



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**CALIDAD DE SUELOS AGRÍCOLAS BAJO PRÁCTICAS DE
CONSERVACIÓN EN LA SUBCUENCA DE AMANALCO-
VALLE DE BRAVO, EDO. MÉX.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA**

P R E S E N T A :

LILIAN LUCIO ROJAS



**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. HELENA COTLER ÁVALOS**

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno

Lucio
Rojas
Lilian
55 52 75 39 39
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Ciencias de la Tierra
310284325

2. Datos del tutor

Dra.
Cotler
Ávalos
Helena

3. Datos del sinodal 1.

Dra.
Barajas
Guzmán
María Guadalupe

4. Datos del sinodal 2.

Dra.
Cram
Heydrich
Silke

5. Datos del sinodal 3.

Dr.
López
Ridaura
Santiago

6. Datos del sinodal 4.

Dr.
Ávila
Akerberg
Víctor Daniel

7. Datos del trabajo escrito

Calidad de suelos agrícolas bajo prácticas de conservación en la subcuenca de Amanalco - Valle de Bravo, Edo. Méx.
97 pp
2018

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la Facultad de Ciencias y la Coordinación de Ciencias de la Tierra por todas las oportunidades brindadas a lo largo de mi formación profesional.

Al Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. (CCMSS) en Amanalco, especialmente a Lucía Madrid Ramírez por todo el apoyo y confianza durante la realización de este trabajo; así como por su compromiso con los suelos agrícolas de la región.

Al Laboratorio de Geografía física del Instituto de Geografía de la UNAM y a la Dra. Silke Cram Heidrich y la Mtra. Pilar Fernández por la facilidad del uso de sus instalaciones y equipos durante los pretratamientos y análisis de las muestras desde el inicio y culminación de este trabajo, y el apoyo brindado durante mi formación académica.

Al Instituto de Geología de la UNAM (IGI, UNAM) por las facilidades del uso de sus instalaciones durante la realización de los análisis de laboratorio.

A la Dra. Lucy Mora Palomino del Laboratorio de Edafología Experimental (IGI, UNAM-LANGEM) por todo el apoyo para el desarrollo de los análisis físicos y químicos en el laboratorio; por su paciencia, confianza, tiempo y ayuda para la culminación de los mismos; especialmente por compartir su conocimiento conmigo y presentarme e instruirme en el universo de los suelo y la importancia de su estudio.

A la Mtra. Kumiko Shimada y Lucero Roberto del Laboratorio de Edafología Ambiental (IGI, UNAM-LANGEM) el préstamo de su equipo e instalaciones para los análisis químicos de las muestras en el laboratorio.

Al Laboratorio de Microcosmos y a la Mtra. Isis Suárez por el préstamo de equipo de ultrasonido.

Al Mtro. Manuel Hernández Quiroz de la Unidad de Análisis Ambiental (UNAAMB, FC) por todo su apoyo y confianza para la realización de la prueba de textura en el laboratorio.

A la Dra. Blanca Prado por la confianza y la asesoría en el desarrollo de este trabajo.

A la Dra. María Guadalupe Barajas, a la Dra. Silke Cram, al Dr. Santiago López y al Dr. Víctor Daniel Ávila por ser mis sinodales y asistirme con su conocimiento en mi trabajo para enriquecerlo.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A mis padres y mi hermana que me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida y en cada una de mis aventuras; por enseñarme desde pequeña el amor al campo y a la naturaleza. Gracias infinitas por el amor, la confianza y paciencia que me han brindado, especialmente para terminar esta tesis. Por creer en mí y ayudarme a cumplir otra etapa ¡Muchas gracias!

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi segundo hogar y por todas las oportunidades brindadas a lo largo de mi formación profesional y desarrollo personal, por mostrarme que no hay barreras geográficas para aprender. Quedo muy agradecida y comprometida con esta gran institución para brindar lo mejor de mí en mi desarrollo profesional y trabajar siempre por el bien de la sociedad, el país y un mundo mejor.

A toda mi familia, a mis primos y a mis tíos que siempre me han apoyado y enseñado a aprender de todo y quedarme siempre con lo bueno; especialmente a mi tío Julio por el apoyo, la paciencia y la compañía durante la realización de este trabajo.

A la Dra. Helena Cotler primeramente por sembrar la semilla que generó en mí el interés y la fascinación por los suelos, así como siempre ver más allá para entender mejor las cosas. Por la confianza, su asesoramiento, su tiempo en mi formación profesional y su paciencia para poder terminar este trabajo.

A los agricultores: Francisco Sánchez, Rodolfo Alberto, Jaime Morales, Tomás Zarate, Gabino Marín, Pascual Marcos, Gregorio Dionisio, Vicente Marín, Arcadio García, Dionicio Martínez, Josefina Martínez, Mateo Colín, Jorge Castillo, Juan Sotero, Juan Carlos de la Cruz y Celso Cándido que me abrieron las puertas y me recibieron muy bien para la realización de las pruebas en sus terrenos, así mismo por compartir sus experiencias y su tiempo conmigo.

A Emma Griselda Manzanares López y Juan Sotero por su apoyo y tiempo durante el trabajo realizado en campo para la realización de este estudio.

A los profesores que tuve y que les gusta su trabajo, que trascendieron las clases y han marcado el rumbo de mi vida profesional y personal, especialmente aquellos que han generado en mí la fascinación por los suelos y su estudio. Andrés Lara que sin ser mi profesor como tal, me enseñas mucho.

A mis compañeros y los amigos que encontré y con los que sigo aprendiendo: Benjamín, Jimena, Carlos, Mariana y Gustavo. A mis grandes amigas que me han apoyado incondicionalmente durante toda la carrera y aún más para terminar esta tesis: Edith Arsola, Diana Lomelí y Malinally Ríos.

A mi gran amiga Leticia Sánchez por siempre estar conmigo, por confiar y creer en mí, ayudarme y compartir conmigo desde el principio una etapa más. Susana Valencia que sin importar la distancia, me has acompañado y has sido muy importante durante este tiempo.

Tesis dedicada a:

Mi familia

Aquellas personas que cada día
contribuyen con su granito de arena
para tener un mundo mejor.

Aquellos que se dedican
al estudio de los suelos y
este trabajo les sea de apoyo.

“No importa qué tan urbana sea nuestra vida,
nuestro cuerpo siempre dependerá de la agricultura”

Wendel Berry



ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

1. RESUMEN	1
2. SUMMARY	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. MARCO TEÓRICO	4
4.1. EL SUELO Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	4
4.2. DEGRADACIÓN Y EROSIÓN DEL SUELO.....	6
4.3. CALIDAD DEL SUELO.....	8
4.3.1. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO.....	9
4.4. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS Y SU ADOPCIÓN	12
5. JUSTIFICACIÓN	14
6. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	15
6.1. OBJETIVO GENERAL	15
6.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	15
6.3. HIPÓTESIS.....	15
7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	16
7.1. UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA AMANALCO – VALLE DE BRAVO.....	16
7.2. CONDICIONES AMBIENTALES Y SOCIALES	17
8. MÉTODOS	18
8.1. TRABAJO EN CAMPO.....	18
8.1.1. ANTECEDENTES DEL TRABAJO DEL CCMSS Y SELECCIÓN DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO.....	18
8.1.2. IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS DIFERENCIADOS POR PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS.....	18
8.1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS.....	19

8.1.4.	ENTREVISTAS SEMI ESTRUCTURADAS	21
8.2.	TRABAJO EN LABORATORIO.....	21
8.2.1.	DENSIDAD APARENTE (DA) Y POROSIDAD	21
8.2.2.	pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	22
8.2.3.	ESTABILIDAD DE AGREGADOS	22
8.2.4.	TEXTURA	23
8.2.5.	CARBONO Y NITRÓGENO TOTALES	25
8.2.6.	CONTENIDO DE FÓSFORO DISPONIBLE	25
8.2.7.	CONTENIDO DE BASES (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ Y K ⁺) INTERCAMBIABLES	25
8.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	26
8.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON AGRICULTORES.....	26
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
9.1.	ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS	27
9.1.1.	CONDICIONES GENERALES DE LOS ENTREVISTADOS	27
9.1.2.	CARACTERÍSTICAS ENTRE GRUPOS.....	29
9.1.3.	DIFERENCIAS ENTRE GRUPOS.....	31
9.2.	INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO	41
9.2.1.	pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	41
9.2.2.	TEXTURA Y DENSIDAD APARENTE (DA)	43
9.2.3.	ESTABILIDAD DE AGREGADOS	45
9.2.4.	NUTRIMENTOS EN SUELOS.....	47
9.2.5.	INFILTRACIÓN Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA A SATURACIÓN (Ks).....	51
9.2.6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON AGRICULTORES	56
10.	CONCLUSIONES	58
11.	REFERENCIAS.....	61
12.	ANEXOS.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del municipio de Amanalco, Edo. Méx., y su relieve (INEGI, 2009).	16
Figura 2. Imagen de google earth (2017) con la ubicación de las parcelas muestreadas diferenciadas por grupos (puntos blancos grupo control-c, verdes grupo I, turquesa grupo II y azules grupo III).	20
Figura 3. Fotografías del análisis de estabilidad de agregados en húmedo por el método Yoder modificado. a) muestra de suelo sobre tamices apilados en forma descendente, b) movimiento constante de sumersión a 45 rev/min, c) suelo seco recuperado de cada tamiz.	23
Figura 4. Fotografías del análisis de textura: A) destrucción de MO de las muestras, B) muestras en baño maría para destrucción de óxidos, C) centrifugación de las muestras para eliminar las sales y D) prueba de textura por el método de bouyoucos.....	24
Figura 5. migración de los propietarios en porcentaje, siendo 16 el 100%.	27
Figura 6. Nivel de educación de los 16 propietarios de las parcelas muestreadas.	27
Figura 7. Actividad económica principal de los propietarios entrevistados de las parcelas muestreadas.....	28
Figura 8. Maquinaria de labranza utilizada en las parcelas muestreadas, ya sea de tenencia propia o en alquiler, donde ND: no se describió.	29
Figura 9. Actividades de manejo agroecológico realizadas por grupo según el porcentaje de los integrantes que las llevan a cabo.	34
Figura 10. Formas de elaboración de los preparados orgánicos por grupo de trabajo.	35
Figura 11. Parcelas agrícolas estudiadas con prácticas de conservación con canales con vegetación en la barrera, surcado a nivel e incorporación de rastrojo en las parcela.	36

Figura 12. Diagrama ameba sobre las principales diferencias entre los grupos analizados.	37
Figura 13. Valores promedios de pH por grupos con su respectivo error estándar.	42
Figura 14. Valores promedio de CE por grupos con su respectivo error estándar.....	43
Figura 15. Valores medios y desviación estándar de DA (g/cm ³) y porosidad (%) por grupos.....	44
Figura 16. Estabilidad de los agregados en húmedo.....	46
Figura 17. Concentraciones de P disponible, MO y N total en los suelos de las parcelas de Amanalco por grupo y su evaluación con respecto a las necesidades nutricionales para el cultivo de maíz según Castellanos (2000) y FAO-SAGARPA (2012).	48
Figura 18. Concentraciones de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ y Na ⁺ (ppm) en los suelos para el cultivo de maíz comparados por grupo y evaluados en función de Castellanos (2000) y FAO-SAGARPA (2012).....	50
Figura 19. Curvas de infiltración de los suelos del grupo control.	53
Figura 20. Curvas de infiltración de los suelos del grupo I.	53
Figura 21. Curvas de infiltración de los suelos del grupo II.	54
Figura 22. Curvas de nivel de los suelos del grupo III.....	54
Figura 23. Grafica ANOVA de la conductividad hidráulica a saturación (Ks) por grupo....	56
Figura 24. Reunión de discusión de resultados con los agricultores y el CCMSS.	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diversidad de servicios ecosistémicos que provee el suelo (traducción al español de G. Jónsson y Davidsdóttir, 2016, que hace una integración de los servicios ecosistémicos reportados por De Groot (2002), MA (2005) y TEEB (2010).	5
Tabla 2. Conjunto de indicadores físico, químicos y biológicos utilizados para evaluar cambios en la calidad de los suelos (tabla realizada con datos de Bautista <i>et al</i> , 2004; Astier <i>et al</i> , 2002 y Doran y Parkin, 1994).	10
Tabla 3. Tipo de grupos de muestreo.	19
Tabla 4. Resumen de las características entre cada grupo de trabajo, que van desde información personal de los propietarios, datos de las parcelas, sistema productivo y prácticas de conservación.	32
Tabla 5. Propiedades físicas de los suelos agrícolas muestreados y presencia de labranza e incorporación de material vegetal al suelo.	45
Tabla 6. Principales propiedades químicas en los suelos muestreados.	47
Tabla 7. Propiedades físicas y manejo agrícola que afectan la conductividad hidráulica.	52
Tabla 8. Conductividad hidráulica en condiciones de saturación obtenida teóricamente de la evaluación edafocológica (Siebe <i>et al.</i> , 2006) y la obtenida en campo mediante el uso del infiltrómetro de doble anillo.	55
Tabla 9. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 1 (C-1)	67
Tabla 10. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 2 (C-2)	68
Tabla 11. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 3 (I-1)	69
Tabla 12. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 4 (II-1)	70
Tabla 13. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 4 (II-2)	71
Tabla 14. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 6 (II-3)	72
Tabla 15. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 7 (III-1)	73
Tabla 16. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 8 (C-3)	74

Tabla 17. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 9 (II-4).....	75
Tabla 18. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 10 (I-2).....	76
Tabla 19. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 11 (II-5).....	77
Tabla 20. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 12 (II-6).....	78
Tabla 21. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 13 (III-2).....	79
Tabla 22. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 14 (I-3).....	80
Tabla 23. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 15 (III-3).....	81
Tabla 24. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 16 (C-4)	82
Tabla 25. Tipo de prácticas realizadas y productos utilizados en cada una de las parcelas muestreadas.....	84
Tabla 26. Resultados de los análisis en laboratorio.....	85
Tabla 27. Interpretación de las concentraciones de nutrientes en suelos como base para el desarrollo del cultivo de maíz según Castellanos (2000). Donde M.B.:muy bajo; B:bajo; Mod. B.: moderadamente bajo; M:medio y Mod.A.: moderadamente alto.	86
Tabla 28. Características del suelo y manejo agrícola que afectan la conductividad hidráulica.	87

1. RESUMEN

La agricultura es una de las principales causas de degradación de suelos debido a la presión que se ejerce en ellos para la producción de alimentos de una población creciente, aunado con el cambio climático y un manejo inadecuado. Las prácticas de conservación de suelos permiten reducir su degradación y recuperar su calidad y salud. La adopción de estas prácticas por parte de los agricultores depende de varios factores socioculturales y económicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del suelo en diversas parcelas agrícolas bajo varias prácticas de conservación de suelo, por medio de indicadores físicos y químicos. Las parcelas estudiadas se dividieron en cuatro grupos: control (no realizan prácticas de conservación), I (tienen canales de conservación de suelo y usan agroquímicos), II (tienen canales y aplican composta, bioles y varios caldos minerales) y III (además del II, usan abonos verdes). En cada parcela se realizó una descripción del perfil, se aplicó una entrevista semi estructurada a cada productor y se tomaron muestras para analizar en laboratorio: pH, densidad aparente, conductividad eléctrica, textura, estabilidad de agregados, C y N total, P_{disp} y el contenido de bases (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺) intercambiables. Los resultados mostraron concentraciones de P_{disp} muy bajas y pH bajo (moderadamente ácido), independientemente del manejo. Se observó una tendencia a niveles más benéficos en: densidad aparente, porosidad, MO, infiltración y estabilidad de agregados para aquellas parcelas que realizan prácticas de conservación de suelo. El contenido de bases intercambiables se encuentra de bajo a moderadamente alto para cultivos de maíz, esta disponibilidad puede deberse a la acidez del suelo. Se espera que al aumentar el pH también aumente la concentración de nutrientes. Los rendimientos más altos son del grupo control y el grupo III; sin embargo, el primero utiliza agroquímicos lo cual aumenta el costo de producción. Se realizó una reunión con el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible y los agricultores con el propósito de discutir los resultados y hacer las respectivas modificaciones al manejo actual como el encalado, antes de la próxima producción. Se identificó que la adopción de un mayor número de prácticas de conservación se dio con agricultores de mayor nivel educativo, de menor edad y dos actividades económicas, siendo la principal la agricultura. Evaluar la calidad de los suelos agrícolas a partir de indicadores permite modificar el sistema productivo en función del estado del suelo y las necesidades del productor.

Palabras clave: Calidad del suelo; conservación de suelo; manejo agroecológico, suelos agrícolas, adopción.

2. SUMMARY

Agriculture is one of the main causes of soil degradation due to the exerted pressure on soils in order to satisfy the production of food for a growing population, along with climate change and inadequate management. Soil conservation practices allow the reduction of soil degradation and help recovering their quality and health. The adoption of these practices by farmers depends on various socio-cultural and economic factors such as age, education, financing, among others. The objective of this study is to assess soil quality in diverse farm lands under various soil conservation practices, by means of physical and chemical indicators. Farm lands were divided into 4 groups: control (no conservation practices performed), I (soil conservation channels present and use of agrochemicals), II (soil conservation channels and compost applied, bioles and several mineral broths) and III (besides the contents in group II, use of green manures are added). A soil profile for each farm land was described, a semi structured interview was applied to each producer and samples were taken to laboratory analysis: pH, bulk density, electrical conductivity, texture, stability of aggregates, total C and N, available P and the content of exchangeable alkalis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+). The results showed a very low concentration of available P and low levels of pH (mildly acid), independently of the management. A trend was observed towards more beneficial levels in regards to: bulk density, porosity, MO, infiltration, and aggregates stability for those soils in which conservation practices are performed. Exchangeable alkalis content was found from low to moderately high for corn crops, this availability could be due to soil acidity. It is expected that an increasing pH be a favorable change in the nutrient concentrations as it was observed. The highest yields were obtained by the control group and group III, nevertheless, control group uses agrochemicals which increases production cost. A meeting with the CCMSS and farmers was held with the purpose to discuss the results and modify respectively the current management such as liming, before the next production. The adoption of a greater number of soil conservation practices occurred with farmers of higher educational level, younger and with two economic activities, being agriculture the main one. Assessing the quality of agricultural soils based on indicators allows the productive system to be modified according to the producer needs and soil status.

Keywords: Soil quality; soil conservation; agro-ecological management, agricultural land, adoption

3. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población humana, la necesidad por satisfacer la demanda de alimentos tanto para consumo humano como forraje para el ganado, generan una fuerte presión sobre los suelos agrícolas (FAO, 2017; Gliessman, 2010). El manejo convencional e intensivo para mantener la producción agrícola en monocultivos reduciendo los tiempos de producción contribuye en gran medida a la degradación de los suelos que afectan sus funciones ecosistémicas (FAO, 2017).

El maíz constituye el principal cultivo en México, donde alcanza el 79.7% de la producción agrícola (INEGI, 2016); sin embargo, también es el grano de mayor importación (FIRA, 2016; FAO, 2012). El sistema de autoconsumo representa hoy en día el 41% de las unidades de producción agrícola.

La conversión al manejo agroecológico es una estrategia de producción agrícola ligada a la sustentabilidad a partir de prácticas de conservación de suelos que mantienen las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos; y que además toma en cuenta a los productores (Gliessman, 2010). Diversas prácticas de conservación de suelos se realizan a nivel mundial y nacional con el fin de combatir su degradación (SEMARNAT, 2015; FAO, 2011; WOCAT, 2011).

La adopción de las prácticas de conservación de suelos dependerá de los problemas identificados en los suelos y factores socioeconómicos de los agricultores. Algunos de estos factores son: edad, escolaridad, actividad económica y tenencia de la tierra; así mismo otros factores son el acompañamiento de una institución gubernamental u Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) y un financiamiento en la etapa inicial (Carlisle, 2016; Teshome et al, 2015; Traoré *et al.*, 1998; Featherstone y Goodwin, 1993).

La evaluación de la calidad del suelo mediante indicadores físicos, químicos y biológicos, dependen del objetivo de la evaluación y permite conocer el estado del suelo, a partir de ello se pueden hacer las respectivas modificaciones a las prácticas de manejo realizadas según sea la situación (Bautista *et al.*, 2004).

4. MARCO TEÓRICO

4.1. EL SUELO Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

El suelo es un sistema esencial en la biosfera cuya importancia radica en la diversidad de servicios ecosistémicos que provee para la humanidad (Tabla1). Las funciones del suelo, son diversas como: medio en el que crecen las plantas, formación de suelo, regulador de la calidad de agua y reducción de contaminantes del suelo, retención de carbono, regulador del clima, regulación de inundaciones, hábitat para organismos, suministro de materiales de construcción y materias primas, ciclo de nutrientes y reciclaje de residuos, control biológico de plagas y enfermedades, fuente de productos farmacéuticos y recursos genéticos; base para infraestructuras humanas, herencia cultural y recreación (Jónsson y Davídsdóttir, 2016; FAO, 2015; Dominati *et al.*, 2010; Brady y Weil, 2008).

El suelo es también un recurso natural no renovable compuesto por una fase sólida (minerales y materia orgánica) y fluida (líquidos y gases); resultado del largo proceso pedogenético a través de interacciones físicas, químicas y biológicas. Entre los factores formadores se encuentran el clima, la actividad biológica, el relieve, el material parental y el tiempo (Brady y Weil, 2008; Burbano, 2016; G. Jónsson y Davídsdóttir 2016). La diferencia en las intensidades de estas interacciones genera una gran variedad de suelos con características particulares que a lo largo del ciclo del suelo brindan servicios ecosistémicos determinados (Brady y Weil, 2008; G. Jónsson y Davídsdóttir 2016).

Las funciones o servicios ecosistémicos se han considerado sinónimos y son entendidos como los beneficios que las personas obtienen de la ecosfera, de acuerdo con la Evaluación Ecosistémica del Milenio (2005) se clasifican en cuatro categorías: de provisión, soporte, regulación y cultural. Los servicios de provisión son aquellos productos que las personas obtienen de los ecosistemas, tales como comida, agua, combustibles, etc. Los servicios de regulación son aquellos beneficios que las personas obtienen de la regulación de procesos ecosistémicos tales como el control de la erosión, purificación del agua, entre otras. Los servicios de soporte son aquellos que son necesarios para la producción de todos los otros servicios ecosistémicos como la producción primaria, formación de suelo y producción de oxígeno. Finalmente los servicios culturales son beneficios no materiales que se obtienen como recreación, herencia histórica, enriquecimiento espiritual.

Los servicios ecosistémicos del suelo son los beneficios que éstos brindan a las personas (Dominati *et al.*, 2010) directa o indirectamente. Tales servicios están ligados a las funciones propias de los suelos que dependerán del estado de los mismos (Jónsson y Davídsdóttir, 2016), en función de las propiedades físicas, químicas y biológicas de cada suelo (Doran y Parkin, 1994).

Las propiedades de cada suelo pueden ser potenciales para realizar algún servicio ecosistémico, por ejemplo: los Leptosoles son suelos muy jóvenes potenciales para ser usados como base de infraestructuras humanas; mientras que los Andosoles, son buenos para la actividad agrícola debido a su facilidad para labrar y su alto contenido de materia orgánica, sin embargo, tienen contenidos bajos de fósforo (Brady y Weil, 2008).

Tabla 1. Diversidad de servicios ecosistémicos que provee el suelo (Traducción al español de G. Jónsson y Davídsdóttir, 2016, que hace una integración de los servicios ecosistémicos reportados por De Groot (2002), MA (2005) y TEEB (2010).

Servicio / Función	Servicio
Servicio de soporte o hábitat	Formación de suelo
	Ciclo del agua
	Ciclo de nutrientes
	Producción primaria
	Hábitat
Servicio o funciones de regulación	Mantenimiento de la diversidad genética
	Regulación de gases
	Regulación del clima
	Prevención a la perturbación
	Suministro de agua
	Retención de suelo
	Tratamiento de residuos
	Control biológico de plagas y enfermedades
	Purificación del agua
	Regulación de la calidad del aire
	Prevención de la erosión
	Mantenimiento de la fertilidad del suelo
Servicios de provisión	Alimentos
	Materias primas
	Recursos genéticos
	Recursos medicinales
	Recursos ornamentales
Servicios culturales	Apreciación estética, espiritual e histórica
	Apreciación cultural y artística
	Recreación
	Ciencia y educación

Las funciones de medio en el que crecen las plantas junto con el servicio de provisión de alimentos han sido jerarquizadas y ampliamente explotadas a nivel mundial causando la degradación del suelo y poniendo en riesgo la seguridad alimentaria a nivel nacional como mundial (FAO, 2017; Burbano, 2016; López, 2007).

4.2. DEGRADACIÓN Y EROSIÓN DEL SUELO

El suelo como capital natural es un recurso natural no renovable dado que su formación es muy lenta y por ello requiere de un manejo adecuado para no degradarse y disminuir o incluso perder sus funciones ecosistémicas (Robinson *et al.*, 2012; Dominati *et al.*, 2010).

La presión de alimentar a una población creciente se refleja en la intensificación de la actividad agrícola a través de incrementar múltiples cosechas en periodos cortos de producción, fomentando un mayor uso de agroquímicos (FAO, 2017).

El cambio de uso de suelo a tierras de cultivo aunado a un manejo inadecuado de los mismos ha tenido como consecuencia una serie de problemas ambientales (López, 2007). Robinson *et al* (2012) menciona el cambio de suelo como un cambio en escalas de tiempo antropogénicas, sabiendo que para la formación de 1 cm de suelo de manera natural pueden pasar de entre 100 a 400 años.

El suelo es un sistema abierto en constante interacción y vulnerable ante un manejo inadecuado que provoca su degradación. La degradación del suelo es un cambio en la calidad o salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes y prestar servicios para sus beneficiarios. Mientras que la erosión se refiere a la pérdida absoluta de suelo de forma natural o antropogénica (FAO, 2017).

La degradación de suelos implica el cambio en una o más propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos que tienen un trasfondo social y económico (FAO, 1993).

Las causas de la degradación de los suelos en México reportadas por SAGARPA–COLPOS (2003) son: la actividad agrícola, el sobrepastoreo, la deforestación, la urbanización, la sobreexplotación de la vegetación y la actividad industrial. El ecosistema natural más afectado por la degradación es el pastizal natural con un 66.2% de su superficie dañada; mientras que por degradación hídrica los bosques templados se ven más afectados por este proceso con el 21.5% de su superficie.

En México la superficie de suelos degradados reportados en 2003 correspondía aproximadamente al 45% del territorio nacional (89 millones de hectáreas) siendo la degradación química (disminución de la fertilidad) el principal tipo con un 18%, seguido de la erosión hídrica con un 12%, la erosión eólica un 9% y la degradación física (compactación) en 6% (SEMARNAT-COLPOS, 2003). Datos más recientes reportan que la erosión hídrica ocupa el 66% del territorio nacional, con el 6% como erosión extrema (INEGI, 2015a).

El INECC–UACH (2015) reportaron que los suelos agrícolas nacionales se ven afectados en un 44.4% de la superficie total por degradación física, siendo la pérdida de función productiva y la compactación los principales tipos con un 22.3% y 17.9% respectivamente. La degradación química representó el 73.2% de la superficie con la disminución de la fertilidad y reducción de MO. Finalmente la erosión hídrica y eólica fueron del 23.9% y 52.6% respectivamente.

En la agricultura, la fertilidad de suelos y la productividad agrícola se ve afectada por la degradación. Según Bertoni y Lombardi (1985; en FAO, 1993) existen cuatro razones por las cuales un suelo agrícola es menos productivo: degradación de la estructura del suelo, disminución de la materia orgánica, pérdida de suelo y pérdida de nutrientes.

El tipo de labranza convencional, dominante en México comienza con el barbecho, sigue con el surcado, posteriormente la escarda para cubrir la base de las plantas y eliminar las malezas y finaliza con la siembra (Martínez y Jasso, 2004). Este sistema convencional afecta principalmente la estructura del suelo, aumentando su compactación y disminuyendo la humedad al dejarlo sin cobertura vegetal, también se incrementa la erosión del suelo tanto hídrica como eólica y disminuye la capacidad de almacenar carbono en el suelo (Cotler *et al.*, 2016; FAO, 2000).

Al ser el suelo un sistema muy importante dentro de la biosfera, la degradación por erosión hídrica es un problema más complejo que solamente la pérdida de suelo en suelos agrícolas. La erosión hídrica entendida como la remoción del suelo bajo la acción del agua, transporta suelo a zonas bajas con menor pendiente e incluso puede arrastrarlas a cuerpos de agua provocando azolve. Ahora bien, la erosión tanto hídrica como eólica elimina la parte más superficial del suelo, llevando consigo la materia orgánica que al llegar a cuerpos de agua causa eutrofización (López, 2007); y con ello

una serie de efectos ambientales como la emisión de gases de efecto invernadero (FAO, 2014; Doran y Parkin, 1994).

4.3. CALIDAD DEL SUELO

La definición de la calidad del suelo es un término que evoluciona e integra los componentes y procesos biológicos, físicos y químicos de un suelo en una situación determinada, basándose en su multifuncionalidad (Astier *et al.*, 2002; Bautista *et al.*, 2002). También ha estado asociado con el término de sustentabilidad y con la capacidad de funcionar para un propósito específico en una escala de tiempo (Carter *et al.*, 1997), incluyendo atributos como: fertilidad, productividad potencial y calidad ambiental. Simultáneamente es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso, entendiendo salud del suelo como el estado de las propiedades dinámicas.

En el contexto de la agricultura sustentable, el suelo se contempla de manera integral como componente central de un agroecosistema sustentable, el cual debería ser capaz de mantener su productividad en condiciones de estrés; promover la calidad del medio ambiente y los recursos base, de los cuales depende la agricultura; proveer las fibras y alimentos para el ser humano; ser económicamente viable y mejorar la calidad de vida de los agricultores y la sociedad (Conway, 1994 y FAO, 1994 en Astier *et al.*, 2002).

El término de calidad de suelo reconoce las funciones del suelo de: a) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas; b) atenuar los contaminantes ambientales y patógenos; y c) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran y Parkins, 1994 y Karlen *et al.*, 1997).

Algunas definiciones de calidad de suelo son las siguientes:

“Un suelo de calidad es aquel que tiene la capacidad de producir cultivos sanos y nutritivos en forma sostenida a largo plazo, y de promover, al mismo tiempo, la salud humana y animal sin detrimento de los recursos naturales base o del medio ambiente circundante” (Parr et al., 1992).

“La calidad del suelo como la capacidad que éste tiene de funcionar dentro de los límites ecosistémicos para sostener la productividad biológica, mantener el equilibrio ambiental, y promover la salud de las plantas y animales” (Doran y Parkin, 1994).

“La calidad del suelo es la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat” (Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo en Karlen et al., 1997)

Las definiciones anteriores reconocen al suelo como sistema integral haciendo mención a las propiedades intrínsecas del mismo y sus interacciones, de igual manera, la relación del suelo con el ambiente incluyendo los humanos. El aspecto de producción sostenida y a largo plazo, incluyen implícitamente la búsqueda e implementación de estrategias de manejo que contribuyan al modelo de agricultura sustentable (Astier *et al.*, 2002).

Simultáneamente la calidad del suelo se considera como un instrumento que permite comprender la utilidad y salud o estado de este recurso a partir del uso de indicadores (Bautista *et al.*, 2004). Tanto los agricultores así como tomadores de decisiones y responsables de programas y proyectos de manejo agrícola se cuestionan sobre el efecto de sus intervenciones en el suelo. Realizar una evaluación de la calidad del suelo permite determinar si las prácticas de manejo han degradado, mejorado o permanecido igual, y con ello tomar las estrategias adecuadas. Ignorar este tipo de análisis propicia el abandono de las prácticas agropecuarias.

4.3.1. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

Los indicadores de la calidad de suelo son variables que dan información sobre las propiedades, procesos y características de este recurso (Astier *et al.*, 2002; Bautista *et al.*, 2004). Estos indicadores hacen referencia a las características o propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos (Bautista *et al.*, 2002; Doran y Parkin, 1994).

Los indicadores pueden ser variables cualitativas (evidencias de erosión hídrica, presencia de costras, etc.), cuantitativas (pH, velocidad de infiltración, entre otras) o índices compuestos por la relación entre variables (Etchevers, 1999); sin embargo estos indicadores no son absolutos y dependerá de lo que se desea evaluar en el suelo (Tabla 2).

Los indicadores biológicos son más dinámicos, y por lo tanto, se pueden obtener señales tempranas de degradación o mejoría de los suelos. Mientras que los indicadores físicos

requieren de más tiempo, pueden ser más de 10 años, para presentar cambios como respuesta de algún manejo determinado (Astier *et al.*, 2002). Algunos indicadores de este tipo son: C y N de la biomasa microbiana, respiración, contenido de humedad y temperatura y N potencialmente mineralizable.

Tabla 2. Conjunto de indicadores físico, químicos y biológicos utilizados para evaluar cambios en la calidad de los suelos (Tabla realizada con datos de Bautista *et al.*, 2004; Astier *et al.*, 2002 y Doran y Parkin, 1994).

Propiedades del suelo	Relación con la condición y función del suelo	Comportamiento deseado en la calidad de suelo
Físicas		
Textura (%arcilla, limo y arena)	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	Equilibrio
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces (cm)	Estima la productividad potencial y la erosión	Incremento
Infiltración (cm h^{-1}) y densidad aparente (g cm^{-3})	Potencial de lavado; productividad y erosividad	Incremento; Reducción
Capacidad de retención de agua (%)	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	Incremento
Estabilidad de agregados (% 1-2 mm diámetro)	Estabilidad, erosión	Incremento
Químicas		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Incremento
pH	Define la actividad química y biológica	Neutralidad
Conductividad eléctrica (dSm^{-1})	Define la actividad vegetal y microbiana	Disminución
P, N y K extractables (Kg ha^{-1})	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Incremento
Biológicas		
C y N de la biomasa microbiana (Kg ha^{-1})	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Incremento
Respiración, contenido de humedad y temperatura ($\text{Kg de C ha}^{-1}\text{d}^{-1}$)	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Incremento
N potencialmente mineralizable ($\text{Kg de N ha}^{-1}\text{d}^{-1}$)	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Incremento

Con respecto a los indicadores químicos, estos se refieren a las condiciones químicas que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad de agua, capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad del agua y nutrientes para los macro y microorganismos (SQI, 1996 en Bautista *et al.*, 2004). Algunos indicadores pueden ser: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica (N y C total) y P, N, K, Mg y Ca extractable.

Finalmente los indicadores físicos son aquellas propiedades con las cuales se puede interpretar la manera en que la solución del suelo se mueve en el medio, como el agua es retenida y transmitida a las plantas; igualmente las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces y microorganismos. Además está relacionada con el arreglo de las partículas y los poros (Bautista *et al.* 2004). Algunos de estos indicadores son: la textura, estructura, densidad aparente, profundidad del suelo superficial, infiltración y capacidad de retención del agua, conductividad hidráulica a saturación y la estabilidad de agregados.

Los agregados del suelo son grupos de partículas de suelo que se unen entre sí más fuerte que con las partículas adyacentes. La estabilidad de estos agregados se refiere a que tan resistentes son a una perturbación, principalmente asociada al agua. La importancia de favorecer la formación de agregados estables es disminuir que los agregados se rompan con las gotas de la lluvia, liberando partículas de suelo que pueden sellar la superficie con costras que obstruyen y cierran los poros, restringiendo el movimiento del agua y con ello favoreciendo la erosión (USDA, 1996).

El marco MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad, López *et al.*, 2002) propone indicadores socioambientales para sistemas sustentables que partan de sus seis atributos: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión.

La productividad es la capacidad del agroecosistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios, por ejemplo, el rendimiento de los cultivos. La estabilidad es la propiedad del sistema de tener un estado de equilibrio dinámico estable, es decir, que sea posible mantener los beneficios proporcionados por el sistema a un nivel promedio o normal, no decreciente en el tiempo. La resiliencia del suelo es la capacidad del mismo de responder ante cambios adversos bajo una serie de condiciones ecológicas y de uso de suelo, con base en la respectiva resistencia del sistema; pudiendo retornar a su estado

original de equilibrio dinámico después de la perturbación, como por ejemplo lluvias de alta intensidad (Lal, 1994 y Rosanov, 1994 en Baustista *et al.*, 2002).

La adaptabilidad, equidad y autogestión hacen referencia a la flexibilidad de los sistemas para modificar e innovar el manejo ante nuevas circunstancias; distribuir de manera equitativa los costos y beneficios entre los actores involucrados, asegurando la facilidad económica. Finalmente promover un nivel de independencia mediante la cual se pueda controlar y responder a los cambios fuera de las fronteras mientras se mantiene intactos la identidad y los valores (Ridaura *et al.*, 2002).

Los indicadores seleccionados para evaluar la calidad de los suelos dependerán del objetivo de la evaluación. Mediante una medición continua se da seguimiento a los efectos de las prácticas de manejo que se están realizando, si éstas han mejorado, empeorado o no han modificado las propiedades de los suelos en un periodo de tiempo (Bautista *et al.*, 2002).

4.4. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS Y SU ADOPCIÓN

Ante la presión del cambio climático, la degradación de suelos, la disminución de superficie de suelo arable, la disminución de biodiversidad de alimentos, el aumento en el precio de los alimentos y para garantizar la seguridad alimentaria se ha desarrollado un cambio en el manejo de los sistemas agrícolas mediante prácticas de conservación de suelo (FAO, 2017; Gliessman, 2010).

Algunas prácticas de conservación son actividades a nivel local que mantienen o mejoran la capacidad productiva en tierras propensas a la degradación o ya afectadas. Es por eso que estas prácticas incluyen la prevención o reducción de erosión de suelos, la compactación y la salinidad, el buen drenaje de agua en suelos; y mantienen y mejoran la fertilidad de los mismos (FAO, 2017).

El enfoque teórico y metodológico de la agroecología estudia a los sistemas agrícolas desde el punto de vista ecológico con sus funciones y procesos, además de ser socialmente sensible (González, 2011; Gliessman, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2008; Altieri, 1999). Los agroecosistemas sustentables son aquellos que satisfacen las demandas de producción (bienes y servicios) de origen agrícola, sin degradar sus recursos base. Éstos se estudian con sus funciones y procesos incluyendo el factor social y económico que

determina el manejo de los mismos a largo plazo para beneficio de la sociedad (Altieri, 1999).

Dentro de los procesos y funciones que se pretenden conservar en los agroecosistemas están: a) el flujo de materia y energía, b) el ciclo de nutrientes, c) la regulación de poblaciones de organismos y d) la estabilidad y capacidad de autosostenerse (Nicholls *et al.*, 2015; Gliessman, 2005). La primera hace referencia a la cadena trófica que va desde la producción primaria como los cultivos, hasta los descomponedores de materia orgánica; el segundo a los ciclos biogeoquímicos como el de C, N, P y K mediante el uso de abonos orgánicos tipo composta, incorporación de rastrojo, entre otros. La regulación de poblaciones incluye tanto el control de plagas y enfermedades en los cultivos y también las interacciones de competencia por nutrientes, espacio, agua, entre otros, y mutualismo como la rotación de cultivos con leguminosas.

Las prácticas pueden orientarse hacia la calidad física, química y biológica de los suelos. Para la calidad física primero que nada hay que reducir la erosión de los suelos tanto hídrica como eólica. En zonas con pendientes se protegen de la erosión hídrica a través de la creación de canales a nivel que recortan la longitud de la pendiente, reteniendo el suelo transportado de zonas más altas y también mantienen la humedad (FAO, 2011; WOCAT, 2011). Estos canales forman parte de un proceso lento de formación de terrazas que a largo plazo mejoran las condiciones del terreno para la actividad agrícola (WOCAT, 2011). El surcado al contorno es otra práctica de conservación que reduce la erosión hídrica del suelo y así mismo mantiene la humedad en los surcos.

Con respecto a la calidad química y biológica del suelo se usan abonos orgánicos como prácticas agroecológicas benéficas para los suelos ya que incorporan materia orgánica y nutrientes. Algunos de estos abonos pueden ser la composta tipo bocashi, incorporación de rastrojo, bioles y abonos verdes. La composta y los bioles son abonos fermentados que además de incorporar nutrientes disponible para las plantas, también favorecen la actividad microbiana del suelo (Ramos y Terry, 2014; Félix *et al.*, 2008).

La incorporación de rastrojo y el uso de leguminosas como abonos verdes son abonos producidos in situ que aunado con la labranza de conservación son una fuente de materia orgánica de lenta degradación que implica la mitigación de gases de efecto invernadero y protección al suelo de la erosión hídrica y eólica (Cotler *et al.*, 2016; Restrepo, 2007).

El uso de bioles y caldos minerales son prácticas que reducen el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos que además de mejorar la calidad de la producción, no contaminan al ambiente y disminuyen considerablemente el riesgo a la salud de los agricultores en su aplicación (Restrepo, 2007).

Prácticas de conservación de suelo se han desarrollado en diversas partes del mundo (WOCAT, 2011). La adopción y duración de las prácticas de conservación de suelos (CS) depende de varios factores socio-económicos como la edad de los agricultores y su actividad económica, la tenencia de la tierra, el tamaño de la parcela, pendiente del terreno, herramientas y maquinaria disponible, capacitación y acompañamiento con los productores sobre las prácticas a implementar; financiamientos y sobre todo la percepción sobre las prácticas de conservación por parte de los agricultores (Carlisle, 2016; Teshome *et al.*, 2015, WOCAT, 2011; Traoré *et al.*, 1998; Featherstone y Goodwin, 1993).

En México los agroecosistemas tienen un modelo desde la época prehispánica en donde existía la agricultura tradicional como las milpas. El conocimiento del trabajo en el campo se ha transmitido de generación en generación y ha sido modificado con el paso del tiempo y bajo el modelo de la agricultura moderna (Gliessman, 2001 en González, 2010). La migración de las zonas rurales representa un problema en el campo mexicano debido a que además del abandono de las tierras también se pierde el conocimiento sobre la agricultura tradicional (González, 2010).

Realizar un análisis de la calidad de suelos es muy importante ya que mide el estado del suelo a través de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y que también brinda información sobre el manejo actual. Además se genera un sentido de apropiación de las prácticas de conservación por parte de los agricultores al ver que su trabajo está dando resultados, o bien, hacer las respectivas modificaciones según sea el estado del suelo, lo cual reduce el abandono de las prácticas (Bautista *et al.*, 2004).

5. JUSTIFICACIÓN

El suelo es un sistema de gran importancia ambiental, económica y social (Doran y Parkin, 1994); el cual cumple con varias funciones ecosistémicas y es la base de la alimentación humana (Jónsson y Davídsdóttir, 2016; Dominati *et al.*, 2010). El manejo agroecológico es una estrategia ante la degradación de los suelos agrícolas tanto física, química y biológica, principalmente la pérdida de fertilidad. Este trabajo busca evaluar la

calidad de suelo en parcelas donde se han realizado prácticas de conservación de suelos. Los resultados de esta investigación permitirán identificar el estado de los suelos y comparar el impacto de diversas prácticas de conservación sobre la calidad de los mismos y con ello realizar las respectivas modificaciones en el manejo. Suelos con una buena calidad son clave en la seguridad alimentaria de un país, comenzando con los productores cuyo destino de cosecha es el autoconsumo.

6. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del suelo en parcelas agrícolas bajo prácticas de conservación de suelo con el fin de identificar diferencias entre éstas, por medio de indicadores físicos y químicos evaluados en campo y en laboratorio.

6.2. OBJETIVOS PARTICULARES

Seleccionar los cuatro grupos de parcelas con diferente manejo agrícola mediante la visita en campo y aplicación de entrevistas.

Identificar la apropiación de las prácticas de conservación por parte de los agricultores mediante la aplicación de entrevistas

Comparar los valores de los indicadores físicos (densidad aparente, porosidad, textura, estabilidad de agregados y Ks) y químicos (pH, CE, C y N total, P_{disp} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+) para el cultivo de maíz en suelos agrícolas con diferente manejo.

Presentar los resultados a los agricultores y generar una discusión acerca de la utilidad de las prácticas de conservación y el estado de los suelos de sus parcelas.

6.3. HIPÓTESIS

A mayor número de prácticas de conservación realizadas en la parcela mejor será la calidad del suelo.

La adopción de las prácticas de conservación de suelos varía en función de condiciones socioeconómicas de los agricultores.

7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

7.1. UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA AMANALCO – VALLE DE BRAVO

La zona de estudio de este trabajo se encuentra en el Estado de México en dos municipios: Amanalco de Becerra y Donato Guerra. Los sitios se encuentran en la subcuenca hidrográfica Amanalco-Valle de Bravo dentro del sistema Cutzamala (INEGI, 2009). La cuenca contribuye en un 40% de agua al sistema Cutzamala, el cual representa un abastecimiento del 20% de agua potable a la Ciudad de México (Madrid y Deschamps, 2014).

Amanalco se encuentra en la provincia del Eje Volcánico Transmexicano y su relieve comprende principalmente lomeríos, así como sierra, teniendo una elevación que va de los 2100 a 3300 msnm (Figura 1) (INEGI, 2009).

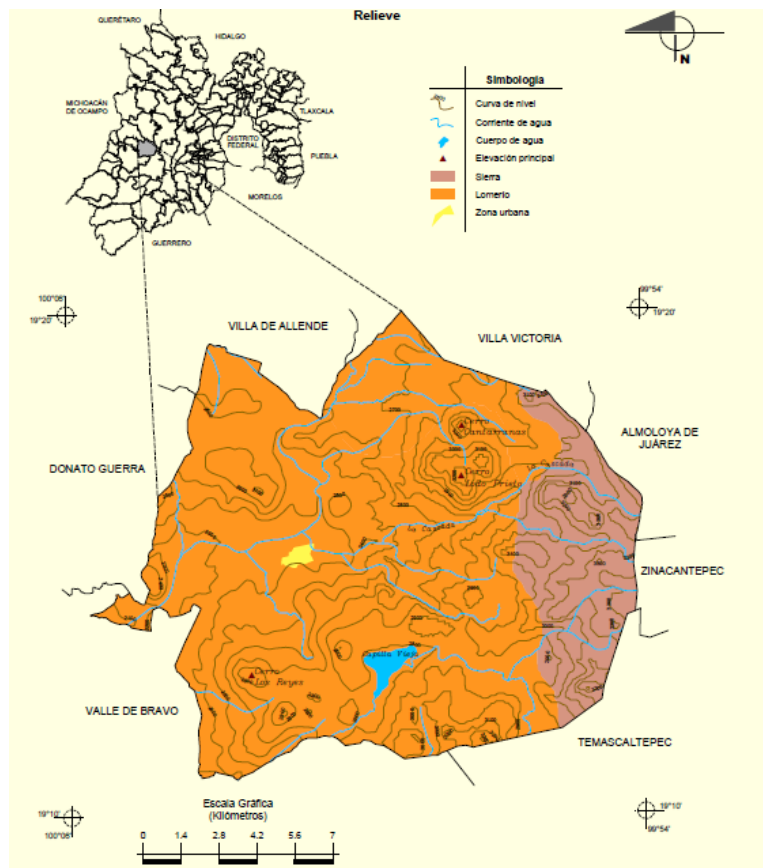


Figura 1. Ubicación del municipio de Amanalco, Edo. Méx., y su relieve (INEGI, 2009).

7.2. CONDICIONES AMBIENTALES Y SOCIALES

El clima del sitio de estudio es templado y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2009). Con respecto a la precipitación, el Sistema Meteorológico Nacional (SMN) en un periodo de casi 30 años (1981-2010) muestra que la precipitación media anual es de 1140 mm. Prado (2006) reportó que los meses de mayor precipitación ocurren entre Junio y Septiembre, con eventos de tormenta que duran por lo menos una hora. La temperatura media anual es de 14.5 °C (SMN, 2016).

Estudios realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2006) en la cuenca de Valle de Bravo, muestran que la subcuenca del Río Amanalco comprende el 37.75% de la captación de la subcuenca de Valle de Bravo, además que en ella se registra actividad agrícola y forestal.

La geología del lugar es de los periodos del Neogeno y Cuaternario con rocas ígneas extrusivas: andesitas, basalto, volcanoclásticos y toba básica (INEGI, 2009). La vegetación natural en el área de estudio está compuesta por especies como *Pinus spp.*, *Quercus spp.*, *Abies religiosa*, *Agave spp.*, *Prunus serotina spp.*, *Crataegus mexicana*, entre otras (Prado, 2006).

Los tipos de suelo en Amanalco son principalmente de tipo Andosol en un 93.63%, Luvisol (2.54%), Phaeozem (2.02%), Leptosol (0.77%) y Cambisol (0.1%). El uso de suelo es mayormente bosque (51.65%), seguido del uso agrícola (principalmente maíz y trigo) (39.88%), pastizal (7.53%) y zona urbana (0.27%) (INEGI, 2009).

Los Andosoles son suelos de origen volcánico que al meteorizarse resulta en la acumulación de complejos órgano-minerales estables o minerales de bajo grado de ordenamiento como alófanos (IUSS, 2007). Tienen un alto potencial para la producción agrícola, ya que tienen una alta capacidad de retención de humedad, son fáciles de cultivar y tienen buenas propiedades de enraizamiento. Sin embargo, tiene poca disponibilidad de fosfatos causada por Al y Fe libres (IUSS, 2007, INEGI, 2004).

La cuenca Amanalco – Valle de Bravo se divide principalmente en 53 ejidos y comunidades, así como propiedad privada. La agricultura y la silvicultura son las principales formas de sustento en las comunidades además del comercio local y servicios en ciudades adyacentes. La ciudad de Valle de Bravo como atractivo turístico ejerce una presión en la cuenca como la modificación del paisaje por la demanda de agua y terrenos, así como nuevas actividades económicas. Se han observado dos riesgos en la cuenca

como la modificación de las actividades culturales y de sustento ante el crecimiento en Valle de Bravo, así como el abandono de las actividades rurales (Madrid y Deschamps, 2014).

8. MÉTODOS

8.1. TRABAJO EN CAMPO

8.1.1. ANTECEDENTES DEL TRABAJO DEL CCMSS Y SELECCIÓN DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO

La cuenca Amanalco – Valle de Bravo es altamente susceptible a la pérdida de suelo. García (2014) estimó que existe una pérdida potencial de suelo que corresponde a más de 200 Ton/ha año, en un 80% de su superficie. Para mitigar el proceso de erosión y con los objetivos de fortalecer las capacidades locales para el desarrollo rural, proteger los medios de vida locales y aumentar el control comunitario sobre la tierra y sistemas de producción sostenibles, el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS) desde 2007 comenzó a desarrollar proyectos con 11 ejidos en un área total de 15 200 hectáreas (Madrid y Deschamps, 2014).

En noviembre de 2016 el CCMSS realizó un trabajo de gabinete para seleccionar las parcelas a estudiar y la división de los grupos, bajo los siguientes criterios: a) el tipo de manejo realizado en cada parcela, b) que las condiciones ambientales fueran lo más parecidas posibles, principalmente la pendiente y c) que el tipo de cultivo principal fuera maíz de temporal.

8.1.2. IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS DIFERENCIADOS POR PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS

El trabajo de campo realizado en diciembre de 2016 junto con personal del CCMSS permitió diferenciar cuatro grupos de productores en función de las técnicas de conservación de suelos utilizadas (Tabla 3). Cada grupo está compuesto por mínimo tres parcelas distintas.

El primer grupo (I) es aquel que como acción de conservación tiene canales y surcado al contorno, es decir a nivel, y aún usa agroquímicos. A partir del segundo grupo (II) ya no se usan agroquímicos, a excepción de dos parcelas de este grupo que aún usan urea. Este segundo grupo de igual manera tiene canales y surcado al contorno, y además realiza un manejo agroecológico mediante uso de composta, bioles y diversos caldos minerales tales como: sulfocálcico, ceniza, bordelés y de nixtamal. Los agricultores de este grupo han iniciado los trabajos hace dos o hasta cinco años.

El tercer grupo (III) además de canales y surcado a nivel tiene el manejo agroecológico arriba mencionado, y también siembra avena (*Avena sativa*) y/o ebo (*Vicia sativa*), que incorpora al suelo como abonos verdes. Los agricultores llevan más de tres años con estos trabajos. Finalmente el grupo control (C) está compuesto por parcelas donde se realiza el trabajo agrícola convencional, sin medidas de conservación de suelos.

Tabla 3. Tipo de grupos de muestreo.

Grupo	Tipo de prácticas realizadas	Tiempo de trabajo con las prácticas (años)	No. de integrantes
Control (C)	Sin acciones de conservación y uso de agroquímicos	0 - 1	4
I	Con acciones de conservación (canales y surcado al contorno) y uso de agroquímicos	1 - 5	3
II	Con acciones de conservación (canales y surcado al contorno) y manejo agroecológico (composta, bioles y caldos minerales)	2 - 5	6
III	Con acciones de conservación (canales y surcado al contorno), manejo agroecológico (composta, bioles y caldo sulfocálcico) y uso de abonos verdes (avena y ebo)	3 - 6	3

8.1.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS

Se llevó a cabo la descripción de un perfil de suelo por cada parcela, en el mes de marzo de 2017, obteniendo la descripción de un total de 16 sitios (Figura 2). La descripción se

realizó a través de los métodos de evaluación del Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo (Anexo 2) (Siebe *et al.*, 2006).

Una vez descrito el perfil se tomó una muestra compuesta de ocho muestras individuales del primer horizonte representativo de cada parcela, con la cual se realizaron los análisis en el laboratorio que posteriormente se detallan. De igual manera se tomó en un envase de tetra pack, una muestra horizontal de los primeros centímetros del horizonte superficial, para evaluar la estabilidad de los agregados. Finalmente se tomó una muestra vertical inalterada con un cilindro de acero, del horizonte superficial, para determinar la densidad aparente.

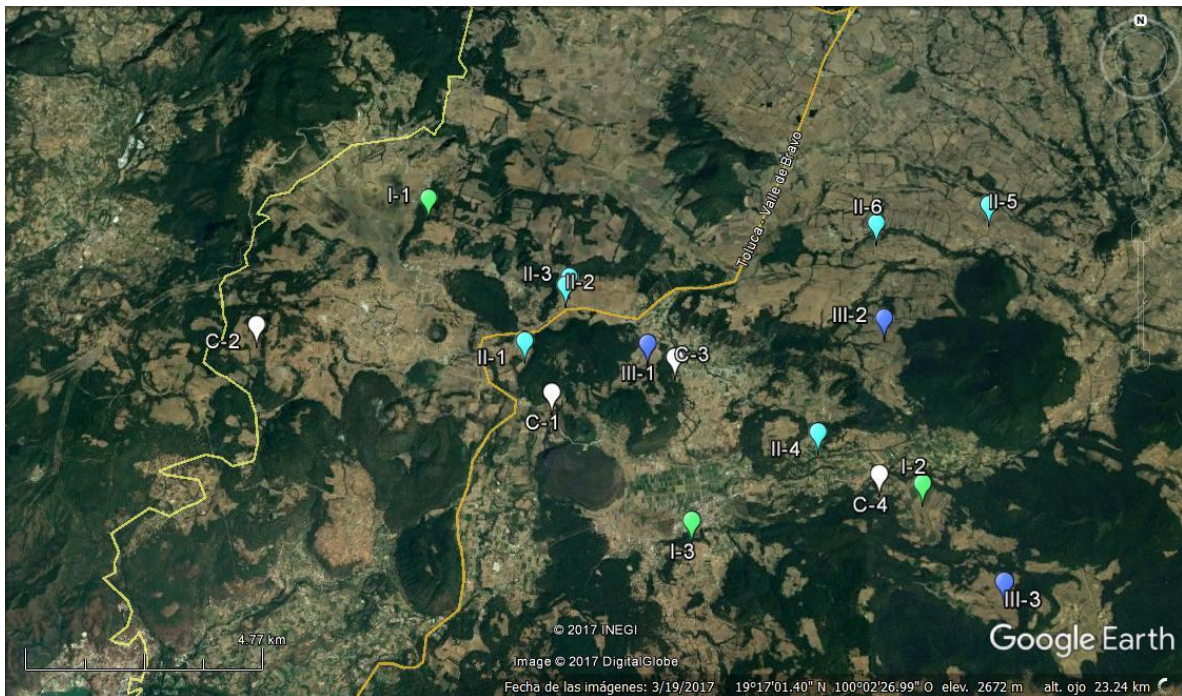


Figura 2. Imagen de google earth (2017) con la ubicación de las parcelas muestreadas diferenciadas por grupos (puntos blancos grupo control-C, verdes grupo I, turquesa grupo II y azules grupo III).

En el mes de abril de 2017 se realizó la prueba de infiltración por el método de doble anillo (Prado y Carrillo, 2012), con infiltrómetro de la marca Turf-tec. Ésta se midió sobre el bordo del surco, cercano al punto donde anteriormente se realizara el perfil. El valor de Ks obtenido se comparó con los valores calculados en la evaluación edafocológica (Siebe *et al.*, 2006) de la descripción del perfil realizado en la primera visita.

8.1.4. ENTREVISTAS SEMI ESTRUCTURADAS

Se elaboró una entrevista la cual fue aplicada a cada dueño de parcela en el mes de marzo de 2017. En una segunda salida en abril del mismo año se profundizó en cada uno de los temas. Las preguntas realizadas se dividen en cinco temas: datos personales del agricultor, datos de la parcela, sistema de manejo de la parcela, prácticas de conservación y beneficios y obstáculos identificados (ver Anexo 1).

8.2. TRABAJO EN LABORATORIO

Con la finalidad de determinar la calidad de suelos, se llevaron a cabo diversos análisis de parámetros físicos y químicos seleccionados como indicadores. Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas a malla 10 (2mm). Los análisis realizados fueron:

8.2.1. DENSIDAD APARENTE (DA) Y POROSIDAD

Mediante el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986) se tomó una muestra de suelo cerca al perfil abierto. La muestra fue tomada del horizonte más superficial en un cilindro de volumen 100 cm³ y recuperadas en bolsas de plástico.

En el laboratorio se vaciaron las muestras en charolas con peso conocido, se pesó el suelo en una balanza analítica de precisión 0.01 g y se restó el valor de la charola (A). Después se metieron a la estufa a 105 °C por 24 horas para eliminar el agua de la muestra. Transcurrido el tiempo se metieron las muestras en un desecador hasta esperar que se enfriaran para posteriormente se pesadas y restarles el peso de la charola. Se volvieron a introducir las muestras en la estufa y se repitió el proceso hasta obtener un peso seco constante (B).

$$DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = (\text{Peso A (g)} - \text{Peso B (g)}) / \text{Volumen del cilindro (cm}^3\text{)}$$

Se realizó una corrección por piedras, en la cual la muestra de suelo seco fue tamizada a malla 10 (2mm). Las piedras se pesaron en una balanza de precisión 0.01 g y luego se calculó su volumen mediante el volumen de agua desplazada en una probeta. El peso de las piedras se restó al peso A y el volumen obtenido se restó a los 100 cm³ correspondientes al volumen del cilindro.

La porosidad se calculó en porcentaje a partir de la siguiente fórmula (León y Hernández, 2005):

$$\text{Porosidad (\%)} = (1 - (\text{DA} / \text{DR})) \times 100$$

Donde DA: densidad aparente y DR: densidad real (2.65 g/cm³)

8.2.2. pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La prueba se realizó en una proporción 1:2.5, es decir, se pesó una muestra de 10 g de suelo seco y tamizado, en un tubo de plástico con tapa. Se agregó 25 ml de agua destilada y se agitaron por 18 horas. Con el potenciómetro Beckman a una temperatura de 25 °C se midió el pH de las muestras en la fase líquida, sin que el electrodo toque el suelo. El equipo se calibró con un buffer de pH 7 y pH 4 y también se utilizó una muestra control interna Xico del Instituto de Geología de la UNAM.

La CE se midió con el conductímetro Hanna HI 4321 a una temperatura de 25 °C. La medición se realizó introduciendo el electrodo con el que se agitó la muestra hasta verla homogénea. Finalmente los datos obtenidos por duplicado se promediaron para obtener un valor por muestra. El equipo se calibró con un buffer de conductividad 1413 mS/cm y también se utilizó una muestra control interna Xico del Instituto de Geología de la UNAM.

8.2.3. ESTABILIDAD DE AGREGADOS

Con la finalidad de ver la resistencia de los agregados en la superficie del suelo ante la acción del agua, se obtuvo una muestra de suelo más superficial del perfil en un envase de *tetra pak*. Las muestras fueron cubiertas con papel aluminio y almacenadas en un lugar fresco procurando no alterarlas. El método utilizado en laboratorio fue Yoder modificado (Yoder, 1936) con una muestra de 25 g.

El procedimiento consistió en colocar tamices pequeños de tamaño 4, 2, 1, 0.5, 0.25 y 0.053 mm de diámetro, apilados en forma descendente (Figura 3A). Sobre el tamiz de mayor tamaño se colocó la muestra de suelo y se humedeció con un aspersor antes de ser sumergida en agua destilada a una velocidad de constante de 45 rev/min, a lo largo de 1 min (Figura 3B).

El suelo que permaneció en cada tamiz se recuperó en charolas de aluminio previamente pesadas y se secaron a 105 °C por 24 horas y se registró el peso seco de cada muestra

(Figura 3C). Para eliminar la fracción de arena, las muestras secas se sometieron al ultrasonido en su tamiz correspondiente por 5 min. Las muestras obtenidas se secaron a 105 °C por 24 horas y se registró el peso seco correspondiente. La fracción de suelo estable se obtuvo mediante la resta de las arenas a la fracción primaria obtenida.

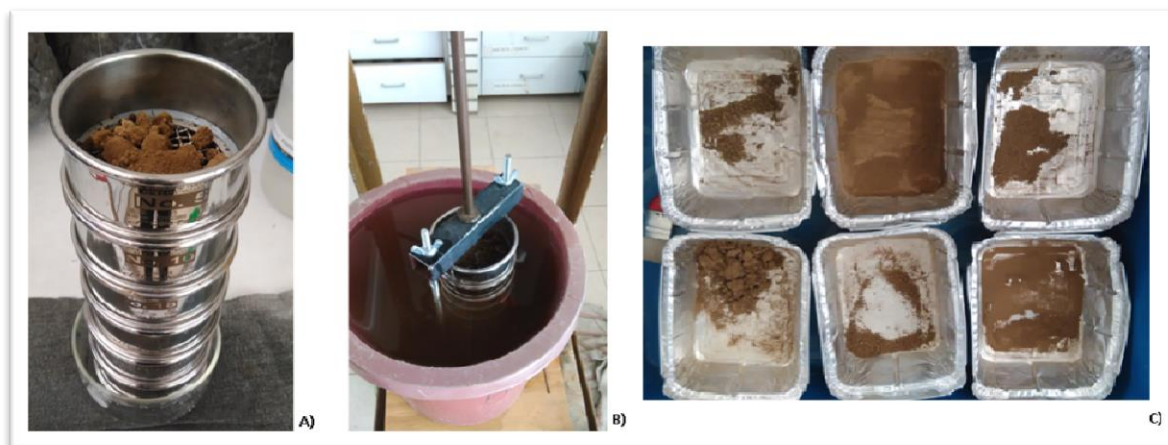


Figura 3. Fotografías del análisis de estabilidad de agregados en húmedo por el método Yoder modificado. A) Muestra de suelo sobre tamices apilados en forma descendente, B) Movimiento constante de sumersión a 45 rev/min, C) suelo seco recuperado de cada tamiz.

8.2.4. TEXTURA

La textura se determinó por medio del método de Bouyoucos modificado (Ponce de León *et al*, 2012), con el propósito de determinar la distribución de los tamaños de partículas que componen la fracción mineral del suelo (Bouyoucos, 1963).

Las muestras secadas y tamizadas, fueron sometidas a una serie de pretratamientos para eliminar sustancias cementantes (carbonatos, materia orgánica (MO), óxidos y sales solubles) y exponer las fracciones minerales.

El procedimiento consistió en poner 25 g de suelo en un frasco de cristal con agua y H₂O₂ al 8% (Figura 4 A) en baño María a no más de 60°C para la destrucción de MO (Figura 4B). Para las muestras que tuvieron óxidos, se les agregó 160 ml de citrato de sodio 0.3 M y 40 ml de NaHCO₃ y se metieron a baño María a 75°C, donde se les agregó 0.5 g de ditionito de sodio y se agitó.

Todas las muestras se colocaron en frascos nalgene con agua destilada y se centrifugaron a 2500 rpm durante 30 min, hasta obtener un sobrenadante claro (Figura 4 C). El lavado de sales se realizó decantando el sobrenadante de las muestras centrifugadas y agregando agua destilada para medir la CE, hasta obtener valores menores a $100 \mu\text{Scm}^{-1}$.

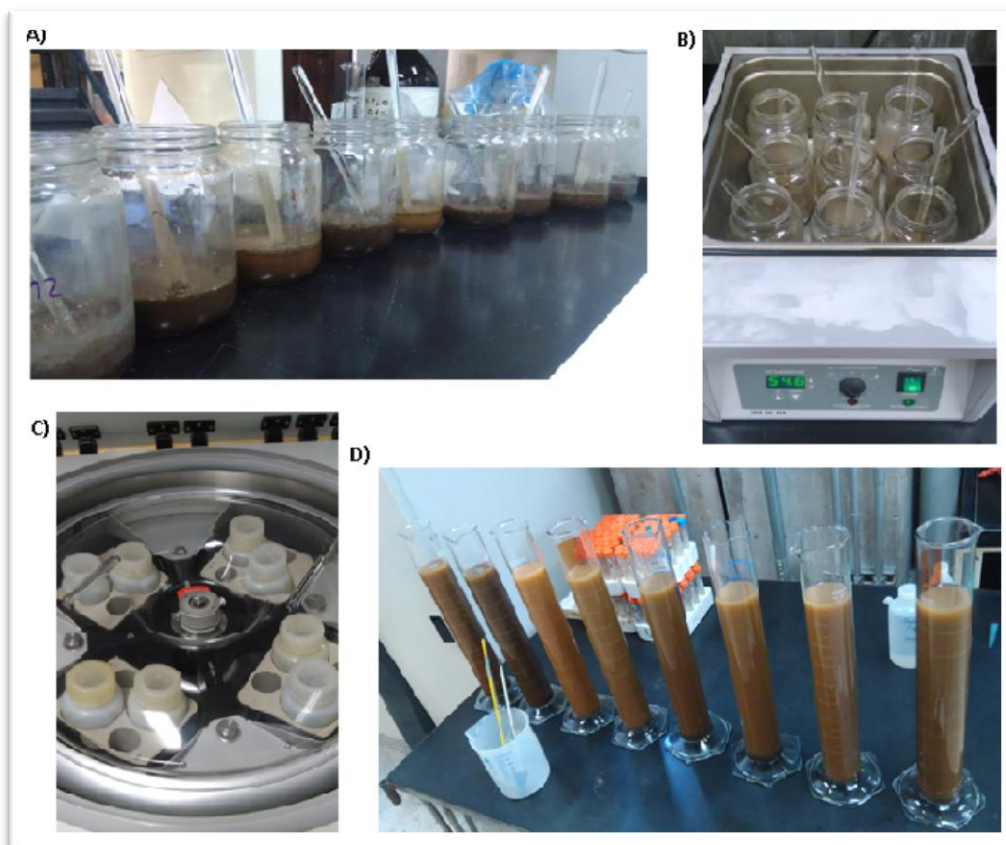


Figura 4. Fotografías del análisis de textura: A) destrucción de MO de las muestras, B) muestras en baño maría para destrucción de óxidos, C) centrifugación de las muestras para eliminar las sales y D) prueba de textura por el método de Bouyoucos.

La dispersión de las partículas se realizó agregando 50 ml de $(\text{NaPO}_3)_6$ 0.4 N a las muestras provenientes de los pretratamientos, y se agitaron durante la noche. Al día siguiente se pusieron en el ultrasonido durante 5 min. Se realizó un blanco, con 50 ml de $(\text{NaPO}_3)_6$ 0.4 N y agua destilada.

Finalmente el análisis de textura se realizó haciendo una suspensión del suelo (o el blanco) hasta un litro en una probeta de 1000 ml con agua destilada. Se midió la temperatura de la suspensión y luego se agitó con un agitador manual de probetas

durante 1 min. Al parar de agitar, se dejó reposar 20 s y se introdujo el hidrómetro, el cual se equilibró en 20 s y se tomó la lectura de la muestra. Después de un reposo de 2 h, se volvió tomar la lectura con el hidrómetro con su respectiva calibración, seguido de la medición de la temperatura (Figura 4D). Con la temperatura se realizó una corrección de las lecturas del hidrómetro y se utilizó un blanco distinto por cada 10 muestras.

8.2.5. CARBONO Y NITRÓGENO TOTALES

La determinación de Carbono y Nitrógeno totales se realizó mediante un analizador elemental CNHS/O Flash 2000 de Thermo en el Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM bajo las siguientes condiciones analíticas:

Helio como gas acarreador, 950 °C de temperatura de combustión, conductividad térmica como detector, acetanilida como compuesto de calibración y LECO soil calibration simple for CNS part 502-309 como material de referencia.

La materia orgánica se estimó en porcentaje a partir de la constante $MP=1.724 \cdot C_{total}$

8.2.6. CONTENIDO DE FÓSFORO DISPONIBLE

La determinación de P disponible se realizó con la técnica Bray – Kurtz (1945), utilizando el espectrómetro Genesys 20 de Thermo. Se utilizó como control de calidad la muestra patrón interna Xico del Laboratorio Edafología Ambiental de la UNAM.

8.2.7. CONTENIDO DE BASES (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ Y K^+) INTERCAMBIABLES

Para su determinación se utilizó la técnica de acetato de amonio 1N pH 7 para la extracción (Van Reeuwijk, 1992; Bouwer *et al.*, 1952). Se determinó Ca^{2+} , Mg^{2+} en un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer PinAAcle 900H; mientras que Na^+ y K^+ por medio de un espectrómetro de flama Sherwood modelo 360. Para el control de calidad de utilizó la muestra patrón interna Xico del Laboratorio de Edafología Ambiental de la UNAM.

8.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y AMEBA

Con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico con el programa STATISTICA 10, correspondiente a una prueba de ANOVA de una vía, o en su caso la prueba de Kruskal Wallis en los análisis de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ para determinar las diferencias significativas entre los valores obtenidos de los indicadores en las diferentes tipos de parcelas. De igual manera para evaluar la cantidad de prácticas de conservación realizadas se realizó un diagrama AMEBA.

El diagrama AMEBA se elaboró con los datos obtenidos de las entrevistas y algunos de los indicadores de calidad de suelo. Se tomaron los valores medios por grupo y se estandarizaron a 1 ha de terreno. Los datos se normalizaron con respecto a los valores deseados en suelos con buena calidad y manejo agroecológico, similar a la Tabla 2. Se tomaron los valores medios por grupo y se estandarizaron a 1 ha de terreno. El criterio para la normalización fue la siguiente:

$$\uparrow \text{ Positivo} = (\text{valor} / \text{valor máximo}) \times 100$$

$$\downarrow \text{ Negativo} = (\text{valor} / \text{valor mínimo}) \times 100$$

8.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON AGRICULTORES Y CCMSS

Para fortalecer el trabajo de conservación de suelos del CCMSS y de los agricultores se tuvo una reunión informativa para presentar los resultados obtenidos en cada parcela, y discutir con ellos sobre la importancia de las prácticas de conservación de suelos, el estado de los suelos de sus parcelas y que modificaciones se pueden realizar para mejorar sus condiciones edáficas.

La reunión se realizó en las oficinas del CCMSS el día 9 de febrero del 2018 con la presencia de los agricultores, con los que se trabajó en este estudio, y representantes del CCMSS.

Se realizó una presentación informativa sobre algunos indicadores de calidad de suelo analizados que más influyen en la fertilidad de los suelos, tales como: pH, textura, materia orgánica y nutrientes.

Los resultados se dieron a partir de fichas individuales, con los valores obtenidos en el suelo de su parcela muestreada, en conjunto con una determinación con base en los

valores recomendados para suelos para cultivo, de manera numérica y colorimétrica (Ver Anexo 3). De igual manera se dio una pequeña interpretación escrita de los resultados.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se dividen en: análisis de las entrevistas, análisis de pruebas de laboratorio y discusión de resultados con los agricultores.

9.1. ANÁLISIS DE LAS ENTREVISTAS

Las entrevistas nos permiten obtener información sobre el manejo de las parcelas agrícolas muestreadas. Para el análisis de estos datos se dividió la información en características generales de los 16 propietarios entrevistados, las características de cada grupo de estudio y finalmente una comparación entre cada grupo.

9.1.1. CONDICIONES GENERALES DE LOS ENTREVISTADOS

A continuación se muestran las características generales de los datos obtenidos de las entrevistas realizadas a los propietarios de las parcelas muestreadas, siendo un total de 16 personas entrevistadas, de las cuales 15 son hombres y una es mujer. Las edades varían entre 38 a 77 años, con un nivel de educación mayormente de primaria con un 63%, 31% secundaria y 6% tiene carrera técnica (Figura 5). Con respecto a su permanencia en México, el 44% nunca ha migrado, mientras que el 37% lo ha hecho a otro estado del país y el 19% ha estado en E.U.A. (Figura 6).

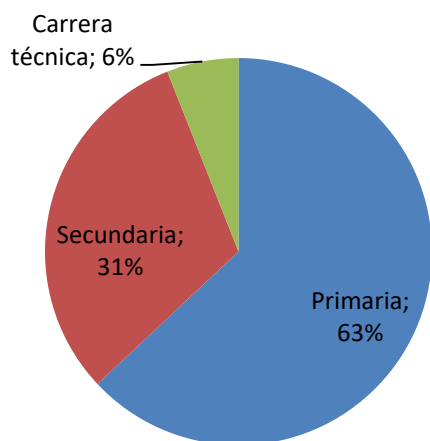


Figura 6. Nivel de educación de los 16 propietarios de las parcelas muestreadas.

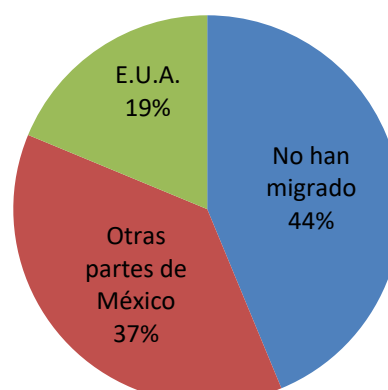


Figura 5. Migración de los propietarios en porcentaje, siendo 16 el 100%.

La mayoría de los entrevistados se dedican a la agricultura como actividad económica primaria (14 integrantes) y sólo dos se dedican a otra actividad como taxista o mecánico en un taller, siendo la agricultura su actividad secundaria (Figura 7).

La posesión total de tierras por propietario varía de 0.5 a 6.5 hectáreas, en una o hasta siete parcelas. El principal uso de estas tierras es para agricultura aunque también hay terrenos con cobertura forestal. La superficie de las parcelas agrícolas muestreadas van de 0.03 a 4 ha, cuya tenencia puede ser ejidal, propiedad privada y en alquiler.

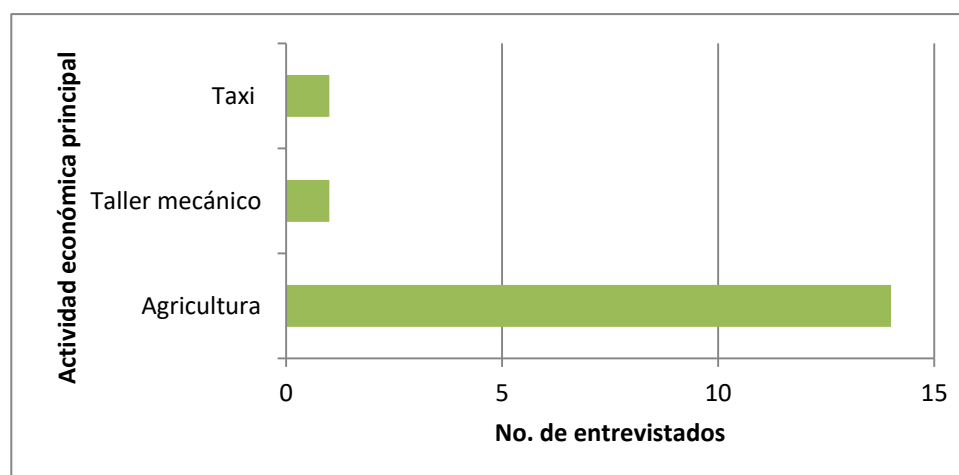


Figura 7. Actividad económica principal de los propietarios entrevistados de las parcelas muestreadas.

En cuanto al sistema productivo el cultivo dominante es de maíz de temporal con semilla criolla y el destino de la cosecha es de autoconsumo con algunas ventas de excedentes. La forma de labranza se realiza ya sea solamente con yunta, con tractor o ambos; con uso diverso, ya que la yunta puede ser para barbechar y el tractor para surcar o viceversa. El tractor es alquilado mientras que la yunta puede ser propia o también alquilada (ver Figura 8).

El alquiler del tractor representa un mayor gasto comparado con una yunta. Suarez *et al.* (2005) reportaron que para el surcado el costo en dólares por hora de trabajo es de 0.22 dólares. La ventaja del tractor es la rapidez del trabajo a diferencia de la yunta (2-3 h/ha contra 25 h/ha). El uso de la herramienta dependerá de su posesión de éstas tecnologías, su disponibilidad de acceso a la parcela, y del tamaño de este terreno.

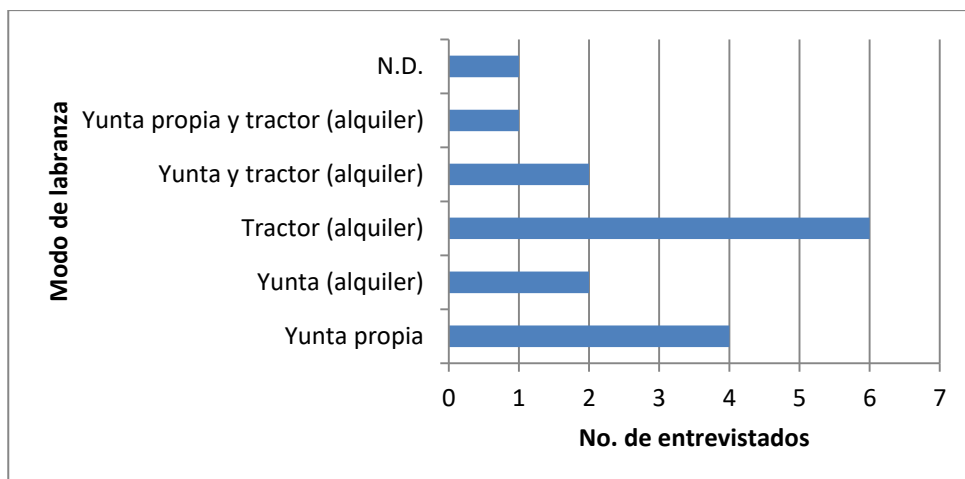


Figura 8. Maquinaria de labranza utilizada en las parcelas muestreadas, ya sea de tenencia propia o en alquiler, donde ND: No se describió.

9.1.2. CARACTERÍSTICAS ENTRE GRUPOS

Las prácticas utilizadas y los productos aplicados en cada parcela se muestran en el Anexo 4.

a) Grupo control

Este grupo está compuesto por cuatro propietarios, los cuales varían en edades de 43-75 años, dos de sus integrantes cuenta con educación primaria, uno con secundaria y otro con carrera técnica. Solamente un integrante se dedica completamente a la agricultura, los restantes tres tienen otras actividades económicas principales. La mitad del grupo ha migrado, uno tres años a otras ciudades del Norte de México y el otro por 12 años a Estados Unidos de América.

Tres de los integrantes han descansado sus parcelas algunos años, el otro apenas la comenzará a trabajar puesto que antes la alquilaba. En cuanto a su sistema productivo, ninguno deja rastrojo en la parcela; el rastrojo lo utilizan para hacer trueque por trabajo de labranza o bien, es para la alimentación del ganado. Todos usan agroquímicos, siendo únicamente uno de uso exclusivo, los demás también agregan lama de caballo o borrego.

b) Grupo I

El grupo está compuesto por tres propietarios de edades de entre 42 y 65 años. El nivel de estudios es de nivel primaria. La posesión de sus tierras es de más de una parcela, por lo que no dependen únicamente de la parcela muestreada cuyo tamaño va de entre una a

1.5 ha. No han migrado, solamente uno estuvo en la Ciudad de México durante tres meses.

Con respecto al sistema productivo, dos integrantes tienen yunta y trabajan sus tierras con ella, mientras que los otros dos alquilan tractor. Además tienen canal y surcado a nivel. Usan agroquímicos, bocashi o estiércol, biol y caldos para las plagas. Los preparados los hacen en grupos y todos afirman que continuarían con la adopción de las prácticas.

c) Grupo II

El grupo está compuesto por seis propietarios, con edades de entre 42 y 77 años, donde el señor de 77 años tiene a cargo del manejo de sus tierras a su hijo de aproximadamente 30 años. La escolaridad del grupo es mayormente de educación primaria con cinco integrantes y uno con nivel secundaria. La superficie total de sus terrenos van de 1.5 a 6.5 ha en varias parcelas.

Su actividad económica principal es la agricultura, aunque únicamente dos integrantes se dedican exclusivamente a ella, los restantes cuatro tienen una actividad económica secundaria. Sus tierras siempre las han trabajado ellos o sus familiares hasta por más de 50 años.

Con respecto a su sistema de producción, varía entre solamente manejo agroecológico (cuatro integrantes) y manejo agroecológico más uso de urea como fertilizante (dos integrantes). El deshierbe es manual sin agroquímicos. Todos tienen ganado o al menos un animal al cual mantienen con la cosecha y por tanto no dejan rastrojo o bien, dejan muy poco para incorporar en el terreno. A partir del estiércol obtenido de sus animales, preparan la composta para agregar a la parcela agrícola; sin embargo, un integrante compra el estiércol porque no le alcanza para toda su parcela. La preparación de los caldos minerales aplicados se realiza mayormente de manera grupal (13 integrantes), los restantes tres integrantes lo realizan de manera individual.

d) Grupo III

Este grupo está compuesto por tres propietarios con edades de 38 y 42 años y escolaridad a nivel secundaria. Su actividad principal es la agricultura, sin embargo, todos poseen una actividad económica secundaria. Todos poseen animales (borregos, reses o

caballos). El tamaño de las parcelas muestreadas es de una a 1.5 ha. Únicamente un miembro ha emigrado al D.F. por 12 años.

En su sistema productivo realizan rotación de cultivos de maíz y abonos verdes (avena (*Avena sativa*) y ebo (*Vicia sativa*). No usan agroquímicos, utilizan composta y biol, y únicamente dos propietarios además usan caldo sulfocálcico. Los preparados anteriores los realizan de forma individual en sus cultivos, las hierbas las quitan a mano y se incorporan al suelo. Tienen uno o varios canales y además realizan surcado a nivel. El trabajo de labranza lo realizan con yunta, solamente uno tiene una propia, los demás la alquilan. De ser posible, afirman continuar con la adopción de las prácticas de conservación de manera independiente, puesto que han visto que no pierden suelo por erosión hídrica y además tienen la conciencia de comer más sano y natural.

9.1.3. DIFERENCIAS ENTRE GRUPOS

Las diferencias entre los grupos de trabajo abordan características personales de los integrantes por grupo, datos de la parcela, sistema productivo y las prácticas de conservación (tabla 4). Los grupos varían en las edades, siendo muy claro que en el grupo III se encuentra una muestra más joven. Una diferencia importante entre el grupo control y los otros grupos, es que en el primero la agricultura no constituye la actividad económica principal para la mayoría de los miembros.

Con respecto al nivel educativo, el grado de escolaridad en los grupos estudiados es creciente a partir del grupo I con educación primaria, en el grupo II es de primaria y secundaria, correspondiendo a la escolaridad promedio actualmente en México el cual es de primaria incompleta (INEGI, 2016); mientras que el grupo III es educación secundaria. La educación en la agricultura juega un papel muy importante, partiendo de que el asistir a la escuela posibilita un mayor desarrollo en el ámbito personal, familiar y social (INEGI, 2016). El hecho de que los agricultores no tengan una profesión de ese ramo presenta un obstáculo para la obtención de conocimiento teórico y técnico, lo que conlleva a seguir usando métodos empíricos transmitidos de generación en generación (Corona, 2016).

El rango de edad a excepción del grupo III donde este rango es más pequeño y de mediana edad (38 – 42 años) correspondiendo con la edad media nacional para los agricultores que es de 41.7 años (INEGI, 2016); los demás son de rangos más grandes con integrantes de 42 y hasta 77 años. Para la adopción de prácticas de conservación de

suelo la edad es relevante dado que agricultores de mayor edad invierten menos en prácticas de conservación (Featherstone y Goodwin, 1993).

Tabla 4. Resumen de las características entre cada grupo de trabajo, que van desde información personal de los propietarios, datos de las parcelas, sistema productivo y prácticas de conservación.

Grupo	Control	I	II	III
No. Integrantes	4	3	6	3
Edades	43 - 75	42 - 65	42 - 77	38 - 42
Escolaridad	Primaria, secundaria, carrera técnica	Primaria	Primaria y secundaria	Secundaria
Actividad económica principal	Agricultura/ Mecánico/ Taxista	Agricultura	Agricultura	Agricultura
Propietarios con actividad económica secundaria	3	2	4	3
Migración	2 integrantes	1 integrante	2 integrantes	1 integrante
Terrenos	1.5 - 3.5 ha	2.5 - 4 ha	1.5 - 6.5 ha	1.5 - 5 ha
Tenencia de la tierra	Propiedad privada	Propiedad privada y alquiler	Propiedad privada y ejido	Propiedad privada y ejido
Tamaño parcela muestreada	0.03 - 2 ha	1 - 1.5 ha	0.03 - 4 ha	1- 1.5 ha
Agroquímicos utilizados	Urea, Hierbamina, Gesaprim, DAP 18:46, mezcla maicera	Urea, superfosfato simple, sulfato de amonio	Urea	ninguno
Productos orgánicos utilizados	Lama de caballo o borrego	Estiercol, bocashi, biol, biofertilizante supermagro, caldo bordolés, compuesto ceniza y caldo sulfocálcico	Composta de caballo, caldo sulfocálcico, caldo ceniza, caldo bordolés biol, caldo de nixtamal y gallinaza.	Composta, bioles, gallinaza + lama de borrego y caldo sulfocálcico.
Rendimiento (ton/ha)	2.1 - 3.7	0.5 - 2	0.07 - 3	0.9 - 3
Canal o bordo	0	3	6	3
Incorporación de rastrojo	no	si	si	sí
Abonos verdes	no	no	algunas veces	sí
Integrantes con tenencia de animales	2	2	6	3
Tiempo de trabajo con el CCSMIM	1 año y no incorporados	1 - 5 años	2 - 5 años	3 - 6 años

Carlisle (2016) reporta que los agricultores jóvenes adoptan más fácil las prácticas de manejo por varias razones, como que su educación esté orientada al cuidado ambiental y no están tan arraigados a las tradiciones locales; sin embargo, los agricultores de mayor edad conforme mayor experiencia tengan, más probable reconocen el problema de erosión de suelos.

En todos los grupos se observa que al menos un integrante ha migrado del lugar. La migración de zonas rurales donde se lleva a cabo la agricultura es muy común en México desde 1970 (González, 2010). Las causas tanto de la migración nacional como internacional se originan por la falta de oportunidades laborales, las pocas expectativas de trabajo y educación, por el grado de marginación en que se vive y la búsqueda de una mejor condición de vida de las familias (Monroy y Juan, 2009). Las reformas y liberación comercial en tratados internacionales ha influenciado la migración a zonas de cultivos estacionales en Estados Unidos de América y Canadá (Corona, 2016; Robles, 2012; Gonzáles, 2010).

Los agricultores entrevistados que migraron a E.U.A. trabajaron en zonas agrícolas con gran uso de agroquímicos, por ello resaltan su interés de no usar agroquímicos en sus cultivos, puesto que prefieren una cosecha más sana que no afecte su salud.

En cuanto a la propiedad de los terrenos, la mayor superficie total de tierras la tienen los propietarios de los grupos II y III. Los agricultores con los que se trabajó en su mayoría poseen más de una parcela, uno incluso tiene hasta siete. La fragmentación de los terrenos es un problema para la adopción de prácticas de conservación de suelos, ya que se ha visto que los propietarios con parcelas chicas reciben menos apoyos económicos en programas agrícolas gubernamentales (Teshome *et al.*, 2015). Por otro lado, los agricultores con terrenos agrícolas más grandes son más probables que realicen prácticas de conservación de suelos (Featherstone y Goodwin, 1993). Se ha observado que los agricultores encuestados que tienen más terrenos (5 – 6.5 ha) pertenecen al grupo II y III, es decir, realizan prácticas de conservación y están decididos a continuar con ellas aun de manera independiente.

Con respecto al sistema productivo, las prácticas de manejo orgánico son variadas (Figura 9). Para algunos grupos solamente consiste en el uso de composta o estiércol de animal en sus parcelas como el grupo control. Un manejo más completo lo realizan los grupos III, II y I respectivamente, con uso de compostas o estiércol de animal, uso de abonos verdes, bioles y otros preparados como caldo sulfocálcico, caldo de ceniza, caldo bordelés y caldo de nixtamal. Los preparados se realizan tanto de manera grupal como individual (Figura 10), siendo que los grupos I y II los realizan mayormente en grupo, mientras que el grupo III, con más experiencia, lo hace de manera individual.

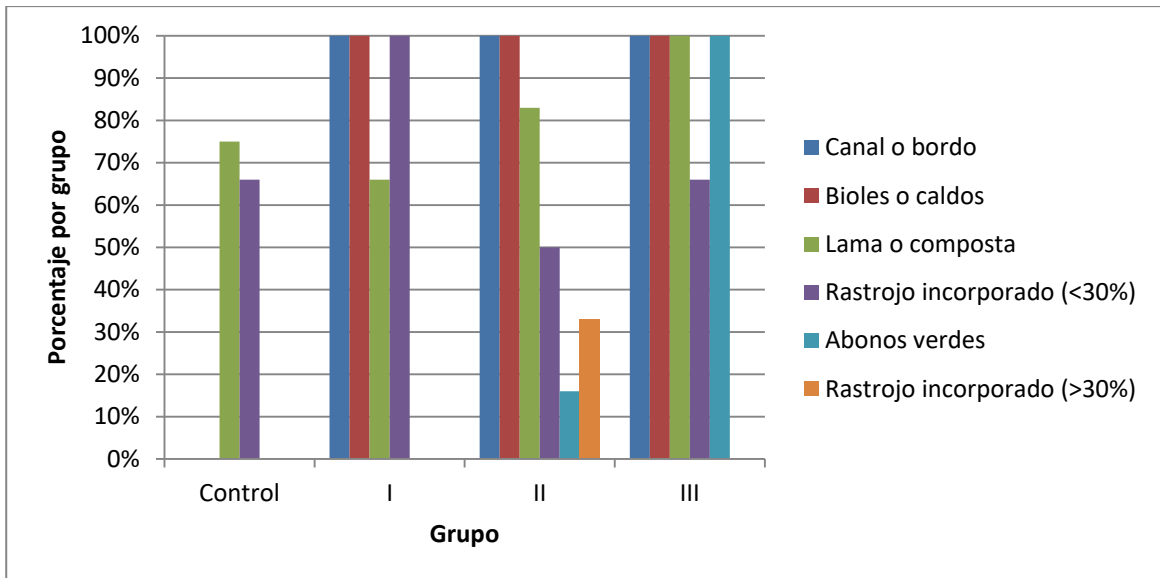


Figura 9. Actividades de manejo agroecológico realizadas por grupo según el porcentaje de los integrantes que las llevan a cabo.

Realizar las preparaciones en equipo representa menor gasto y trabajo para cada agricultor, además de que están siendo acompañados por el CCMSS. Sin embargo, también puede representar una dificultad si los integrantes no trabajan por igual y sobre todo si se encuentran muy distanciados físicamente entre ellos. El grupo III por su parte realiza las preparaciones de manera individual, quizá porque se encuentran distanciados de otros compañeros o también porque su conocimiento adquirido a lo largo del trabajo en equipo y con el CCMSS les permite hacerlo de manera individual. Generalmente, el trabajo grupal en prácticas de conservación de suelo favorece la adopción de las mismas (Teshome *et al.* 2015).

La forma de elaboración de los productos orgánicos sugiere que el aprendizaje es paulatino, por lo cual en un inicio el preparado se hace de forma grupal y con el paso de los años y la adquisición de más experiencia, la elaboración se realiza de manera individual.

El uso de agroquímicos se encuentra en tres de los cuatro grupos, sin embargo los grupos que más los usan son el grupo control y el I. En el grupo II solamente el 33% de los integrantes usan algún agroquímico, urea.

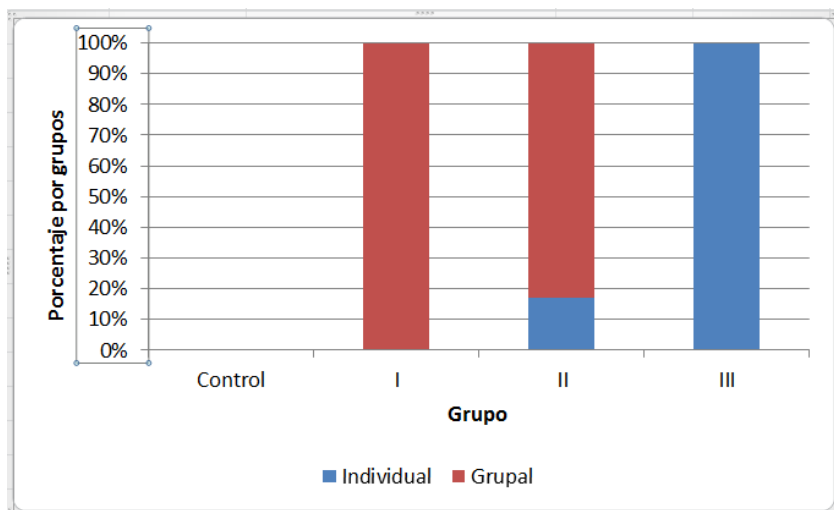


Figura 10. Formas de elaboración de los preparados orgánicos por grupo de trabajo.

Los canales y el surcado al contorno se realizan en los grupos I, II y III (Figura 11). Estas prácticas son de las primeras aplicadas por los agricultores al ingresar al CCMSS y el principal objetivo es reducir la velocidad del escurrimiento superficial y con ello evitar la erosión hídrica del suelo al acortar la longitud de las pendientes que son de 2 y hasta 13° (WOCAT, 2011; SAGARPA, 2005). Al disminuir la escorrentía se favorece la infiltración de agua en el suelo y se reduce su pérdida, especialmente de la parte más superficial que contiene más materia orgánica. Los canales con una vegetación en las barreras son el primer paso para la construcción de terrazas de formación lenta, que poco a poco van mejorando la superficie del terreno. Varios agricultores reportaron que han tenido obstáculos por el surcado al contorno con los tractoristas pues éstos les cobran más, ya que les implica mayor trabajo hacerlo.

Estas prácticas de conservación de suelo y agua son muy importantes en Amanalco, donde García (2014) estimó que en la cuenca existe una pérdida potencial de suelo que corresponde a más de 200 Ton/ha/año, en un 80% de su superficie.

Las diferencias entre un sistema de manejo agrícola convencional (grupo control) y un manejo agroecológico (grupo III), se pueden observar con mayor facilidad en la Figura 12. El grupo III, que tiene un manejo meramente agroecológico, se diferencia de los demás grupos en que tiene un mayor nivel educativo y una actividad económica secundaria. Si bien el grupo III con mayor manejo agroecológico no tiene el mayor rendimiento (solamente 5% menos del primer lugar), tampoco compran fertilizantes ni plaguicidas

químicos, disminuyendo los costos del sistema productivo. El contenido de materia orgánica en este grupo es mayor en comparación con los demás grupos. No son los que agregan mayor composta pero sí incorporan rastrojo y usan abonos verdes. Mientras en el grupo control se tiene ligeramente un mayor rendimiento, también hay mayores costos por la compra de fertilizantes y plaguicidas en comparación a los demás grupos.



Figura 11. Parcelas agrícolas estudiadas con prácticas de conservación con canales con vegetación en la barrera, surcado a nivel e incorporación de rastrojo en las parcela.

El uso de abonos orgánicos es un importante aporte de materia orgánica, la cual beneficia al suelo en sus características físicas, químicas y biológicas (SAGARPA y FAO, 2012) En el aspecto físico influye en: la estructura, porosidad, aireación, infiltración, capacidad de retención del agua, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados. La mayoría de los agricultores utilizan algún tipo de abono orgánico, a excepción de un integrante del grupo control. El abono orgánico utilizado en éstas parcelas varía entre estiércol (caballo, borrego, res y gallinaza), composta, biofertilizantes, rastrojo de los cultivos anteriores y abonos verdes (avena y ebo).

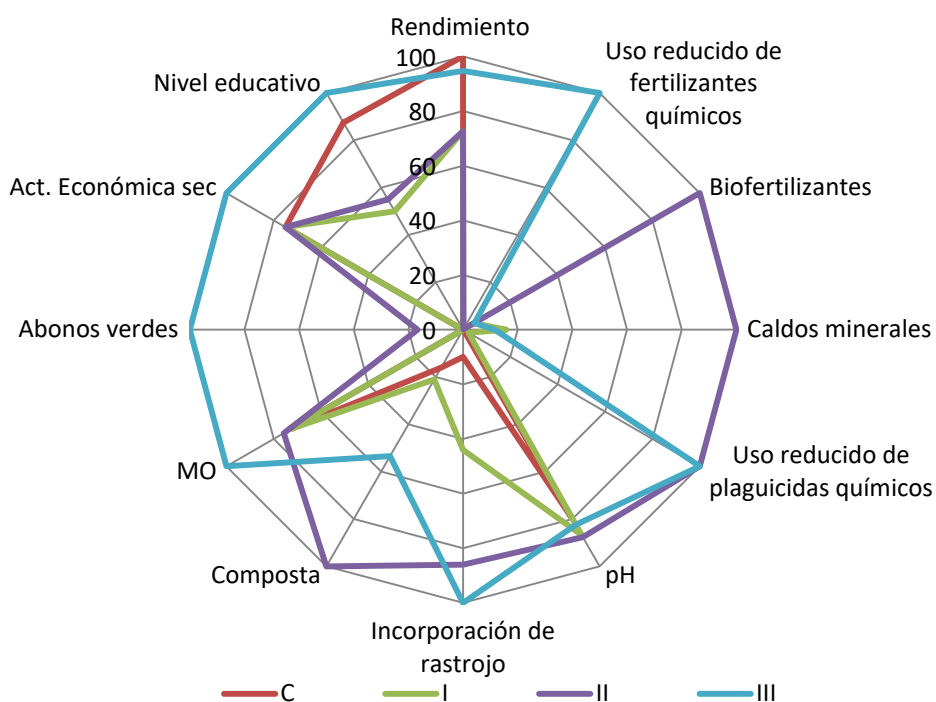


Figura 12. Diagrama AMEBA sobre las principales diferencias entre los grupos analizados.

El pH es una de las características químicas que puede afectar el rendimiento de los cultivos. Se ha visto que el uso de abonos orgánicos aumenta el pH en suelos ácidos; sin embargo, se necesitan de grandes cantidades y periodicidad en su aplicación para obtener los cambios, por ejemplo aplicaciones de 10 ton de gallinaza durante 4 años aumentó el pH de 4.8 a 5.1 influyendo en la disminución de la acidez por Al, lo cual es un problema en Andosoles (INIFAP, 2005).

Algunas características biológicas, como la actividad microbiana, se benefician por el uso de abonos orgánicos incrementando su actividad y con ello la disponibilidad de los nutrientes tras el proceso de descomposición de la materia orgánica (FAO, 2011; Giusquiani et al., 1995).

La incorporación de rastrojo incrementa el aporte de carbono y nitrógeno, y también fósforo, un macronutriente esencial y limitante en los cultivos. Tan solo el maíz demanda 9.5 kg de P_2O_2 / ton donde la mayor parte se moviliza al grano (7 kg/ton) y en el rastrojo queda 2.5 kg/ton que puede reincorporarse al suelo (INIFAP, 2005).

La labranza de conservación sería una muy buena estrategia de conservación que aunado con el trabajo ya realizado en los grupos I, II y III daría mejores resultados; ya que se mejoraría la incorporación de MO al suelo (Cotler *et al.* 2016). Sin embargo, hay agricultores que el rastrojo lo utilizan como alimento para el ganado o bien, se han presentado problemas al dejar el rastrojo en las parcelas ya que el ganado ajeno se lo come (comunicación personal con los agricultores).

Los abonos verdes además de incorporar materia orgánica al suelo, en el caso de usar leguminosas como el ebo (*Vicia sativa*) también fijan nitrógeno en el suelo el cual queda disponible para los cultivos (Restrepo, 2007). La avena (*Avena sativa*) por su parte es una gramínea de raíces profundas, con lo cual transfiere nutrientes de capas más profundas a la capa arable (Guzmán y Alonso; 2008; INFOAGRO, 2018).

Tanto el rastrojo como los abonos verdes representan un abono orgánico que ya está en el sitio, por lo cual los agricultores disminuyen los costos de transporte hacia la parcela agrícola (Restrepo, 2007). Otro beneficio de los abonos verdes es que ofrecen una mayor cobertura al suelo, por lo que reducen su erosión (CIAT, 2018). También aportan materia orgánica al suelo, liberan nutrientes durante su mineralización, disminuyen la lixiviación de los nutrientes, transfieren nutrientes del subsuelo a la capa arable, aumentan el rendimiento del cultivo debido al aporte de nutrientes, mejoran la estructura, la capacidad de retención de humedad, y la aireación del suelo; aumentan la cantidad de microorganismos en el suelo, ayudan a corregir el pH y controlan malezas, plagas y enfermedades (SAGARPA, 2017).

La inversión en semillas de avena y ebo puede ser una desventaja para su producción ya que se recomienda usar 40 kg de ebo y 80 kg de avena por hectárea, lo cual en precio equivale aproximadamente en \$1,980 y \$1,520 pesos mexicanos respectivamente. El éxito de la cosecha no está garantizado puesto que dependerá mucho de las condiciones ambientales. El ebo es muy sensible al exceso de agua, por lo que si no hay buena infiltración y hay muchas lluvias, el rendimiento puede disminuir mucho y con ello el éxito de la inversión (Hanan, A. M. y Mondragón, J, 2009).

Según la literatura con los abonos verdes no se obtiene una respuesta tan rápida como con los fertilizantes químicos; sin embargo, los resultados en los rendimientos tienden a incrementarse a partir del segundo y tercer año de usar esta tecnología (Giraldo CIAT, 2018).

La composta o bocashi también representan un aporte de nutrimentos para las plantas mientras favorece la salud del suelo al ser un abono orgánico fermentado con gran actividad microbiana (Ramos y Terry, 2014; Félix *et al.*, 2008). Una de las principales ventajas del bocashi es que provee a la planta los microelementos en forma solubles y en un microambiente de pH biológicamente favorable para la absorción radicular, y aporta microorganismos benéficos al suelo (Ramos y Terry, 2014).

Las ventajas del uso de bocashi en las características físicas del suelo son: mejorar la estructura, la infiltración del agua y la conductividad hidráulica; disminuir la densidad aparente y la tasa de evaporación. En cuanto a su influencia en las características biológicas son: aumentar la biodiversidad microbiana con los microorganismos presentes en la composta; así como, favorecer la actividad microbiológica por el aporte de material biológico en proceso de descomposición y autorregular agentes patógenos en el suelo (Ramos y Terry, 2014).

La preparación de esta composta no es una receta única, sino que puede variar según los materiales locales y se presta a la creatividad de los agricultores para sustituir materiales como por ejemplo cambiar la levadura por pulque (Ramos y Terry, 2014; Félix *et al.*, 2008; Restrepo, 2007). Los materiales para su elaboración son de bajo costo y si se hace en conjunto con otros agricultores los costos pueden disminuir más. Los costos son menores comparados con los fertilizantes químicos y no dañan la salud de los agricultores. La elaboración se considera fácil, exige poco tiempo y también es fácil de almacenar (Restrepo, 2007).

Una desventaja observada es que los agricultores requieren de una capacitación para aprender a preparar el bocashi. Aunque las dosis de aplicación pueden variar, el CCMSS recomienda agregar entre 3 a 4 toneladas por hectárea, dividida la mitad durante la siembra y el resto en la mitad de la escarda. La distancia que exista entre la parcela y el sitio de almacenamiento de la composta puede ser un factor para transportar las cantidades recomendadas.

Los biofertilizantes líquidos (bioles) son otro tipo de abono verde muy utilizados por los agricultores a los que se entrevistó. Los materiales para su preparación son baratos y fáciles de obtener localmente; aunque requieren de una pequeña inversión inicial para la compra de materiales de almacenamiento como los tambos con roscas, mangueras y la

mochila aspersora. El uso de bioles comparado con el uso de fertilizantes químicos, representa una disminución de gastos de producción.

Al ser un fertilizante foliar, es fácilmente absorbido por las plantas y se pueden observar resultados a corto plazo, además les da una mayor protección a los cultivos contra plagas mediante el fortalecimiento de los cultivos. La producción de la cosecha se conserva en buen estado por más tiempo y también reduce los riesgos a la salud de los aplicadores de bioles en comparación con los agroquímicos (Restrepo, 2007).

Al aplicar el biol sobre el suelo se aportan nutrientes, se favorece la actividad microbiológica, mejora la estructura, facilitan la nutrición equilibrada del suelo y maximizan el aprovechamiento mineral por los cultivos, entre otros beneficios (Restrepo, 2007). Por otro lado, adoptar esta práctica requiere que los agricultores sean capacitados en el uso de esta tecnología, el mal manejo de los bioles puede quemar la cosecha (FONCODES, 2014) y con ello una razón para que el agricultor abandone la adopción; como en el caso de un agricultor entrevistado.

Los caldos minerales más utilizados en las parcelas estudiadas son a base de cobre (caldo bordelés), azufre (caldo sulfocálcico) y ceniza. El caldo bordelés sirve como fungicida que al no penetrar en el tejido de las plantas, desarrolla una acción preventiva que previene infecciones (Cruz, 2004). El caldo sulfocálcico por su parte tiene una acción de insecticida utilizado para el control de cochinillas, ácaros, pulgones y trips. Finalmente el caldo ceniza funciona como fungicida e insecticida, en el control de: cochinillas, escamas, gusano cogollero del maíz, mosca blanca, pulgones y gusanos de cuerpo blando.

Los caldos minerales son una opción diferente al uso de plaguicidas químicos, ya que además de ser más económicos, tienen un menor riesgo para la salud de los agricultores, el ambiente y los cultivos. Estos productos se preparan rápidamente y pueden almacenarse hasta por 6 meses (Restrepo, 2007). Sin embargo, se requiere que los agricultores deban capacitarse para el uso de esta tecnología, ya que su mal manejo puede provocar quemaduras en las plantas. La preparación puede hacerse en equipo y así disminuir costos de producción.

El tipo de abono o plaguicida orgánico que se utilice dependerá del estado del suelo y las necesidades de los cultivos, el capital adquisitivo para los materiales a utilizar, y la

disponibilidad de tiempo del agricultor para realizar y aplicar las tecnologías necesarias. Se ha visto que los agricultores que se dedican a tiempo completo a la agricultura, mantienen la adopción de las prácticas de conservación de suelo (Teshome *et al*, 2015).

A excepción del grupo control que en su mayoría no está integrado al CCMSS, los demás grupos han trabajado bajo el acompañamiento de esta organización, siendo el grupo III quienes han estado incorporados por más tiempo. El acompañamiento de una organización con programas de conservación de suelos es un factor influyente en la adopción de prácticas de conservación y que los agricultores continúen con ellas (Teshome *et al.*, 2015).

Del total de los entrevistados, el 88% continuará con la implementación de las prácticas de conservación. Del restante, el 6% no lo hará por razones económicas y porque no obtuvo resultados favorables en la cosecha; el otro 6 % aunque desea continuar con las prácticas, tiene la incertidumbre sobre la tenencia de la parcela agrícola.

Finalmente la existencia de apoyos económicos tanto del gobierno como de ONG's ayuda a que los agricultores inviertan en prácticas de conservación de suelo a largo plazo (Featherstone y Goodwin, 1993).

9.2. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

9.2.1. pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Los valores de pH varían entre 4.79 y 6.38 (ver Tabla 5; Anexo 5), por lo que los suelos de las parcelas son en su mayoría moderadamente ácidos y solamente se obtuvo un suelo fuertemente ácido (NOM-021-RECNAT-2000), correspondiendo a valores para suelos de tipo Andosol (Shoji, 1993). El grupo control presenta una media de 5.14; el grupo I de 5.64; el grupo II su correspondiente media es de 5.70 y en el grupo III es 5.36 (Figura 13). Se observan valores de mayor acidez en los suelos del grupo control, sin embargo, mediante la prueba de ANOVA de una vía se obtuvo que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($P= 0.21$). Los resultados obtenidos son parecidos a los reportados por García y Hernández (1994), Hernández (2000) y Prado *et al.* (2007) en suelos de la región con valores de entre 3.8 y 5.7, 3.92 y 7.20 y 5.1 respectivamente; siendo en Amanalco una media de 4.67.

El cultivo de maíz puede crecer con cierta tolerancia en valores pH de 5 a 8, siendo su crecimiento óptimo en un pH de 5.5 a 7 (Porta, 2003). Valores de pH menores a 5.5 tiene efectos perjudiciales debido a que reducen la actividad microbiana y la disponibilidad de los nutrientes, especialmente del fósforo y aumenta el riesgo de toxicidad por aluminio (SAGARPA, 2012; Porta, 2003; Brady & Weil, 2008).

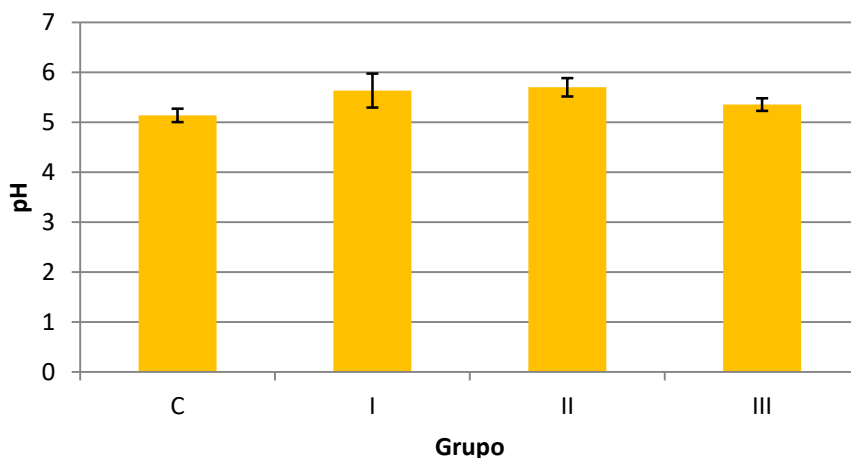


Figura 13. Valores promedios de pH por grupos con su respectivo error estándar.

En suelos agrícolas, el uso de fertilizantes amoniacales (nitrato de amonio, fosfato de amonio) y amídicos (urea) favorecen la acidificación del suelo, ya sea de manera directa o indirecta como el proceso de nitrificación del amonio (Shoji et al., 1996; Campillo y Sadzawka, 2018). En suelos agrícolas el uso de compostas tipo bocashi pueden aumentar el pH aunque a un largo plazo (Restrepo, 2007). En zonas como Amanalco, donde la precipitación es alta, se promueve el lavado de sales y como consecuencia se acidifica el suelo (SAGARPA, 2012). El encalado por otra parte es una técnica que permite aumentar el pH del suelo en un corto plazo, un método para calcular la cantidad de cal a aplicar es a partir de la concentración de Al intercambiable en el suelo (Espinoza y Molina, 1999; Castellanos, 2017).

La conductividad eléctrica (CE) obtenida varía entre 41.94 y 186.7 uS/cm, que se clasifican como suelos no salinos (Figura 14; Tabla 6). En el grupo control se obtuvieron valores de entre 41.94 y 113 uS/cm; en el grupo I de 65.73 a 100.55 uS/cm; mientras que para el grupo II se obtuvieron de entre 72.3 y 166.95 uS/cm. Finalmente en el grupo III los valores oscilan entre 70.88 y 186.7. La prueba de ANOVA de una vía dio como resultado que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($P=0.31$). Estos

resultados son mayores a los reportados por Hernández (2000): 0.018 y 0.717 uS/cm; aunque el autor aclara que sus niveles bajos se pueden deber a la fecha de muestreo en época de lluvias.

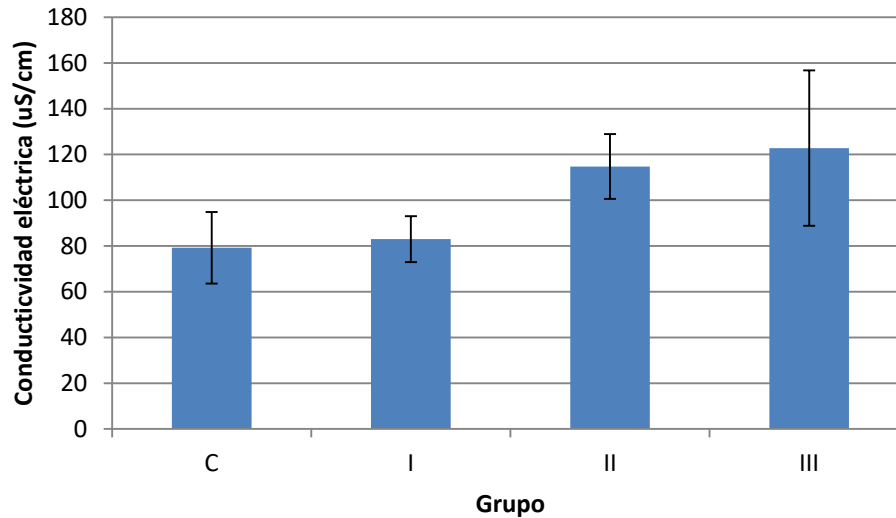


Figura 14. Valores promedio de CE por grupos con su respectivo error estándar.

Todos los suelos estudiados son no salinos, lo que quiere decir, que hay pocas sales disueltas. Lo anterior se puede deber a que las rocas que dieron origen a estos suelos son volcánicas pobres en sales. Otro factor es que en Amanalco la precipitación pluvial media anual es de 1238 mm, lo cual favorece el lavado de sales. Un suelo no salino es muy bueno para la producción de cultivos debido a que las plantas no tienen que realizar esfuerzos mayores para absorber el agua disponible.

9.2.2. TEXTURA Y DENSIDAD APARENTE (DA)

A continuación se muestran los resultados de textura y DA para cada una de las parcelas de estudio (Tabla 5). En el grupo control la textura de los suelos es arcillosa y franco arcillosa. La DA media para este grupo es de 0.84 g/cm³ y una porosidad de 68.3% en suelos no barbechados (ver Figura 15).

El grupo I tiene suelos de textura franca y franco arcilloso, la DA media es de 0.79 g/cm³ y una porosidad del 70.25%. En el grupo II las texturas son más variadas pero se mantienen en textura media: franca, franco arcilloso y franco arcillo arenosa y la DA media del grupo es de 0.8 g/cm³ y una porosidad de 69.9 %. Finalmente en el grupo III la textura

es franca y franco arcillo arenosa, la DA media es de 0.77 g/cm³ y la porosidad del 70.9 %. La prueba de ANOVA de una vía dio como resultado que no hay diferencias estadísticamente significativas de DA entre los grupos (P=0.68). Asimismo, no se encontraron diferencias significativas entre suelos con y sin barbecho.

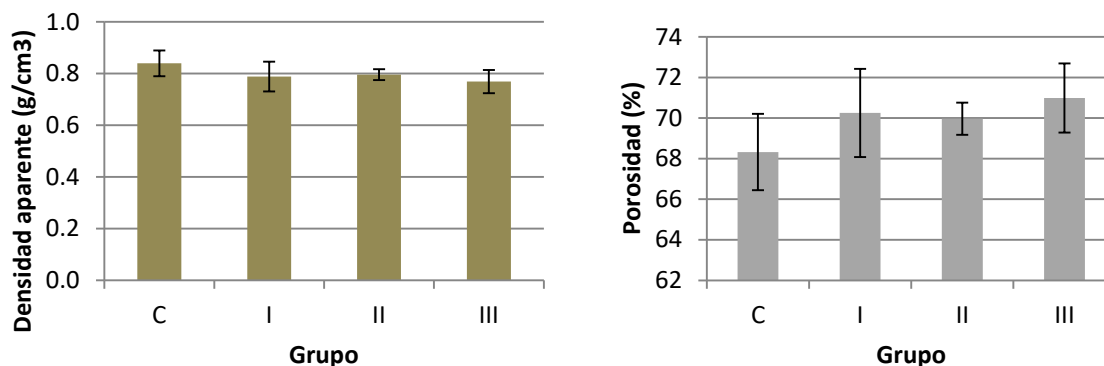


Figura 15. Valores medios y desviación estándar de DA (g/cm³) y porosidad (%) por grupos.

Las escasas diferencias texturales y el manejo agrícola semejante de barbecho y siembra en todas las parcelas durante aproximadamente 50 años, explican que no haya una diferencia significativa de la DA y la porosidad en los grupos. Los valores ideales de DA para el crecimiento radicular en suelos con textura franco, franco arcilloso y franco arcillo arenoso es menor de 1.4 g/cm³ (SAGARPA, 2012). Todos los suelos muestreados incluyendo los barbechados y sin barbecho tienen buena densidad aparente y porosidad, por lo que están bien aireados con drenaje adecuado y adecuado desarrollo de raíces. Sin embargo, los suelos agrícolas con labranza presentan el problema de tener un horizonte con cierto grado de compactación por debajo del superficial, lo cual disminuye los beneficios del suelo poroso antes mencionados.

La textura de los suelos estudiados es mayormente media y una fina o arcillosa considerados los ideales para el cultivo (Castellanos, 2017). La textura es un indicador de la calidad del suelo cuyos cambios se ven a muy largo plazo como proceso de la evolución del suelo. Sin embargo, la textura del suelo más superficial se puede afectar si recibe continuamente por muchos años un aporte de partículas transportadas por el agua (Porta, 2003).

Tabla 5. Propiedades físicas de los suelos agrícolas muestreados y presencia de labranza e incorporación de material vegetal al suelo.

Muestra	DA g/cm ³	Porosidad (%)	Textura			Clase textural	Barbecho	Tipo de labranza	Rastrojo incorporado (%)	Abono verde (%)
			% arcilla	% limos	% arena					
C-1	0.97	63.4	50	17	33	Arcilloso	NO	Tractor	0	0
C-2	0.86	67.4	27	33	40	Franco arcilloso	NO	Yunta	20	>0 (ND)
C-3	0.75	71.7	33	29	38	Franco arcilloso	NO	Yunta	0	0
C-4	0.77	70.8	28	27	44	Franco arcilloso	NO	Tractor y Yunta	0	0
I-1	0.8	69.9	23	36	41	Franco	NO	Yunta	15	0
I-2	0.68	74.2	25	33	41	Franco	SI	Yunta y Tractor	50	0
I-3	0.88	66.7	32	29	39	Franco arcilloso	SI	NA	0	0
II-1	0.78	70.4	31	32	37	Franco arcilloso	SI	Tractor	15	0
II-2	0.85	67.8	35	36	29	Franco arcilloso	SI	Tractor	15	0
II-3	0.79	70.2	29	25	46	Franco arcillo arenoso	NO	Tractor	20	0
II-4	0.71	73.2	29	25	46	Franco arcillo arenoso	NO	Tractor	100	0
II-5	0.84	68.1	22	32	45	Franco	SI	Yunta	5	0
II-6	0.79	70.2	26	32	41	Franco	SI	Tractor	100	100*
III-1	0.78	70.7	29	25	46	Franco arcillo arenoso	SI	Yunta	100	100
III-2	0.84	68.2	25	33	42	Franco	SI	Tractor y Yunta	50	>0 (ND)
*III-3	0.69	74.1	31	26	42	Franco arcilloso	SI	Yunta	0	80

*El suelo ya había sido sembrado al momento de muestrear.

**NA: No se tiene la información.

9.2.3. ESTABILIDAD DE AGREGADOS

A continuación se muestran los resultados de los porcentajes de agregados, divididos en macro (>1mm) y microagregados (<1mm) (Figura 16). Cabe señalar que algunos de los suelos analizados habían sido barbechados en la fecha de muestreo.

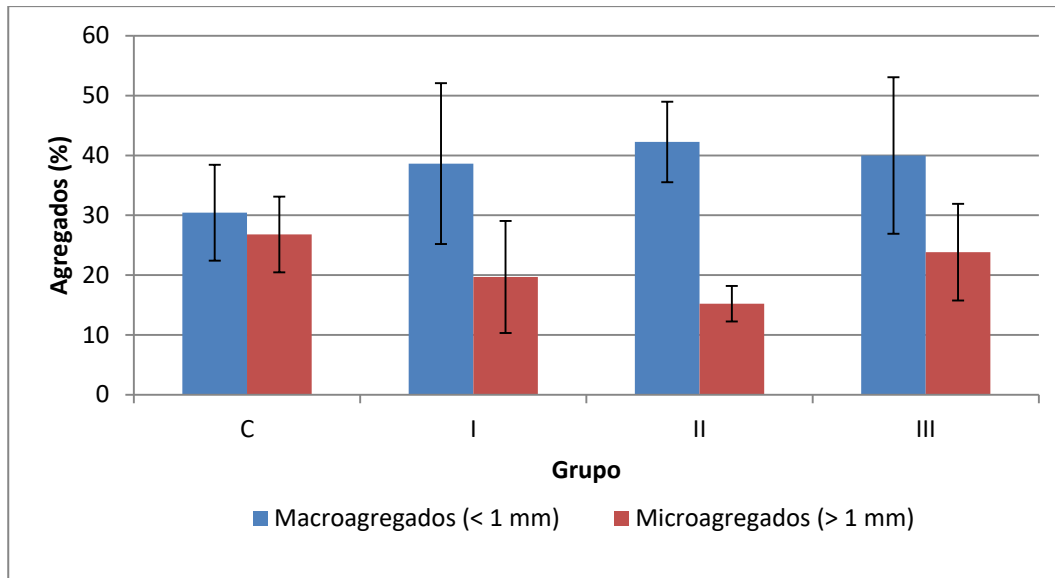


Figura 16. Estabilidad de los agregados en húmedo.

No se obtuvieron diferencias significativas entre los grupos ($P= 0.43$ y 0.52 para macro y microagregados respectivamente), sin embargo, se observaron ciertas tendencias. Los grupos II, III y I presentan mayor contenido de macroagregados que el grupo control. Los principales factores que influyen en la estabilidad de los agregados es la textura, principalmente las arcillas, el hierro y bases intercambiables, la cantidad y tipo de materia orgánica y la actividad biológica (microbiana y raíces) (Martínez, 2007; USDA, 1996). Cuando los suelos suelen tener un porcentaje de arcillas mayor al 30%, el comportamiento de los suelos depende del tipo de arcillas (Lynch y Bragg, 1985, en Martínez, 2007).

El grupo control tiene un mayor porcentaje de microagregados mientras que el grupo II tiene el menor porcentaje. Se podría decir que los suelos del grupo II son los menos vulnerables a la erosión hídrica y después eólica, seguido del grupo III y I, mientras que el grupo control es el grupo más vulnerable a la pérdida de suelo. Esto es muy importante dado que la mayoría de las parcelas estudiadas se encuentran en laderas y dónde además durante la época de lluvias pueden ocurrir eventos de tormenta de aproximadamente una hora (Prado, 2006).

9.2.4. NUTRIMENTOS EN SUELOS

A continuación se muestran los resultados de MO, C y N total, P disponible y bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) intercambiables (Tabla 9). Los datos generales se aprecian en el Anexo 5. Los valores obtenidos fueron calificados según el requerimiento nutricional en cultivos de maíz reportados por Castellanos *et al.* (2005) (ver Anexo 6). En la Tabla 9 se pueden observar niveles muy bajos para P disponible en todos los grupos evaluados, los valores van de 0.18 a 1.63 mg/kg y no se encuentra diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($P=0.5$). Si bien en Andosoles con cobertura natural es de esperarse valores bajos de P disponible (Shoji *et al.*, 1993), los resultados obtenidos para los suelos analizados muestran valores especialmente bajos (Figura 18). Hernández (2000) reportó valores de P disponible (método de Olsen) para suelos de la región de 0.215 a 78.75 ppm, siendo la media en Amanalco de 12.97 ppm.

Tabla 6. Principales propiedades químicas en los suelos muestreados.

Muestra	pH	CE	MO	C total	N total	C/N	P disp.	Cationes intercambiables (ppm)			
		($\mu\text{S}/\text{cm}$)	%	%	(mg/kg)		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^+	Na^+	
C-1	4.79	113	3.77	2.05	0.19	11	1.56	593	45	175.5	13.8
C-2	5.18	95.1	6.75	5.03	0.39	13	1.63	657	64.2	411.5	17.3
C-3	5.45	41.9	4.67	2.94	0.22	13	0.59	1093	47.4	212.6	16.1
C-4	5.15	66.8	5.26	3.54	0.28	13	0.25	395	23.4	247.7	12.7
I-1	6.21	100.6	4.11	2.39	0.3	8	0.25	2202	100.2	282.8	13.8
I-2	5.66	82.7	7.01	5.28	0.45	12	0.9	969	94.2	202.8	11.5
I-3	5.04	65.7	4.2	2.48	0.23	11	0.18	389	34.2	226.2	11.5
II-1	5.39	72.3	5.18	3.46	0.28	13	0.42	931	61.8	154.1	10.4
II-2	5.59	167	5.21	3.49	0.31	11	1.35	1085	118.2	489.5	13.8
II-3	5.42	82.3	4.71	2.99	0.26	11	0.32	1150	90	230.1	12.7
II-4	6.15	122.5	6.19	4.46	0.41	11	1.11	2089	329.4	393.9	20.7
II-5	6.38	134	5.42	3.7	0.34	11	0.87	2302	87	454.4	9.2
II-6	5.3	110.5	5.38	3.65	0.35	10	0.55	686	53.4	198.9	6.9
III-1	5.6	110.8	6.92	5.2	0.41	13	0.59	598	34.2	251.6	13.8
III-2	5.3	70.9	4.55	2.82	0.39	7	0.8	721	29.4	349.1	10.4
III-3	5.17	186.7	9.7	7.98	0.67	12	1.52	605	34.8	358.8	9.2

El CCMSS recomienda a los agricultores el uso de roca molida (o harina de roca) como estrategia de remineralización, la cual debe ser una mezcla de varios tipos de roca incluyendo fosforitas, apatitas, granitos, basaltos, serpentinos, zeolitas, marmolitas,

bauxistas, entre otras (González, 2011; Restrepo, 2007). Sin embargo, las rocas utilizadas por el CCMSS provienen de canteras cercanas cuyo origen es volcánico (Prado, 2006), con lo cual podría haber un aporte de silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, manganeso, cobre, cobalto, zinc y fósforo (González, 2011; Le Maitre, 1976 en Wikipedia, 2018). Aunque puede haber un aporte de fósforo con esta práctica, éste es muy pequeño y no resuelve el problema de deficiencia de este nutrimento para un desarrollo de los cultivos económicamente exitoso. Es por eso que se recomienda utilizar rocas ricas en fósforo como las fosforitas, apatita o hidroxiapatita, aunque su localización en México está principalmente al norte del país (SE, 2013; Tejada y Merino, 1970).

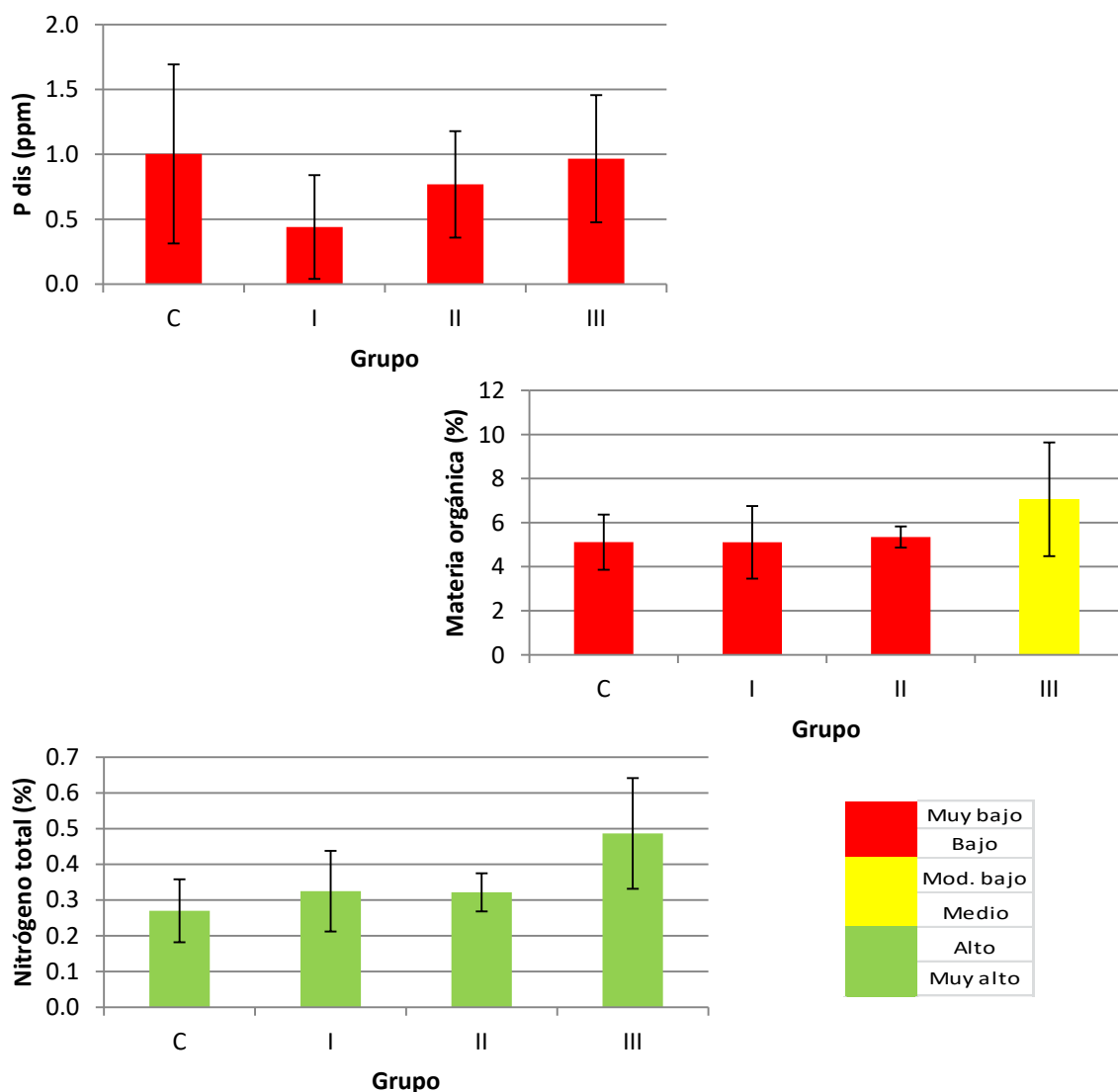


Figura 17. Concentraciones de P disponible, MO y N total en los suelos de las parcelas de Amanalco por grupo y su evaluación con respecto a las necesidades nutricionales para el cultivo de maíz según Castellanos (2000) y FAO-SAGARPA (2012).

El porcentaje de MO es más alto en el grupo III con respecto a los demás grupos que tienen un porcentaje bajo o moderadamente bajo, aunque no se encuentren diferencias significativas entre los grupos ($P=0.299$).

La MO es un indicador de la calidad del suelo, ya que influye en varias propiedades como la agregación del suelo, la retención de humedad, disponibilidad de nutrientes y la actividad biológica. El grupo III tiene un mayor porcentaje de MO (ver Tabla 9). Con respecto a los demás grupos, posiblemente por la incorporación de abonos orgánicos (composta, estiércol, bioles, rastrojos y abonos verdes) a lo largo de más tiempo, con respecto a los otros agricultores. Ante la ausencia de fertilizantes pareciera que la incorporación de abonos orgánicos influye sobre el rendimiento.

El aporte de MO permite incrementar las reservas orgánicas del suelo y con ello mejorar varias características del suelo favorables para la producción de cultivos como: retención de agua, agregación del suelo, porosidad, disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana (FAO-SAGARPA, 2012; Porta, 2003).

El contenido de N total en los suelos es alto y mayormente muy alto ($N \geq 0.25$) (FAO-SAGARPA, 2012). No se obtuvo una diferencia significativa entre los grupos ($P=0.066$); sin embargo, se observa una tendencia al aumento de N total en los suelos del grupo III. Esto se puede deber a que en este grupo se utilizan más abonos orgánicos como: bocashi, rastrojo incorporado y abonos verdes. Su uso integra al suelo el N orgánico disponible en estas enmiendas y en los tallos o paja, los cuales en el proceso de descomposición por los microorganismos pueden representar una acumulación de N en el suelo según sea la relación C/N (INIFAP, 2005; FAO, 2018). Los cultivos de leguminosas por ejemplo tienen una relación C/N baja, por lo cual son un mejor aporte de N al suelo.

La relación C/N en suelos para cultivo varía en el rango de 8.1 a 15.1 (Brady & Weil, 2008), por lo que en la mayoría de las muestras esta relación es adecuada, con excepción de una muestra del grupo I y del grupo III.

En todos los grupos estudiados las concentraciones tanto de fósforo disponible como de magnesio (Mg^{2+}) se encuentran por debajo de los niveles recomendados en suelos agrícolas para cultivo de maíz (Figura 18). Las concentraciones de Calcio (Ca^{2+}) y Potasio (K^+) se encuentran en un nivel moderadamente bajo o medio. En el último caso, tales concentraciones no representan un problema para el desarrollo de los cultivos de maíz.

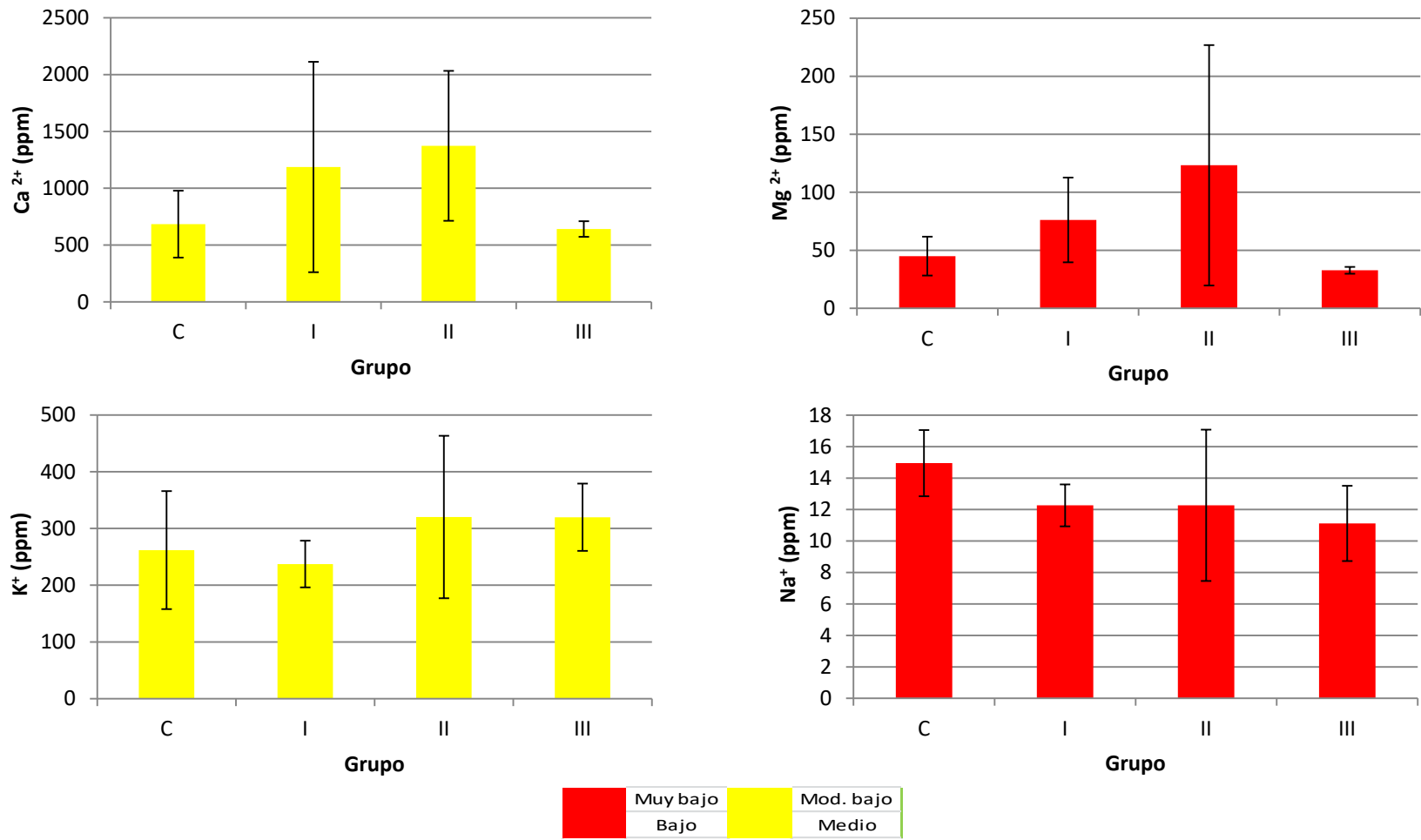


Figura 18. Concentraciones de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ (ppm) en los suelos para el cultivo de maíz comparados por grupo y evaluados en función de Castellanos (2000) y FAO-SAGARPA (2012).

Las concentraciones de sodio (Na^+) son muy bajas como nutrimento de los cultivos, aunque no presenta un problema de sodicidad en el suelo (Castellanos, 2017; FAO-SAGARPA, 2012).

Las concentraciones de las bases intercambiables son bajas. En todas las muestras, la concentración de Ca^{2+} es mayor que las concentraciones de las otras bases, mientras que el Na^+ es la concentración más baja. Los valores mayormente bajos puede deberse a una baja disponibilidad de bases intercambiables en suelos ácidos, y también a la lixiviación de cationes durante las lluvias (Brady & Weil, 2008). En pH menor a 5.5 la disponibilidad de Ca^{2+} se ve limitada por la presencia de aluminio.

Estadísticamente no hay diferencias significativas en las concentraciones de ningún catión intercambiable por grupo, $P= 0.071, 0.071, 0.227$ y 0.507 para Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ y Na^+ respectivamente. Las determinaciones son mayormente bajas en todos los grupos. La importancia de tener suelos con los nutrientes esenciales disponibles para los cultivos es la de obtener rendimientos económicamente viables (Etchevers, 1999); más aún si se está haciendo un esfuerzo por realizar prácticas de conservación.

9.2.5. INFILTRACIÓN Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA A SATURACIÓN (K_s)

Los resultados obtenidos de velocidad de infiltración son similares entre los grupos (Tabla 10). El valor de K_s obtenido en campo no aplica siempre para el valor constante observado en las curvas de infiltración (Figuras 19-22). El valor de K_s reportado es el que se acerca más al valor real, es decir, el valor más bajo obtenido. El grupo control tiene una K_s de 6 y 12 cm/h, el grupo I de 6 y 21 cm/h, el grupo II es el más variado con valores de 6 y hasta 24 cm/h, y para el grupo III es de 12 y 24 cm/h.

Existen varios factores que influyen en la infiltración (Anexo 7), tales como: las características del aporte de agua (intensidad, tamaño de las gotas), características del suelo (estado de la superficie, estructura, granulometría, cantidad inicial de humedad, cobertura vegetal, entre otras), características del medio (pendiente, vegetación) y otros factores de manejo (Porta, 2003).

Se observa que los valores más altos corresponden a suelos con textura franco arcillo arenosa y bajo un manejo que mejora la infiltración como es la incorporación de rastrojo y abonos verdes.

Las condiciones para el aporte de agua al suelo implican que el agua que se infiltra sea mayor que la precipitación pluvial y la evapotranspiración. Cuando los valores son inversos, hay escorrentía superficial en zonas de ladera, factor importante en suelos de ladera y sin cobertura vegetal (Porta, 2003).

Tabla 7. Propiedades físicas y manejo agrícola que afectan la conductividad hidráulica.

Muestra	Ks cm/h	Textura	DA g/cm ³	Porosidad (%)	Barbecho o siembra	Rastrojo incorporado (%)	Abono verde (%)
C-1	6	Arcillosa	0.97	63.4	NO	0	0
C-2	6	Franco arcillosa	0.86	67.4	NO	20	>0 (ND)
C-3	12	Franco arcillosa	0.75	71.7	SI	0	0
C-4	12	Franco arcillosa	0.77	70.8	SI	0	0
I-1	6	Franca	0.8	69.9	SI	15	0
I-2	21	Franca	0.68	74.2	SI	50	0
I-3	6	Franco arcillosa	0.88	66.7	SI	0	0
II-1	18	Franco arcillosa	0.78	70.4	SI	15	0
II-2	12	Franco arcillosa	0.85	67.8	SI	15	0
II-3	12	Franco arcillo arenosa	0.79	70.2	NO	20	0
II-4	24	Franco arcillo arenosa	0.71	73.2	NO	100	0
II-5	6	Franca	0.84	68.1	SI	5	0
II-6	15	Franca	0.79	70.2	SI	100	100
III-1	24	Franco arcillo arenosa	0.78	70.7	SI	100	100
III-2	12	Franca	0.84	68.2	SI	50	>0 (ND)
III-3	12	Franco arcillosa	0.69	74.1	SI	0	80

*Donde ND: información no disponible.

Las curvas de infiltración parten de una situación inicial de suelo seco, donde la velocidad de infiltración es mayor ya que el agua penetra rápidamente por el efecto de sortividad, llenando el máximo de poros interconectados. Posteriormente al alcanzar la condición de saturación, la velocidad de infiltración se vuelve constante (Porta, 2003; Brady & Weil, 2008).

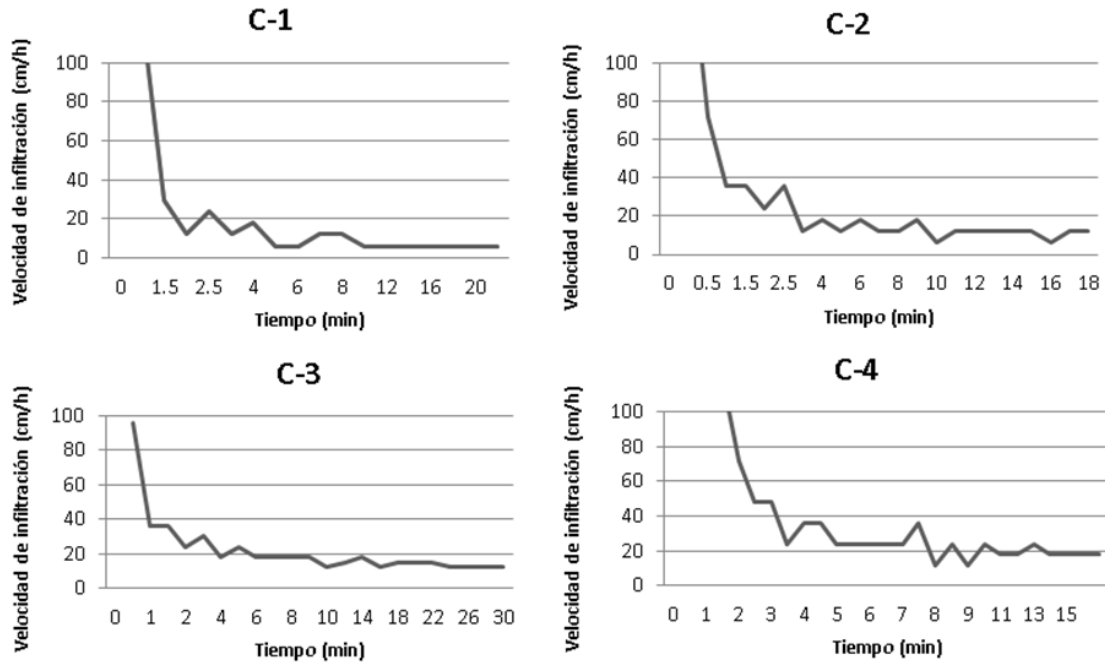


Figura 19. Curvas de infiltración de los suelos del grupo control.

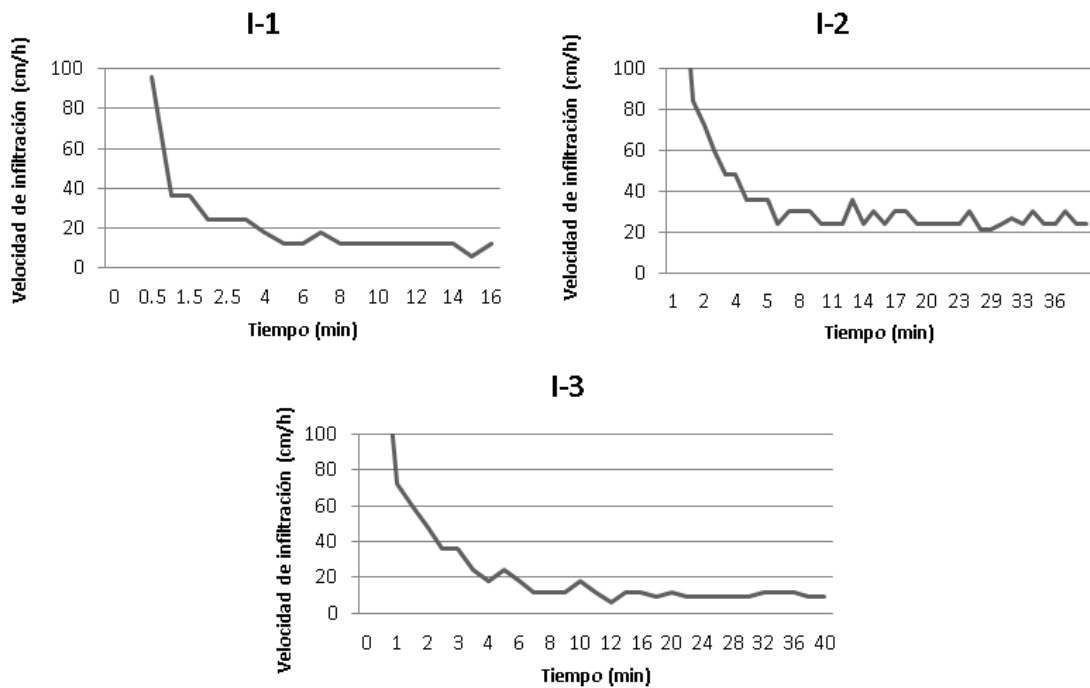


Figura 20. Curvas de infiltración de los suelos del grupo I.

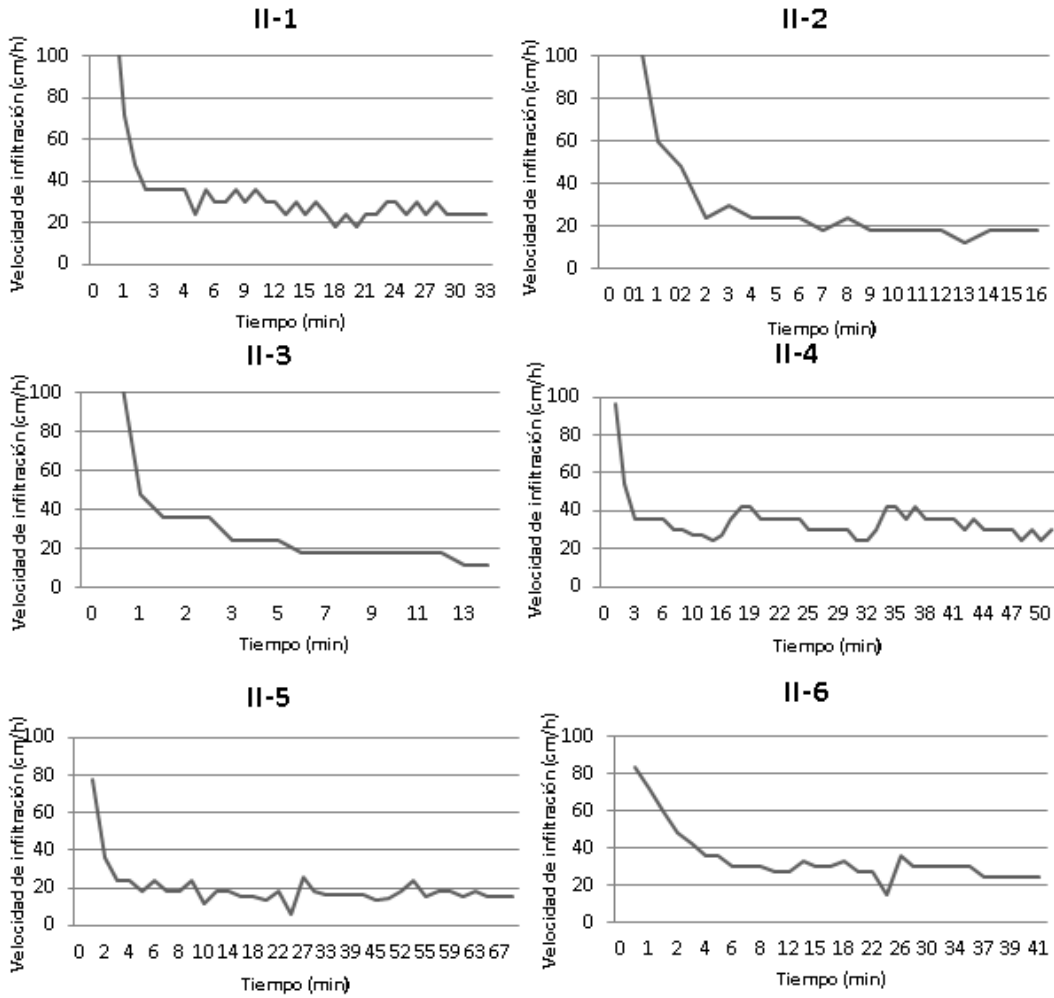


Figura 21. Curvas de infiltración de los suelos del grupo II.

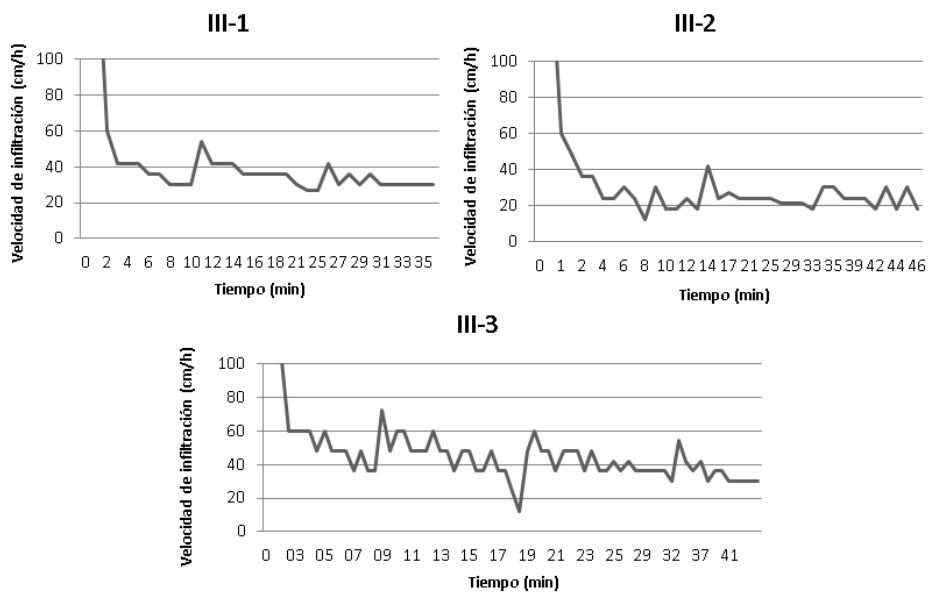


Figura 22. Curvas de nivel de los suelos del grupo III.

La estimación de Ks obtenida mediante la evaluación edafoecológica (Siebe *et al.*, 2006) da resultados entre 1.67 y 12.5 cm/h en los suelos muestreados (Tabla 11). Los valores obtenidos en campo varían entre 6 y 24 cm/h. En el grupo control Ks obtenida en campo es 6 y 12 cm/h; mientras que el grupo I es 6 y 21 cm/h; para el grupo II hay una mayor variación que va de 6 a 24 cm/h, y en el grupo III resultó con valores de 12 y 24 cm/h. La mayoría de los suelos se encuentran dentro del rango estimado según la evaluación edafoecológica; pero también hay muestras que rebasan los valores.

Durante las condiciones de transición para llegar a saturación, el suelo poco a poco va llenando el espacio poroso. La liberación de aire de los poros se puede observar en los picos de las curvas de infiltración. En el caso del suelo III-3 (Figura 22) se observa una curva con muchos picos, esto puede deberse a varios factores: el suelo estaba muy seco, la textura es franco arcillosa, tiene alto contenido de materia orgánica y muy buena porosidad, ya había sido barbechado y sembrado y se incorpora abonos verdes. Es un suelo que aún después de más de 40 min bajo una carga variable de agua, sigue sin llegar a la saturación y por ende es un suelo con muy buen drenaje de agua y con ello un menor riesgo de pérdida por erosión hídrica.

Tabla 8. Conductividad hidráulica en condiciones de saturación obtenida teóricamente de la evaluación edafoecológica (Siebe *et al.*, 2006) y la obtenida en campo mediante el uso del infiltrómetro de doble anillo.

Muestra	Ks (cm/h)	
	Obtenida en campo	Evaluación edafoecológica
C-1	6	1.67 - 12.5
C-2	6	1.67 - 12.5
C-3	12	1.67 - 12.5
C-4	12	1.67 - 12.5
I-1	6	4.17 - 12.5
I-2	21	4.17 - 12.5
I-3	6	1.67 - 12.5
II-1	18	1.67 - 12.5
II-2	12	1.67 - 12.5
II-3	12	4.17 - 12.5
II-4	24	4.17 - 12.5
II-5	6	4.17 - 12.5
II-6	15	4.17 - 12.5
III-1	24	4.17 - 12.5
III-2	12	4.17 - 12.5
III-3	12	1.67 - 12.5

Aunque no se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa de K_s por grupos ($P=0.43$), se observa una clara tendencia de aumento de la K_s , en el grupo III (Figura 24). Esta diferencia puede estar asociada a los factores de manejo de suelo que modifican el espacio poroso, al laboreo realizado en las parcelas así como al uso de abonos verdes e incorporación de rastrojo, que pueden aumentar la porosidad en el suelo. Una mejor infiltración en el suelo reduce el riesgo de erosión hídrica en época de lluvias.

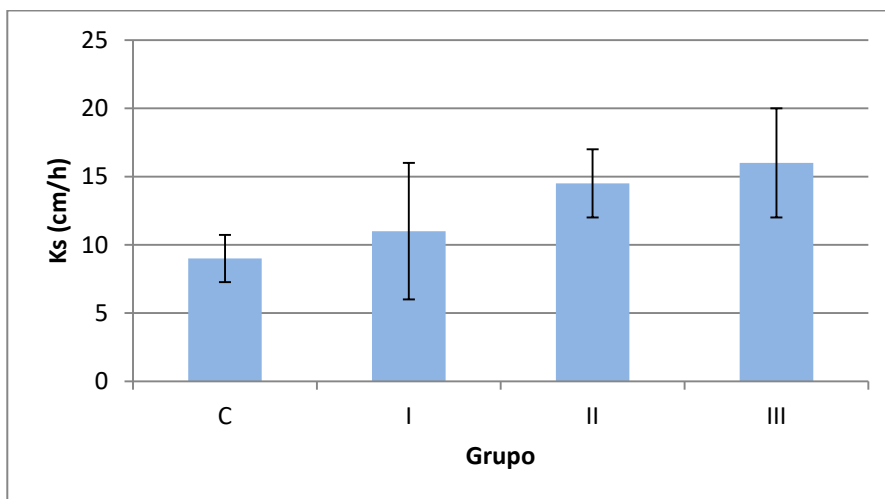


Figura 23. Grafica ANOVA de la conductividad hidráulica a saturación (K_s) por grupo.

9.2.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON AGRICULTORES

La evaluación de las prácticas de conservación constituyen un medio para transparentar los resultados, promover la adopción y corregir el manejo, en el contexto de un manejo adaptativo (Cotler y Cuevas, 2017).

Para fortalecer el trabajo de conservación de suelos del CCMSS y de los agricultores se tuvo una reunión informativa para presentar los resultados obtenidos en cada parcela y discutir con ellos sobre prácticas agrícolas que pueden mejorar sus condiciones edáficas.

La reunión se realizó en las oficinas del CCMSS el día 9 de febrero de 2018. En ella hubo una asistencia del 81% de los agricultores con los que se trabajó. A cada agricultor se le entregó una ficha con los resultados de su predio, de manera numérica y colorimétrica (Figura 24).

El principal interés de los agricultores residió en los indicadores más sobresalientes para la producción agrícola como el pH, la MO y el contenido de P_{disp} . La revisión de los

resultados entre agricultores generó interés por el manejo realizado en los suelos de las parcelas con mejor calidad y se pudo observar cierta satisfacción a aquellos que obtuvieron mejores resultados.

A partir de los resultados y el diálogo conjunto se identificaron prácticas agrícolas que podían incorporar en sus parcelas para mejorar las condiciones edáficas. Entre ellas, el encalado para elevar el pH, la incorporación de gallinaza y de roca fosfórica molida, para mejorar los niveles de fósforo disponible. Se les proporcionó información general sobre estas prácticas así como valores específicos de cal agrícola que debían incorporar por parcela.

Figura 24. Reunión de discusión de resultados con los agricultores y el CCMSS.



También se sugirieron otras medidas como: dejar más rastrojo sobre la superficie del suelo, para evitar su erosión eólica previo a la siembra y a la erosión hídrica; sin embargo, la mayoría coincidió que no es conveniente debido a que como las parcelas no están cercadas, el ganado ajeno consume el rastrojo de la parcela.

El dialogo directo permitió acordar mediciones más precisas sobre las cantidades de productos orgánicos que incorporan al suelo y junto con el CCMSS realizar un monitoreo anual de algunas características del suelo, como pH.

Con este cierre se pudo dar a conocer a los agricultores la importancia de la calidad de los suelos sobre los rendimientos. Con la información generada y devuelta a la organización social y a los agricultores se puede crear una línea base a partir de la cual la aplicación de prácticas de conservación de suelos tenga un mayor sentido para ellos, puedan contrastar las mejoras en sus suelos, ver rendir los frutos de su trabajo e inversión; y a su vez apropiarse a estas prácticas por convicción.

10. CONCLUSIONES

Los suelos de la zona de estudio, presentan condiciones químicas poco propicias para el cultivo de maíz, dado su pH ácido a muy ácido, la baja disponibilidad de fósforo y contenidos bajos de nutrientes. En estos suelos, el cultivo de maíz está destinado para el autoconsumo, y en ocasiones excepcionales venta de excedentes. Durante la época de secas estos suelos están sujetos a una erosión eólica y durante la época de lluvias a la erosión hídrica. Ante estas condiciones, la implementación de prácticas de conservación de suelos es muy necesaria.

La adopción de prácticas de conservación de suelos constituye un proceso largo y complejo, donde las condiciones sociales (ingresos, actividad económica dominante) y familiares (migración) de cada agricultor juegan un papel importante. El acompañamiento de una organización social, como es el caso en este estudio del CCMSS es fundamental para la enseñanza de técnicas, el aprendizaje compartido, la adaptación de éstas a cada parcela y la provisión de insumos para la elaboración de los productos.

El aprendizaje grupal de la elaboración de los abonos orgánicos y preparados minerales además de reducir costos, da seguridad a los agricultores para su elaboración de manera individual.

La diferencia de los indicadores físico-químicos de los suelos entre los grupos no fue significativa. Esto puede deberse a varios factores: (i) el manejo aún dentro de la misma parcela no es homogéneo ya que varios agricultores dividen sus parcelas para así rotar el manejo y sus cultivos; (ii) el tiempo de manejo entre los grupos es muy corto para identificar variaciones en los indicadores; (iii) los agricultores no saben con exactitud la cantidad de los productos que incorporan en sus parcelas; (iv) los agricultores no conocen los rendimientos exactos de cada parcela.

Aunque no se observaron diferencias significativas entre las parcelas de los grupos estudiados sí hay algunas tendencias para aquellos agricultores que tienen más tiempo incorporados al CCMSS y están más comprometidos con el manejo agroecológico. Así los agricultores con mayor propensión a realizar prácticas de conservación de suelos son aquellos cuya actividad económica principal es la agricultura, poseen una actividad económica secundaria, son más jóvenes y tienen una mayor escolaridad.

Los suelos donde se han realizado un mayor manejo agroecológico presentan mejores contenidos de materia orgánica y rendimientos elevados, solamente 5% por debajo del rendimiento más alto. El uso de fertilizantes químicos no está peleado con el manejo agroecológico, siempre y cuando se maneje adecuadamente para complementar los requerimientos del suelo en el proceso para mejorar su calidad.

La discusión de los resultados con los agricultores y miembros del CCMSS permitió un diálogo abierto que favorece el trabajo en conjunto para mejorar la calidad de los suelos de manera eficiente a partir del conocimiento del estado del suelo al servir como línea base para poder hacer las respectivas modificaciones al manejo actual.

Las principales recomendaciones que se compartieron con los agricultores y los técnicos del CCMSS fueron primeramente subir los niveles de pH de los suelos mediante diferentes formas:

- Realizar un encalado con cal viva (hidróxido de calcio) o Dolomita (óxido de calcio y magnesio) para subir poco a poco el pH.

- Identificar si los abonos orgánicos y demás preparados están contribuyendo con la acidificación del suelo.

Una vez que el pH haya subido, se recomienda aumentar la cantidad de P en el suelo mediante la incorporación de harina de rocas con roca fosfórica y la incorporación de gallinaza.

Continuar con el monitoreo de la calidad del suelo para ver el cambio en los resultados principalmente en el contenido de nutrientes en los suelos. Igualmente registrar las cantidades de enmiendas orgánicas incorporadas a los suelos, como las toneladas de composta, y cuantificar los rendimientos obtenidos de las cosechas.

Realizar un análisis de costo de la producción podría revelar información importante con respecto a las inversiones que hacen los productores y con ello observar si existe una diferencia significativa entre los grupos que determine la adopción de ciertas prácticas agroecológicas.

Realizar estudios sobre la calidad de los suelos es muy importante ya que permite a los agricultores conocer el estado de sus suelos, así mismo, los tomadores de decisiones pueden realizar las respectivas modificaciones en los programas de apoyo al campo con base en las condiciones del suelo y las necesidades del productor, pensando en los pequeños productores, los cuales son clave para la seguridad alimentaria del país.

11. REFERENCIAS

- Altieri, M. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura técnica*. Chile. 54(4); 371-386.
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- Astier, M., García, L., Galván, Y., González, C. y Masera, O. 2012. Assessing the Sustainability of Small Farmer Natural Resource Management Systems. A Critical Analysis of the MESMIS Program (1995-2010). *Ecology and Society* 17(3): 25
- Astier, M., Maass, M., Etchevers, J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencias* 36(5): 605-620.
- Bautista A., Etchevers, J., Del Castillo, R.F, Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97.
- Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. 1985. Conservação do solo. Piracicaba. Brasil. Livroceres. 392 pp.
- Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. "Bulk density", in Klute, A. (ed.), *Methods of soil analysis*, Agronomy 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 363-365.
- Bouwer, C.A., R.F. Reitmeier y R. Fireman. 1952. Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkali Soils. *Soil Sci.* 73, 251
- Brady, N. & Weil, R. 2008. *The Nature and Properties of Soils*, New York, USA, Prentice Hall.
- Bray R. H and Kurtz L.T. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Science*. 59: 360-361.
- Burbano, H. 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*; 33(2): 117-124.
- Carlisle, L. 2016. Factors influencing farmer adoption of soil health practices in the United States: a narrative review. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 40 (6): 583-613.
- Castellanos, J. 2017. Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017, en: http://fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/guia-de-interpretacion-de-analisis-de-suelos-y-aguas-intagri-3.pdf
- Cotler, H. Martínez, M. y Etchevers, J.D. 2016. Carbono orgánico en suelos agrícolas de México> Investigación políticas públicas. *Terra Latinoamericana* 34: 125-138.
- Cotler H. y Cuevas M.L. 2017 Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México. Fundación Gonzalo Río Arronte, Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable A.C. <http://www.centrogeo.org.mx/index.php/difusion/16-170301-1200>
- Cruz, M. 2004. El caldo bordelés. Preparación y Usos. *Informativo* 84.
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Etchevers, J. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*; 17(3): 209-219.
- Espinoza, J., Molina, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Instituto Internacional de la Nutrición de las Plantas (IPNI).

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2018. Conservación de los recursos naturales para la agricultura sostenible.. Materia orgánica y actividad biológica. Recuperado el 10 de Abril de 2018, en: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017a. Soil degradation. Recuperado el 01 de Febrero de 2017, en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/en/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017b. Soil conservation. Recuperado el 03 de Marzo de 2017, en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/soil-conservation/en/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017c. Producción de cultivos. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Recuperado el 30 de Enero de 2017, en: <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s08.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Funciones del suelo. Recuperado el 25 de Enero de 2017, en: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/294325/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra America Latina y el Caribe. Recuperado el 29 de Enero de 2017, en: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/238841/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. Dinámicas del mercado de la tierra en América Latina y el Caribe: concentración y extranjerización.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Elaboración y uso del bocashi. Recuperao el 15 de Enero de 2018, en: <http://www.fao.org/3/a-at788s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1993. Erosión de suelos en América Latina. Santiago, Chile. Recuperado el 29 de Enero de 2017, en: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>
- Featherstone, A., Goodwin, B. 1993. Factors Influencing a Farmer's Decicion to Invest in Long-term Conservation Improvements. *Land Economics*, 69 (1): 67-81.
- FIRA. 2016. Panorama Agroalimentario; Maíz 2016. Consultado el 29 de Enero de 2018, en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf
- FONCODES (Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social). 2014. Producción y uso de abonos orgánicos: biol, compost y humus. Perú.
- García, J. 2014. Estimación de la pérdida de suelo en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco mediante percepción remota. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería, UNAM.
- González, M. 2011. Introducción a la Agroecología. SEAE. Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74: 19-31.

- Guisquiani, P.I., Pagliai, M., Gigliotti, G., Businelli, D., Benetti, A. 1995. Urban waste compost: Effects on physical, chemical, and biochemical soil properties. *Journal of Environmental Quality*, 24 (1):175-182
- Gutiérrez, J.G., Aguilera, L.I., González, C.E. 2008. Agroecología y Sustentabilidad. *Convergencia* 46(1): 51-87.
- Hanan, A.M. y Mondragón, J. 2009. Malezas de México. Vicia sativa L. CONABIO. Recuperado el 20 de Enero de 2018, en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/vicia-sativa/fichas/ficha.htm>
- Hernández, G. 2000. Levantamiento nutricional del cultivo de maíz, en la subprovincia geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México. (Tesis de Maestría). UNAM, México.
- INECC-UACH (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Universidad Autónoma de Chapingo). 2016. Insumos para el atlas nacional de vulnerabilidad al cambio climático: evaluación integrada de la sensibilidad al cambio climático sobre los suelos y el potencial productivo agrícola; e identificación de indicadores que integren la perspectiva de género. Informe Final. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Encuesta Nacional Agropecuaria. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015a. Estadística a propósito del Día Mundial del Suelo (5 de diciembre) 2015. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Puntuario de información municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Amanalco, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2004. Guía para la Interpretación de Cartografía Edafología. México.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2005. La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. Folleto técnico No.1
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)- SEMARNAT. 2006. Plan para la gestión integral del agua y recursos asociados de la cuenca de Valle de Bravo, Estado de México.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Jónsson, J.O., Davidsdóttir, B. 2016. Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*; 145(1): 24-38.
- Karlen, D.L, Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America*. 61;4-10.
- Lal, R. 2016. Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*; 5(4):212-222.
- León, D. y Hernández, M. 2005. Determinación de densidad aparente. Versión 1. Procedimiento estandarizado. Unidad de Análisis Ambiental. Facultad de Ciencias. UNAM.
- López, C. 2007. Efectos agronómicos y ambientales de la fertilización en el cultivo de patata en Alimia (Ourense). Universidade de Santiago de Compostela. A Coruña, España.
- Nicholls, C., Henao, A., Altieri, M.A. 2015. Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al Cambio Climático. *Agroecología* 10(1): 7-31.

- Madrid, L. y Deschamps, P. 2014. Sustainable rural landscape management in Central Mexico. *ETFRN News* (56): 66-69.
- Martínez, M.A. y Jasso C. 2004. Agricultura de conservación para la producción de sorgo y maíz de temporal en la zona media de San Luis Potosí. INIFAP-SAGARPA, Folleto técnico No.23.
- Martínez, E., Fuentes, J.P., Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1): 68-96.
- Martínez, S. 2007. La agregación del suelo como indicador de calidad en un ecosistema tropical seco. (Tesis de Maestría). Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. de México.
- Minasny, B., Mcbratney, A.B. 2017. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*; 69 (1): 39-47.
- Molina, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo, ACCS, San José, Costa Rica.
- Pascual, U., Termansen, M. Hedlund, K., Brussaard, L., Faber, J., Foundi, S., Lemanceau, P., Jorgensen, S. 2015. On the value of soil biodiversity and ecosystem services. *Ecosystem Services*; 15(1):11-18.
- Porta, J., López, A.M., Roquero, L.C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa. España. 926 p.
- Ponce de León, C., Hernández, M., Vanegas, C, Cram, S. 2012. Conceptos y procedimientos para el análisis de muestras ambientales. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Prado, B. 2006. Etude du mouvement de l'eau et du transfer réactif du nitrate dans les sols volcaniques du bassin versant élémentaire de la Loma, Mexique. (Docteur Thèse). Université Joseph Fourier-Grenoble I. France.
- Prado, B., Duwig, C., Hidalgo, C., Gómez, D., Prat, C., Etchevers, J.D. Esteves, M. (2007). Characterization, classification and functioning of two profiles under different land uses in a volcanic soil sequence in Central Mexico. *Geoderma*, 139: 300-313.
- Prado, B. y Carrillo, M. 2012. Conductividad hidráulica saturada de campo. Infiltrómetro de doble anillo. Laboratorio de Edafología Ambiental, UNAM, procedimiento estandarizado.
- Robles, H.M. 2013. Los pequeños productores y la política pública. Fundar. México. Recuperado el 14 de Enero de 2018, en: http://www.senado.gob.mx/comisiones/desarrollo_rural/docs/reforma_campo/2-III_c2.pdf
- SAGARPA. 2005. Catálogo de prácticas de conservación de suelo y agua. Recuperado el 15 de Enero de 2018, en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/CursoTaller%20Desarrollo%20de%20capacidades%20orientadas%20a/Attachments/27/05.pdf>
- SAGARPA. 2009. Prácticas vegetativas y agronómicas complementarias al proyecto integral. Recuperado el 16 de Enero de 2018, en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Julio/Documents/Pr%C3%A1cticas%20vegetativas%20y%20agron%C3%B3micas.pdf>
- SAGARPA - FAO. 2014. Diagnóstico del sector rural y pesquero de México 2012. Ciudad de México.
- SAGARPA. 2015. Abonos orgánicos. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20Verdes.pdf>

- SAGARPA. 2015. Labranza de conservación. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Labranza%20de%20conservaci%C3%B3n.pdf>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2015. Suelos. Informe de la situación del medio ambiente en México. Recuperado el 28 de Enero de 2017, en: <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2014. El medio ambiente en México 2013-2014. Recuperado el 05 de Abril de 2018, en: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_2.html
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Diario Oficial de la Federación (DOF). 23 de Abril de 2003.
- SEMARNAT-COLPOS (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados). 2003. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México
- SEMARNAT- INE, IMP (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Instituto Nacional de Ecología- Instituto Mexicano del Petróleo). 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. México.
- Siebe, C., Jahn, R., Stahr, K. 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. 2da edición. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2017. Información climatológica por estado. Recuperado el 25 de Febrero de 2017, en: <http://www.smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mex>
- Sotelo, E.D., Gonzalez, A., Cruz, G., Moreno, F., Cruz, G. 2011. Los suelos del Estado de México y su actualización a la base referencial mundial del recurso suelo 2006. *Revista Mexicana de Ciencia Forestales*: 2(8); 71-83.
- Suárez, J., Ríos, A., Sotto, P. 2005. El tractor y la tracción animal. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(2): 40-43.
- Tejada, I., Merino, H. 1970 Composición química de rocas fosfóricas de México y su utilización como fuente de minerales en nutrición animal. *Técnica pecuaria*: 21-26.
- Teshome, A., Graaff, J. y Kassie, M. 2015. Household-level determinants of soil and water conservation adoption phases: evidence from North-Western Ethiopian highlands. *Environmental Management* 57:620.
- Traoré, N., Landry, R., Amara, N. 1998. On farm adoption of conservation practices: The role on farm and farmer characteristics, perceptions, and health hazards. *Land Economics*; 74(1):114-27.
- USDA. 1996. Soil Quality Indicators: Aggregate Stability. Recuperado el 22 de Enero de 2018, en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052820.pdf
- Van Reeuwij, L.P. 1992. Procedures for Soil Analysis. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen 9-6 – 9-8
- Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agric.* 28:337-351.
- WOCAT. 2011. Donde la tierra es más verde. Estudios de caso y análisis de iniciativas de conservación de tierras y aguas en todo el mundo. Hanspeter Liniger y William Critchley.

12. ANEXOS

ANEXO 1. Entrevista semi estructurada

Datos personales

No. Parcela:

Nombre:

Comunidad:

Edad:

Tiempo incorporado al CCMSS:

Actividad principal:

Actividad secundaria:

Último nivel de estudios:

Migración:

Tiempo:

Lugar:

Posesiones

Superficie total de terreno:

Ganado:

Yunta:

Tractor

Datos de la parcela

Superficie:

Tiempo de trabajo:

Tenencia:

Sistema productivo

Modo de labranza:

Tipo de cultivos:

Agroquímicos utilizados

Producto:

Cantidad:

Rendimiento:

Destino de la cosecha:

Prácticas de conservación

Canal a nivel:

Tiempo:

Vegetación sobre la barrera:

Manejo orgánico

Productos utilizados:

Cantidad:

Rastrojo incorporado (%):

Cantidad de abono verde incorporado:

Beneficios y obstáculos identificados

ANEXO 2. Hojas de descripción del perfil del suelo; levantamiento en campo y evaluación edafocológica de las parcelas estudiadas, empleando el Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos (Siebe *et al.*, 1996).

Tabla 9. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 1 (C-1)

Hoja de descripción del perfil																								
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Miguel Tenextepec																							
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 389708	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz, avena y chícharo					posición en el relieve: ladera media superior		paisaje: montañoso				Clave:					
	Autor: LLR	UTMy: 2131297	mnsm	época seca	8 °C	delta: 18 °C							Inclinación: 5°	Complejidad ladera: 2	material parental: volcánico				1					
	estado del tiempo: ET3	precipitación (mm): 800 - 1300 mm					Exposición: 160 S						Forma de la ladera: Regular convexa y rectilínea											
	Prof (cm) 42	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte					
									tipo	tamaño	grado		cantidad	tipo	tamaño									
	0 - 4	R	5 grava fina	10 YR 4/6	5	2.5 m	seca	4	subangular en bloques	M - G	moderado		baja	pocos	vesiculares					micro	0.97	baja	abrupto	Ap
	4 - 24	Clf	7 grava fina	10 YR 3/4	5	3 m	seca	4	angular en bloques	F - G	moderado		moderada	pocos	vesiculares					micro	1.4	med	abrupto	mAp
	24-42	Clf	1 grava fina	10 YR 4/6	5	2.5 m	seca	4	subangular en bloques	F - G	moderado	moderada	pocos	vesiculares	muy finos	1.6	nula	claro	B					
	prof. De desarrollo (cm): 42		princ. espacio radicular: 4 a 24 cm																					
máx. prof. raíces: 24																								
E d a f o l o g í c a	Espeor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis					
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	l/m2	Vol (%)	l/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2				
	0.4	buena	63.5	muy alto	4.5	baja	18.5	7.0	59	22.4	40-300	alta-muy alta	109	muy alta	0.75	0.027645		0.9215	0.046075	0.230375				
	2	mediana	41	mediana	7	baja	24	44.6	34	63.2	10-40	mediana	49	alta	0.7	0.18228		7.812	0.3906	1.953				
	1.8	deficiente	36	bajo	4	baja	21	37.4	32	57.0	<1-10	baja	49	alta	0.7	0.199584		7.128	0.3564	1.782				
profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	89	Suma CC:	142.7	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.409509	Suma Humus (kg/m2):	15.8615	Suma Nt:	0.793075						
							Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación	muy baja				Evaluación:	med alta					
																		Suma Ndisp:	3.965375					
																		Evaluación:	mediana					

Tabla 10. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 2 (C-2)

Hoja de descripción del perfil																				
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Simón de la laguna																			
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 383603	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz.					posición en el relieve: ladera media superior		paisaje: montañoso				Clave:	
	Autor: LLR	UTMy: 2132763	mmsm	época seca	8 °C	delta: 18 °C							Inclinación: 2°	Complejidad ladera: 1	material parental: volcánico				2	
	estado del tiempo: ET3	precipitación (mm): 800 - 1300 mm																		
	Prof (cm) 46	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte	
	0 - 9	CR	3	7.5 YR 3/6	5	3.5 m	seca	4	tipo	tamaño	grado		cantidad	tipo	tamaño					
9 - 19	CRA	5	7.5 YR 3/4	5	3.5 m	seca	4	subangular en bloques	f - M	1	mediana	pocos	vesicular	muy finos	0.86	mediana	claro	Ap		
19 - 29	CRA	2	7.5 YR 3/4	5	3.5 m	seca	4	subangular en bloques	f - M	2		pocos	vesicular	muy finos	1.3	baja	claro	mAp		
29 - 46	CRA	2	7.5 YR 3/4	5	3.5 m	fresca	3	subangular en bloques	f - M	2		pocos	vesicular	hos- muy fin	1.5	baja	uniforme/a brupto	B		
prof. De desarrollo (cm): 46																			princ. espacio radicular: 0 a 9 cm	
máx. prof. raíces: 29																				
e d E a f o l e u c a o c l ó g i c a	Espeor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis	
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2
	0.9	muy buena	63	muy alto	8	mediana	20	17.5	55	48.0	40-300	alta-muy alta	64	alta	0.75	0.06		2.63	0.13	0.66
	1	buena	41	mediano	4	baja	12	11.4	37	35.2	40-100	alta	64	alta	0.7	0.09		4.32	0.22	1.08
	1	mediana	34	bajo	3	baja	10	9.8	31	30.4	10-40	mediana	64	alta	0.7	0.10		5.15	0.26	1.29
	1.7	deficiente	34	bajo	3	baja	10	16.66	31	51.646	10-40	mediana	64	alta	7	1.87		9.33	0.47	2.33
profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	55.3	Suma CC:	165.2	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	2.11	Suma Humus (kg/m2):	21.42	Suma Nt:	1.07		
							Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación:	muy baja			Evaluación:	alta		
																	Suma Ndisp:	5.36		
																	Evaluación:	media alta		

Tabla 11. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 3 (I-1)

Hoja de descripción del perfil																				
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Martín Obispo																			
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 387106	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz asociado con frijol.					posición en el relieve: ladera superior		paisaje: montañoso				Clave:	
	Autor: LLR	UTMy: 2135473	mmsm	época seca	8 °C	delta: 18 °C	Inclinación: 5°						Complejidad ladera: 3	material parental: volcánico				3		
	estado del tiempo: ET3	precipitación (mm): 800 - 1300 mm					Exposición: 160 S						Forma de la ladera:							
	Prof (cm) 45	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte	
	0 - 20	C	1	7.5 YR 3/3	5	3.5 m	seca	4	tipo	tamaño	grado		cantidad	tipo	tamaño					
20 - 45	CRL	1	7.5 YR 4/4	5	2.5 m	seca	4	migajón/granular	media	1.2	pocos	vesicular	finos	0.8	mediana	claro y uniforme	Ap			
								subangular en bloques	fina	2	pocos	vesicular red	micro-finos	1.3	baja		mAp			
prof. De desarrollo (cm): 45					princ. espacio radicular: 0 a 20 cm															
máx. prof. raíces: 30																				
e d a f a o l u c i ó n g i c a	Espeador (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI			Humus	Nt	Ndis
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	l/m2	Vol (%)	l/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2
	2	muy buena	61	muy alto	11	mediana	24	47.5	50	99.0	100-300	muy alta	40	mediana	0.7	0.11		5.54	0.28	1.39
	2.5	buena	42	mediano	6	baja	16	39.6	36	89.1	10-40	mediana	52	alta	0.7	0.23		8.04	0.40	2.01
profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	87.1	Suma CC:	188.1	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.34	Suma Humus (kg/m2):	13.59	Suma Nt:	0.68		
							Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación:	muy baja			Evaluación:	media alta		
																	Evaluación:	3.40		
																	Evaluación:	mediana		

Tabla 12. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 4 (II-1)

Hoja de descripción del perfil																				
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Sebastián Grande																			
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 389160	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz.				posición en el relieve: ladera superior de lomerío		paisaje: montañoso				Clave:		
	Autor: LLR	UTMy: 2132355	mns m	época seca	8 °C	delta: 18 °C						Inclinación: 6°	Complejidad ladera: 3		material parental: volcánico				4	
	estado del tiempo: I	precipitación (mm): 800 - 1300 mm										Exposición: 250°	Forma de la ladera: concava y convexa							
	Prof (cm)	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm ³)	densidad de raíces	límite	horizonte	
								tipo	tamaño	grado	cantidad		tipo	tamaño						
0-15	CR	1	10 YR 3/4	5	3.5 m	seca	4	migajón	fino - grueso	1	alta	pocos	vesicular	F - M	0.78	alta	claro	Ap		
15-44	CRL - RL	0	10 YR 4/6	5	2.5 m	fresca	3	subangular en bloques	F - M	2		pocos	redondos	MF	1.3	muy baja		mAp		
prof. De desarrollo (cm): 44						princ. espacio radicular: 0 a 15 cm														
máx. prof. raíces:																				
e d E a v f a l e u c i ó n c a	Espe sor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis	
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2
	1.5	muy buena	63	muy alto	8	mediana	20	29.7	55	81.7	40 - 300	alta-muy alta	64	alta	0.75	0.09		4.05	0.20	1.01
	2.9	buena	42	mediano	6	baja	16	46.4	36	104.4	10-40	mediana	64	alta	0.7	0.26		9.43	0.47	2.36
	profundidad fisiológica (cm): mediano						Suma dCC:	76.1	Suma CC:	186	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.35	Suma Humus (kg/m2):	13.18	Suma Nt:	0.67	Evaluación:	media alta
						Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación:	muy baja			Suma Ndisp:	3.37	Evaluación:	mediana	

Tabla 14. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 6 (II-3)

Hoja de descripción del perfil																					
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Mateo																				
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 390088	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo				posición en el relieve: pie de monte			paisaje: montañoso					Clave:				
	Autor: LLR	UTMy: 2133706	mmsm	época seca	8 °C	delta: 18 °C		Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz.					Inclinación: 5°	Complejidad ladera: 2		material parental: volcánico					6
	estado del tiempo: S	precipitación (mm): 800 - 1300 mm																			
	Prof (cm) 43	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte		
0 - 9	CRA	2	7.5 YR 4/4	5	2 m	seca	4	subangular	MF - F	1.2	baja		cantidad	tipo	tamaño					0.79	alta
9 - 23	CR	1	7.5 YR 4/4	5	2.5 m	seca	4	migajón	F - M	1		comunes	vesiculares	MF	1.3	media	claro	mAp			
23 - 43	CR	1	7.5 YR 4/4	5	2.5 m	fresca	3	subangular en bloques	F - M	2		pocos	vesiculares/ red	MF - F	1.5	media					
prof. De desarrollo (cm): 43						princ. espacio radicular: 0 a 10 cm															
máx. prof. raíces:																					
e d a f a l i e c i ó g i c a	Espeador (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis		
	0.9	muy buena	Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2	
	1.4	buena	62	muy alto	7	baja	19	16.8	55	48.5	100-300	muy alta	64	alta	0.75	0.05		1.39	0.07	0.35	
	2	mediana	42	mediano	4	baja	12	16.6	38	52.7	10-40	mediana	64	alta	0.75	0.14		4.50	0.23	1.13	
			36	bajo	3	muy baja	9	17.82	33	65.34	<1-10	baja	64	alta	0.75	0.22		7.43	0.37	1.86	
profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	51.2	Suma CC:	166.5	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.41	Suma Humus (kg/m2):	13.32	Suma Nt:	0.67			
							Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación	muy baja			Evaluación:	media alta			
														Evaluación:	3.33	Suma Ndisp:	3.33				
														Evaluación:	mediana						

Tabla 16. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 8 (C-3)

Hoja de descripción del perfil																				
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Mateo																			
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 389708	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz, avena y chícharo					posición en el relieve: ladera superior		paisaje: montañoso				Clave:	
	Autor: LLR	UTMy: 2131297	mns m	época seca	8 °C	delta: 18 °C							Inclinación: 13°	Complejidad ladera: 4	material parental: volcánico				8	
	estado del tiempo: I	precipitación (mm): 800 - 1300 mm				Exposición: 18	Forma de la ladera: plana rectilínea													
	Prof (cm) 46	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte	
									tipo	tamaño	grado		cantidad	tipo	tamaño					
0 - 19	CR	27	7.5YR 4/4	5	2.3 m	seca	4	subangular en bloques/granular	F/M	1	baja	comunes	vesiculares/red	MF	0.75	alta	claro	Ap		
19 - 46	C - CL	15	7.5YR 4/4	5	2.3 m	seca	4	subangular	F/G	2		pocos	vesiculares	MF-F	1.3	mediana		mAp		
prof. De desarrollo (cm): 46		princ. espacio radicular: 0 a 9 cm																		
máx. prof. raíces: 30																				
E d a v f o l o c l o c i ó n i c a	Espesor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI			Humus	Nt	Ndis
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2
	1.9	buena	63	muy alto	8	mediana	20	27.7	55	76.3	40-300	alta-muy alta	64	alta	0.75	0.08		2.39	0.12	0.60
	2.7	buena	40	mediano	7	mediana	15	34.4	33	75.7	10-100	med-alta	40	alta	0.7	0.21		6.86	0.34	1.72
profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	62.1	Suma CC:	152	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.29	Suma Humus (kg/m2):	9.25	Suma Nt:	0.46		
							Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación	muy baja			Evaluación:	mediana		
Observaciones																			Evaluación:	mediana
Se observó erosión eólica en la parcela																			Suma Ndisp:	2.31
																			Evaluación:	mediana

Tabla 17. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 9 (II-4)

Hoja de descripción del perfil																					
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad:																				
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 392248	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz con rotación de avena y habas.					posición en el relieve: ladera media		paisaje: montañoso				Clave:		
	Autor: LLR	UTMy: 2131973	mmsm	época seca	8 °C	delta: 18 °C							Inclinación: 3°	Complejidad ladera: 1		material parental: volcánico				9	
	estado del tiempo: I	precipitación (mm): 800 - 1300 mm																			
	Prof (cm) 42	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm ³)	densidad de raíces	límite	horizonte		
	0 - 4	CRA	2	7.5 YR 4/3	5	2.8 m	fresca	3	tipo	tamaño	grado		cantidad	tipo	tamaño						
	4 - 12	CL	1	7.5 YR 4/4	5	2.3 m	seca	4	granular	F - M	1.2	alta	pocos	vesiculares	MF - F	0.71	mediana	claro	Ap		
	12 - 33	C - CA	1	7.5 YR 4/4	5	1.9 b	seca	4	subangular en bloques	F - M	2		comunes	vesiculares (exped)	MF, M	1.3	mediana	difuso	mAp		
	33 - 42	CRA	0	7.5 YR 4/6	5	2.5 m	seca	4	subangular en bloques	F - M	2		pocos	vesiculares, red	F	1.5	baja	claro	B		
													pocos	vesiculares	MF	1.3	baja				
prof. De desarrollo (cm): 42						princ. espacio radicular: 0 a 12 cm															
máx. prof. raíces: 35																					
e d E a v f a o l e u c i ó g í c a	Esesor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI			Humus	Nt	Ndis	
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2	
	0.4	muy buena	62	muy alto	7	baja	19	7.4	55	21.6	100 - 300	muy alta	64	alta	0.7	0.02		0.78	0.04	0.19	
	0.8	buena	41	mediano	7	baja	24	19.0	34	26.9	10 - 40	mediana	49	alta	0.7	0.07		2.37	0.12	0.59	
	2.1	mediana	33	bajo	5	baja	13	27.027	28	58.212	<1 - 10	baja	37.8	mediana	0.75	0.23		5.93	0.30	1.48	
	0.9	mediana	41	mediano	3	muy baja	12	10.8	37	33.3	40-100	alta	64	alta	0.7	0.0819		2.925	0.14625	0.73125	
	profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	64.2	Suma CC:	140	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:		0.41	Suma Humus (kg/m ²):	12.00	Suma Nt:	0.60	
							Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación	muy baja			Evaluación:	media alta			
																Suma Ndisp:	3.00				
																		Evaluación:	mediana		

Tabla 18. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 10 (I-2)

Hoja de descripción del perfil																					
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad:																				
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 392248	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo		Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz.					posición en el relieve: ladera plana terrazada		paisaje: montañoso				Clave:			
	Autor: LLR	UTMy: 2131973	mns	época seca	8 °C	delta: 18 °C						Inclinación: 2°		Complejidad ladera: 2		material parental: volcánico				10	
	estado del tiempo: S	precipitación (mm): 800 - 1300 mm										Exposición: 270 °		Forma de la ladera:							
	Prof (cm) 42	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte		
	0 - 13	C	0	7.5YR 3/3	5	3.5 m	seca	4	tipo	tamaño	grado		cantidad comunes/poco	tipo	tamaño						
	13 - 42	CL	0	7.5YR 3/3	5	3.5 m	seca	4	angular	F - G	2	comunes	vesiculares/red	MF - F	1.3	baja	claro	Ap			
	prof. De desarrollo (cm): 42		princ. espacio radicular: 0 a 9 cm																		
	máx. prof. raíces: 29																				
	E d a o l e c l ó g i c a	Espesor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis	
Vol %				evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros				kg/m2
1.3		muy buena	61	muy alto	11	mediana	24	31.2	50	65.0	100-300	muy alta	40	mediana	0.7	0.06	3.09	0.15	0.77		
2.9		muy buena	50	alto	7	baja	24	69.6	34	98.6	10-40	mediana	49	alta	0.7	0.26	13.20	0.66	3.30		
profundidad fisiológica (cm): mediano		Suma dCC: 100.8		Suma CC: 163.6		drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI: 0.33		Suma Humus (kg/m2): 16.29		Suma Nt: 0.81									
Observaciones: se observó erosión eólica.		Evaluación: mediana		Evaluación: baja		Evaluación: muy baja		Evaluación: media alta		Evaluación: media alta		Evaluación: media alta									

Tabla 19. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 11 (II-5)

Hoja de descripción del perfil																										
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: El Capulín																									
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 392248	Mapa No.			Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz.			posición en el relieve: cima de colina		paisaje: montañoso				Clave:								
	Autor: LLR	UTMy: 2131973	mns m	época seca	8 °C	delta: 18 °C		Inclinación: 2°				Complejidad ladera: 1	material parental: volcánico				11									
	estado del tiempo: S	precipitación (mm): 800 - 1300 mm																	Exposición: 268°	Forma de la ladera: plana y rectilínea						
	Prof (cm) 45	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte							
	0-10/0-20	C	0	7.5YR 3/3	5	3 m	seca	4	partículas dominantes y subangular	F	mod		alta	cantidad	tipo	tamaño										
	10-20/33	C	0	7.5YR 3/3	5	3 m	seca	4	subangular en bloques	F - M	mod			comunes	vesiculares/r ed	F	0.84	mediana	irregular	Ap						
	33 - 45	CR	0	7.5YR 3/3	5	4 m	seca	4	subangular en bloques	F	mod			comunes	vesiculares/r ed	MF - F	1.4	baja	claro	B						
	prof. De desarrollo (cm): 45																			princ. espacio radicular: 0 a 20 cm						
	máx. prof. raíces: 35																									
e d a f a o l e c i ó g i c a	Espesor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		Bl		Humus	Nt	Ndis							
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2						
	1-2	muy buena	61	muy alto	11	mediana	24	48.0	50	100.0	100 - 300	muy alta	40	mediana	0.7	0.12		5.04	0.25	1.26						
	2-3 - 1.3	buena	40	bajo	7	baja	15	19.5	33	42.9	10 - 100	med - alta	40	mediana	0.7	0.21		8.97	0.45	2.24						
	1.2	buena	42	mediano	4	baja	12	14.4	33	39.6	10 - 40	mediana	64	alta	0.7	0.12		6.72	0.34	1.68						
	profundidad fisiológica (cm): mediano																			Suma dCC: 81.9	Suma CC: 183	drenaje natural: drenaje bueno		Suma Bl: 0.44	Suma Humus (kg/m2): 20.73	Suma Nt: 1.04
																			Evaluación: baja	Evaluación: baja			Evaluación: muy baja		Evaluación: alta	
																									Suma Ndisp: 5.18	
																									Evaluación: media alta	

Tabla 20. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 12 (II-6)

Hoja de descripción del perfil																					
Localidad: El Potrero	Fecha: 15/03/17	UTMx: 392248	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz con rotación de avena y habas.					posición en el relieve: ladera media		paisaje: montañoso				Clave:		
	Autor: LLR	UTMy: 2131973	mmsm	época seca	8 °C	delta: 18 °C	Inclinación: 3°						Complejidad ladera: 2		material parental: volcánico				12		
	estado del tiempo: S	precipitación (mm): 800 - 1300 mm																			
	Prof (cm) 42	Textura: C	Pedregosidad (Vol %): 1	Color (húmedo): 7.5 YR 3/3	pH (CaCl): 5	M.O. Gew. %: 3	humedad: m	pF: 4	estructura			Estab agreg: baja	Poros			d.a. (g/cm3): 0.79	densidad de raíces: alta	límite: irregular	horizonte: Ap		
	0-10/18								tipo: migajón/partículas sueltas	tamaño: F - M	grado: débil		cantidad: comunes	tipo: redondeados	tamaño: F						
18 - 42	C	1	7.5 YR 3/3	5	3 m	fresca	3	subangular	F - M	mod		comunes	vesiculares/red	MF - F	1.4	med	claro	mAp			
prof. De desarrollo (cm): 42					princ. espacio radicular: 0 a 18 cm																
máx. prof. raíces: 38																					
E d a v f a o l e u a c i ó n g n i c a	Espeor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis		
	1 - 1.8	muy buena	Vol %: 61	evaluación: muy alto	Vol %: 11	evaluación: mediana	Vol (%): 24	L/m2: 42.8	Vol (%): 50	L/m2: 89.1	cm/d: 100 - 300	evaluación: muy alta	cmolc/kg: 40	evaluación: mediana	cmolc/kg: 0.7	molc/m2: 0.10	kg/m2: 4.22	kg/m2: 0.21	g/m2: 1.06		
	2.4	buena	40	mediano	7	baja	15	35.6	33	78.4	10 - 100	m - muy alta	40	mediana	0.7	0.23	9.98	0.50	2.49		
	profundidad fisiológica (cm): mediano					Suma dCC: 78.4	Suma CC: 167.5	drenaje natural: drenaje bueno	Suma BI: 0.33		Suma Humus (kg/m2): 14.20	Suma Nt: 0.71									
						Evaluación: baja	Evaluación: baja													Evaluación: media alta	
																			Suma Ndisp: 3.55		
																			Evaluación: mediana		

Tabla 21. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 13 (III-2)

Hoja de descripción del perfil																				
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: Loma del Rincón																			
	Fecha:	UTMx: 392248	Mapa No.			Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz con rotación de avena y habas.				posición en el relieve: ladera superior		paisaje: montañoso				Clave:	
	Autor: LLR	UTMy: 2131973	mns	época seca	8 °C	delta: 18 °C	Inclinación: 7°						Complejidad ladera: 3		material parental: volcánico				13	
	estado del tiempo: S	precipitación (mm): 800 - 1300 mm																		
	Prof (cm) 45	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte	
0 - 8	C	1	7.5YR 3/3	5	3 m	seca	4	tipo	tamaño	grado	cantidad		tipo	tamaño						
8 - 18	CL	1	7.5YR 3/3	5	3.5 m	seca	4	subangular en matriz fina	F - M	mod	media	comunes	redondeados	MF - F	0.84	med	abrupto uniforme	Ap		
18 - 45	CL - CA	0	7.5YR 3/3	5	2.8 m	seca	4	subangular en bloques	F - G	mod		comunes	vesicular	MF	1.3	baja	irregular	mAp		
								subangular	F - G	mod		pocos	vesicular	MF-F	1.2	baja				
prof. De desarrollo (cm): 45					princ. espacio radicular: 0 a 10 cm															
máx. prof. raíces: 40																				
e d a v f a o l e u c o l ó g i c a	Espeor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis	
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2
	0.8	muy buena	67	muy alto	13	alta	27	21.4	54	42.8	100-300	muy alta	40	mediana	0.7	0.05		2.00	0.10	0.50
	1	buen	41	mediano	7	mediana	24	23.8	34	33.7	10 - 40	mediana	49	alta	0.7	0.09		4.50	0.23	1.13
	2.7	buen	41	mediano	7	mediana	24	64.8	34	91.8	10 - 40	mediana	49	alta	0.7	0.23		9.07	0.45	2.27
profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	110	Suma CC:	168.0	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.36	Suma Humus (kg/m2):	15.57	Suma Nt:	0.78		
							Evaluación:	mediana	Evaluación:	baja			Evaluación:	muy baja			Evaluación:	media alta		
																	Suma Ndisp:	3.89		
																	Evaluación:	mediana		

Tabla 22. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 14 (I-3)

Hoja de descripción del perfil																								
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Sebastián Grande																							
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 392248	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz con frijol.					posición en el relieve: ladera superior de lomerío		paisaje: montañoso				Clave:					
	Autor: LLR	UTMy: 2131973	mmsm	época seca		8 °C	delta: 18 °C						Inclinación: 6°	Complejidad ladera: 3		material parental: volcánico						14		
	estado del tiempo: S	precipitación (mm): 800 - 1300 mm											Exposición: 194 °	Forma de la ladera: plana; rectilínea										
	Prof (cm) 47	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte					
0 - 22/28	CR	30	7.5YR 4/4	5	2.6 m	muy seca	5	tipo	tamaño	grado	cantidad		tipo	tamaño										
22/28 -47	CR	1	7.5YR 4/4	5	2.6 m	muy seca	5	subangular	F - M	débil - mod	baja		comunes	vesiculares/r ed	F					0.88	baja	rupto/ irregu	Ap	
								subangular	F - M	débil - mod		pocos	vesiculares	F	1.5	baja	claro	mAp						
prof. De desarrollo (cm): 47						princ. espacio radicular: 0 a 20 cm																		
máx. prof. raíces:																								
e d a v f a o l e u c i ó g n i c a	Espeor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis					
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2				
	2.2 - 2-8	buena	63	muy alto	8	mediana	20	39.2	55	154.0	40-300	alta-muy alta	64	alta	0.75	0.13		5.00	0.25	1.25				
	1.9	mediana	36	bajo	3	muy baja	9	16.9	33	62.1	<1-10	baja	64	alta	0.75	0.21		8.18	0.41	2.05				
profundidad fisiológica (cm): mediano							Suma dCC:	56.1	Suma CC:	216	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.34	Suma Humus (kg/m2):	13.18	Suma Nt:	0.66						
							Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación	muy baja			Evaluación:	med alta						
																		Suma Ndisp:	3.30					
																		Evaluación:	mediana					

Tabla 23. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 15 (III-3)

Hoja de descripción del perfil																				
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Vicente																			
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 392248	Mapa No.		Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz.					posición en el relieve: ladera superior		paisaje: montañoso				Clave:	
	Autor: LLR	UTMy: 2131973	mns	época seca	8 °C	delta: 18 °C							Inclinación: 4°	Complejidad ladera: 2	material parental: volcánico				15	
	estado del tiempo: S	precipitación (mm): 800 - 1300 mm												Exposición: 260°						Forma de la ladera: convexa ; concava
	Prof (cm) 44	Textura: CR	Pedregosidad (Vol %): 1	Color (húmedo): 7.5YR 3/3	pH (CaCl): 5	M.O. Gew. %: 4	ma	humedad: seca	pF: 4	estructura: subangular F 1			Estab agreg: muy alta	Poros: comunes vesiculares med			d.a. (g/cm3): 0.7	densidad de raíces: med	límite: abrupto	horizonte: Ap
	10 - 44	CR	0	7.5YR 2/3	5	4	ma	seca	4	subangular G 2				comunes vesiculares / tabulares med			1.2	muy bajo	abrupto	mAp
	prof. De desarrollo (cm): 44				princ. espacio radicular: 0 a 10 cm															
	máx. prof. raíces: 40																			
E d a v f a o l e c i ó g i c a	Espeor (dm)	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI			Humus	Nt	Ndis
			Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2
	1	muy buena	50	mediano	8	mediana	16	15.8	45	44.6	40 - 300	alta-muy alta	64	alta	0.7	0.05		2.73	0.14	0.68
	3.4	buena	42	mediano	4	baja	12	40.8	38	129.2	10 - 40	mediana	64	alta	0.7	0.29		16.32	0.82	4.08
	profundidad fisiológica (cm): mediano						Suma dCC:	55.1	Suma CC:	173.7	drenaje natural: drenaje bueno				Suma BI:	0.33	Suma Humus (kg/m2): 19.05	Suma Nt:		0.95
						Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación:	muy baja			Evaluación:		media alta		
																Suma Ndisp:		4.76		
																Evaluación:		media alta		

Tabla 24. Hoja de descripción del perfil del suelo de la parcela 16 (C-4)

Hoja de descripción del perfil																			
L e v a n t a m i e n t o e n c a m p o	Localidad: San Lucas			Clima: Templado subhúmedo			Uso del suelo/vegetación: Agrícola de temporal de cultivo de maíz			posición en el relieve: ladera superior			paisaje: montañoso			Clave:			
	Fecha: 15/03/17	UTMx: 387106	Mapa No.	mns m		época seca				8 °C	delta: 18 °C	Inclinación: 8°	Complejidad ladera: 3		material parental: volcánico			16	
	Autor: LLR	UTMy: 2135473										Exposición: 192 S	Forma de la ladera: convexa ; rectilínea						
	estado del tiempo: 5	precipitación (mm): 800 - 1300 mm																	
	Prof (cm) 46	Textura:	Pedregosidad (Vol %)	Color (húmedo)	pH (CaCl)	M.O. Gew. %	humedad	pF	estructura			Estab agreg	Poros			d.a. (g/cm3)	densidad de raíces	límite	horizonte
0-10/ 13	CR	3	7.5YR 4/4	5	1.9 b	seca	4	tipo	tamaño	grado	cantidad		tipo	tamaño					
10/13 - 16	C	3	7.5YR 3/4	5	2.8 m	seca	4	subangular/p articulas finas	G	1	med	pocos	vesiculares	F	0.77	alta	abrupto irregular	Ap	
16 - 46	CA	0	7.5YR 4/4	5	1.9 m	seca	4	subangular	G	2		pocos	vesiculares	MF	1.2	baja	abrupto uniforme	mAp	
												muy pocos	vesiculares	MF	1.3	muy baja		B	
prof. De desarrollo (cm): 46						princ. espacio radicular: 0 a 13 cm													
máx. prof. raíces: 16																			
e d a f a l e u c l ó g i c a	Penetrabilidad raíces	Volumen total de poros		CA		dCC		CC		conductividad hidráulica		CIC		BI		Humus	Nt	Ndis	
	Espesor (dm)	Vol %	evaluación	Vol %	evaluación	Vol (%)	L/m2	Vol (%)	L/m2	cm/d	evaluación	cmolc/kg	evaluación	cmolc/kg	molc/m2	Ahx 1 Otros	kg/m2	kg/m2	g/m2
	1 - 1.3	muy buena	63	muy alto	8		20	25.2	55	69.4	40-300	alta-muy alta	61.8	alta	0.75	0.06	1.84	0.09	0.46
	.6 - .3	buena	40	mediano	7		15	4.4	33	9.6	10-100	med- alta	40	mediana	0.7	0.05	1.96	0.10	0.49
	3	buena	38	bajo	9		20	60.0	29	87.0	10-40	mediana	22.8	mediana	0.7	0.27	7.41	0.37	1.85
profundidad fisiológica (cm): mediano						Suma dCC:	89.5	Suma CC:	163.3	drenaje natural: drenaje bueno		Suma BI:	0.38	Suma Humus (kg/m2):	11.21	Suma Nt:	0.56		
						Evaluación:	baja	Evaluación:	baja			Evaluación	muy baja			Evaluación:	media alta		
														Evaluación:	media alta				
														Evaluación:	2.80				
														Evaluación:	mediana				

ANEXO 3. Ficha de resultados del análisis del suelo para los agricultores



Informe de resultados de análisis de suelos 2017

Fecha del muestreo: Marzo y Abril de 2017

Propietario: Gabino Marín Anselmo

Localidad: San Martín

Características del suelo de la parcela comparado con las características recomendadas para el cultivo de maíz:

Característica	Valor obtenido	Valor recomendado
Textura	franca	---
pH	6.21	5,5 - 7,0 [2]
Conductividad eléctrica (uS/cm)	100.55	<2000 [3]
Densidad aparente (g/cm ³)	0.8	[4]
Materia orgánica (%)	4.11	6,1 - 10,9 [4]
Infiltración	buen drenaje	[5]
Conductividad hidráulica (cm/h)	6	[5]
Nutrientes		
Fósforo disponible (mg/kg)	0.25	21 - 30 [1]
Calcio intercambiable (ppm)	2202	1000 - 2000 [1]
Magnesio intercambiable (ppm)	100	150 - 360 [1]
Potasio intercambiable (ppm)	283	200 - 400 [1]
Sodio intercambiable (ppm)	0.06	138 - 230 [4]

■	Muy bajo	■	Mod. bajo	■	Mod. alto	■	Adecuado
■	Bajo	■	Medio	■	Alto	■	

[1] INIFAP (2005); [2] Porta (2003); [3] Castellanos, (2017); [4] SAGARPA (2012) y [5] Brady & Weil (2008).

La textura es una propiedad física dada por la proporción de arenas, limos y arcillas en el suelo. Esta propiedad está relacionada con la infiltración del agua, la porosidad y la disponibilidad de nutrientes.

El pH y la conductividad eléctrica son propiedades que influyen en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas; tales como el fósforo, calcio, magnesio y potasio que son nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal.

La densidad aparente afecta la facilidad de penetrar de las raíces en el suelo. Si la densidad es alta (mayor a 1.4) dificulta tanto la penetración de las raíces y la infiltración del agua en el suelo.

Referencias:

- Brady, N.& Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*, New York, USA, Prentice Hall.
- Castellanos, J. (2017): *Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua*. Intagri. Consultado el 10 de Noviembre de 2017, en: http://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/guia-de-interpretacion-de-analisis-de-suelos-y-aguas-intagri-3.pdf
- INIFAP (2005): *La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. Folleto técnico No.1
- Porta, J., López, A.M., Roquero, L.C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa, 3ra ed. España.

ANEXO 4.

Tabla 25. Tipo de prácticas realizadas y productos utilizados en cada una de las parcelas muestreadas

Muestra	Tipo de prácticas realizadas y productos utilizados	Nombre del productor	Comunidad	Ubicación (UTM)	No. Parcela
C-1	Sin acciones de conservación y uso de agroquímicos (urea, hierbamina y gesaprim).	Francisco Sánchez Francisco	San Miguel Tenextepec	389708 E 2131297 N	1
C-2	Sin acciones de conservación y uso de agroquímicos (mezcla maicera, NP 18:46, hierbamina y gesaprim).	Rodolfo Alberto Julián	San Simón de la Laguna	383603 E 2132763 N	2
C-3	Sin acciones de conservación, uso de agroquímicos (urea, hierbamina, NP 18:46 y biofertilizante) y adición de estiércol de animal.	Jaime Morales Avilés	San Mateo	392248 E 2131973 N	8
C-4	Sin acciones de conservación y uso de agroquímicos (urea, DP 18:46).	Tomás Zarate	San Lucas	396277 E 2129547 N	16
I-1	Canales, surcado a nivel, uso de agroquímicos (superfosfato simple, sulfato de amonio y focus) y manejo agroecológico (estiércol, biofertilizante, caldo bordelés, compuesto ceniza y caldo sulfocálcico).	Gabino Marín Anselmo	San Martín	387106 E 2135473 N	3
I-2	Canales, uso de agroquímicos (urea) y manejo agroecológico (bocashi de estiércol y gallinaza, y caldo sulfocálcico).	Pascual Marcos de Jesús	San Lucas*	397111 E 2129338 N	10
I-3	Canales, surcado a nivel, uso de agroquímicos (urea, mezcla maicera, hierbamina y gesaprim al 50%) y manejo agroecológico (bioles).	Gregorio Dionisio Bello	San Jerónimo	392495 E 2128678 N	14
II-1	Canales, surcado a nivel, composta, bioles y caldo sulfocálcico.	Vicente Marín Francisco	San Sebastián Grande	389160 E 2132355 N	4
II-2	Canales, surcado a nivel, composta, bioles, caldo sulfocálcico, caldo ceniza y caldo bordelés.	Arcadio García Marín	San Sebastián Grande	390010 E 2133533 N	5
II-3	Canales, surcado a nivel, urea, biofertilizante supermagro, composta y caldo de nixtamal.	Dionicio Martínez González	San Mateo	390088 E 2133706 N	6
II-4	Canales, surcado a nivel, composta, bioles, caldo sulfocálcico, caldo bordelés y caldo ceniza.	Josefina Martínez Ambrosio	San Lucas	395117 E 2130406 N	9
II-5	Canales, surcado a nivel, composta, bioles, caldo sulfocálcico y caldo ceniza.	Mateo Colín Estrada	El Capulín	398917 E 2135098 N	11
II-6	Canales, surcado a nivel, urea, gallinaza, composta, bioles, caldo sulfocálcico y abonos verdes.	Jorge Castillo Colín	El Potrero	396546 E 2134753 N	12
III-1	Canales, surcado a nivel, rotación de cultivos, composta, bioles y abonos verdes.	Juan Sotero Avilés	San Mateo	391692 E 2132265 N	7
III-2	Canales, surcado a nivel, rotación de cultivos, gallinaza con estiércol de borrego, bioles, caldo sulfocálcico y abonos verdes.	Juan Carlos de la Cruz Basilio	Lomas del Rincón	396563 E 2132705 N	13
III-3	Canales, surcado a nivel, rotación de cultivos, composta, bioles, caldo sulfocálcico y abonos verdes.	Celso Cándido Delgado	San Vicente	398466 E 2127415 N	15

ANEXO 5.

Tabla 26. Resultados de los análisis en laboratorio.

Muestra	No. Parcela	pH	CE (uS/cm)	DA g/cm ³	Textura	Ks (cm/s)	M org %	C total %	N total %	C/N	P disp mg/kg	Bases intercambiables ppm			
												Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺
C-1	1	4.79	113.0	0.97	Arcillosa	0.001	3.77	2.05	0.19	11	1.56	593	45	175.5	13.8
C-2	2	5.18	95.1	0.86	Franco arcillosa	0.001	6.75	5.03	0.39	13	1.63	657	64.2	411.5	17.3
C-3	8	5.45	41.9	0.75	Franco arcillosa	0.003	4.67	2.94	0.22	13	0.59	1093	47.4	212.6	16.1
C-4	16	5.15	66.8	0.77	Franco arcillosa	0.003	5.26	3.54	0.28	13	0.25	395	23.4	247.7	12.7
I-1	3	6.21	100.6	0.8	Franca	0.001	4.11	2.39	0.3	8	0.25	2202	100.2	282.8	13.8
I-2	10	5.66	82.7	0.68	Franca	0.005	7.01	5.28	0.45	12	0.9	969	94.2	202.8	11.5
I-3	14	5.04	65.7	0.88	Franco arcillosa	0.001	4.20	2.48	0.23	11	0.18	389	34.2	226.2	11.5
II-1	4	5.39	72.3	0.78	Franco arcillosa	0.005	5.18	3.46	0.28	13	0.42	931	61.8	154.1	10.4
II-2	5	5.59	167.0	0.85	Franco arcillosa	0.003	5.21	3.49	0.31	11	1.35	1085	118.2	489.5	13.8
II-3	6	5.42	82.3	0.79	Franco arcillo arenosa	0.003	4.71	2.99	0.26	11	0.32	1150	90	230.1	12.7
II-4	9	6.15	122.5	0.71	Franco arcillo arenosa	0.006	6.19	4.46	0.41	11	1.11	2089	329.4	393.9	20.7
II-5	11	6.38	134.0	0.84	Franca	0.001	5.42	3.7	0.34	11	0.87	2302	87	454.4	9.2
II-6	12	5.3	110.5	0.79	Franca	0.004	5.38	3.65	0.35	10	0.55	686	53.4	198.9	6.9
III-1	7	5.6	110.8	0.78	Franco arcillo arenosa	0.006	6.92	5.2	0.41	13	0.59	598	34.2	251.6	13.8
III-2	13	5.3	70.9	0.84	Franca	0.003	4.55	2.82	0.39	7	0.8	721	29.4	349.1	10.4
III-3	15	5.17	186.7	0.69	Franco arcillosa	0.003	9.70	7.98	0.67	12	1.52	605	34.8	358.8	9.2

ANEXO 6.

Tabla 27. Interpretación de las concentraciones de nutrientes en suelos como base para el desarrollo del cultivo de maíz según Castellanos (2000). Donde M.B.:muy bajo; B:bajo; Mod. B.: moderadamente bajo; M:medio y Mod.A.: moderadamente alto.

Muestra	Textura	M org %	C/N	P disp mg/kg	Bases intercambiables			
					Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺
C-1	R	M.B.	11	M.B.	B	M.B.	Mod. B.	M.B
C-2	CR	M	13	M.B.	Mod. B.	B	Mod. A.	M.B
C-3	CR	B	13	M.B.	M	M.B.	M	M.B
C-4	CR	B	13	M.B.	M.B.	M.B.	M	M.B
I-1	C	B	8	M.B.	Mod. A.	B	M	M.B
I-2	C	M	12	M.B.	Mod. B.	B	M	M.B
I-3	CR	B	11	M.B.	M.B.	M.B.	M	M.B
II-1	CR	B	13	M.B.	Mod. B.	M.B.	Mod. B.	M.B
II-2	CR	B	11	M.B.	M	M	Mod. A.	M.B
II-3	CRA	B	11	M.B.	M	B	M	M.B
II-4	CRA	M	11	M.B.	Mod. A.	M	M	M.B
II-5	C	B	11	M.B.	Mod. A.	B	Mod. A.	M.B
II-6	C	B	10	M.B.	Mod. B.	M.B.	Mod. B.	M.B
III-1	CRA	M	13	M.B.	B	M.B.	M	M.B
III-2	C	B	7	M.B.	Mod. B.	M.B.	M	M.B
III-3	CR	M	12	M.B.	Mod. B.	M.B.	M	M.B

ANEXO 7.

Tabla 28. Características del suelo y manejo agrícola que afectan la conductividad hidráulica.

Muestra	Ks cm/h	Barbecho o siembra	Tipo de labranza	Rastrojo incorporado (%)	Abono verde (%)	Poros (Descripción en campo)			Densidad de raíces	Tiempo trabajado (años)
						cantidad	Tipo	tamaño		
C-1	6	NO	Tractor	0	0	pocos	vesiculares	micro	baja	25
C-2	6	NO	Yunta	20	>0 (ND)	pocos	vesiculares	muy finos	mediana	25
C-3	12	SI	Yunta	0	0	comunes	vesiculares	muy finos	alta	>5 con 8 de descanso
C-4	12	SI	Tractor y Yunta	0	0	pocos	Vesiculares	fino	alta	35
I-1	6	SI	Yunta	15	0	pocos	vesiculares	finos	mediana	>50
I-2	21	SI*	Yunta y Tractor	50	0	comunes	vesiculares	mf -f	mediana	15
I-3	6	SI	NA	0	0	comunes	Vesiculares	finos	baja	49
II-1	18	SI	Tractor	15	0	pocos	vesiculares	finos-med	alta	35
II-2	12	SI	Tractor	15	0	pocos	Redondos	muy finos	mediana	50
II-3	12	NO	Tractor	20	0	pocos	vesiculares	muy finos	alta	>20
II-4	24	NO	Tractor	100	0	pocos	vesiculares	mf-f	mediana	19
II-5	6	SI	Yunta	5	0	comunes	Vesiculares	finos	mediana	6
II-6	15	SI	Tractor	100	100*	comunes	Redondos	finos	alta	>30
III-1	24	SI	Yunta	100	100	comunes	vesiculares	muy finos-finis	muy alta	60
III-2	12	SI	Tractor y Yunta	50	>0 (ND)	comunes	Redondos	mf-f	mediana	5
III-3	12	SI*	Yunta	0	80	comunes	Vesiculares	medianos	mediana	>30