹)
Mollisol					
1 a 4 cm	7.07 ^{a¶}	1.54 ^a	2.66 ^a	0.21 ^a	72.74 ^a
16 a 19 cm	7.40 ^b	0.95 ^a	1.65 ^a	0.13 ^b	52.43 ^a
31 a 34 cm	7.50 ^b	0.73 ^a	1.26 ^a	0.12 ^b	45.70 ^a
R ²	0.97	0.72	0.72	0.9	0.63
CV	0.62	30.95	30.62	13.37	29.8
DMS	0.1326	0.9719	1.6575	0.0613	49.4
Inceptisol					
1 a 4 cm	7.37 ^a	1.04 ^a	1.79 ^a	0.16 ^a	64.68 ^a
16 a 19 cm	8.10 ^{ab}	0.39 ^a	0.67 ^a	0.09 ^b	17.81 ^b
31 a 34 cm	8.32 ^b	0.85 ^a	1.48 ^a	0.10 ^b	17.42 ^b
R ²	0.87	0.78	0.78	0.95	0.94
CV	3.87	44.81	44.81	9.7	24.62
DMS	0.893	0.996	1.717	0.0345	23.869

†: CO= Carbono orgánico, MO= Materia orgánica, NT= Nitrógeno total, PE= Fósforo extractable.

¶: Medias seguidas de la misma letra, en cada columna, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

En el suelo Mollisol el NT se encontró en una concentración de 0.21%, 0.13% y 0.12% en las capas de 1 a 4 cm, 16 a 19 cm y 31 a 34 cm, donde se hallaron diferencias estadísticas entre la profundidad 1 a 4 cm con las profundidades 16 a 19 cm y 31 a 34 cm.

En el sistema de labranza cero del suelo Inceptisol se pudo observar diferencias estadísticas en las variables de Dap, pH, NT y PE, en las cuales no se presentó una tendencia en el comportamiento de la concentración en función de la profundidad, a excepción del PE, el cual presentó la mayor cantidad almacenada en el suelo en la profundidad 1 a 4 cm con un valor 64.68 mg kg⁻¹, seguida de la profundidad 16 a 19 cm con 17.81 mg kg⁻¹, y la profundidad de 31 a 34 cm con 17.42 mg kg⁻¹. Esta tendencia concuerda con la obtenida por Crozier *et al.* (1999) ya que reportaron que en la capa de 0 a 10 cm hubo 34 g m⁻³ mientras que en la capa de 0 a 5 cm se hubo 43 g m⁻³ de PE. Por otro lado, se pudo apreciar una mayor cantidad de CO, MO y NT en la capa 1 a 4 cm que la capa 31 a 34 cm. Probablemente este fenómeno esté relacionado con la nula incorporación de MO por el efecto del paso de maquinaria, lo que ha

originado una disminución de estas propiedades en las capas más profundas. Este efecto según, Crozier *et al.* (1999) se debe probablemente a que el uso de los implementos de labranza como los discos, arados, cinceles o incluso los subsoladores, no realizan una mezcla homogénea del suelo.

6.13 Propiedades físicas del suelo a dos distanciamientos de los surcos a la hilera de árboles en los suelos Mollisol e Inceptisol

En del distanciamiento del surco de frijol a la hilera de los árboles, no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la Dap. Se apreció que en el sistema de labranza cero la Dap fue mayor en LC-A (1.35 g cm^{-3}) mientras que en el LC-B se encontró 1.34 g cm^{-3} y en el LC-T 1.33 g cm^{-3} de Dap (Cuadro 14).

Cuadro 14. Comparación de medias a dos distancias de muestreo a la hilera de árboles en tres sistemas de labranza en el suelo Mollisol a una profundidad de 1 a 34 cm

Tratamiento	Mollisol	Inceptisol
	Dap (g cm^{-3}) [†]	
LCV-A [¶]	1.31 ^{a§}	1.59 ^a
LCV-B	1.29 ^a	1.65 ^a
LCV-T	1.32 ^a	1.65 ^a
LM-A	1.34 ^a	1.73 ^a
LM-B	1.29 ^a	1.80 ^a
LM-T	1.33 ^a	1.61 ^a
LC-A	1.35 ^a	1.63 ^a
LC-B	1.34 ^a	1.66 ^a
LC-T	1.33 ^a	1.61 ^a
R ²	0.75	0.80
CV	2.95	6.27
DMS	0.1434	0.4097

[†]: Dap= Densidad aparente.

[¶]: LCV-A=Labranza convencional a 1.5 m de la hilera de árboles, LCV-B= Labranza convencional a 2.25 m de la hilera de árboles, LCV-T=Labranza convencional centro de parcela, LM-A=Labranza mínima a 1.5 m de la hilera de árboles, LM-B= Labranza mínima a 2.25 m de la hilera de árboles, LM-T= Labranza mínima centro de parcela, LC-A=Labranza cero a 1.5 m de la hilera de árboles, LC-B= Labranza cero a 2.25 m de la hilera de árboles, LC-T= Labranza cero centro de parcela.

[§]: Medias seguidas de la misma letra, en cada columna, no son diferentes estadísticamente, según Tukey ($p \leq 0.05$).

6.14 Propiedades químicas del suelo a dos distanciamientos de los surcos a la hilera de árboles en el suelo Mollisol

Los resultados del análisis de varianza donde se evaluó el efecto del distanciamiento del surco de frijol a la hilera de los árboles, mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en el pH y PE. (Cuadro 15).

Cuadro 15. Comparación de medias a dos distancias de muestreo a la hilera de árboles en tres sistemas de labranza en el suelo Mollisol a una profundidad de 1 a 34 cm

Tratamiento	pH	CO [†]	MO	NT	PE
			%		(mg kg ⁻¹)
LCV-A [¶]	7.41 ^{a§}	1.09 ^{ab}	1.88 ^{ab}	0.14 ^{bc}	69.13 ^a
LCV-B	7.52 ^a	0.94 ^{ab}	1.62 ^{ab}	0.15 ^{abc}	70.31 ^a
LCV-T	7.44 ^a	0.89 ^a	1.54 ^a	0.13 ^c	53.85 ^a
LM-A	7.44 ^a	1.13 ^{ab}	1.94 ^{ab}	0.16 ^{abc}	65.59 ^a
LM-B	7.50 ^a	1.15 ^{ab}	1.98 ^{ab}	0.16 ^{abc}	64.29 ^a
LM-T	7.30 ^a	1.03 ^{ab}	1.77 ^{ab}	0.15 ^{abc}	54.22 ^a
LC-A	7.28 ^a	1.35 ^b	2.33 ^b	0.19 ^a	83.24 ^a
LC-B	7.39 ^a	1.13 ^{ab}	1.94 ^{ab}	0.17 ^{ab}	77.44 ^a
LC-T	7.33 ^a	1.08 ^{ab}	1.86 ^{ab}	0.16 ^{abc}	56.96 ^a
R ²	0.88	0.76	0.76	0.88	0.90
CV	0.94	15.60	15.50	7.73	13.07
DMS	0.2816	0.4442	0.7633	0.0384	37.421

†: CO= Carbono orgánico, MO= Materia orgánica, NT= Nitrógeno total, PE= Fósforo extractable.

¶: LCV-A=Labranza convencional a 1.5 m de la hilera de árboles, LCV-B= Labranza convencional a 2.25 m de la hilera de árboles, LCV-T=Labranza convencional centro de parcela, LM-A=Labranza mínima a 1.5 m de la hilera de árboles, LM-B= Labranza mínima a 2.25 m de la hilera de árboles, LM-T= Labranza mínima centro de parcela, LC-A=Labranza cero a 1.5 m de la hilera de árboles, LC-B= Labranza cero a 2.25 m de la hilera de árboles, LC-T= Labranza cero centro de parcela.

§: Medias seguidas de la misma letra, en cada columna, no son diferentes estadísticamente, según Tukey ($p \leq 0.05$).

Los contenidos de CO y el MO en el sistema de labranza cero presentaron valores estadísticamente más elevados ($p \leq 0.05$), conforme la distancia del surco a la hilera de los árboles es menor. Este comportamiento se presentó en el contenido de NT en donde el primer surco contiguo a la hilera de los árboles tuvo 0.19%, el segundo 0.17% mientras que en el testigo 0.16%. Así mismo las diferencias encontradas en este sistema se localizaron entre los tratamientos LC-A y LC-T.

Se encontró que la cantidad de NT más baja se localizó en el tratamiento LCV-T (0.13%), mientras que la cantidad más alta se obtuvo en el tratamiento LC-A (0.19%), dicha tendencia corresponde a los valores que se encontraron de MO, dado que se observó que la mayor cantidad de MO se halló en el tratamiento LC-A (2.33%) y la menor cantidad en el tratamiento LCV-T (1.54%)

6.15 Propiedades químicas del suelo a dos distanciamientos de los surcos a la hilera de árboles en el suelo Inceptisol

No se encontraron diferencias estadísticas en las variables de da, pH, NT y PE. Los valores obtenidos de CO y MO, indican que el tratamiento que mostró un incremento fue el LCV-B, mientras que LM-T fue el de menor cantidad de MO; ambos tratamientos fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 16).

Cuadro 16. Comparación de medias a dos distancias de muestreo a la hilera de árboles en tres sistemas de labranza en el suelo Inceptisol a una profundidad de 1 a 34 cm

Tratamiento	pH	CO [†]	MO %	NT	PE (mg kg ⁻¹)
LCV-A [¶]	7.03 ^{a§}	0.85 ^{abc}	1.48 ^{abc}	0.099 ^a	40.10 ^a
LCV-B	7.17 ^a	1.32 ^a	2.28 ^a	0.096 ^a	39.89 ^a
LCV-T	7.77 ^a	0.59 ^{bc}	1.02 ^{bc}	0.100 ^a	25.50 ^a
LM-A	7.03 ^a	0.95 ^{abc}	1.64 ^{abc}	0.115 ^a	43.89 ^a
LM-B	7.06 ^a	1.12 ^{abc}	1.93 ^{abc}	0.111 ^a	37.38 ^a
LM-T	7.48 ^a	0.56 ^c	0.98 ^c	0.098 ^a	30.52 ^a
LC-A	7.19 ^a	1.22 ^{ab}	2.10 ^{ab}	0.115 ^a	32.97 ^a
LC-B	7.20 ^a	1.17 ^{abc}	2.02 ^{abc}	0.107 ^a	33.93 ^a
LC-T	7.87 ^a	0.71 ^{abc}	1.23 ^{abc}	0.114 ^a	32.56 ^a
R ²	0.90	0.83	0.832	0.78	0.83
CV	5.19	26.09	26.09	11.13	30.63
DMS	2.196	0.649	1.119	0.0379	48.333

†: CO= Carbono orgánico, MO= Materia orgánica, NT= Nitrógeno total, PE= Fósforo extractable.

¶: LCV-A=Labranza convencional a 1.5 m de la hilera de árboles, LCV-B= Labranza convencional a 2.25 m de la hilera de árboles, LCV-T=Labranza convencional centro de parcela, LM-A=Labranza mínima a 1.5 m de la hilera de árboles, LM-B= Labranza mínima a 2.25 m de la hilera de árboles, LM-T= Labranza mínima centro de parcela, LC-A=Labranza cero a 1.5 m de la hilera de árboles, LC-B= Labranza cero a 2.25 m de la hilera de árboles, LC-T= Labranza cero centro de parcela.

§: Medias seguidas de la misma letra, en cada columna, no son diferentes estadísticamente, según Tukey (p≤0.05).

En los tres sistemas de labranza se observó que el menor valor de pH se registró en el distanciamiento de 1.5 m seguido del 2.25 m y al final por el tratamiento testigo en los tres sistemas de labranza.

El PE presentó un comportamiento análogo, ya que éste mostró un gradiente de concentración en función al distanciamiento del surco, donde a mayor distancia, menor la concentración de PE, y por consiguiente, a menor distancia del surco a la hilera de los árboles, mayor fue el contenido de PE encontrado, de acuerdo a los parámetros de muestreo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la distancia de los surcos a la hilera de los árboles influye de manera directa sobre el contenido de NT, CO, MO, PE, ya que la cantidad contenida en el suelo tiende a incrementarse a medida que se acerca el surco a la hilera de árboles, en donde los árboles al poseer un sistema radical más profundo pueden tener acceso a una cantidad mayor de nutrientes, y una vez que las raíces comienzan con el proceso de descomposición estos elementos pueden estar disponibles a los cultivos, lo mismo que los residuos de las podas y la biomasa comprendida en las hojas; una vez que han cubierto su ciclo biológico ingresan al sistema y entran al ciclo de descomposición, mejorando así las condiciones del suelo (Quinkenstein, 2009).

6.16 Rendimiento de avena en el suelo Mollisol

El rendimiento de avena obtenido en los sistemas de labranza no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), sin embargo, se observó un mayor rendimiento en el sistema de labranza cero, con 4.16 t ha^{-1} , 3.81 t ha^{-1} en labranza mínima y 3.91 t ha^{-1} en labranza convencional (Figura 47). Contrario a lo observado por Martínez y Jasso (2005) en labranza de conservación con avena encontraron que en labranza cero (5.4 t ha^{-1}) una reducción en el rendimiento de avena en comparación con el sistema de labranza convencional (5.9 t ha^{-1}).

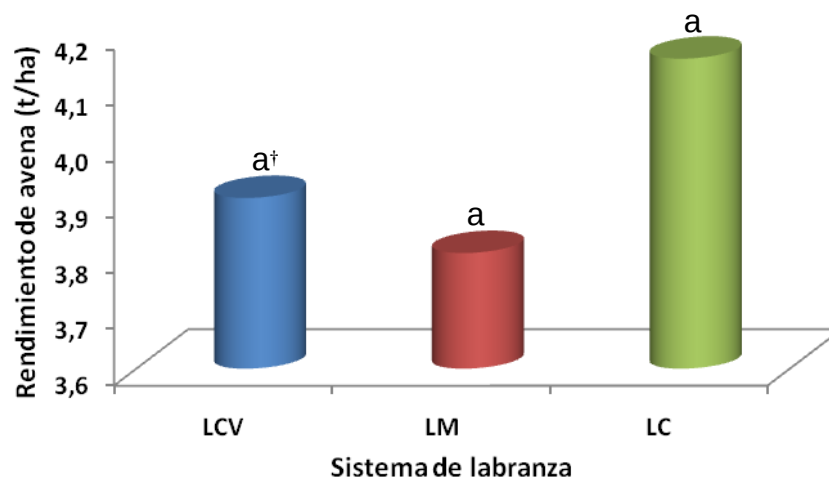


Figura 47. Comparación de medias de rendimiento de avena por sistema de labranza en el ciclo anterior al establecimiento de fríjol.

†: Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$). DMS= 92.178.

6.17 Residuos de poda de los árboles de durazno en el suelo Mollisol

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en la cantidad de residuos de poda incorporados al suelo por el sistema de poda de los árboles de durazno, sin embargo, se apreció que el sistema de poda de copa (4.54 t ha^{-1}) aportó una mayor cantidad de residuos al suelo, con respecto al sistema de poda V (3.64 t ha^{-1}) (Figura 48).

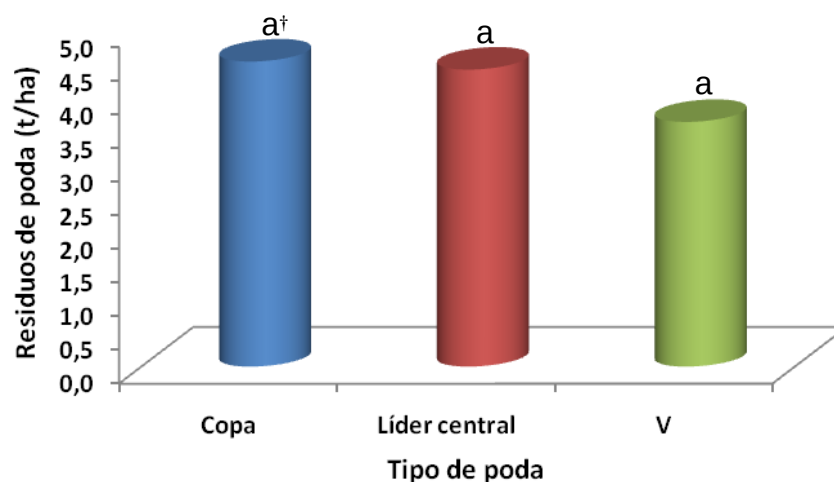


Figura 48. Comparación de medias de residuos de poda incorporados a la suelo de las hileras de árboles.

†: Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$) DMS 1992.3.

6.18 Componentes de rendimiento de fríjol

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los sistemas de labranza del suelo en las variables de número de plantas por hectárea, rendimiento de grano, rendimiento biológico, índice de cosecha y residuos de cosecha de fríjol en el suelo Mollisol e Inceptisol.

6.18.1 Número de plantas por hectárea

En el número de plantas por hectárea no se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza implementados en el suelo Mollisol. Se registró una mayor cantidad en el número de plantas por ha en el sistema de labranza convencional ($112,442 \text{ p ha}^{-1}$) sobre el sistema de labranza cero ($110,368 \text{ p ha}^{-1}$) y mínima ($101,331 \text{ p ha}^{-1}$); estos resultados son similares a los de Blackshaw *et al.* (2007) que en su estudio de producción de fríjol en labranza cero y convencional encontraron que no existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre ambos sistemas de manejo de suelo, sin embargo, determinaron que la densidad de población en labranza convencional ($410,000 \text{ p ha}^{-1}$) fue mayor con respecto a la que se presentaron en labranza cero ($390,000 \text{ p ha}^{-1}$). Deibert *et al.* (2002) reportaron que en el sistema de labranza cero se hallaron $204,000 \text{ p ha}^{-1}$, en sistema de labranza mínima 208 p ha^{-1} , mientras que en el sistema de labranza convencional se obtuvo $193,000 \text{ p ha}^{-1}$ (Figura 49).

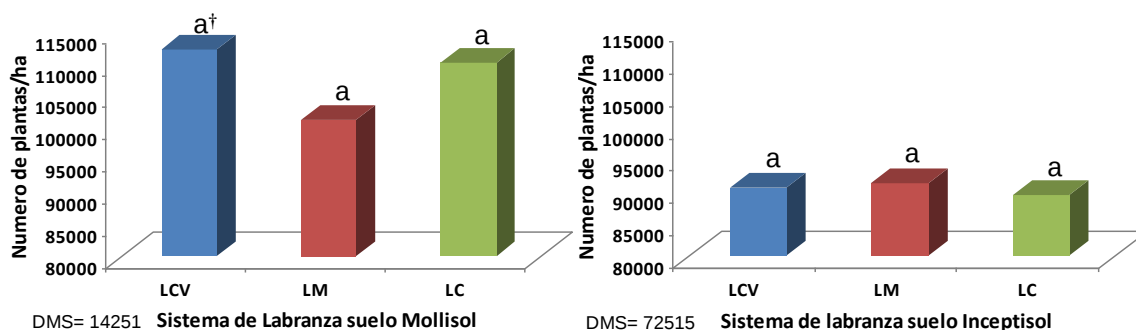


Figura 49. Densidad de población de fríjol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

Según lo reportado por Blackshaw *et al.* (2007) y Deibert *et al.* (2002) la densidad de población por hectárea en los suelos Mollisol e Inceptisol fue inferior a los que estos autores obtuvieron en el sistema de labranza cero, lo que probablemente haya tenido repercusiones en el rendimiento de grano por hectárea, originando de esta manera una pérdida en la productividad del suelo.

No se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza, en la densidad de población en el suelo Mollisol. El sistema de labranza mínima obtuvo el mayor número de plantas por hectárea, seguido del sistema de labranza convencional y mínima. Los valores sobre la densidad de población concuerdan con los obtenidos por Deibert (1995) reportó una mayor densidad de población en el sistema de labranza mínima (213, 000 p ha⁻¹) que en el sistema de labranza convencional (205, 000 p ha⁻¹).

6.18.2 Rendimiento de grano de frijol

En los suelo Mollisol e Inceptisol se apreció la misma tendencia donde el sistema de labranza mínima fue superior en términos absolutos a los sistemas de labranza convencional y mínima, sin embargo, en el suelo Mollisol, se obtuvieron mayores valores promedio en términos absolutos como resultado de la aplicación de los sistemas de labranza del suelo (Figura 50).

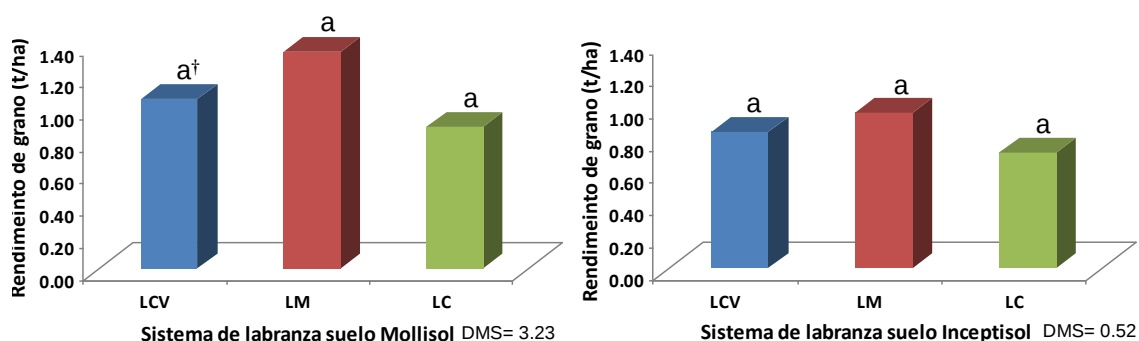


Figura 50. Rendimiento de frijol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.
†: Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

El sistema de labranza mínima del suelo Mollisol (1.35 t ha⁻¹) mostró el mayor rendimiento por hectárea sobre los sistemas de labranza convencional (1.06 t ha⁻¹) y cero (0.88 t ha⁻¹). Se presentó una estrecha relación entre el

número de plantas por hectárea y el rendimiento de grano por ha. Resultados similares fueron obtenidos por Rojas y Chávez (2002) la labranza mínima reportaron un rendimiento de 0.930 t ha^{-1} , mientras que en labranza convencional el rendimiento fue de 0.676 t ha^{-1} .

Los resultados de rendimiento de grano promedio obtenidos por Bornios (2008) en el suelo Inceptisol, no fueron estadísticamente diferentes, sin embargo, señalan que el sistema de labranza convencional (0.44 t ha^{-1}) fue superior al sistema de labranza mínima (0.43 t ha^{-1}) y cero (0.22 t ha^{-1}).

En el sistema de labranza mínima se presentó una mayor cantidad de rendimiento por hectárea, debido probablemente a una menor densidad de población, la cual haya favorecido un incremento en el rendimiento por planta, provocando que el rendimiento por hectárea fuera superior al de los sistemas con una mayor densidad de población.

No se hallaron diferencias estadísticas en el rendimiento por hectárea en el suelo Inceptisol, sin embargo, se observó la mayor producción de frijol en el sistema de labranza mínima (0.97 t ha^{-1}) y la menor en el sistema de labranza cero (0.72 t ha^{-1}). Bornios (2008) encontró que en el sistema de labranza cero (1.14 t ha^{-1}) se obtuvo mayor rendimiento por hectárea, en relación al sistema de labranza mínima (0.92 t ha^{-1}) y convencional (0.79 t ha^{-1}). En este sentido, Blackshaw *et al.* (2007) reportaron que el sistema de labranza convencional obtuvo un mayor rendimiento que en el sistema de labranza cero, con dos tipos de cobertura del suelo. En el primer caso el cultivo anterior fue trigo, en el cual se obtuvieron 2.65 t ha^{-1} en labranza convencional y 2.51 t ha^{-1} en labranza cero, mientras que con la cobertura de residuos de cebada se produjeron 3.06 t ha^{-1} en labranza convencional y 2.93 t ha^{-1} en labranza cero. En esta investigación el sistema de labranza convencional obtuvo mayor rendimiento de grano que el sistema de labranza cero.

No obstante, los resultados obtenidos por Deibert (1995) difieren con los obtenidos en este trabajo. Éste autor reportó el mayor rendimiento de grano en el sistema de labranza convencional con 0.91 t ha^{-1} , seguidos por los sistemas de labranza cero y mínima con 0.59 t ha^{-1} y 0.53 t ha^{-1} , respectivamente.

6.18.3 Rendimiento biológico de fríjol

En el suelo Mollisol como en el Inceptisol el rendimiento por hectárea de fríjol fue superior en términos absolutos en el sistema de labranza convencional son respecto a los sistemas de labranza mínima y cero.

Como se puede observar en la Figura 51 no se registraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza para el rendimiento biológico en el suelo Mollisol, sin embargo, se pudo apreciar que los sistemas de labranza convencional (3.56 t ha^{-1}) y mínima (3.55 t ha^{-1}) mostraron una mayor cantidad de materia seca producida con respecto a la labranza cero (1.93 t ha^{-1}). La misma tendencia fue hallada por Bornios (2008) ya que en su estudio el sistema de labranza convencional mostró rendimientos mayores (0.44 t ha^{-1}) a los obtenidos por el sistema de labranza mínima (0.43 t ha^{-1}) y cero (0.22 t ha^{-1}).

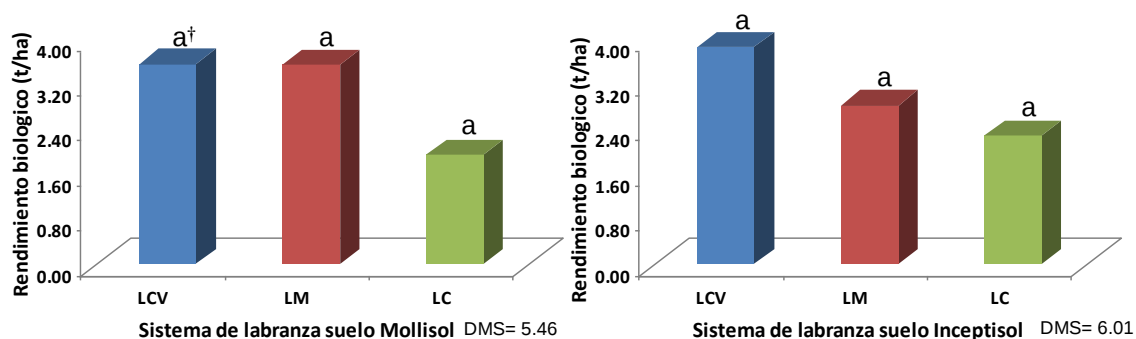


Figura 51. Rendimiento biológico de fríjol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

El rendimiento biológico no presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el suelo Inceptisol. El sistema de labranza convencional presentó el mayor rendimiento biológico (3.87 t ha^{-1}), seguido por el sistema de labranza mínima (2.83 t ha^{-1}). En el sistema de labranza cero se obtuvo el menor rendimiento biológico con 2.30 t ha^{-1} . Bornios (2008) encontró el menor rendimiento en el sistema de labranza convencional (1.74 t ha^{-1}) que en los sistemas de labranza mínima y cero (2.06 t ha^{-1} y 2.20 t ha^{-1} respectivamente).

Deibert *et al.* (2002) reportaron bajo el sistema de labranza convencional 1.65 t ha^{-1} , mientras que en los sistemas de labranza de conservación se

obtuvieron 1.43 t ha⁻¹ para el sistema de labranza mínima y 1.24 t ha⁻¹ para la labranza cero dicha tendencia corresponde con la hallada en esta investigación.

6.18.4 Índice de cosecha del frijol

Se observó que el índice de cosecha en el suelo Mollisol en los tres sistemas de labranza del suelo fue inferior en términos absolutos al encontrado en el suelo Inceptisol (Figura 52).

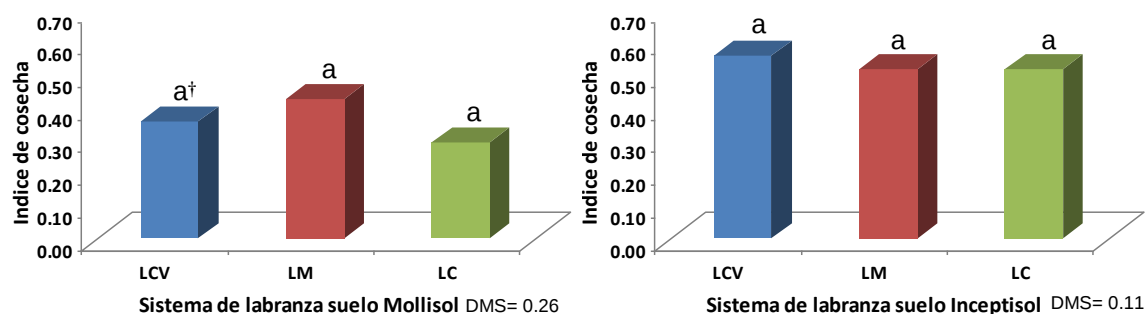


Figura 52. Índice de cosecha de frijol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

En el suelo Mollisol, el IC no mostró diferencias estadísticas, no obstante, el sistema de labranza mínima obtuvo el IC más alto (0.42), lo que indica que la mayor parte de la biomasa generada fue destinada a la producción de grano, mientras que en el sistema de labranza cero (IC=0.29) la biomasa generada fue mayormente para las estructuras vegetativas.

Por otro lado, en el suelo Inceptisol, el índice de cosecha no mostró diferencias estadísticas, sin embargo, el sistema de labranza convencional mostró el mayor rendimiento biológico sobre los sistemas de labranza mínima y cero. El índice de cosecha obtenido en el sistema de labranza convencional (0.56) indicó que la mayor parte de la biomasa producida por el cultivo de frijol fue destinada al grano, mientras que en el de los sistemas de labranza mínima (0.52) y cero (0.52) se produjo una mayor cantidad de estructuras vegetativas.

6.18.5 Residuos de cosecha de frijol

Se apreció una tendencia similar en los residuos de cosecha de frijol en suelos Mollisol e Inceptisol entre los sistemas de labranza del suelo, ya que, el sistema de labranza convencional fue superior en términos absolutos a los sistemas de labranza mínima y cero, así mismo, se encontró una disminución absoluta en el suelo Inceptisol en los tres sistemas de labranza del suelo en la cantidad de residuos de cosecha de frijol con respecto al suelo Mollisol (Figura 53).

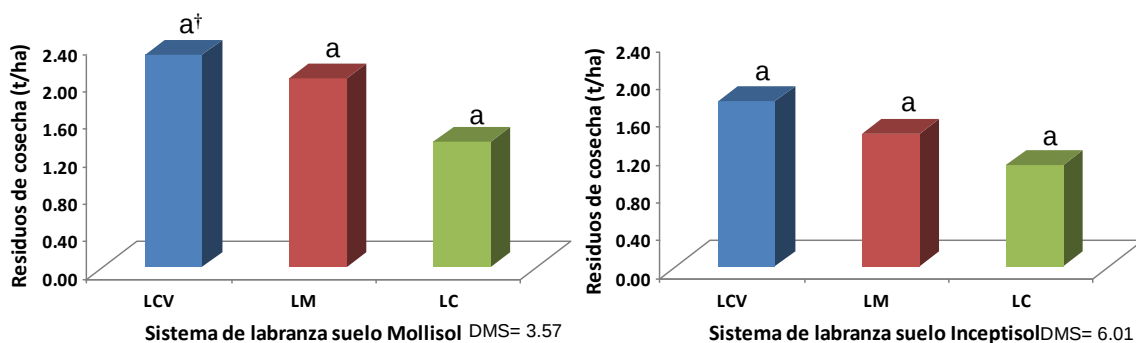


Figura 53. Residuos de cosecha producidos en el cultivo frijol en tres sistemas de labranza en los suelos Mollisol e Inceptisol.

†: Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según Tukey ($p \leq 0.05$).

En cuanto a la cantidad de residuos de cosecha producidos en los sistemas de labranza del suelo Mollisol, no se encontraron diferencias estadísticas (Figura 43). El sistema de labranza convencional (2.28 t ha^{-1}) produjo la mayor cantidad de residuos de cosecha por hectárea, seguido por el sistema de labranza mínima (2.02 t ha^{-1}) y cero (1.34 t ha^{-1}). En el suelo Inceptisol, el sistema de labranza convencional (1.75 t ha^{-1}) mostró una superioridad en la cantidad de forraje producida con respecto a los sistemas de labranza mínima (1.4 t ha^{-1}) y cero (1.08 t ha^{-1}), no obstante, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los sistemas de labranza.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

Los sistemas de labranza de conservación del suelo, tienen efectos positivos en el suelo, y el sistema de labranza cero es el que presentó mayor influencia positiva sobre las propiedades físico-químicas del suelo.

En términos absolutos el sistema de labranza cero mostró mayor La humedad gravimétrica a lo largo del ciclo, en la profundidad 1 a 34 cm, esto se debe al mayor contenido de materia orgánica que se encuentra en el perfil de este sistema de labranza.

- En la profundidad de 1 a 34 cm no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los sistemas de labranza del suelo, sin embargo, se observó que el sistema de labranza cero tiende a incrementar la cantidad de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, y fósforo extractable, siendo la materia orgánica uno de los factores más importantes en este esquema de labranza, ya que el incremento en su contenido de materia orgánica, afecta de manera directa en la humedad gravimétrica, el pH, y a la densidad aparente.
- En la profundidad de 1 a 4 cm, la aplicación del sistema de labranza cero tiene efectos positivos, ya que incrementa el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, y fósforo extractable.
- En el sistema de labranza cero la densidad aparente tiende a incrementarse con relación al sistema de labranza convencional y mínima.
- En la profundidad de 16 a 19 cm y 31 a 34 cm, el efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo tiende a

disminuir, siendo la profundidad de 31 a 34 cm la que menos variaciones muestra. Esto se debe a que los efectos de los sistemas de labranza del suelo tienden a estratificarse, puesto que la labranza de conservación tiene un manejo de suelo superficial, propiciando que el contenido de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, y fósforo extractable, se acumule en la primera capa.

En los sistemas de labranza del suelo, existe una relación entre densidad aparente pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo extractable y la profundidad, es decir, existen diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los primeros 4 cm y las profundidades de 16 a 19 cm y 31 a 34 cm, mientras que en el sistema de labranza convencional, al haber un mayor movimiento de suelo, este efecto de estratificación no se manifiesta claramente.

La cercanía del surco a la hilera de árboles no presentó efectos negativos sobre el cultivo de frijol, dado que el efecto del árbol sobre los contenidos de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo extractable edáficos se incrementan a media que se disminuye la distancia a la hilera de los árboles, debido al efecto de extracción que tiene el sistema radical de los árboles.

El tipo de poda en copa produce una mayor cantidad de residuos que el tipo de poda líder central y V, debido a que este sistema de poda permite al árbol un mayor crecimiento vegetativo.

El sistema de labranza cero obtuvo el mayor rendimiento de avena por hectárea.

En el sistema de labranza convencional se obtuvo mayor rendimiento biológico que en el sistema de labranza mínima y cero.

En cuanto al rendimiento de frijol por hectárea el sistema de labranza mínima mostró superioridad sobre la labranza convencional y cero.

No se encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza para las variables de densidad de población, cantidad de residuos de cosecha y el índice de cosecha.

8. RECOMENDACIONES

De acuerdo a la información generada sobre la tecnología agroforestal de cultivo de frijol en callejones con sistemas de labranza del suelo se recomienda:

- La utilización de la labranza cero como una opción viable para ser utilizada por los productores de valles altos, ya que es un sistema de producción sostenible.
- La incorporación de hileras de árboles a los sistemas de monocultivo dado que reduce los efectos degenerativos al agroecosistema, además de que se diversifica la producción.
- Incorporar los residuos de poda al sistema como abono.
- Se pueden emplear frutales de clima templado, en la región de valles altos, como durazno, chabacano, ciruela, manzana, pera, entre otros.
- Es factible el incremento en la densidad de árboles por hectárea, es decir el distanciamiento entre hileras de árboles se puede reducir como el productor lo desee, o bien en función de la mecanización de que disponga.

Recomendaciones para continuar con la investigación de este sistema agroforestal.

- Para complementar la evaluación de los sistemas de labranza se debe realizar un análisis de fertilidad de suelo, antes y después de establecido el cultivo, para determinar las diferencias que existen entre elementos menores.
- Realizar análisis de fertilidad de suelo en los surcos contiguos a las hileras de árboles para determinar las interacciones que se presentan entre el componente arbóreo y el herbáceo.
- Realizar análisis de extracción de nutrientes tanto para el cultivo herbáceo como para el estrato arbóreo.

- Realizar mediciones sobre parámetros fotosintéticos sobre el cultivo herbáceo, a fin de determinar qué tipo de interacción se está presentando en la parte aérea.
- Realizar evaluaciones sobre componentes de rendimiento en los árboles como para los cultivos que se encuentra en la periferia de las hileras.
- Evaluar otros tipos de cultivos tanto de el componente arbóreo como de el herbáceo, a fin de determinar una asociación de cultivos que exprese su mayor potencial de rendimiento en las condiciones de valles altos.
- Realizar evaluaciones sobre el distanciamiento entre hileras y cómo estas influyen sobre el crecimiento y desarrollo de las especies que interaccionan en el sistema agroforestal.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Barnett J. 1989. Tendencias de adopción en sistemas de labranza de conservación. *In: Labranza de Conservación en Maíz*. Barreto H., R. Raab, A. D. Violic y A. Tasistro (eds). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F. pp: 13-18.
- Bergh R. 1998. Evaluación de sistemas de labranza en el centro-sur Bonaerense. *In: Siembra directa*. J. L. Panigatti H. Marelli, D. Buschiazzo y R. Gil (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. pp: 223-236.
- Blackshaw, R. E., L. J. Molnar, G. W. Clayton, K. N. Harker and T. Entz. 2007. Dry bean production in zero and conventional tillage. *American Society of Agronomy* 99:122-126.
- Bohn H. L., Mcneal, B. L. y G. A O'connor. 1993. Química del suelo. Limusa, Noriega editores. México. 370 pp.
- Bornios B. F. J. 2008. Características edáficas y costos de producción de maíz y frijol en tres sistemas de labranza. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 128 p.
- Bravo C. A., J. V. Giraldez, R. Ordoñez, P. Gonzalez and F. Perea T. 2007. Long-term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a vertisol of southern Spain. *Soil Science* 172(2):141-148.
- Buchiazzo D. E., y S. B. Aimar. 1998. Siembra directa y erosión eólica. *In: Siembra directa*. J. L. Panigatti H. Marelli, D. Buschiazzo y R. Gil (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. pp: 141-150.

- Cachón A. L. E., H Nery G. y H. E Cuanalo D. 1974. Los suelos del área de influencia de Chapingo. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 79 p.
- Campos E. A. 2002. Variedades de fríjol: Características y prácticas agronómicas. *In: Memoria Técnica del Primer Curso Sobre: Aspectos Básicos y Prácticos para el Mejoramiento y Producción de Fríjol*. Junio 2003. Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. pp: 1-8.
- Carter, M.R., C. Noronha, R. D. Peters and J. Kimpinski. 2009. Influence of conservation tillage and crop rotation on the resilience of an intensive long-term potato cropping system: Restoration of soil biological properties after the potato phase. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133: 32-39.
- Chen, H., R. Hou, Y. Gong, H. Li, M. Fan and Y. Kuzyakov. 2010. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil & Tillage Research* 106: 85-94.
- Constantin, J., B. Mary, F. Laurent, G. Aubrion, A. Fontaine, P. Kerveillant and N. Beaudoin. 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135: 268-278.
- Crovetto L. C. 1999. Agricultura de conservación. El grano para el hombre, la paja para el suelo. Eumedia, Madrid. 316 p
- Crozier, R. C, G. C. Naderman, M. R. Tucker and R. E. Sugg. 1999. Nutrient and pH stratification with conventional and no-till management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 30(1&2): 65-74.
- Deibert, E. J and R. A. Utter. 2002. Edible dry bean plant growth and NPK uptake in response to different residue management systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33(11&12): 1959-1974.

- Deibert, E. J. 1995. Dry bean production with various tillage and residue management systems. *Soil & Tillage Research* 36: 97-109.
- España M., B. Rodríguez, E. Cabrera B. y B. Cecanti. 2001. Actividades enzimáticas y contribuciones de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *In: Terra* 20 (1): 81-86.
- Figueroa S. B. y F. J. Morales F. 1992. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de postgraduados. Centro regional para estudios de zonas áridas y semiáridas. 273 p.
- Gal A, T. J. Vyn, E. Michéli, E. J. Kladvko and W. W. McFee. 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil & Tillage Research* 96: 42-51.
- Galeana D. M., A. Trinidad S., N. E. García C. y D. Flores R. 1999. Labranza de conservación y fertilización en el rendimiento de maíz y su efecto en el suelo. *Terra Latinoamericana* 17 (4): 325-335
- Gambaudo S. 1998. La fertilización en siembra directa en el centro de Santa Fe. *In: Siembra directa*. J. L. Panigatti H. Marelli, D. Buschiazzi y R. Gil (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. pp: 197-203.
- García E. 1968. Los climas del valle de México según el sistema de clasificación de Koeppen, Modificado por la autora. UNAM. México, D.F. 252 p.
- Krishnamurthy L., K. Krishnamurthy, I. Rajapol, y A. Arroyo G. 2003. Introducción a la agroforestería para el desarrollo rural. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 105 p.
- Marelli H. J. 1998. La siembra directa como practica conservacionista. *In: Siembra directa*. J. L. Panigatti H. Marelli, D. Buschiazzi y R. Gil (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. pp: 127-140.
- Martínez G. M. A. y C. Jasso C. 2005. Rotación maíz-avena forrajera con labranza de conservación en el altiplano de San Luis Potosí, México. *TERRA Latinoamericana* 23 (2): 257-263.

- Montiel-Aguirre G., L. Krishnamurthy, A. Vázquez-Alarcón y M. Uribe-Gómez. 2006. Opciones agroforestales para productores de mango. *TERRA Latinoamericana* 24 (3): 409-416.
- Mora G. M., V. Ordaz C., J. Z. Castellanos., A. Aguilar S., F. Gavi y V. Volke H. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *TERRA Latinoamericana* 19 (1): 67-74.
- Nair P. K. R. 1997. Agroforestería. Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. México. 548 p.
- Navarro B. A. 2000. Manual práctico de Labranza de Conservación Secretaria de Agricultura, Ganadería y desarrollo Rural. Texcoco Edo. de Méx. 103 p.
- Navarro B. A., K. A. Figueroa R., R. Valdivia, A., M. R. Martínez, M. y G. Carrillo F. 2000. Evaluación del programa de labranza de conservación. Dirección General de Desarrollo Rural. Subsecretaria de Desarrollo Rural. Secretaria de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. 79 p.
- Navarro G. G. Química del suelo. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 2003. Mundi prensa. México. 487 p.
- Nochebuena P. F., L. Krishnamurthy, B. Triomphe y J. M. Arreola. 2002. Diagnostico sobre el uso de sistemas de labranza de conservación y su relación con el agua en el Bajío guanajuatense. *In: Tecnologías agroforestales para el desarrollo sostenible*. L. Krishnamurthy y M. Uribe. G. (eds). 2002. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales-México. México. pp: 79-135.
- Norma Oficial Mexicana. 2002. NOM-021-SEMARNAT-2002 que establece las especificaciones de fertilidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Estados Unidos Mexicanos. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 85 p.
- Ortiz-Villanueva B, y C. A. Ortiz S. 1990. Edafología. Universidad autónoma Chapingo. México. 394 p.

- Pecorari C. 1990. Guía conceptual para elaborar metodologías de evaluaciones físicas de suelos. *In*: Siembra directa. J. L. Panigatti H. Marelli, D. Buschiazzo y R. Gil (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. pp: 35-56.
- Pérez N. J. 1996. Efectos de la erosión y sistemas de labranza sobre la productividad y rentabilidad de dos suelos de Oaxaca. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillo. Edo. de Méx. 119 p.
- Pérez N. J., V. Ordaz C., C. Ayala S., y J. Hernández G. 2002. Manual de conservación del suelo y agua en sistemas agroforestales de café bajo sombra. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 35 p.
- Porta C. J. y M. Lopez-Acevedo R. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid, España. 807 p.
- Quinkenstein, A., J. Wöllecke, C. Böhma, H. Grünewald, D. Freese, B. U. Schneider and R. F. Hüttl. 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental science & policy* 12: 1112-1121.
- Rojas L. A. 2001. La labranza mínima como práctica de producción sostenible en granos básicos. *Agronomía Mesoamericana* 12 (2): 209-212.
- Rojas L. A. y G. Chávez. 2002. Efecto de la labranza mínima y la convencional en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la región Huetar norte de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 13 (2): 105-110.
- Roldán, A., J. R. Salinas-García, M. M. Alguacil and F. Caravaca. 2007. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil & Tillage Research* 93: 273-282.
- Rusu, T., P. Gus., I. Bogdan, P. Ioana M., A. Ioan P., D. Clapa, D. Ioan M, I. Oroian and L. Ioana P. 2009. Implications of minimum tillage systems on sustainability of agricultural production and soil conservation. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7 (2): 335-338.
- Sánchez H. A., J. García, M. Cáceres y R. Corbella. 1998. Labranzas en la Región Chaco-Pampeana subhúmeda de Tucuman. pp 245-256. *In*:

- Siembra directa. J. L. Panigatti H. Marelli, D. Buschiazzi y R. Gil (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 333 p.
- SIAP-SAGARPA, 2007. en: http://www.oaidrus-portal.gob.mx/Agricola_siap/ResumenProducto.do
- Smith R. L. y T. M. Smith. 2006. Ecología 4ª ed. Pearson. España. 642 p.
- Tapia V. L. M., M. Tiscareño L., J. Salinas R., M. Velázquez V., A. Vega P. y H. Guillén A. 2002. Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo, en laderas agrícolas. Terra 20: 449-457.
- Trucios C. M. 2005. Características del suelo, rendimiento y costos de producción del cultivo de maíz en tres sistemas de labranza. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Turrent F. A. y J. I. Cortés F. 2002. La milpa intercalada en árboles frutales *In*: Memoria técnica Núm. 2 Septiembre 2002. Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. pp: 20-24.
- Turrent F. A. y J. I Cortés F. 2005. La milpa intercalada en árboles frutales: Una tecnología multi-objetivo para pequeñas unidades de producción. *In*: Memoria técnica Num. 7 septiembre 2005. Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. pp: 70-77.
- Velásquez C. G. A., J. L. Arellano V., H. Mejía. A, A. Espinoza C., M. R .Tovar G., G. Vázquez C., Y. Salinas M. y J. A. Serratos H. 2005. Cultivo de maíz en la mesa central de México. *In*: Memoria técnica Núm. 7 septiembre 2005. Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Chapingo, México. pp: 18-33.
- Villarreal A. A. 2000. Poblaciones microbianas en diferentes sistemas de labranza en agroforestería. Tesis De Licenciatura. Departamento De Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 87 p.

Violic A. D. 1989. Labranza convencional y labranza de conservación: Definición de conceptos. In: Labranza de Conservación en Maíz. Barreto H., R. Raab, A. D. Violic y A. Tasistro (eds). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D.F. pp: 5-11.