



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**INDICADORES DE LA CALIDAD AGRONÓMICA DE LOS
SUELOS HORTÍCOLAS DEL EJIDO DE MIXQUIC, D.F.**

FELIPE ARTURO ALBA PAZOS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

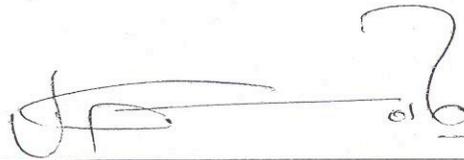
MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 2008

La presente tesis, titulada: “**Indicadores de la calidad agronómica de los suelos hortícolas del ejido de Mixquic, D.F.**”, realizada por el alumno: “**Felipe Arturo Alba Pazos**”, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

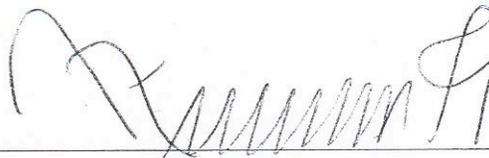
MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



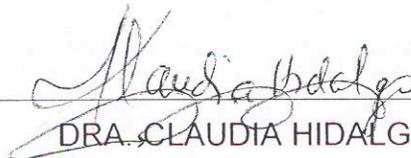
DR. VÍCTOR M. ORDAZ CHAPARRO

ASESOR:



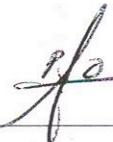
DR. HERMILIO NAVARRO GARZA

ASESORA:



DRA. CLAUDIA HIDALGO MORENO

ASESORA:



DRA. MA. ANTONIA PÉREZ OLVERA

Montecillo, Texcoco, México, Septiembre de 2008

INDICADORES DE LA CALIDAD AGRONÓMICA DE LOS SUELOS HORTÍCOLAS
DEL EJIDO DE MIXQUIC, D.F.

Felipe Arturo Alba Pazos, MC

Colegio de Postgraduados, 2008

La presente investigación se realizó en el ejido de Mixquic, ubicado en el límite sur de la Delegación Tláhuac, D.F., en una superficie de 600 ha. El objetivo fue evaluar la calidad agronómica de los suelos agrícolas, mediante indicadores físicos y químicos. Se seleccionaron 21 parcelas, mediante un criterio dirigido de acuerdo al tipo de agua utilizada para el riego: Tratada, Negra y Mezclada (T+N). Los parámetros, se evaluaron por métodos analíticos físicos y químicos. En general, el 62% de los sitios evaluados, presentó un promedio de diámetro medio ponderado (DMP) de 0.2 mm; una alta capacidad de retención de humedad; materia orgánica (M.O.)>6.64%; los nutrimentos (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺) se clasificaron en la categoría alta; capacidad de intercambio efectiva (CIE)>42 meq/100g; pH>8; el 47% son suelos sódicos-salinos y 43% sódicos. Las sales solubles se encontraron en el siguiente orden de concentración: Na⁺>Mg²⁺>Ca²⁺>K⁺, y SO₄²⁻>Cl⁻>NO₃⁻>HCO₃⁻>CO₃²⁻. Los sitios irrigados con agua Negra presentaron predominante existencia de microagregados, además entre ellos se registraron los valores menores de los nutrimentos y CIE; así como concentraciones bajas de sales de Ca²⁺, K⁺, y Cl⁻. Los suelos irrigados con agua Tratada, presentaron en su mayoría una mejor distribución de agregados y mejores contenidos de los parámetros evaluados entre los suelos estudiados. Los indicadores de Estabilidad Estructural y Conductividad Eléctrica (CE), mostraron una variabilidad de clases en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua, por lo que se podrían considerar para evaluar el impacto de las prácticas agrícolas a un futuro sobre la calidad de los suelos en Mixquic.

Palabras clave: Tipos de agua, indicadores del suelo, estabilidad estructural, salinidad y sodicidad.

AGRONOMIC QUALITY INDICATORS OF HORTICULTURAL SOILS IN THE EJIDO
OF MIXQUIC, D.F.

Felipe Arturo Alba Pazos, MC

Colegio de Postgraduados, 2008

The research was carried out in the Ejido of Mixquic which is located in the south of the delegation of Tlahuac, D.F. It has an area of 600 ha. The objective was to evaluate the agronomic quality of agricultural soils by means of physical and chemical indicators. 21 fields were selected based on type of waste water used to irrigate: treated water (T), treated water + residual water (T+RW), and residual water (RW). The variables were analyzed by physical and chemical methods. In general, the 62% of the fields presented a pondered average of diameter of (PAD) of 0.2 mm; a high water holding capacity; soil organic matter (SOM)>6.64%; the nutrients (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ and Na⁺) were classified as high content. Effective exchange capacity (EEC)>42 meq/100g; pH>8; the 47% of the soils were saline-sodic and 43% were sodic soils. The concentration of soluble salts was found in this order: Na⁺>Mg²⁺>Ca²⁺>K⁺ and SO₄²⁻>Cl⁻>NO₃⁻>HCO₃⁻>CO₃²⁻. The fields irrigated with residual water presented dominion of micro aggregates; besides, among them were found the lowest values of the nutrients, EEC, and the lowest salt concentrations of Ca²⁺, K⁺, y Cl⁻. Most of the soils irrigated with treated water presented a better distribution of aggregates, and the best values of the analyzed variables among the studied soils. The indicators Structural Stability and Electrical Conductivity (EC) showed variability among the soils irrigated with several types of water what could take into account to further research to evaluate the impact of the farming practices on soil quality of Mixquic.

Key words: type of water, soils indicators, structural stability, salinity and sodicity

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por su apoyo para llevar a cabo mis estudios.

Al **Colegio de Postgraduados** por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

A los **Horticultores** de la Asociación Agrícola de San Andrés Mixquic, D.F., por sus apoyos brindados y colaboración, mil gracias.

Al **Dr. Víctor Ordaz**, por su amistad y confianza brindada, su paciencia, y disponibilidad en el asesoramiento para el desarrollo de la presente investigación.

Al **Dr. Hermilio Navarro**, por su gran calidad humana, apoyo, dirección y sus importantes comentarios y sugerencias para la realización de este trabajo.

A la **Dra. Claudia Hidalgo**, por su amistad, por todas sus enseñanzas, por su minuciosa revisión, sus valiosos comentarios y sugerencias a esta tesis.

A la **Dra. Antonia Pérez**, porque más allá de su valiosa contribución en este trabajo e imprescindible apoyo de campo, me otorgó su sincera amistad y sus palabras de aliento.

Al **Dr. Felipe Olivares** que en paz descanse, por su colaboración en los trabajos de campo, aportaciones realizadas y sus enseñanzas en la toma de una buena fotografía.

Un agradecimiento absoluto a la **Dra. Raquel Alatorre**, Coordinadora del Proyecto “**EU Project ICA4-CT MiCoSPA**”, en donde uno de sus objetivos del proyecto fue identificar los sistemas de producción en Mixquic, trabajo de gran valor para la presente investigación. Así mismo agradezco su amistad, apoyo e interés en mi superación académica.

A la **M.C. Juliana Padilla** y al personal del **Laboratorio de Fertilidad de Suelos** del Colegio de Postgraduados, por las facilidades otorgadas para la realización de los análisis de laboratorio.

Al **M.C. Francisco Landeros** y al personal del **Laboratorio de Física de Suelos** del Colegio de Postgraduados, pues gracias a su apoyo y colaboración se me facilitó el trabajo de laboratorio.

A la **M.C. Hortensia Brito, Dr. Diego Flores, M.C. Alberto Urrieta, M.C. Susana Martínez, Dra. Laura Dumas, Dr. Edgar Esparza, Dra. Laura Cansino, M.C. Rodrigo Gómez, M.C. Martín Hernández, M.C. Fernando Santamaría**, como una muestra de mi cariño y agradecimiento, por su comprensión y apoyo, para cumplir este objetivo. Gracias.

A todas aquellas personas que me brindaron unas palabras de ánimo para continuar en este proyecto personal.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	5
4.1. Objetivo general	5
4.1.1. Objetivos específicos	5
4.2. Hipótesis general	6
4.2.1. Hipótesis específicas	6
5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
5.1. La agricultura de Mixquic: antecedentes	8
5.1.1. La localidad	8
5.1.2. Los sistemas de producción	8
5.1.3. La calidad agronómica en pella de brócoli	11
5.1.4. La calidad del agua tratada	11
5.1.5. La calidad química de los suelos	13
5.1.6. La calidad del brócoli	15
5.2. Calidad del suelo	15
5.2.1. Concepto de calidad y salud del suelo	15
5.2.2. Indicadores de calidad	19
5.2.3. Identificación y selección de indicadores de la calidad del suelo	20
5.2.4. Utilidad de los indicadores de calidad	24
5.3. La Fertilidad de los Suelos	25
5.3.1. Estudios de fertilidad de suelos	26
5.3.2. Las consecuencias de la pérdida de la fertilidad de los suelos	29

5.4. Suelos salinos y sódicos -----	30
5.5. El nuevo paradigma de la producción agrícola -----	32
6. MATERIALES Y MÉTODOS -----	34
6.1. Descripción del área de estudio -----	34
6.1.1. Población -----	35
6.1.2. Caracterización de la región -----	36
6.1.3. Uso actual del suelo -----	38
6.1.4. Comercialización -----	39
6.2. Muestreo de suelos -----	40
6.3. Muestreo parcelario -----	42
6.4. Preparación de la muestra -----	42
6.5. Parámetros evaluados para el diagnóstico del suelo -----	42
6.5.1. Parámetros físicos -----	43
6.5.1.1. Macro y Micro Agregados -----	43
6.5.1.2. Indicadores de Agregación -----	44
6.5.1.3. Curva de retención de humedad -----	46
6.5.2. Parámetros químicos para evaluar la fertilidad de los suelos -----	46
6.5.3. Método para la obtención del extracto de saturación de suelo -----	48
6.5.4. Parámetros usados en las propiedades del extracto de saturación -----	50
6.5.5. Diagnóstico de suelos salinos y sódicos -----	52
6.6. Análisis estadístico -----	54
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	55
7.1. Determinación de las propiedades físicas edáficas -----	55
7.1.1. Parámetros de la estructura del suelo -----	55
7.1.1.1. Distribución del tamaño de agregados en húmedo -----	55
7.1.1.2. Índices de agregación -----	58
7.1.1.2.1. Diámetro medio ponderado -----	58
7.1.1.2.2. Estabilidad estructural -----	59
7.1.1.2.3. Estado estructural del suelo -----	61
7.1.2. Constante hidrofísica del suelo -----	62
7.1.2.1. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente -----	62
7.1.2.2. Curva de retención de humedad -----	63
7.2. Propiedades químicas asociadas con la fertilidad del suelo -----	64
7.2.1. pH -----	64
7.2.2. Conductividad eléctrica -----	66
7.2.3. Materia orgánica -----	67
7.2.4. Nitrógeno -----	67
7.2.5. Relación carbono/nitrógeno -----	68
7.2.6. Fósforo -----	70
7.2.7. Bases intercambiables -----	71
7.2.8. Capacidad de intercambio efectiva -----	72

7.3. Propiedades químicas que caracterizan la salinidad	
de los suelos con base en el extracto de saturación-----	73
7.3.1. pH en el extracto de suelo-----	74
7.3.2. Conductividad eléctrica en el extracto de suelo -----	75
7.3.3. Cationes solubles en el extracto de suelo-----	77
7.3.4. Aniones solubles en el extracto de suelo-----	78
7.4. Por ciento de sodio intercambiable-----	81
7.5. Relación de adsorción del sodio -----	82
7.6. Suelos salinos y sódicos -----	84
7.7. Análisis de correlación -----	86
7.8. Discusión general -----	86
7.8.1. Caracterización de las propiedades físicas del suelo-----	87
7.8.2. Caracterización de las propiedades químicas del suelo -----	89
7.9. Prácticas agrícolas y efecto del manejo en las	
propiedades del suelo en el ejido de Mixquic-----	93
8. CONCLUSIONES -----	103
9. RECOMENDACIONES -----	105
10. LITERATURA CITADA -----	106
11. ANEXO -----	115

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Pág.
Cuadro 1. Superficie hortícola (2000-2006), en el Distrito Federal.	9
Cuadro 2. Resultado del análisis químico del agua tratada que llega al ejido.	12
Cuadro 3. Contenido de M.O., Nt, P-Olsen y CIC en suelos cultivados con brócoli e irrigados con diferentes fuentes de agua.	14
Cuadro 4. Indicadores de calidad del suelo y algunos procesos relacionados.	23
Cuadro 5. Parámetros químicos evaluados en el municipio de Chalco y su interpretación.	28
Cuadro 6. Población total en la Delegación Tláhuac y localidad de Mixquic.	36
Cuadro 7. Población económicamente y ocupada en los sectores, en Tláhuac y en Mixquic, en el 2000.	36
Cuadro 8. Superficie agrícola de la Delegación Tláhuac y Mixquic.	39
Cuadro 9. Propiedades físicas y métodos empleados en el diagnóstico del suelo. ...	43
Cuadro 10. Escala de apreciación cualitativa del estado estructural del suelo.	44
Cuadro 11. Clases de estabilidad y encostramiento de acuerdo a valores de DMP. 45	45
Cuadro 12. Propiedades químicas y métodos empleados en el diagnóstico de la calidad del suelo.	47
Cuadro 13. Clases y límites de las propiedades químicas que se emplearon para la descripción de la fertilidad del suelo en la zona de estudio.	48
Cuadro 14. Propiedades químicas determinadas en el extracto de saturación y métodos empleados en el diagnóstico del suelo.	50
Cuadro 15. Salinidad del suelo de acuerdo a la C.E. y su significado agronómico. .	51
Cuadro 17. Clasificación de acuerdo al porcentaje de sodio adsorbido.	52
Cuadro 18. Clasificación de acuerdo al porcentaje de sodio intercambiable.	52
Cuadro 19. Distribución de agregados por tamaño, obtenido del tamizado en húmedo, en suelos irrigados con los distintos tipos de agua.	56
Cuadro 20. Distribución de agregados por tamaño, de acuerdo a su estabilidad estructural, en los grupos de suelos.	57
Cuadro 21. Dispersión de los valores de DMP y su evaluación en la estabilidad y encostrabilidad del suelo, en los suelos del ejido de Mixquic.	60

Cuadro 22. Porcentajes de la distribución de clases de Estabilidad y Encostrabilidad del suelo, en suelos regados con diferentes tipos de agua.	60
Cuadro 23. Evaluación del estado estructural de los suelos en el interior de los grupos, regados con diferentes tipos de agua.	62
Cuadro 24. Constantes de humedad en suelos regados del ejido de Mixquic.	63
Cuadro 25. Principales características químicas de los suelos regados con tres tipos de agua del ejido de Mixquic.	65
Cuadro 26. Dispersión de los valores de C y su relación C/N en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua.	68
Cuadro 27. Clases obtenidas de la relación C/N en los suelos de Mixquic.	69
Cuadro 28. Principales características químicas en el extracto de saturación de los suelos regados con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic.	74
Cuadro 29. Intervalos de pH idóneos para las principales hortalizas sembradas en el ejido de Mixquic.	75
Cuadro 30. Distribución de las clases de pH y C.E., en el extracto de saturación, en suelos regados con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic.	75
Cuadro 31. Intervalos óptimos y tolerantes de C.E. para las principales hortalizas sembradas en el ejido de Mixquic.	77
Cuadro 32. Distribución de los porcentajes de las clases obtenidas de PSI, en los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.	81
Cuadro 33. Tolerancia al sodio intercambiable en tres hortalizas cultivadas en el ejido de Mixquic.	82
Cuadro 34. Resistencia a la salinidad de las principales hortalizas cultivadas en el ejido de Mixquic.	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Tipos y procesos de degradación del suelo.....	8
Figura 2. Presentación esquemática de la definición y funciones de la calidad del suelo	17
Figura 3. Marco conceptual para valorar la calidad del suelo	18
Figura 4. Localización personal de la Delegación Tláhuac, D.F. en la Republica Mexicana	34
Figura 5. Localización de Mixquic, en la Delegación Tláhuac, y la zona agrícola.....	35
Figura 6. Delimitación del territorio agrícola conocido como el ejido de Mixquic, Tláhuac, D.F.	41
Figura 7. Distribución de agregados producto del tamizado en húmedo, en los diferentes grupos de suelos regados con tres tipos de agua.....	57
Figura 8. Agregados acumulativos en húmedo en los grupos de suelos.	58
Figura 9. Curvas de retención de humedad para los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.	64
Figura 10. Distribución de la abundancia de suelos irrigados con tres tipos de agua dentro de las clases alcalinos y fuertemente alcalinos.	65
Figura 11. Clases de suelos con base en la C.E.	66
Figura 12. Contenidos y clasificación de la materia orgánica de los suelos regados con tres tipos de agua del ejido de Mixquic.	67
Figura 13. Contenidos y clasificación del nitrógeno en los suelos regados con tres tipos de agua del ejido de Mixquic.....	68
Figura 14. Contenidos y clasificación del fósforo Olsen en suelos regados con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic.....	70
Figura 15. Contenidos de cationes intercambiables en suelos del ejido de Mixquic.	72
Figura 16. Valores de la CIE y su clasificación, en parcelas regadas con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.....	73
Figura 17. Distribución de los porcentajes de las clases obtenidas de C.E. en suelos regados con tres tipos de agua, en el ejido de Mixquic.	76
Figura 18. Dispersión de cationes solubles en los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.....	80

Figura 19. Dispersión de aniones solubles en los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.	80
Figura 20. Porcentaje de las clases de RAS, en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.	83
Figura 21. Porcentajes de las clases de Salinidad-Sodicidad, en grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua, en el ejido de Mixquic.	84
Figura 22. Porcentaje de las clases de Salinidad-Sodicidad, y la distribución de las mismas, en cada uno de los sitios evaluados en Mixquic.....	85
Figura 23. Vista panorámica de la localidad de San Andrés Mixquic.....	93
Figura 24. Agricultura chinampera y agricultura de riego en Mixquic.....	94
Figura 25. Extracción de lodo de los canales, para la elaboración del almacigo.	94
Figura 26. El agua tratada, es utilizada en Mixquic para el riego de los cultivos.	95
Figura 27. El agua sin tratar, proveniente del río Amecameca	96
Figura 28. Principales cultivos sembrados en el ejido de Mixquic	97
Figura 29. Preparación del suelo con maquinaria agrícola en el ejido de Mixquic....	97
Figura 30. Labores agrícolas en el ejido, empleando una intensa mano de obra....	98
Figura 31. El <i>cuadreo</i> ó <i>encamellonado</i> , una práctica que se realiza manualmente, para el control de riego.	98
Figura 32. El <i>mateado</i> , una práctica que se realiza para cultivos de transplante.	99
Figura 33. Características de un suelo salino en el ejido.....	99
Figura 34. Característica de un suelo sódico en el ejido.....	100
Figura 35. Formación de costra dura en un suelo del ejido.	100
Figura 36. Corte de apio y apreciación del tipo de maquinaria para la preparación de suelo en las parcelas del ejido.....	100
Figura 37. Corte de brócoli en una parcela del ejido de Mixquic.	101
Figura 38. El crecimiento urbano en 1970 a 2000, en la Delegación Tláhuac y en Mixquic	102
Figura 39. Asentamientos urbanos en la zona agrícola de Mixquic.....	102

1. INTRODUCCIÓN

En México se han realizado evaluaciones recientes sobre el estado de sus recursos naturales. En el caso de los suelos, SEMARNAP (1999) hizo una estimación de la degradación de los suelos a escala 1:1 000 000; se encontró que el 68% de la superficie nacional está afectada por algún proceso de degradación. La SEMARNAT (2002) realizó una nueva estimación a escala de mayor precisión (1:250 000), sobre el estado de este mismo recurso, y determinó que solo el 45% de la superficie del país, estaba afectada por procesos degradativos en alguno de sus niveles de afectación; mientras que el 29% aún se considera como terrenos estables de manera natural.

Conforme aumenta la conciencia de la naturaleza finita de las tierras cultivables, se ha hecho patente la necesidad de desarrollar una agricultura que sea sustentable. Esta idea implica preservar la capacidad del suelo, un componente del sistema de producción, como generador de bienes y servicios para la humanidad y el ambiente (Vergara, 2003).

La disminución en la cantidad y calidad de los recursos naturales, el crecimiento de la población y la desigual contribución de la riqueza y los bienes son aspectos a considerar para el desarrollo actual y futuro tanto en la región como en el mundo.

Los indicadores físicos y químicos del suelo brindan información sobre aspectos críticos, además de que constituyen una herramienta para la toma de decisiones con el propósito de proteger y mejorar a largo plazo la productividad agrícola, la calidad del agua y el aire y el hábitat de organismos vegetales y animales, incluido el hombre.

La nutrición vegetal a través de la fertilización aplicada al suelo y en ocasiones al follaje, se ha convertido en una práctica indispensable para mejorar la productividad, la calidad de los cultivos y la mejora de la fertilidad del suelo.

La producción hortícola en el Distrito Federal y parte del Estado de México, son de gran importancia para los centros de consumo, tanto del D.F. como de la zona conurbada, que cada día demandan cantidades mayores de hortalizas frescas.

Dada la importancia de los sistemas de producción de hortalizas en la zona agrícola de San Andrés Mixquic, D.F. y debido al desconocimiento actual de la calidad agronómica de los suelos para el manejo de la producción hortícola, es necesario realizar estudios de base sobre esta temática, que permitan gestionar un mejor manejo del recurso suelo.

La presente investigación tuvo como finalidad determinar el estado actual de la calidad agronómica de los suelos en el ejido de Mixquic, mediante indicadores físicos y químicos del suelo, que permitan analizar el manejo de las prácticas agronómicas de los sistemas de producción hortícola en el ejido de Mixquic, D.F.

Así mismo se pretende que la información generada sea de utilidad para las asociaciones agrícolas locales, técnicos y para los agricultores, la cual permita la toma de decisiones en el manejo y gestión del recurso suelo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas la degradación de la tierra ha alcanzado niveles preocupantes. Especial atención merece: la destrucción de las selvas tropicales, la disminución de la biodiversidad, la contaminación del agua y del aire, la reducción de la cantidad y calidad de los suelos, males todos causados por un crecimiento exponencial de la población y una desigual distribución de la riqueza y los bienes materiales, aparte de sistemas económicos que no responden a los intereses de las mayorías (Vergara, 2003).

Es preocupante, que la capacidad del suelo para proporcionar nutrimentos para el adecuado desarrollo de los cultivos, tanto en tiempo como en espacio, está declinando, en un momento en que la población esta creciendo a su más alta tasa histórica. Esa creciente declinación nutrimental del suelo, y por extensión de la fertilidad del mismo, deberían ser el objeto de igual atención y preocupación, como el deterioro que experimentan otros recursos naturales renovables y no renovables; sin embargo por razones difíciles de comprender ha recibido una menor atención (Johnson y Lewis, 1995).

La falta de estudios acerca de la calidad del suelo y referencias de la calidad agronómica de los suelos en la zona agrícola de la Delegación de Tláhuac, D.F. y específicamente en Mixquic, constituyen la base de una problemática relevante y de actualidad, en los territorios periurbanos de esta Delegación.

Los agricultores desconocen y requieren de este tipo de estudios, que les permita mejorar el manejo de los cultivos y tener elementos de orientación para un buen manejo de las características físicas y químicas de los suelos, que se reflejen en sus prácticas agrícolas y rendimientos.

3. JUSTIFICACIÓN

En un estudio realizado por Quintos y Quispe (2004), en las áreas periurbanas de la ciudad de México que incluyen Mixquic, enfatizan la falta de información y de estudios en la zona y concluyen que es necesario realizar investigación sobre la calidad de los suelos y del agua; del impacto ambiental y de los sistemas de producción.

Los productores de la Asociación Agrícola Local de Mixquic (2004), experimentan en cada una de las fases de desarrollo de sus hortalizas las restricciones por diversos factores físicos, químicos y biológicos. En lo que respecta a los factores físicos y químicos mencionan que afecta la calidad agronómica del suelo, observando una disminución en el rendimiento de sus cultivos por unidad de superficie, y conforme pasan los años esto se va haciendo más notorio.

No hay estudios realizados en cuanto a la calidad agronómica de los suelos agrícolas de las zonas rurales de las Delegaciones del Distrito Federal, y que su aplicación mejora las posibilidades de lograr un manejo sustentable del recurso suelo.

La falta de información de estudios sobre fertilidad del suelo, y su respuesta al manejo de las prácticas agronómicas en los sistemas de producción hortícola en Mixquic, D.F. es nula y la información que se conoce en el Valle de México es mínima, con resultados de una pérdida en la fertilidad, que imposibilitan el aprovechamiento de la potencialidad productiva de los cultivos, es por eso la importancia de la realización de este estudio con algunos de los indicadores físicos y químicos para evaluar la calidad agronómica de los suelos agrícolas de Mixquic.

Los técnicos y agricultores están demandando que la experiencia acumulada por la investigación finalmente se les transfiera en una forma sencilla y eminentemente práctica.

El estudio realizado permitirá el desarrollo de estrategias para mantener y mejorar los indicadores evaluados del suelo, así como monitorear a futuro la evolución de la calidad del suelo en el territorio periurbano de Mixquic D.F.

4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1. Objetivo general

Cuantificar y seleccionar los indicadores físico-químicos de mayor importancia para evaluar la calidad agronómica de los suelos agrícolas, en el ejido de Mixquic, D.F.

4.1.1. Objetivos específicos

1. Cuantificar las propiedades físicas y químicas del suelo que permitan evaluar la calidad agronómica del suelo.
2. Seleccionar los indicadores físico-químicos de mayor pertinencia para evaluar la calidad agronómica del suelo.

4.2. Hipótesis general

Los suelos del ejido de Mixquic presentan limitada calidad agronómica, debido a la naturaleza y al manejo de los mismos.

4.2.1. Hipótesis específicas

1. La evaluación de las propiedades físicas y químicas de los suelos de Mixquic permitirá definir la calidad de los mismos para la agricultura.
2. Las propiedades físicas y químicas evaluadas en los suelos de Mixquic pueden ser empleadas como indicadores de calidad, los cuales permitirán evaluar la degradación y contribuir a definir los requerimientos de restauración edáfica de estos suelos.

5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Hasta antes de la aparición de los seres humanos, la permanencia, estabilidad y equilibrio de los ecosistemas y de los recursos naturales básicos: agua, suelo y atmósfera, sólo era puesta en riesgo por los procesos de tectónica de placas y procesos exógenos, pero las actividades del hombre han requerido, en forma creciente, de la utilización y el manejo, no siempre adecuado, de los recursos naturales renovables y no renovables, propiciando su degradación. En general, estas últimas se traducen en adición de energía externa, lo cual afecta la entropía del sistema y su equilibrio (Gutiérrez *et al.*, 2003).

El recurso suelo, que en términos de la escala humana del tiempo, debe considerarse como un recurso no renovable y finito (Lal y Stewart, 1990), no ha escapado a estas acciones de degradación.

La degradación de la tierra es una expresión general de los procesos económicos y sociales, así como de los naturales e inducidos que rompen el equilibrio del suelo, la vegetación, el aire y el agua (FAO, 1984). La degradación de la tierra es un conjunto de procesos dinámicos (físicos, químicos y biológicos) que afectan la productividad de los ecosistemas, algunas veces de forma irreversible y con serias consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas (Ortiz *et al.*, 1997).

Por su parte, Lal y Stewart (1990), destacaron que los procesos de degradación del suelo son los responsables de la declinación de la calidad del mismo y agrupan a la degradación del suelo en tres tipos; cada uno de esos tipos incluye diferentes procesos de degradación, como se muestra en la siguiente Figura 1:

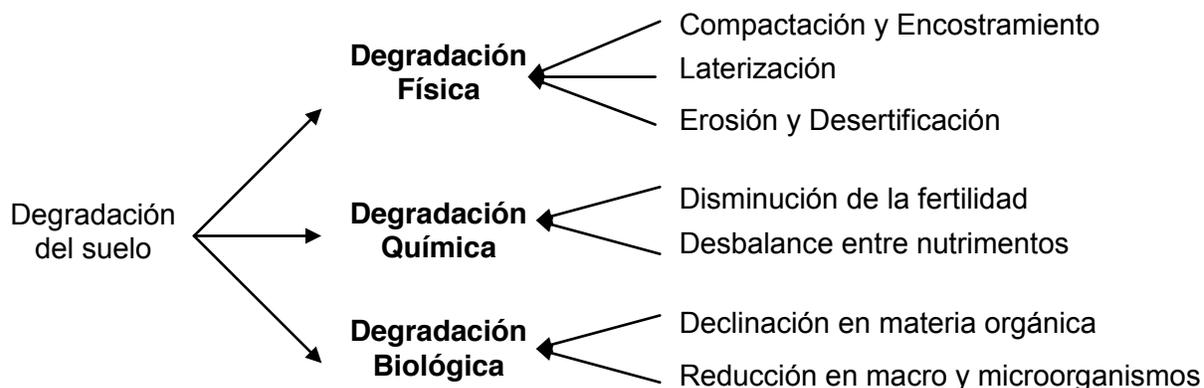


Figura 1. Tipos y procesos de degradación del suelo (Lal y Stewart, 1990).

5.1. La agricultura de Mixquic: antecedentes

5.1.1. La localidad

San Andrés Mixquic es desde tiempos prehispánicos, un pueblo campesino, que cultiva en chinampas. Ubicado en la región sureste de la gran cuenca del Valle de México. El pueblo se compone de pequeños productores agrícolas y la mayor parte de la población se dedica a las actividades agropecuarias. Que se ha convertido gracias al crecimiento del área metropolitana, en un pueblo campesino dentro del área urbana de la ciudad de México (Olivares, 2007).

5.1.2. Los sistemas de producción

En el Cuadro 1, se muestra la superficie sembrada en el Distrito Federal de las principales hortalizas cultivadas en Mixquic, del 2000 al 2006, cabe señalar que en el sur de la Cd. México se encuentran las Delegaciones con localidades rurales y con actividades agropecuarias, dentro de éstas la Delegación Tláhuac, destaca por ser una zona agrícola, donde resalta la localidad de San Andrés Mixquic por tener la mayor superficie cultivada de hortalizas dentro de la Delegación y a nivel Distrito Federal, su agricultura se desarrolla en la zona chinampera y en las tierras firmes

para la cual utilizan el riego con agua tratada y el temporal. En ambos sistemas siembran brócoli (*Brassica oleracea*), romerito (*Suaeda diffusa*), acelga (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacia oleracea*), apio (*Apium graveolens*), verdolaga (*Portulaca oleracea*) y maíz (*Zea mais*); entre otras especies como lechuga (*Lactuca sativa*), betabel (*Beta vulgaris*), rábano (*Raphanus sativus*), calabaza (*Cucúrbita pepo*) y cilantro (*Coriandrum sativum* L.) con los cuales se integran las principales rotaciones de cultivo existentes.

El sistema de producción de brócoli y romerito son en la actualidad muy importantes, ya que han crecido en superficie cultivada en los últimos años, como se observa en el Cuadro 1, y son de uso exclusivo en la localidad, ya que no se siembra en otras localidades del D.F., sembrando la mayor parte de las tierras cultivadas en el ejido.

Cuadro 1. Superficie hortícola (2000-2006), en el Distrito Federal.

Cultivo	Superficie sembrada (ha) ¹						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
[cultivos que han aumentado en superficie] →							
Brócoli	309	368	373	917	952	1,001	944
Romerito	361	387	307	540	670	935	872
Verdolaga	51	52	56	126	101	157	145.5
← [cultivos que han disminuido en superficie]							
Espinaca	459	499	355	115	118	128	124.5
Acelga	296	303	287	62	73	73	72
Coliflor	227	256	171	40	0	0	15
Apio	191	208	175	69	67	127	134
Rabanito	147	174	126	73	70	58	66
Betabel	48	43	42	11	8	8	8

¹ En los ciclos de otoño-invierno y primavera-verano, en las modalidades de riego y temporal.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP): Información de Producción Nacional y por Especies (<http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/Artus/eis/loadstage.asp>), Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (<http://www.siap.gob.mx/>).

Los agricultores se han especializado en estos cultivos para proveer a la ciudad de México. La mayor parte de la producción entra a la Central de Abastos del D.F.

La siembra de brócoli en Mixquic, no tiene una estacionalidad bien marcada, prácticamente se lleva a cabo durante todo el año (Pérez, 2007). El sistema de producción de brócoli en Mixquic es uno de los más complejos y diversos (Jiménez y Nuñez, 1993), el cual se caracteriza porque integra prácticas de producción propias del sistema de chinampas, de acuerdo con Rojas (1991), es un sistema de producción prehispánico que combina prácticas, insumos y maquinaria modernos.

Pérez (2007), comenta que la producción de plántulas se realiza de forma tradicional, en almácigos que se conocen localmente como “*Tlalpehuales*”, para su elaboración se emplea una mezcla del lodo de los canales con estiércol. Durante el ciclo de producción, es común el uso de maquinaria, sobre todo en la preparación del suelo. La fertilización es mediante el aporte manual de estiércol bovino, en pequeños huecos hechos utilizando un tipo de “coa mesoamericana”, a esta práctica se le conoce localmente como “mateado”. El control de plagas es principalmente químico, el agua utilizada para riego es el agua tratada proveniente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella, la cual, en su trayecto hacia las parcelas se mezcla con aguas residuales sin tratar, provenientes del canal de Chalco y del drenaje local.

En un estudio realizado por Olivares *et al.*, (1993) y Hernández (2000), detectaron que el proceso de producción del romerito, es similar al de otros cultivos. Sin embargo existen algunas variantes que lo hacen único de San Andrés Mixquic, como la obtención de la semilla, el control de malezas y la cosecha, son las diferencias más marcadas de este cultivo con respecto a otros de la misma región. La preparación del terreno no la tienen bien definida como en otros cultivos, para algunos productores les resulta más factible realizarla 15 días antes de la siembra, para otros unos tres o cinco días. La preparación del terreno incluye tres labores principales que son: barbecho, rastreo y cuadro (encamellonado). Existen otras labores como la cruza, nivelación y el subsuelo, regularmente cuando el suelo va a ser utilizado por primera vez. La siembra se realiza inmediatamente después de la preparación del terreno y anualmente se realizan dos ciclos de producción para obtener el producto en Semana Santa y en Navidad.

La cantidad de semilla de romerito utilizada por hectárea es de 8 a 10 costales, donde cada uno de éstos tiene un peso de entre 30 y 35 kg. Una explicación del porque se utiliza una gran cantidad de semilla es porque la viabilidad de la misma es muy baja, aunado a que vienen revuelta con una gran cantidad de impurezas de la misma especie (Hernández, 2000).

En Mixquic destaca el conocimiento campesino milenario y la organización social que se expresa en sus sistemas de producción, la aplicación de estos sistemas mantienen una alta productividad todo el año y se caracterizan por utilizar una gran cantidad de mano de obra, que es abundante entre los grupos domésticos y siguen usando técnicas como el almácigo, que es la clave del sistema chinampero y ahora utilizado en la agricultura de riego (Olivares, 2007). Sin embargo los agricultores han sabido conjugar las prácticas modernas y las llamadas tradicionales en sus actuales sistemas agrícolas.

5.1.3. La calidad agronómica en pella de brócoli

Pérez (2007), evaluó la calidad agronómica del brócoli en Mixquic, indicando que el color, peso y perímetro de las cabezuelas indican que cumple con las exigencias propuestas por el mercado nacional. Adicionalmente identifiqué que en los sitios irrigados con agua tratada más negra y los sitios irrigados con agua negra del drenaje local fueron los que presentan los valores más altos en dichas variables. Sin embargo existen factores, como el tipo de agua utilizada para el riego o el sustrato utilizado para la producción de plántulas que puede limitar la calidad y representar un riesgo potencial para la salud humana.

De acuerdo con Pérez (2007), el rendimiento del brócoli en el ejido de Mixquic es de 13 y 15.5 t ha⁻¹.

5.1.4. La calidad del agua tratada

La actividad agrícola en algunas Delegaciones del Distrito Federal y varios municipios en el Estado de México e Hidalgo, dependen en gran medida de las

aguas residuales tratadas y sin tratar que se producen en la zona metropolitana de la ciudad de México (Pérez, 2007).

Las parcelas del ejido de Mixquic son irrigadas con agua tratada proveniente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella, de la cual se derivan tres tipos de aguas para el riego de sus cultivos y que son: las aguas tratadas; las aguas negras que provienen del canal de Chalco (Río Amecameca) y el drenaje local; y las aguas combinadas donde se junta el agua tratada con las aguas negras, estos tipos de aguas son almacenados en los canales.

Pérez (1994), analizo la calidad química del agua tratada que llega a los canales del ejido de Mixquic, y la tomo directamente de uno de los canales. En el Cuadro 2 se presentan los resultados, en el cual determinó que la concentración total electrolítica es mediana. Sin embargo, ésta agua posee grados de alcalinidad que puede provocar problemas de filtración cuando esté atravesando diferentes capas de suelo.

Cuadro 2. Resultado del análisis químico del agua tratada que llega al ejido.

pH	C.E dS/m	[Cationes]					[Aniones]					RSE	RSC
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Total	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Total		
7.35	1.997	1.6	3.28	2.9	0.81	8.59	0	7.43	1	0.1	8.53	0.33	0.212

RAS: 1.86 (meq/L) 0.5

Fuente: Pérez (1994).

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (2000), reporta que dicha agua contiene en promedio (anual) Pb y Cr en concentraciones de 0.069 y 0.056 mg L⁻¹, respectivamente. Mientras que el Na se encuentra en 75.72 mg L⁻¹, HCO₃⁻ y Cl⁻ en concentraciones de 165.96 y 57.16 mg L⁻¹ respectivamente, lo que a largo plazo puede constituir un problema de contaminación del suelo y de los productos agrícolas que se obtienen al regar con esa agua.

5.1.5. La calidad química de los suelos

Pérez (1994), realizó un estudio del mejoramiento fisicoquímico de un suelo salino-sódico en una parcela del ejido de Mixquic, y caracterizó químicamente al suelo con un alto porcentaje de sodio intercambiable 49.52%, resultó mucho más rico en magnesio que en calcio, no se encontraron carbonatos, la conductividad eléctrica fué de 12 dS/m y el pH 8.3. Con esta caracterización el suelo se ubicó como del tipo “salino sódico” según la clasificación U.S.A. El mismo autor menciona que el pH depende de la cantidad de sales alcalinas que constituyen un suelo.

Hilgard (1906), fue uno de los primeros en reconocer el significado de ciertas plantas nativas como indicadores de las características de los suelos y en utilizarlas para determinar la utilidad agrícola de los suelos salinos y sódicos. Como es el caso de la planta de romerillo (*Suaeda* spp.), que crece en un radio de adaptación de sur a norte de México. Crece en llanuras salinas y ciénegas. Se presenta en suelos con texturas de migajones que pueden hacerse lodosos fácilmente, pero que descansan sobre una formación subyacente compacta y dura. La capacidad de retención de humedad es de intermedia a elevada (PS 30-60). Los suelos son salinos o salino-sódicos, con altas concentraciones de sales en los primeros 30 cm (0.6 a 3.2%). Indicaciones: en donde el crecimiento natural sea vigoroso, el romerillo será un buen indicador de que el suelo es altamente salino o salino-sódico (Richards, 1994). El romerito (*Suaeda diffusa*), es uno de los cultivos que mejor se adapta a los suelos del ejido, además de ser una planta endémica de la zona, otros cultivos como la verdolaga, la acelga y apio, también se son tolerantes a estos suelos.

Pérez (2007), caracterizó los suelos de Mixquic como suelos fértiles, con alto contenido de M.O (7.67 a 13.4%), Nt (0.32 a 0.67%), P-Olsen (30.8 a 58.3 mg kg⁻¹) y alta CIC (27.75 a 40.55 cmol kg⁻¹), lo que refleja una mayor capacidad de los suelos para mantener una reserva de nutrimentos para las plantas. Las parcelas analizadas tienen un pH medianamente alcalino con valores entre 8.1 y 8.3. La C.E. vario de 0.65 a 5.55 dS m⁻¹. El 43 % de los sitios evaluados tienen valores de C.E. superiores a 2.0 dS m⁻¹, clasificándose como suelos moderadamente salino. Únicamente un

suelo se clasificó en el intervalo de 4.1-8.0 dS m⁻¹ que corresponde a la categoría de suelo salino. En el Cuadro 3, se presentan los resultados realizado por Pérez, de acuerdo al tipo agua utilizada para el riego.

Cuadro 3. Contenido de materia orgánica, nitrógeno total estimado, fósforo y capacidad de intercambio catiónico en suelos cultivados con brócoli e irrigados con diferentes fuentes de agua.

Tratamientos ¹	M.O.	Nt	P-Olsen	CIC
	← [%] →		mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹
Tratada canal chinampa	13.4	0.67	58.3	40.55
Tratada sitio de salida 2	8.13	0.41	54.9	28.89
Tratada sitio de salida 1	10.59	0.53	53.5	31.47
Tratada canal principal y secundario	9.41	0.47	30.8	28.37
Tratada + negra	8.91	0.45	37.9	27.75
Drenaje local	7.67	0.32	45.9	28.89
Agua de pozo o blanca	1.11	0.06	21.5	11.87

¹Sitios de cultivo de brócoli irrigado con el tipo de agua especificado
Fuente: Pérez (2007).

Jiménez y Núñez (1993), encontraron que en el sistema de chinampas existe una intensa rotación de cultivos durante el año, lo que lo hace un sistema intensivo de incorporación de materia orgánica a partir de los residuos de cosecha.

Pérez *et al.*, (2006) y Pérez (2007), realizaron un estudio en la zona agrícola de Mixquic, para determinar las concentraciones de zinc (Zn), plomo (Pb), cadmio (Cd) y níquel (Ni) en suelo y cabezuela de brócoli de acuerdo a los suelos irrigados con agua tratada, con agua tratada mezclada con agua negra y agua negra, y determinaron las tasas de transferencia de dichos metales en brócoli, encontrándose que los niveles de Zn, Ni, Cd y Pb analizados en las cabezuelas de brócoli fueron inferiores a los establecidos por la FAO/OMS. Adicionalmente, los niveles de Zn en la pella se detectaron dentro del intervalo que se establece para este cultivo como elemento esencial. En general, observaron un grado de correlación entre las

propiedades químicas de los suelos con el contenido de metales pesados en el suelo y en pella de brócoli.

Ramos *et al.*, (2001), reportan la presencia de metales pesados en suelos de chinampa de la zona de Tláhuac en la secuencia siguiente: Pb, Ni, Zn, Cu, Cr y Cd y concluyen que los metales pesados, sales y sodio tienden a concentrarse en la parte superficial del suelo, así como en los cultivos, cuando el riego por aspersión con agua de los canales que rodean a las chinampas se práctica durante largos periodos.

5.1.6. La calidad del brócoli

En un estudio realizado por Pérez (2007), determinó los residuos de plaguicidas organofósforados mediante cromatografía de gases en cabezuela de brócoli. Los residuos encontrados en el análisis cualitativo fueron: malatión (70%), diazinón (65%) y clorfenvinfos (43%). En cuanto a las concentraciones encontró: clorfenvinfos, malatión y diazinón con 5.78, 2.67, y 1.16 mg kg⁻¹, seguidos por el fentión y etión con concentraciones medias de 0.041 y 0.024 mg kg⁻¹. El 87 % de las muestras de brócoli analizadas contienen residuos de al menos un plaguicida organofosforado.

La concentración media de diazinón en las muestras es superior a los LMR recomendados; mientras que las del resto de plaguicidas están por debajo de las recomendadas.

5.2. Calidad del suelo

5.2.1. Concepto de calidad y salud del suelo

Desde hace varios cientos de años, los humanos han evaluado sus suelos (en los que trabajan, juegan y viven), desde el punto de vista productivo. Los términos bueno, malo, productivos, e improductivos siempre se han utilizado. Recientemente, los científicos y los usuarios del suelo han visto que muchos de estos suelos se están degradando, por lo que se requiere entender mejor los procesos y al mismo

tiempo revertir esta situación. Se pretende aprender a mejorar la calidad del suelo no solo de aquellos que se encuentran degradados sino también de las zonas no deterioradas (Gutiérrez *et al.*, 2003).

El concepto “calidad del suelo” es más restrictivo que el concepto “calidad de la tierra”, pero de acuerdo a Carter *et al.*, (1997) incorpora el mismo énfasis en el uso adecuado del recurso. Históricamente se ha utilizado la capacidad del suelo para mantener los cultivos o animales como un indicador de calidad. Pero ésta aproximación es limitada, por lo que actualmente los edafólogos utilizan el concepto de calidad o salud del suelo (Doran *et al.*, 1996) en un sentido más amplio, relacionándola con la capacidad del suelo para sostener la productividad biológica y la diversidad, mantener la calidad ambiental y como factor importante en la salud vegetal y animal (Harris *et al.*, 1996), es decir, valorando todos los aspectos del suelo como proveedor de bienes y servicios para los humanos y el ecosistema.

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

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

La capacidad de un suelo para producir cultivos nutritivos de manera sostenida durante largo tiempo, así como mejorar y mantener la calidad ambiental y promover la salud de plantas, animales y humanos (Parr *et al.*, 1992; Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 2001; Gutiérrez *et al.*, 2003).

En general, como elemento común, las definiciones se refieren a la calidad como la habilidad o capacidad de un suelo para funcionar adecuadamente, es decir, proporcionar ciertos servicios a las plantas, animales y al ambiente de acuerdo al uso específico del mismo. Por lo cual la calidad del suelo puede ser evaluada con base en las funciones del suelo (Doran *et al.*, 1996).

La calidad de un suelo, su capacidad para proporcionar servicios; para funcionar, depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas y sus interacciones, por lo que la calidad del suelo no puede evaluarse directamente sino que se infiere midiendo los cambios en las propiedades que se relacionen con las funciones de éste. A estas propiedades se les llama indicadores, en la siguiente Figura 2, se presenta esquemáticamente la definición y funciones de la calidad del suelo.

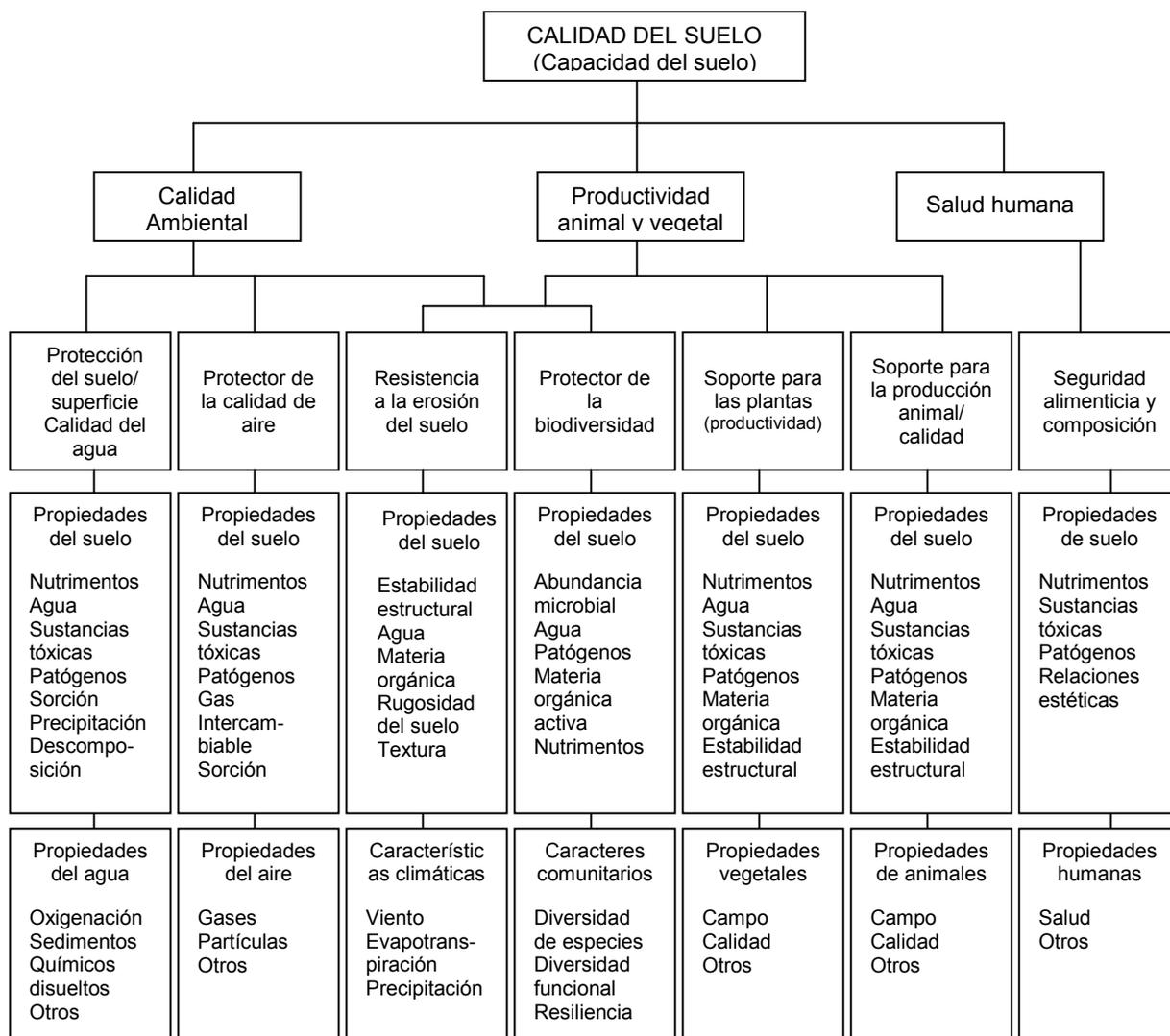


Figura 2. Presentación esquemática de la definición y funciones de la calidad del suelo (Harris *et al.*, 1996).

Para determinar la calidad del suelo se manejan índices, con la idea de medir de manera cuantitativa la habilidad de un suelo para desarrollar su función. Esto no es una tarea simple, debido a que la calidad de un suelo está influenciada por muchas propiedades y su relativa contribución varía de una unidad edafológica a otra; por ejemplo, los niveles nutrimentales de un suelo deben ser muy altos si el objetivo perseguido es la productividad agrícola; sin embargo, esto es poco importante si el área será utilizada para construir una vivienda. Esto significa que los índices de calidad del suelo deben de ser muy específicos en función del uso que se pretende.

Harris *et al.*, (1996), formularon un marco conceptual, como se muestra en la Figura 3, para valorar la calidad del suelo y determinar si ésta se modifica por efecto del manejo.

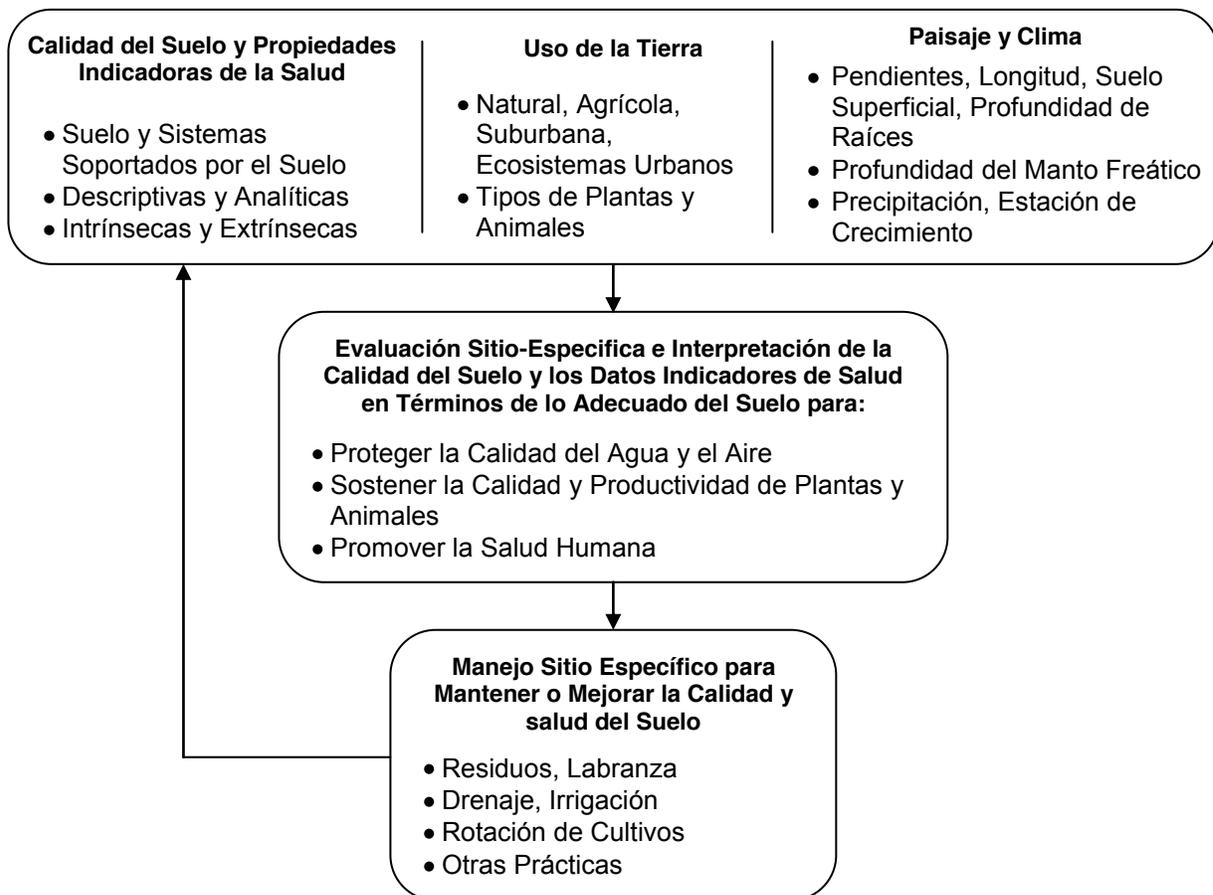


Figura 3. Marco conceptual para valorar la calidad del suelo (Harris *et al.*, 1996).

5.2.2. Indicadores de calidad

Un indicador es un instrumento de análisis que permite simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Se usan en múltiples campos del conocimiento (Adriaanse, 1993).

Los indicadores de calidad del suelo son propiedades físicas, químicas y biológicas que pueden ser medidas cualitativa o cuantitativamente y que proveen pistas acerca de que tan adecuadamente un suelo funciona (Gregorich *et al.*, 1994; SQI, 1996). De modo que los mejores indicadores serán aquellas propiedades que influyan significativamente sobre la capacidad del suelo para proveer cada función (Carter *et al.*, 1997). También se señala que los indicadores de la calidad del suelo son aquellas propiedades que reflejan la habilidad de éste para cumplir con sus funciones (Larson y Pierce, 1991) o que dan alguna medida de la capacidad del suelo para funcionar (Seybold *et al.*, 1997).

Existen diferentes tipos de indicadores

Indicadores físicos: son aquellas propiedades que reflejan la manera en que éste acepta, retiene y proporciona el agua a las plantas, así como las limitaciones para el crecimiento de raíces, emergencia de plántulas, infiltración y movimiento del agua dentro del perfil. Algunos de ellos son la estructura del suelo, profundidad, infiltración y densidad aparente, capacidad de retención de agua, compactación, porosidad, conductividad hidráulica, estabilidad de agregados, resistencia a la erosión, pendiente (Karlen *et al.*, 1997).

Indicadores químicos: son aquellas propiedades que inciden sobre la relación suelo-planta, calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo y disponibilidad de nutrimentos para plantas y microorganismos. Algunos de ellos son pH, conductividad eléctrica, N-P-K extractables, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, capacidad de intercambio de cationes, capacidad de adsorción de fosfatos, contenido de micronutrimentos disponibles (Doran y Parkin, 1994; Larson y Pierce, 1991).

Indicadores biológicos: se derivan de la presencia de los múltiples organismos que viven en el suelo, donde realizan una extensa variedad de funciones esenciales para el funcionamiento del mismo, como es la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, la asociación con plantas, la degradación de residuos tóxicos, el control biológico de plagas y enfermedades, la formación de estructura del suelo y control de la disponibilidad nutrimental. Algunos indicadores biológicos son la biomasa microbiana, poblaciones de lombrices y nematodos, tasas de respiración microbiana, mediciones de actividad microbiana a través de subproductos, presencia de enzimas microbiológicas, C y N de la biomasa microbiana, materia orgánica, fijación biológica de N, N potencialmente mineralizable (SQI, 1996; Kennedy y Papendick, 1996).

5.2.3. Identificación y selección de indicadores de la calidad del suelo

Utilizar todas las propiedades del suelo como indicadores sería imposible, por lo cual, para un tipo específico de suelo, se debe hacer una identificación y selección de un mínimo de aquellas que puedan proveer información acerca de que tan adecuadamente éste funciona.

Para una adecuada selección y evaluación de los criterios e indicadores deben conocerse: características del suelo, manejo, clima, cultivo y sus relaciones con el ámbito social y ecológico y considerar las propiedades físicas, químicas y biológicas que cambian en periodos cortos.

Las proposiciones para seleccionar a los indicadores de calidad son diversas.

Según Larson y Pierce (1991), un sistema para evaluar la calidad del suelo puede iniciarse identificando una lista de propiedades del suelo que se relacionen con los procesos más importantes de su funcionamiento (por ejemplo: pH, M.O., C.E, textura, estructura, estabilidad de agregados, masa microbiana, entre otros), que servirían como indicadores básicos. Una vez realizada la caracterización de la calidad con los indicadores básicos, éstos podrían indicar la necesidad de indicadores más específicos para algunas situaciones.

Estos mismos autores propusieron un conjunto mínimo de datos que considera propiedades como la disponibilidad nutrimental, carbón orgánico total, carbón orgánico lábil, textura, humedad disponible, estructura, resistencia, profundidad máxima de crecimiento de raíces, pH y conductividad eléctrica.

Las propiedades incluidas en este conjunto cumplen los siguientes criterios: (1) son sensitivos al manejo y sus cambios pueden ser detectados en corto tiempo, (2) las metodologías de medición son ampliamente disponibles, (3) la utilidad de este conjunto mínimo de datos podría ser ampliada mediante el concepto de funciones de pedotransferencia. De acuerdo con Bouma (1989), éstas son funciones matemáticas que relacionan características y propiedades conocidas del suelo, de forma que puede deducirse el valor de otra característica no medida para ser usada en la evaluación de la calidad del suelo. Por ejemplo, la capacidad de adsorción de fosfatos podría obtenerse a partir de los datos de Al y Fe extractables, sin necesidad de medirla directamente (Breewisma *et al.*, 1986). Así la combinación de varias de ellas mediante funciones de pedotransferencia genera información sobre propiedades no medidas.

Dado que muchas de las funciones de pedotransferencia son de naturaleza estadística o empírica y desarrollada con información local o regional no pueden ser extrapoladas, a menos que sean validadas.

Doran y Parkin (1994), apoyándose en el conjunto mínimo de datos propuesto por Larson y Pierce (1991), propusieron una lista de propiedades básicas del suelo que consideran útiles en un amplio rango de situaciones socioeconómicas y ecológicas para valorar la calidad del suelo, entre las cuales se incluye: textura, profundidad del suelo, profundidad de raíces, temperatura del suelo, densidad aparente, N, P y K extractables, pH, CE, N potencialmente mineralizable, masa microbial, respiración del suelo.

Según los autores, este conjunto de indicadores cubre los criterios de: 1) incluir procesos del ecosistema, 2) integrar propiedades físicas, químicas, biológicas 3) accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo, 4) sensibles a

variaciones en manejo y clima y 5) presentes en bases de datos. Por lo cual pueden usarse en un amplio rango de condiciones.

El conocer como las propiedades se relacionan con ciertos procesos y/o funciones puede ayudar a realizar una adecuada selección de indicadores, por esta razón en el Cuadro 4, se presentan algunos indicadores reportados en la literatura y los procesos con los que se relacionan.

Como se señaló anteriormente, el concepto de calidad no tiene igual significado para todos los investigadores. Por lo tanto existen diferentes criterios para la identificación y selección de indicadores de calidad, aún cuando se coincide en la necesidad de contar con ellos como herramienta para lograr la sustentabilidad (Karlen *et al.*, 1997).

En este sentido, para algunos, la definición de calidad del suelo para una cierta zona o región no puede ser tomada de la literatura, sino deberá ser “construida” a partir de los usos y expectativas que para ese suelo o agrosistema posean los productores, usando como marco referencial los conceptos discutidos en los párrafos anteriores. Serían estos últimos quienes deben señalar al investigador cual es su concepto de calidad e identificar cuales características son deseables o no deseables y como esto se refleja en sus cultivos, en sus animales, en su ambiente y en el manejo que se aplica (Roming *et al.*, 1996). Las características deseables o no deseables que señalen los productores y la prioridad que den a cada uno de ellos deben considerarse por parte del investigador tomándolos como guía para el desarrollo de indicadores que así tendrán justificación y validez para esa zona.

La forma descriptiva que los agricultores usan para valorar la calidad de sus suelos puede proveer una forma práctica y no onerosa para valorar y monitorear la calidad tanto por productores como por investigadores en forma directa en el campo (Harris y Bezdicek, 1994). El agricultor puede realizar observaciones sobre 1) pérdida de materia orgánica, reducción de la agregación, baja conductividad hidráulica, costras y superficies no porosas, 2) erosión por agua, indicada por canalillos, piedras en superficie, raíces expuestas, subsuelo emergente, 3) erosión por viento, indicada por rugosidad de la superficie del suelo, depositación de arena o polvo en los tallos de la planta y otras partes, daños a las mismas, 4) salinización, indicada por costras salinas

Cuadro 4. Indicadores de calidad de suelos y algunos procesos relacionados (Doran y Parkin, 1994; Roming *et al.*, 1996; Karlen *et al.*, 1997).

Indicador	Relación con:
Físicos	
Textura	Retención y transporte de agua y químicos, erosión del suelo.
Profundidad del suelo	Volumen de enraizamiento, disponibilidad de agua y nutrimentos.
Densidad aparente	Penetración de raíces, espacio poroso, actividad biológica, infiltración de agua.
Infiltración	Escurrimiento y lixiviación superficial, eficiencia de uso del agua, erosión potencial.
Agregación	Estructura del suelo, resistencia a erosión, emergencia, infiltración.
Capacidad de retención de agua	Relación retención de agua, transporte y erosividad
Color del suelo	Contenido de materia orgánica, origen del material parental.
Químicos	
Materia orgánica	Reciclamiento nutrimental, retención de agua, estructura del suelo.
pH	Disponibilidad nutrimental, absorción y movilidad de pesticidas.
Conductividad eléctrica	Infiltración de agua, crecimiento del cultivo, estructura del suelo.
N, K y P extractables	Disponibilidad nutrimental, potencial de pérdidas de N, productividad biológica.
Disponibilidad nutrimental	Fertilidad del suelo.
Biológicos	
Biomasa microbiana	Actividad biológica, reciclaje nutrimental, degradación de pesticidas.
Producción de biomasa vegetal	Flujo de nutrimentos, estado de la M.O.
N potencialmente mineralizable	Abasto potencial de N.
Otros	
Apariencia del cultivo	Presencia de deficiencias y toxicidades, efectos climáticos.
Presencia de lombrices	Filtración de agua, fertilidad, contenido de materia orgánica, metales pesados.
Presencia de costras	Porosidad, velocidad de infiltración.
Presencia de residuos identificables en superficie del suelo	Velocidad de descomposición de la materia orgánica, temperatura y humedad ambiental, actividad microbiana.
Biodiversidad en el ámbito regional	Cobertura vegetal, ciclos nutrimentales.
Presencia de canalillos en superficie	Velocidad de infiltración, tendencia a la erosión, régimen climático.
Especies vegetales indicadores	Salinidad, acidez, deficiencias nutrimentales.
Presencia de malezas en la parcela	Cambios en el P y K disponibles, hospederos de plagas.

salinas y la presencia de plantas tolerantes a la sal, 5) acidificación y degradación química, indicada por presencia de plantas tolerantes a la acidez y falta de respuesta a la fertilización, 6) drenaje deficiente, indicado por encharcamientos persistentes, duripanes, escaso crecimiento del cultivo en ciertas áreas del terreno.

Arshad y Cohen (1992), señalan que las características visuales y morfológicas que puedan ser usadas por productores y extensionistas para indicar cambios en la calidad del suelo deben ser parte esencial en su medición y monitoreo, principalmente en regiones donde los recursos son limitados.

5.2.4. Utilidad de los indicadores de calidad

De acuerdo con Parr *et al.*, (1992) los índices de calidad pueden ser usados para:

- Evaluar el impacto de las prácticas de manejo sobre la degradación del suelo.
- Evaluar los beneficios de programas de conservación de suelos.
- Proveer las base para las políticas de conservación.
- Establecer el valor de renta y venta de la tierra.
- Establecer una base realista para el cobro de impuestos y tasas de crédito.
- Evaluar el impacto de prácticas de manejo sobre la salud humana y animal.
- Evaluar el impacto de prácticas de manejo sobre la seguridad y calidad alimentaría.
- Evaluar el impacto de prácticas de manejo sobre la calida del agua.
- Proveer información para simular y predecir cambios ambientales.
- Proveer bases para una mejor clasificación de capacidad de tierras.

Según Hünne Meyer *et al.*, (1997) los indicadores de calidad permiten:

- Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto a la sustentabilidad del suelo como un medio productivo o recurso natural importante para la calidad de vida o el mantenimiento de la biodiversidad.

- Analizar los posibles impactos antes de una intervención. Evaluar el impacto de las intervenciones.
- Ayudar a determinar si el uso del recurso es sustentable.

5.3. La Fertilidad de los Suelos

El conocimiento de la fertilidad del suelo es una herramienta útil para estimar el potencial productivo de una cierta zona o región y para elaborar e implementar programas de aplicación de fertilizantes (químicos u orgánicos) de manera que resulten económicamente rentables y ecológicamente aceptables.

La fertilidad del suelo se ha relacionado con la capacidad de suministro de nutrimentos esenciales para los cultivos y niveles no tóxicos de ciertos elementos, así como con otras propiedades (pH, CE, PSB, CIC) que restringen la expresión del rendimiento máximo posible del agrosistema (Peck *et al.*, 1977).

Finck (1995), señaló que la fertilidad de suelos es un término complejo donde se incluyen muchos componentes: profundidad, textura, estructura, reacción del suelo (pH), contenido y composición del humus, actividad de los organismos del suelo, capacidad de almacenaje de nutrimentos y contenido o ausencia de sustancias perjudiciales o tóxicas.

Sims (2000), concibe a la fertilidad del suelo como una disciplina científica que integra los principios básicos de la biología, la física y la química del suelo para desarrollar las prácticas necesarias para manejar la nutrición de los cultivos de una manera rentable y ambientalmente aceptable.

Los conceptos de Fertilidad de Suelo de Finck y Sims, son más amplios, que la consideran un atributo de la tierra, resultado de múltiples propiedades del suelo que interactúan constantemente con las plantas y el ambiente.

5.3.1. Estudios de fertilidad de suelos

Dada la importancia del estudio de la calidad de los suelos y la influencia de esta en el desarrollo de los cultivos, en México se han desarrollado algunos estudios en relación a cuestiones nutrimentales, los cuales son de gran ayuda para el desarrollo óptimo de los cultivos.

Se han realizado varios estudios de levantamiento nutrimental, y de los cuales se citan algunos, Etchevers *et al.*, (1985), observaron en la Sierra Tarasca de Michoacán que la totalidad de los suelos muestreados exhibían contenidos bajos de P, Ca, Cu, y que solamente el K, Mg y Fe, estaban en concentraciones consideradas como suficientes para el crecimiento de las plantas. Zárate (1986), evaluó la fertilidad de la praderas de la región de Teziutlán, Puebla, el principal problema detectado lo constituyó el P, resultando el 73% de los suelos estudiados mostraron indicios de deficiencia. El Ca, S, y micronutrientes fueron deficientes en menor grado. Cruz (1990), realizó un levantamiento nutrimental en el Estado de Tlaxcala, encontrando deficiencias en Ca y Mg, el P, son superiores al nivel medio. La M.O. en la mayoría de los suelos están en los niveles pobre y muy pobre. Los niveles de P fueron altos, a pesar de que la reacción del suelo fue predominantemente ácida. Alcalá *et al.*, (1992), hicieron el inventario del estado del cultivo de maíz, en la región de Hidalgo, Tamaulipas, la principal limitante de la producción de este cultivo fue P, ya que el análisis foliar y del suelo resultó totalmente deficiente, y se presenta en los vertisoles.

En un estudio de levantamiento nutrimental de los tepetates de la sierra Nevada del Estado de México, la presencia de carbonatos libres y los pH alcalinos de los tepetates afectaron la disponibilidad de los micronutrientes. Los promedios de Fe, Mn, Zn y Cu en los tepetates con y sin CaCO₃, los valores fueron considerados bajos e insuficientes para alcanzar rendimientos económicamente aceptables (Brito, 1997).

Los porcentajes de materia orgánica se ubicaron preferentemente en las clases con valores bajos de este parámetro, esto significa que los tepetates son muy pobres en componentes orgánicos residuales. Las concentraciones de Ca y Mg se ubicaron en las clases elevadas de estos elementos, al igual que el K. Los niveles de N y el P

son insuficientes para producir cualquier tipo de cultivo. En los primeros 15 años la M.O., el P y el N total tienden a aumentar para luego decaer en los años siguientes.

Cazares (1998), realizó un estudio del estado nutricional de los alfalfares en el Valle de México y clasificó al suelo con valores de pH que van de moderados a fuertemente alcalinos, en el 76% de los casos, con una media de 7.88. La C.E. presentó índices bajos, considera que no tienen problemas graves de salinidad. La materia orgánica y nitrógeno se encuentran distribuidos ampliamente de medianos a ricos (68%). El P se encuentra en las categorías medio (42%), a elevado (58%). K, Ca y Mg, se encontraron en niveles de concentración elevados en la mayoría de los sitios (88, 100 y 99% respectivamente). La concentración de los micronutrientes (Zn, Fe, Cu y Mn) se clasifican como elevadas, a excepción del Zn y Fe se presentan como marginales (25 y 13%).

El mismo autor, clasificó los resultados de acuerdo al tipo de suelo y entidad municipal, considerando el municipio de Chalco, el cual resulta de interés por colindar con Mixquic, en el se realizaron cuatro muestras, tres resultaron Fluvisol eútrico y una Feozem háplico. El Vertisol pélico, dominó en el estudio (Valle de México) con el 40%, seguido de los Vertisol crómico con el 33%. En el siguiente Cuadro 5 se puede observar que los dos tipos de suelo son alcalinos, y presentan resultados similares.

El Fluvisol eútrico no presenta problemas de salinidad y sodicidad, y el Feozem háplico es un suelo sódico-no salino. La M.O. y el N para el primero están en un rango medio, en cambio para el segundo son moderadamente ricos. El P, K, Ca y Mg están en un rango alto, a excepción del K en el Feozem háplico esta en un rango medio. Los micronutrientes están sobre los límites adecuados en los dos tipos de suelo.

La demanda de muchos de los elementos esenciales puede ser satisfecha por la fertilidad intrínseca de los suelos, particularmente cuando los rendimientos esperados son bajos, así como, que el abastecimiento que se hace al suelo de varios elementos esenciales, particularmente de los macronutrientes primarios, no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos. Entre los elementos que con

mayor frecuencia se encuentran en déficit en los suelos, están: el N, P, K y con menor frecuencia el B y el Mg. El Ca sólo es deficiente en ambientes ácidos. En el caso específico de las hortalizas, flores y frutales; además de los aspectos de rendimientos relacionados con la nutrición, debe considerarse el efecto que tiene la nutrición en la calidad de los productos (Etchevers, 1999).

Cuadro 5. Parámetros químicos evaluados en el municipio de Chalco, Edo. México y su interpretación.

Tipo	pH	C.E. mmhos/cm	MO ←%→	N ppm	P ppm	K ←meq/100g→	Ca ←meq/100g→	Mg ←meq/100g→	Zn ←ppm→	Fe ←ppm→	Cu ←ppm→	Mn ←ppm→
Fluvisol eútrico	6.70	0.6	0.94	0.05	62.5	0.18	8.78	3.98	1	20	2	8
Fluvisol eútrico	9.20	0.35	2.34	0.12	50.0	0.41	51.65	3.98	3	15	2	6
Fluvisol eútrico	8.20	0.73	2.54	0.15	20.0	1.18	63.18	10.15	1	7	2	6
<i>Promedio</i>	<i>8.03</i>	<i>0.38</i>	<i>1.94</i>	<i>0.10</i>	<i>44.16</i>	<i>0.59</i>	<i>41.20</i>	<i>6.03</i>	<i>1.66</i>	<i>14</i>	<i>2</i>	<i>6.66</i>
Resultado	A	C	E	E	G	G	G	G	H	H	H	H
Feozem háplico	8.90	0.41	2.74	0.14	40.0	0.31	56.26	3.98	2	17	2	15
Resultado	B	D	F	F	G	E	G	G	H	H	H	H

A: Moderadamente alcalino; B: Fuertemente alcalino; C: Suelos sin problemas de salinidad y sodicidad; D: Suelos sódicos-no salinos; E: Mediano; F: Moderadamente rico; G: Alto; y H: Adecuado.

Fuente: Cazares (1998).

La decisión sobre la cantidad de un nutrimento que debe agregarse al suelo está basada, en términos generales, en tres parámetros:

- la demanda que presenta el cultivo por dicho nutrimento.
- la capacidad de suministro del suelo sobre el cual crecen las plantas, y
- la eficiencia del fertilizante que lo contiene.

Cada vez que la cantidad de nutrimentos suministrada por el suelo, es inferior a la demanda por las plantas para alcanzar un rendimiento dado, se precisa aplicar fertilizante al suelo para lograr dicho rendimiento y satisfacer los requerimientos de las plantas. El papel del diagnóstico de la fertilidad, es predecir los elementos cuya

disponibilidad en el suelo es deficiente y la magnitud de la deficiencia para cultivos y condiciones dadas (Etchevers, 1994; Rodríguez, 1990).

5.3.2. Las consecuencias de la pérdida de la fertilidad de los suelos

Las consecuencias de la pérdida de la fertilidad de los suelos son diversas; entre ellas destacan las siguientes:

a) Económicas: conlleva en primera instancia a una declinación de la productividad y de la seguridad alimentaria, esto es, menos alimentos y fibras para humanos y animales, menos reciclaje de residuos de cosecha, menos cobertura vegetal y por lo tanto degradación más acelerada del suelo, cerrándose así un ciclo negativo.

El efecto de la pérdida de fertilidad sobre la economía se puede manifestar en la alteración de la relación beneficio/costo para la actividad agrícola, al obligar al uso creciente de insumos externos (p.e.: fertilizantes comerciales), lo que incrementa los costos y no aumenta siempre los beneficios y como consecuencia ocurre una disminución de la inversión en la agricultura en todos los ámbitos: local, regional e incluso mundial. Tal disminución reduce el ingreso personal y social, lo cual hace que la disponibilidad para adquirir alimentos de alto valor nutritivo sea menor y avancen la mal nutrición y las enfermedades, reduciendo la capacidad de empleo en las regiones afectadas y extendiendo la pobreza rural.

b) Sociales: La disminución de la fertilidad de suelos obliga a los habitantes de esas zonas a emigrar a los centros urbanos nacionales e incluso a otros países, como es el caso concreto del flujo migratorio de ciudadanos mexicanos a los Estados Unidos de América. Tal inmigración conduce a que la capacidad de la infraestructura urbana disponible sea fácilmente rebasada, creándose cinturones de miseria donde ocurren altos índices de criminalidad e incluso puede violentarse el orden social (Homer-Dixon, 1993). Ejemplos concretos de esta situación son los asentamientos humanos, muchos de ellos irregulares en áreas como Chalco y Chimalhuacán, en el entorno de la Ciudad de México y en otros grandes centros urbanos del país. Tal flujo migratorio pudiese ser disminuido radicalmente y aún revertido si la fertilidad de la tierra fuese

restablecida, lo cual ofrecería alternativas de trabajo en los sectores rurales de la población.

La migración de una región a otra o de un país a otro no sólo implica la movilidad de las personas, implica que con ellos se van capacidades y habilidades adquiridas y pagadas por esa región o país, empobreciendo el entorno social y cultural al perderse un valioso capital humano, lo que puede contribuir a perpetuar el escaso desarrollo de dichas áreas.

c) Ambientales: la disminución de la fertilidad incide negativamente en los problemas ambientales locales y globales. La deposición del suelo erosionado en sitios no deseados, la eutrofización de cuerpos de agua, la disminución de la capacidad del suelo para almacenar agua y regular ciclos biogeoquímicos, la reconversión agrícola de tierras de pradera y bosques para compensar la escasa producción de tierras agotadas con la consecuente pérdida de la biodiversidad, la adición de partículas y gases a la atmósfera, la disminución de la capacidad amortiguadora del suelo para procesar sustancias ambientalmente peligrosas, son parte de esta problemática.

5.4. Suelos salinos y sódicos

Características químicas de los suelos salinos y sódicos

Los suelos sódicos están en el grupo de los suelos salinos, estos están agrupados en dos subdivisiones: 1) subgrupo de suelos propiamente salinos o solonchaks, estos son suelos que contienen un exceso de sales solubles que generalmente se acumulan en la superficie del suelo en forma visible; las sales principales son: cloruros y sulfatos de sodio de reacción neutra, y 2) subgrupo de suelos sódicos o solonetz que son suelos que contienen un exceso de sodio intercambiable y algunas cantidades de sales solubles, en este grupo se encuentran los suelos afectados con sales de sodio capaces de representar hidrólisis alcalina, tales como los bicarbonatos, carbonatos y silicatos de sodio (Pérez, 1994).

Efectos de sodificación en los suelos

Efecto sobre las características químicas

Cuando el ion sodio se encuentra adsorbido en cantidades considerables en el complejo de intercambio catiónico los suelos sódicos y los suelos salino-sódicos muestran las siguientes características químicas:

1. Reacción alcalina pH ≥ 8.5
2. Movilidad de la materia orgánica (desplazamiento molecular de los diferentes humatos de sodio).
3. Dispersión muy acentuada de las partículas coloidales.

Cuando en los suelos sódicos el sodio intercambiable es sustituido por calcio intercambiable, los suelos adquieren pH neutro y los coloides de los suelos están coagulados.

Los suelos salino-sódico pueden presentar una aparente coagulación coloidal debido a efectos de la concentración total electrolítica, sin embargo, cuando las soluciones de los suelos salino-sódicos disminuyen su concentración debido a procesos de lixiviación, estos suelos presenta una alta dispersión. La solubilidad del silicio en los suelos sódicos es muy alta.

Gupta *et al.*, (1981), indican que en un suelo sódico que contenga carbonato de sodio, la presión parcial del dióxido de carbono fijará la actividad del ion calcio al tiempo que también fija pH. Por esta razón con una baja presión del dióxido de carbono o una alta alcalinidad se incrementa el pH y el RAS debido a la disminución de la concentración de calcio en la solución del suelo, ya que es precipitado como carbonato de calcio (CaCO_3).

La aplicación del tipo de mejoradores químicos en los suelos sódicos, esta en función de los valores de pH de las soluciones de los suelos, debiéndose indicar que en suelos moderadamente alcalinos se utilizan ampliamente compuestos de calcio y en

los casos de los suelos excesivamente alcalinos la aplicación de compuestos se hace de una manera combinada, utilizando ácidos y compuestos de calcio. El sulfato de calcio es un compuesto de amplias perspectivas de uso en el mejoramiento o recuperación de los suelos sódicos y salino-sódicos, debido a la existencia de este en forma abundante (en yacimientos naturales), de bajo costo y fácil manejo (Pérez, 1994).

5.5. El nuevo paradigma de la producción agrícola

El satisfacer la enorme demanda de alimento para la salud humana y animal, sin que dañe la calidad del ambiente, requiere de producir fibras y alimentos sin degradar el medio ambiente. En el pasado, la tecnología y la factibilidad en corto tiempo fueron las bases de los sistemas de producción agrícola. Antes se tomaban en cuenta aspectos económicos, ahora se deben sustentar más ecológicamente. En esta nueva dirección, se utilizará a la ciencia y a la tecnología para entender como se debe de interactuar con otros ecosistemas. De esta forma, se puede enfocar al desarrollo de sistemas de producción alimenticia donde se minimicen las pérdidas y maximicen los rendimientos de los recursos naturales.

La producción de fibra y alimentos sobre las tierras más favorecidas continuarán siendo intensivas, quizás aún más que en el pasado; sin embargo, se debe de mantener o mejorar y utilizar sistemas de manejo de cultivos innovadores, que reduzcan la producción del suelo, del agua y de la atmósfera, que incrementen la eficiencia de nutrimentos y el uso del agua, que aumenten y mantengan la cantidad y calidad de la materia orgánica, con el fin de reducir la erosión y el incremento de la diversidad biológica.

En países europeos, de Asia y en los Estados Unidos de Norteamérica, el uso de fertilizantes nitrogenados excede a los que la planta requiere; en esas regiones, se debe producir con la idea de obtener los máximos beneficios con menores costos. La producción se incrementará, no con el uso intensivo de fertilizantes, sino haciendo un uso eficiente de los nutrimentos, ya sea que provengan de fuentes orgánicas como

inorgánicas. Los nutrientes se deben de reciclar, si esto se logra, la pérdida en la calidad del suelo decrecerá considerablemente.

La escasez del agua limitará la producción de alimentos en un futuro no muy lejano. Se debe alcanzar una mayor eficiencia tanto en el uso del agua de lluvia como de la destinada a la irrigación. Los cultivos rotacionales, la labranza de conservación, el manejo agronómico del cultivo y los periodos de descanso adecuados pueden proporcionar una mayor cubierta del suelo; con lo que se beneficiará la penetración del agua en el suelo y por lo tanto disminuirá la escorrentía y la erosión del mismo; con ello, se utilizará con mayor eficiencia el agua disponible para los sistemas agrícolas. Por otra parte, sistemas de riego modernos, como el fertirriego reducirán el agua necesaria para producir plantas.

Se deben implementar sistemas agrícolas intensivos que involucren rotación de cultivos, especialmente de leguminosas que incrementen la biodiversidad del suelo, no solo de microorganismos, sino también su alimento. De esta manera se estimulará su diversidad, al mismo tiempo que se favorecerá la calidad del suelo (Gutiérrez *et al.*, 2003).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en el ejido de San Andrés Mixquic, situado en la Delegación Tiáhuac, Distrito Federal. La Delegación se ubica entre las coordenadas extremas: norte $19^{\circ}20'$; sur $19^{\circ}11'$ LN; al este $98^{\circ}56'$ y al oeste $99^{\circ}04'$ LW. Colinda al norte con la Delegación Iztapalapa, al oeste con la Delegación Xochimilco, al sur con la Delegación Milpa Alta y al este con el municipio de Chalco, Edo. de México (Figura 4).

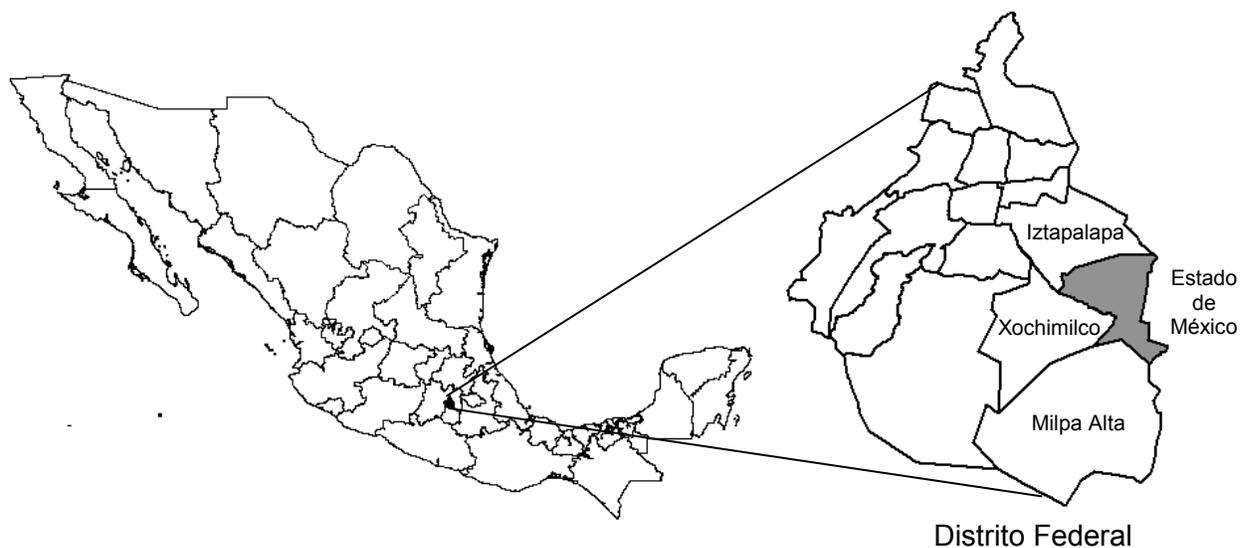


Figura 4. Localización personal de la Delegación Tiáhuac, D.F. en la Republica Mexicana (Elaboración a partir de la Base de datos CONABIO, 2003).

En particular San Andrés Mixquic se ubica en el limite sur de la Delegación Tiáhuac, sobre el llamado eje Neovolcánico, sus coordenadas son $19^{\circ}13'$ LN y $98^{\circ}58'$ LW, a una altura sobre el nivel del mar de 2,240 metros, colindando al norte con Valle de

Chalco, Estado de México, al sur con San Nicolás Tetelco de la misma Delegación, al sureste con el Estado de México y posteriormente al suroeste con la Delegación Milpa Alta.

La zona agrícola conocida como el “ejido”, se localiza al norte de la localidad, por esta parte se tiene comunicación con el Valle de Chalco y la Avenida Tláhuac, a través de un camino de terracería denominada Calzada General que atraviesa la zona de cultivos hasta el entronque con la carretera Mixquic-Chalco a la altura del pozo de rebombeo “Paso del Toro” (Figura 5).

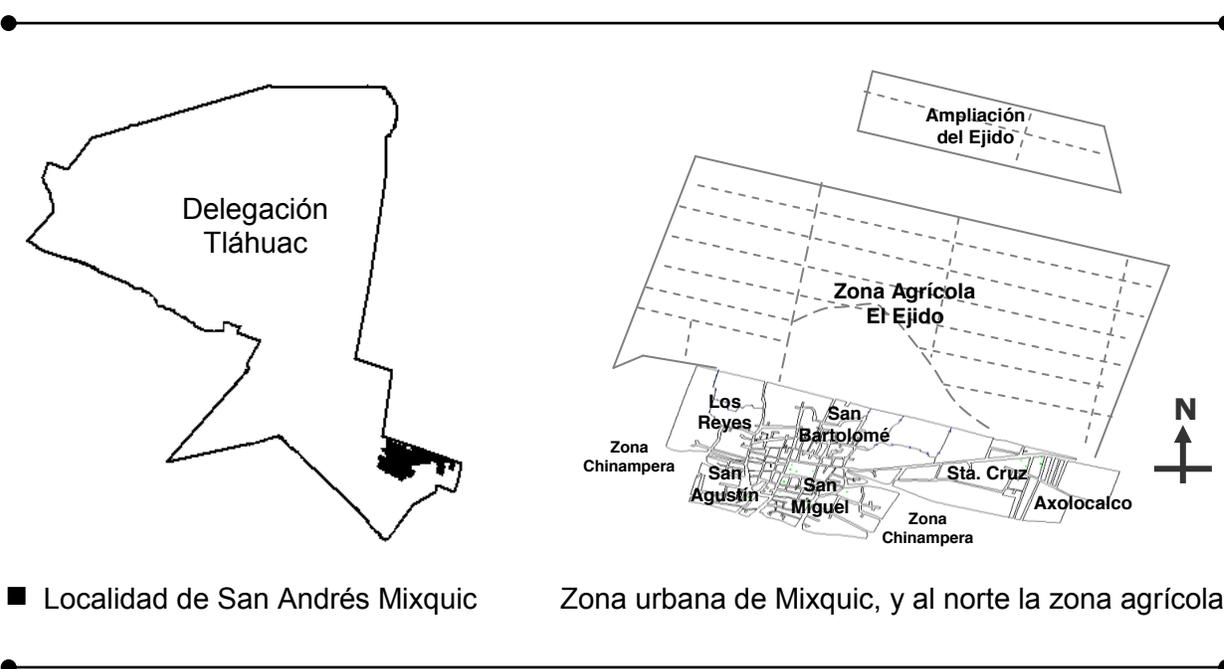


Figura 5. Localización de San Andrés Mixquic, en la Delegación Tláhuac, y ubicación de la zona agrícola (Elaboración a partir de la Base de datos CONABIO, 2003 y SCINCE, 2002).

6.1.1. Población

Mixquic es uno de los 7 pueblos originarios que conforma la Delegación Tláhuac, que a la fecha conserva sus características rurales, y de acuerdo con el INEGI (2007) en el 2005 contaba con una población total de 12,525 habitantes, de la cual representa el 3.6% de la población total de la Delegación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Población total en la Delegación Tláhuac, D.F. y localidad de Mixquic.

Localidad	Población en el año 2005					
	←[Pob. Total]→		←[Masculina]→		←[Femenina]→	
	Total	%	Total	%	Total	%
Delegación Tláhuac	344,106	3.9 ^a	167,271	48.6	176,835	51.4
San Andrés Mixquic	12,525	3.6 ^b	6,142	49.0	6,383	51.0

^a Representa el % del Distrito Federal

^b Representa el % de la Delegación de Tláhuac

Fuente: INEGI (2007).

En el Cuadro 7, se observa que en el 2000, Mixquic constituye el 35.2% de la población económicamente activa y el 57.2% de esta población esta ocupada en el sector terciario, siendo el mayor porcentaje considerando los tres sectores.

Cuadro 7. Población económicamente y ocupada en los sectores, en la Delegación Tláhuac y en la localidad de Mixquic, en el 2000.

Localidad	Total		Total		Total	
	← [Población económicamente ^a] →					
	← Activa →		← Inactiva →		← Ocupada →	
Delegación Tláhuac	114,868	37.9	104,729	34.6	113,193	37.4
San Andrés Mixquic	4,136	35.2	4,586	39.1	4,089	34.8
Localidad	← [Población ocupada en el sector ^b] →					
	← Primario →		← Secundario →		← Terciario →	
	Total	%	Total	%	Total	%
Delegación Tláhuac	2,427	2.1	29,590	25.8	77,602	67.6
San Andrés Mixquic	1,063	25.7	566	13.7	2,365	57.2

^a Porcentaje en relación a la Población Total del mismo año.

^b Porcentaje en relación a la Población Económicamente Activa.

Fuente: INEGI (2001).

6.1.2. Caracterización de la región

Clima: el clima según Köppen modificado por García (1988), corresponde al tipo templado subhúmedo (C(w₁)(w)), tiene lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal menor de 5. El régimen pluvial medio anual oscila entre 600 y 800 mm. La

mayor precipitación se registra en junio, con un valor que oscila entre 120 y 130 mm y la mínima en febrero con un valor de 5 mm. Los meses de junio a agosto se registran las mayores precipitaciones pluviales. La temperatura media anual es entre 12° y 16°C. Sus características meteorológicas indican la existencia de temperaturas mínimas promedio de 3.0 a 8.0°C, media de 16°C y máxima de 24°C a 32°C. Se presentan heladas tempranas en octubre y tardías en febrero.

Hidrología: Mixquic está ubicado en una zona chinampera, conformada por varios canales ubicados en la periferia del pueblo, los más importantes son el canal Río Amecameca y desemboca en el canal general, el canal de Xila y Axoloxcalco parten de la laguna San Bartolomé, otros canales se localizan en el Barrio de San Agustín y San Miguel.

Debido a la sobreexplotación del manto acuífero, la Dirección de Construcción y Operación Hidráulica suministra 300 Lps de aguas tratadas a través de la estación de rebombeo “Paso del Toro”, esta agua proviene de la planta tratadora “Cerro de la Estrella”, ubicada en la Delegación Iztapalapa; a partir de esta estación existen cuatro equipos para el suministro del agua a la zona agrícola de Mixquic, de ahí parten dos ramales de 24 pulgadas para la conducción y distribución del agua de riego que conectan con varios ramales para la distribución de agua en las diferentes tablas (parcelas) del ejido y pequeña propiedad. De esta forma se ha recuperado el nivel de los canales en la chinampería de Mixquic, mismo que había disminuido provocando una caída en la producción agrícola. En el ejido el uso y manejo del agua tratada ha recibido mucha atención debido a la escasez de este recurso durante los meses de sequía (DGDER, 2004).

Geología: casi la totalidad de la Delegación Tláhuac presenta capas litológicas del Cenozoico terciario del tipo ígnea extrusiva; esto significa que los afloramientos rocosos que constituyen el subsuelo datan de 63 millones de años aproximadamente (INEGI, 2003).

Fisiografía: fisiográficamente Mixquic se localiza al pie de la Sierra de Tezompa, dentro del dominio de los vientos alisios del hemisferio norte que en verano y otoño producen abundantes lluvias. El 90% del terreno es plano y con lomeríos; el resto

tiene pendientes pronunciadas, pues corresponde a cerros volcánicos. Sus elevaciones principales son el cerro Tetelcon y los volcanes Guadalupe, Teuhtli y Xaltepec.

Edafología: los tipos de suelos presentes en el ejido de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO (1973), son de tipo *Gleysol háplico* y *Luvisoles eutricos* (INEGI, 1980).

Por otra parte de acuerdo con la Dirección de Desarrollo Rural de la Delegación Tláhuac (1990), los suelos agrícolas de Mixquic, por su origen se han identificado en dos tipos: a) los suelos del área chinampera, su medio de formación es lacustre y su grado de desarrollo es joven, identificándose como *Histosoles*, es decir, suelos orgánicos profundos (de más de 200 cm) color oscuro o negro; textura franco arcillosa; relieve plano con pendientes menores al 1%; nula pedregosidad superficial y en el perfil; drenaje superficial de moderado a lento y drenaje interno lento a muy lento; b) los suelos de la zona ejidal, su modo de formación es (*in situ*-aluvial) y su grado de desarrollo es joven, a estos suelos se les identifica como *Fluvisoles*. Estos son suelos minerales profundos (más de 200 cm) de color oscuro en los horizontes superiores y de amarillo a grisáceo en los inferiores; textura franco arenosa en los horizontes superiores y arcilla limosa en los inferiores; relieve plano (planicie aluvial); nula pedregosidad superficial y al interior del perfil; erosión eólica incipiente; drenaje superficial moderado; drenaje interno rápido en los horizontes superiores y lento en los inferiores. Según este estudio los suelos de esta región son de origen lacustre predominando los *Gleysoles mólicos* del tipo salino-sódico (la conductividad eléctrica del extracto de saturación de 4 a 16 mmhos/cm a 25°C y el porcentaje de sodio intercambiable de 15 a 40), con textura media.

6.1.3. Uso actual del suelo

La Delegación Tláhuac tiene una superficie de 8,534.6 ha, que representa el 6.74% del D.F. En donde el 65% de la superficie de la Delegación es suelo de conservación y no obstante que ha sido impactada por la mancha urbana, se conservan zonas chinamperas (DGDER, 2004).

En el Cuadro 8, podemos comparar la superficie agrícola de Mixquic con la superficie total de la Delegación, en donde podemos sumar que Mixquic tiene una superficie agrícola de 1,524 ha entre chinampas y tierras firmes.

Cuadro 8. Superficie agrícola de la Delegación Tláhuac y Mixquic.

Sitio	Superficie agrícola (ha)		
	Total	Chinampas	Agrícola
Delegación Tláhuac	5,547.46	800	2,831.93 *(214 ha Edo. México)
San Andrés Mixquic	-	600	924.8

* Cabe hacer mención que una parte del suelo agrícola de aproximadamente 214 ha de los ejidos de Tláhuac y Mixquic, se ubican en el Estado de México.

Fuente: DGDER (2004).

Las autoridades del pueblo consideran una superficie agrícola de 1,200 ha, de las cuales 600 ha corresponden al ejido, 300 ha en la zona de Axolocalco y 300 ha en la zona chinampera. Los agricultores cuentan con 3 a 4 parcelas cultivadas, sumando una superficie promedio de 2.5 a 3 ha, siendo estas en las modalidades de propias, rentadas, a medias o empeñadas. Los cultivos que predominan son principalmente hortalizas, los de mayor superficie de producción son brócoli y romerito, y les siguen verdolaga, acelga, apio, espinaca, entre otras de menor escala.

6.1.4. Comercialización

Los horticultores de Mixquic, comercializan sus hortalizas en el mercado de flores y hortalizas de la Central de Abasto de Iztapalapa, D.F. Aún cuando venden la cosecha a pie de parcela su destino es la Central de Abasto. Estos pueden ser a intermediarios, mayoristas y minoristas. Como mercado local llegan a vender en Mixquic y Milpa Alta.

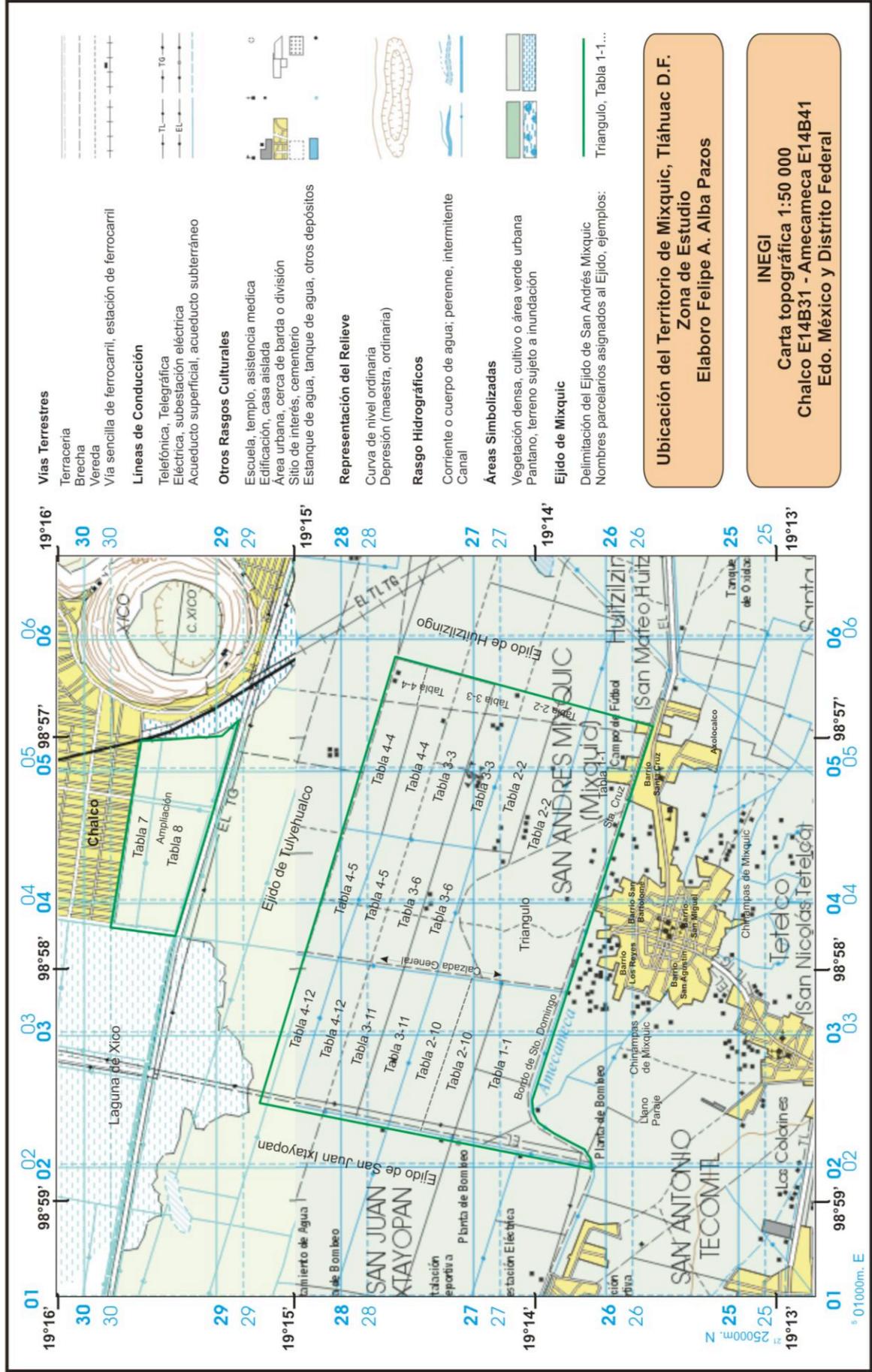
6.2. Muestreo de suelos

La selección de los sitios de muestreo se hizo mediante un criterio dirigido de acuerdo a los tipos de agua: “Tratada”, “Negra” y “Mezclada (T+N)” que están distribuidas en el territorio agrícola conocido como el ejido de San Andrés Mixquic, y que son utilizadas para el sistema de producción hortícola, el número de muestras varía de acuerdo a cada tipo de agua, en parcelas con “agua tratada” son 9 muestras, siendo el número mayor de muestras debido a la superficie que se cuenta con mayor salidas de tuberías de agua tratada, seguida de las parcelas que alterna las “aguas tratadas y negras” que son 8 muestras y 4 parcelas que tienen acceso a las aguas negras, siendo un número de muestra pequeña, por ser una superficie en donde es utilizada menos este tipo de agua. En total se muestrearon 21 parcelas distribuidas en una superficie de 600 ha aproximadamente, de acuerdo a los tipos de aguas, y en base a un registro de 120 agricultores de la Junta Local de Sanidad Vegetal de Tláhuac, siendo estos un número que permite la confiabilidad de los resultados (Soil Survey Staff, 1975). Para la evaluación de la salinidad y acumulación de sodio, no existe un solo procedimiento de muestreo y los detalles dependen del propósito para el cual se toma la muestra. Si se desea tener una evaluación general de la salinidad de un área determinada, el contenido medio de sal de cierto número de muestras proporciona un magnífico índice de salinidad y la forma como varía dicho índice indica lo que se encuentra en el campo. Naturalmente, a mayor número de muestras, más exacta será la estimación (Richards, 1994).

Para el muestreo se realizaron recorridos de campo, se tuvo apoyo de la Junta Local de Sanidad Vegetal de Tláhuac ubicada en Mixquic, se utilizó el plano parcelario de Tláhuac proporcionado por la Dirección General de Desarrollo Rural de la Delegación de Tláhuac, y las ortofotos digitales escala 1:75 000 adquiridas en el INEGI.

En la Figura 6 se muestra la delimitación del ejido de Mixquic, con sus respectivos trazos conocidos como “Tablas”, para la identificación y localización de las parcelas, así como también una parte conocida como el “Triangulo” y “Santo Domingo”.

Figura 6. Delimitación del territorio agrícola conocido como el ejido de Mixquic, Tláhuac, D.F.



6.3. Muestreo parcelario

En el muestreo parcelario se tomaron cinco muestras simples (submuestras), para posteriormente formar una muestra compuesta. La forma de muestreo fue por el método de zigzag (Cuanalo, 1990). En donde se empleó una pala recta, para realizar el cubo y sacar muestras de una profundidad de 0 a 30 cm, de esta forma se sacaban rebanadas de 1.5 kg de suelo (Hodgson, 1987). Finalmente se depositaban en una bolsa de plástico previamente etiquetada.

6.4. Preparación de la muestra

Las muestras de suelos utilizadas para los análisis fueron secadas a la sombra, molidas y tamizadas con malla de 2 mm (Tamiz No. 10). Se dejó un kilo de muestra sin moler, ni tamizar para los análisis físicos correspondientes (Padilla *et al.*, 1991).

6.5. Parámetros evaluados para el diagnóstico de la calidad agronómica del suelo

Los indicadores físicos y químicos seleccionados para el diagnóstico de la calidad agronómica de los suelos fueron: estabilidad de agregados en húmedo, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), pH, conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica (M.O), nitrógeno total (Nt) , fósforo extractable (P), cationes intercambiables, pH y C.E. en extracto de saturación, cationes solubles y aniones solubles. Dichos parámetros se seleccionaron considerando las características de los suelos, como son: el manejo de los suelos (uso de maquinaria y aplicación de materia orgánica), los tipos de agua que utilizan para el riego (Tratada, Negra, y Mezclada (T+N)) y el tipo de suelo (salinos-sódicos); y que no existen estudios de bases para la toma de decisión para el manejo adecuado de este recurso.

6.5.1. Parámetros físicos

Los parámetros físicos determinados para el diagnóstico de los suelos agrícolas en el ejido de Mixquic, se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Propiedades físicas y métodos empleados en el diagnóstico del suelo.

Variables	Preparación	Método	Referencia
Estabilidad de agregados	Equipo Yoder integrado con una columna de malla (4.76, 3.36, 2.0, 1.0, 0.5 y 0.25 mm de Ø), oscilando en subidas y bajadas en agua (10 min). Secando los agregados a 105° C durante 24 horas.	Tamizado en húmedo	Kemper y Rosenau (1986)
CC y PMP	Saturación de muestras por 24 hrs, colocadas en platos porosos calibrado a 0.3 bar para CC y 15 bar para PMP. Una vez saturada se colocan en olla de presión.	Método de la olla y membrana de presión	Aguilera y Martínez (1980); Jury <i>et al.</i> , (1991)

6.5.1.1. Macro y Micro Agregados

El suelo esta formado por partículas primarias (arena, limo y arcilla) formando unidades secundarias o agregados de diferentes tamaños. Los agregados del suelo se han dividido jerárquicamente en dos clases: microagregados (<0.25 mm de diámetro) y macroagregados (>0.25 mm), lo que depende directamente de los agentes cementantes (materiales orgánicos e inorgánicos). Los macro y micro agregados explican el comportamiento general del suelo a la acción de una actividad de manejo. Es prudente aclarar que las fracciones que interesan agrónomicamente son las siguientes: a) <0.25 mm que corresponde a la proporción de microagregados, b) macroagregados (>0.25 mm), c) tamaño de agregados óptimo para la capa arable (1-11.5 mm) y d) fracción erosionable por el viento (<0.84 mm). A partir de la distribución y estabilidad de agregados en húmedo, se consideraron macroagregados a la suma de los agregados >0.25 mm, mientras que los agregados <0.25 mm se denominaron microagregados, que se considera como un indicador de la degradación estructural del suelo (Sustaita, 1998).

6.5.1.2. Indicadores de Agregación

Estado Estructural del Suelo (EES). El coeficiente de estructuración del suelo se calculó mediante la suma del peso de los agregados de tamaño óptimo (0.25 a 4.75 mm de Ø) entre el peso total de la muestra (Navarro *et al.*, 2000).

$$ESS = \frac{(\sum \cdot Pa \cdot 0.25 \cdot a \cdot 4.75)}{\text{Peso} \cdot \text{total} \cdot \text{de} \cdot \text{la} \cdot \text{muestra}} \times 100$$

Donde:

EES= Estado Estructural del Suelo (%)

Pa= Peso de agregados (g)

Para su interpretación se empleo la siguiente escala de apreciación cualitativa del estado estructural del suelo:

Cuadro 10. Escala de apreciación cualitativa del estado estructural del suelo.

Tamizado en seco	Tamizado en húmedo	Estado estructural del suelo
>80	>70	Excelente
80-60	70-55	Buena
60-40	55-40	Satisfactorio
40-20	40-20	No satisfactorio
<20	<20	Malo

Fuente: Lomelí (1996).

Diámetro Medio Ponderado (DMP). El diámetro medio ponderado se calculó mediante el porcentaje de agregados retenidos en cada tamiz, es decir, se basa en las masas de los agregados de determinado tamaño (Kemper y Rosenau, 1986).

$$DMP = \frac{\sum (Msi * Xi)}{\text{Peso} \cdot \text{de} \cdot \text{la} \cdot \text{muestra}}$$

Donde:

DPM= Diámetro ponderado medio (mm)

Msi= Agregado retenido en cada tamiz (g)

Xi= Promedio del diámetro de abertura del tamiz (mm)

La estabilidad de la estructura del suelo es la habilidad de éstos para retener su arreglo de sólidos y espacio poroso en el tiempo, cuando se expone a diferentes alteraciones. Y se expresa como la proporción de suelo que excede un límite arbitrario de tamaño, o midiendo la distribución de agregados por tamaño después del manejo aplicado.

La estructura del suelo se evaluó cuantitativamente mediante la estabilidad estructural y una manera de interpretarla es empleando los valores del diámetro medio ponderado, en base a la escala propuesta por Le Bissonnais (1996), que considera la estabilidad de las muestras evaluadas de suelo además de la susceptibilidad de las mismas al encostramiento en base a este valor (Cuadro 11).

Cuadro 11. Clases de estabilidad y encostramiento de acuerdo a valores de DMP.

DMP (mm)	Estabilidad	Encostrabilidad
<0.4	Muy inestable	Formación sistemática de costras
0.4-0.8	Inestable	Encostramiento frecuente
0.8-1.3	Medio	Encostramiento moderado
1.3-2.0	Estable	Encostramiento raro
>2.0	Muy estable	Sin problemas de encostramiento

Fuente: Le Bissonnais (1996).

Los suelos que presentan baja estabilidad estructural se dispersan y desmoronan cuando son mojados por la lluvia o el agua de riego y se pueden formar costras duras cuando la superficie se seca, constituyendo un impedimento para la emergencia de las plántulas y en ciertos cultivos es la causa principal de que se obtenga una pobre densidad de población.

6.5.1.3. Curva de retención de humedad

La capacidad de retención de humedad del suelo depende ampliamente de la microestructura del suelo y de la distribución del tamaño de poros. Con el fin de ver la variación en el contenido de humedad respecto a la fuerza con que el agua es retenida por las partículas de suelo, se crearon gráficas para los distintos grupos de suelos tomando como base los valores de CC y PMP empleando el modelo matemático propuesto por Palacios (1980), que se expresa como:

$$T = \left(\frac{k}{hg^n} \right) + C$$

Donde:

T= Tensión del suelo, atm

hg= Humedad gravimétrica, %

k,C,n= Constantes de la ecuación

Empleándose para los cálculos las siguientes relaciones:

$$C = 0.000014 (hg_{CC})^{2.7} + 0.3$$

$$n = \frac{\log \left(\frac{T_{PMP} - C}{T_{CC} - C} \right)}{\log \left(\frac{hg_{PMP}}{hg_{CC}} \right)}$$

$$k = \log \left(\frac{T - C}{hg^n} \right)$$

6.5.2. Parámetros químicos para evaluar la fertilidad de los suelos

Se determinaron las siguientes propiedades químicas: pH, conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica (M.O.), nitrógeno total (Nt), fósforo extractable (P), así como los cationes intercambiables Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Potasio (K^+) y Sodio (Na^+); los métodos de análisis que se emplearon se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Propiedades químicas y métodos empleados en el diagnóstico de la calidad del suelo.

Variables	Preparación	Método	Referencia
pH	Suspensión suelo-agua (relación 1:2).	Potenciometría	Jackson (1976)
C.E.	Suspensión suelo-agua, (relación 1:5).	Conductimetría (Puente Wheatstone YSI)	Richards (1994)
M.O.	Oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de $K_2Cr_2O_7$ 1N y H_2SO_4	Walkley y Black	Jackson (1976)
Nt	Digestión vía húmeda (relación H_2SO_4 -suelo 4:1).	Semi-micro Kjeldahl	Etchevers (1987)
P extractable	P-Olsen ($NaHCO_3$ 0.5 M a pH 8.5).	Colorimetría (absorbancia a 882 nm)	Olsen y Dean (1965)
Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ intercambiables	Extracción usada para suelos Calcáreos y Alcalinos con CH_3COONa 1N pH 8.2, por centrifugación.	Ca^{2+} y Mg^{2+} por espectrofotometría de absorción atómica (llama N_2O con C_2H_2) y K^+ por Emisión (llama aire $-C_2H_2$)	Richards (1994)
Na^+ intercambiable	Extracción con CH_3COONH_4 , 1N pH 7 (extracción al vacío).	Espectroscopia por emisión atómica (llama aire $-C_2H_2$)	Sumner y Millar (1996)

La capacidad de intercambio efectiva (CIE), se calculó sumando los cationes intercambiables ($\sum Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ = CIE$).

El Carbono (C) se estimó a partir con el resultado de la MO, empleando un cálculo matemático: $MO \div 1.74 = \% C$, con este dato se obtuvo la relación C/N.

En el Cuadro 13 se presentan las clases y los límites de las propiedades químicas que se usaron para clasificar los parámetros medidos, y en la evaluación de la calidad agronómica de los suelos hortícolas en el ejido de Mixquic, D.F.

Cuadro 13. Clases y límites de las propiedades químicas que se emplearon para la descripción de la fertilidad del suelo en la zona de estudio.

Variables	[Clases]							Referencia
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
pH ¹	<5.5	5.6-6.0	6.1-6.5	6.6-7.3	7.4-8.3	>8.3	-	Jones y Wolf (1984)
C.E. ²	<1.0	1.1-2.0	2.1-4.0	4.1-8.0	8.1-16.0	>16.0	-	NOM-021-RECNAT-2000
MO ³	<0.6	0.6-1.2	1.21-1.8	1.81-2.4	2.41-3.0	3.1-4.21	>4.21	Velasco (1983)
Nt ⁴	<0.032	0.032-0.095	0.126-0.158	0.158-0.221	>0.222	-	-	Moreno (1978)
C/N ⁵	<8	8-10	10-15	15-25	>25	-	-	Moreno (1978)
P ⁶	<5.5	5.5-11.0	>11.0	-	-	-	-	CSTPA (1980)
K ⁺⁷	<0.2	0.2-0.3	0.3-0.6	>0.6	-	-	-	Etchevers <i>et al.</i> , (1971)
Ca ²⁺⁷	<2	2-5	5-10	>10	-	-	-	Etchevers <i>et al.</i> , (1971)
Mg ²⁺⁷	<0.5	0.5-1.3	1.3-3.0	>3.0	-	-	-	Etchevers <i>et al.</i> , (1971)
Na ⁺⁷	<0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	>0.6	-	-	-	Rodríguez (1987)
CIE ⁵	<5	5-15	15-20	20-40	>40	-	-	Cottenie (1980)

¹ pH: I=Muy ácido, II=Ácido, III=Ligeramente ácido, IV=Neutro, V=Alcalino, VI=Fuertemente alcalino.

² C.E. I=Efectos despreciables de la salinidad, II=Muy ligeramente salino, III=Moderadamente salino, IV=Suelo salino, V=Fuertemente salino, VI=Muy fuertemente salino.

³ M.O.: I=Extremadamente pobre, II=Pobre, III=Medianamente pobre, IV=Medio, V=Medianamente rico, VI=Rico, VII=Extremadamente rico.

⁴ N: I=Pobre, II=Medianamente pobre, III=Medio, IV=Medianamente rico, V=Rico.

⁵ C/N y CIE: I=Muy baja, II=Baja, III=Mediana, IV=Alta, V=Muy alta.

⁶ P-Olsen: I=Bajo, II=Medio, III=Alto.

⁷ K, Ca, Mg y Na: I=Muy baja, II=Baja, III=Media, IV=Alta.

6.5.3. Método para la obtención del extracto de saturación de suelo

El término “extracto de saturación” se usa en para designar al extracto acuoso que se obtiene por filtración al vacío de una pasta de suelo saturada con agua destilada. En el extracto se determinan las “sales solubles del suelo”, término que se usa para referirse a los constituyentes inorgánicos del suelo que son apreciablemente solubles en agua. La determinación de cationes y aniones solubles en el extracto de saturación es importante porque permite evaluar las propiedades químicas del suelo que definen la presencia de sales.

Pasta saturada del suelo. Se preparó agregando agua destilada al suelo y agitando con una espátula. De vez en cuando la muestra debe consolidarse golpeando el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo. Al saturarse la pasta, brilla por la reflexión de luz, fluye ligeramente si se inclina el recipiente y la pasta se desliza fácilmente de la espátula, excepto en el caso de suelos con alto contenido de arcilla. Después de mezclarse se deja reposar la muestra durante una noche y al siguiente día se corrobora el criterio de saturación. La pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse durante el reposo. Si ha perdido brillo o se ha endurecido, es necesario mezclar nuevamente agregando agua (Richards, 1994).

Debido a que los suelos se vuelven lodosos más rápidamente cuando se les trabaja cerca de su capacidad de campo, se debe agregar suficiente agua para casi saturar la muestra. Si la pasta es demasiado húmeda se agrega suelo seco.

La cantidad de suelo requerido para este estudio fueron 100 g por muestra y un volumen promedio de 71 ml de agua, con un intervalo de 64 a 86 ml, debido a que los suelos son de diferentes texturas, por lo que, se le agregaron diferentes cantidades de agua para poder saturarlas.

Extractos de saturación. La pasta saturada se colocó en uno de los embudos Buchner con papel filtro y se aplicó vacío. El extracto se colectó en un tubo de polipropileno colocado en el interior de un matraz kitazato, de forma que el vástago del embudo quede alineado con la boca del tubo. Si el filtrado inicial es turbio, se puede descartar o pasar nuevamente al suelo. La extracción al vacío debe de terminarse cuando empieza a pasar aire por el filtro. (Richards, 1994).

Si los extractos no se van a analizar inmediatamente se conservarán a 4°C hasta que sean analizados. A excepción de los carbonatos y bicarbonatos que se determinaran, en el día que se realiza la extracción, por si hubiera precipitación de carbonato de calcio durante el reposo.

6.5.4. Parámetros usados para evaluar propiedades químicas en el extracto de saturación

En el Cuadro 14 se presentan los parámetros químicos y métodos empleados en las determinaciones de los extractos obtenidos.

Cuadro 14. Propiedades químicas determinadas en el extracto de saturación y métodos empleados en el diagnóstico del suelo.

Variables	Preparación	Método	Referencia
pH _{ES}	En extracto de saturación	Potenciometría	Richards (1994)
CE _{ES}	En extracto de saturación	Conductimetría (Puente Wheatstone YSI)	NOM-021-REC/NAT-2000
Ca ²⁺ y Mg ²⁺ solubles	En extracto de saturación	Espectroscopia por absorción atómica (llama N ₂ O -C ₂ H ₂)	Sumner y Miller (1996)
K ⁺ y Na ⁺ solubles	En extracto de saturación	Espectroscopia por emisión atómica (llama aire -C ₂ H ₂)	Sumner y Miller (1996)
Carbonatos (CO ₃ ⁼) y Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	En extracto de saturación	Por Volumetría de Neutralización (titulación H ₂ SO ₄ 0.01 N)	Reitemeier (1943)
Cloruros (Cl ⁻)	En extracto de saturación	Por Volumetría de Precipitación (titulación con AgNO ₃ 0.005 N)	Reitemeier (1943)
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	En extracto de saturación	Por Tubidimetría (BaCl ₂ -Goma arábica-CH ₃ COOH) (Spectronic 20 a 670 nm)	NOM-021-REC/NAT-2000
Nitratos (N-NO ₃)	En extracto de saturación	Por Espectroscopia Visible (Ác. Salicílico 5% + H ₂ SO ₄ concentrado + NaOH 4 N) (Spectronic 20, a 410 nm)	Richards (1994)

La salinidad del suelo se midió evaluando la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CE), en el Cuadro 15 se presenta la clasificación propuesta por Richards (1994), en función a su efecto general sobre los cultivos.

Cuadro 15. Salinidad del suelo de acuerdo a la C.E. y su significado agronómico.

C.E. (dsm^{-1})	Significado agronómico
< 2.0	Efecto de la salinidad casi nulo
2.0 – 4.0	Los rendimientos de los cultivos más sensibles pueden ser restringidos
4.0 – 8.0	Se reducen los rendimientos de muchos cultivos
8.0 – 16.0	Solo los cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
> 16.0	Solo unos cuantos cultivos, muy tolerantes rendirán satisfactoriamente

Fuente: Richards (1962).

Relación de Adsorción de Sodio (RAS). La Relación de Adsorción de Sodio en una solución del suelo, se relaciona con la adsorción de sodio y, en consecuencia, esta relación puede usarse como “índice de sodio”. Para obtener el RAS los iones se cuantifican en el extracto de la pasta de saturación, empleando el siguiente calculo matemático:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Na, Ca, y Mg= representan las concentraciones en meq/L^{-1} de los iones respectivos.

Para su interpretación se empleo la siguiente escala:

Cuadro 17. Clasificación de acuerdo al porcentaje de sodio adsorbido.

Suelos	% Na
Poco salino	3-10
Medianamente salinos	10-15
Muy salinos	15-20

Fuente: Richards (1962).

Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI). El Porcentaje de Sodio Intercambiable es el grado de saturación con sodio del complejo de intercambio. Para determinar el PSI, se puede calcular utilizando la siguiente fórmula matemática:

$$PSI = \frac{Nai}{CIC} \times 100$$

Donde:

Nai = Sodio intercambiable (Cmol (+) Kg⁻¹)

CIC= Capacidad de Intercambio Catiónico

Para su interpretación se empleo la siguiente escala:

Cuadro 18. Clasificación de acuerdo al porcentaje de sodio intercambiable.

Clase de sodicidad	Limite de PSI	Rend. Relat. %
Ligera	<7	80-60
Moderada	15-20	60-40
Fuerte	20-30	40-20
Extremada	>30	>20

Fuente: Richards (1962).

6.5.5. Diagnóstico de suelos salinos y sódicos

Los suelos salinos y sódicos pueden definirse y diagnosticarse con base en las determinaciones hechas en muestras de suelo, de tal manera que la información así

obtenida, contribuye de manera importante a la agricultura específica. Los problemas en estos suelos han originado que se les separe en tres grupos: suelos salinos, suelos sódicos-salinos y suelos sódicos no salinos.

Suelos salinos. El término “salino” se aplica a suelos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C, con un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15. Generalmente el pH es menor de 8.5. En estos suelos el establecimiento de un drenaje adecuado, permite eliminar por lavado las sales solubles, volviendo nuevamente a ser suelos normales (Richards, 1994).

Casi siempre se reconocen los suelos salinos por la presencia de costras blancas de sal en su superficie. Las características químicas de los suelos salinos quedan determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes. El sodio rara vez representa más de la mitad del total de los cationes solubles. Las cantidades relativas de calcio y magnesio presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio, varían considerablemente. Los aniones principales son el cloruro, el sulfato y en ocasiones el nitrato (Richards, 1994).

Suelos sódicos-salinos. Son los suelos cuya conductividad del extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C y el porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15. Este tipo de suelos se forma como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación de sodio. Siempre que contenga un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a las de los suelos salinos. Cuando hay exceso de sales el pH raramente es mayor de 8.5 y las partículas permanecen floculadas. (Richards, 1994).

Suelos sódicos no salinos. Son aquellos suelos cuyo porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15 y la conductividad del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C. El pH generalmente varía entre 8.5 y 10. Con mucha frecuencia se encuentran en las regiones áridas y semiáridas en áreas pequeñas e

irregulares conocidas como “manchas de álcali impermeables”. La eliminación del exceso de sales en este tipo de suelos tiende a aumentar el grado de hidrólisis de sodio intercambiable, lo cual frecuentemente eleva el valor del pH. En los suelos altamente sódicos, la materia orgánica dispersa y disuelta puede depositarse en la superficie debido a la evaporación, causando así un ennegrecimiento y dando origen al termino “álcali negro” (Richards, 1994).

El sodio intercambiable en un suelo sódico no salino puede tener una marcada influencia en sus propiedades físicas y químicas. Al aumentar la proporción del sodio intercambiable, el suelo tiende a ser más disperso y el pH aumenta a veces hasta el valor de 10. La solución del suelo en suelos sódicos no salinos, aunque relativamente baja en sales solubles, tiene una composición que difiere considerablemente de la de los suelos normales y de los salinos. Mientras los aniones presentes consisten en su mayor parte de cloruros, sulfatos y bicarbonatos, también pueden presentarse pequeñas cantidades de carbonatos. Grandes cantidades de potasio intercambiable y solubles pueden presentarse en algunos de estos suelos (Richards, 1994).

Suelos normales. Son aquellos cuya conductividad del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C y el porcentaje de sodio intercambiable es menor de 15. El pH generalmente es menor de 8.2 (Richards, 1994).

6.6. Análisis estadístico

Con los valores obtenidos de los parámetros físicos y químicos del suelo, se obtuvieron frecuencias y porcentajes de las clases de los niveles de los contenidos, así como el valor mínimo y máximo de cada uno de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua, y algunos promedios, utilizando procedimientos de estadística clásica (Infante y Zárate, 1984).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis de suelos realizados en el ejido de San Andrés Mixquic, D.F., se agruparon en tres grupos, de acuerdo a los diferentes tipos de agua utilizados para el riego: agua tratada (Tratada), agua negra (Negra) y agua tratada mezclada con agua negra (T + N).

7.1. Determinación de las propiedades físicas edáficas

Las propiedades físicas evaluadas y las derivadas a partir de ellas fueron las siguientes.

7.1.1. Parámetros de la estructura del suelo

Los suelos estudiados se localizaron en un mismo territorio en una superficie de 600 ha, la topografía de los sitios es uniforme, con pH similares y a la misma condición climática; consecuentemente las diferencias en la estructura del suelo pueden atribuirse directamente a los efectos del impacto humano como: el tipo de agua utilizada en el riego, labranza, tránsito de personas, animales y vehículos, paso de maquinaria en general para el sistema de manejo.

7.1.1.1. Distribución del tamaño de agregados en húmedo

Los resultados del tamizado en húmedo estimaron los parámetros siguientes: distribución del tamaño de agregados, diámetro medio ponderado y estado estructural del suelo.

En el Cuadro 19, se presenta la distribución de agregados en los rangos de tamaño <0.25, 0.25-0.5, 0.5-1.0, 1.0-2.0, 2.0-3.36 y >3.36 mm de diámetro equivalente.

Los resultados indican que la proporción de microagregados resistentes al agua (fracción <0.25 mm) es muy elevada en cada uno de los grupos de suelos regados con los diferentes tipos de agua. Los sitios regados con agua Tratada, presentó el promedio menor de la proporción de los microagregados y los sitios regados con agua Negra se observa una mayor proporción de la fracción <0.25 mm.

Cuadro 19. Distribución de agregados por tamaño, obtenido del tamizado en húmedo, en suelos irrigados con los distintos tipos de agua.

Tipo de agua	Distribución de agregados por tamaño (mm)					
	>3.36	3.36-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	<0.25
	%					
Negra	6	6	9	12	28	40
Tratada	14	9	13	14	25	25
Mezclada	8	7	10	10	32	33

En el interior de los grupos de suelos regados con distintos tipos de agua presentaron diferentes porcentajes de la fracción <0.25 mm, de acuerdo con las clases obtenidas de Estabilidad estructural, de la cual resultó lo siguiente: a) el 75% de los sitios irrigados con agua Negra presentaron una proporción del 51% de microagregados, con una estabilidad estructural de 48 (Cuadro 20), b) los sitios irrigados con agua Tratada y Mezclada (T+N) mostraron una dispersión de los porcentajes de los microagregados, c) en los tres grupos de suelos se obtuvo un menor porcentaje de los sitios en los contenidos de la fracción <0.25 mm (microagregados).

De manera general, de las 21 parcelas distribuidas en el ejido de Mixquic, 8 resultaron dentro de un rango de dispersión de 4 a 32% de la proporción de microagregados (fracción <0.25 mm) y el resto (13 parcelas) se localizaron dentro de un rango de 33 a 64% de los contenidos de la fracción <0.25 mm.

Cuadro 20. Distribución de agregados por tamaño obtenida del tamizado en húmedo, de acuerdo a su estabilidad estructural, en los grupos de suelos.

	% de las clases en el interior de los grupos	Tamaño de agregados en húmedo (mm)						Estabilidad estructural
		>3.36	3.36-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	<0.25	
Negra	75	2	2	4	10	31	51	48
	25	16	13	20	18	21	12	62
Tratada	33.3	2	4	5	7	27	55	35
	22.2	10	8	11	11	27	34	52
	33.3	23	12	17	16	20	11	61
	11.1	18	10	15	21	31	4	82
Mezclada (T+N)	12.5	2	2	3	7	36	50	29
	50	3	4	6	9	37	42	51
	37.5	16	11	16	11	26	21	59

El contenido de microagregados (fracción <0.25 mm) se considera como un indicador de la degradación estructural del suelo y como se observó en el Cuadro 19 y 20, y en la Figura 7, los suelos menos inalterados corresponde a aquellos que son irrigados con agua Tratada por contener la menor cantidad de microagregados con 25%, que es un valor bajo comparándolo con 40% de los suelos irrigados con agua Negra.

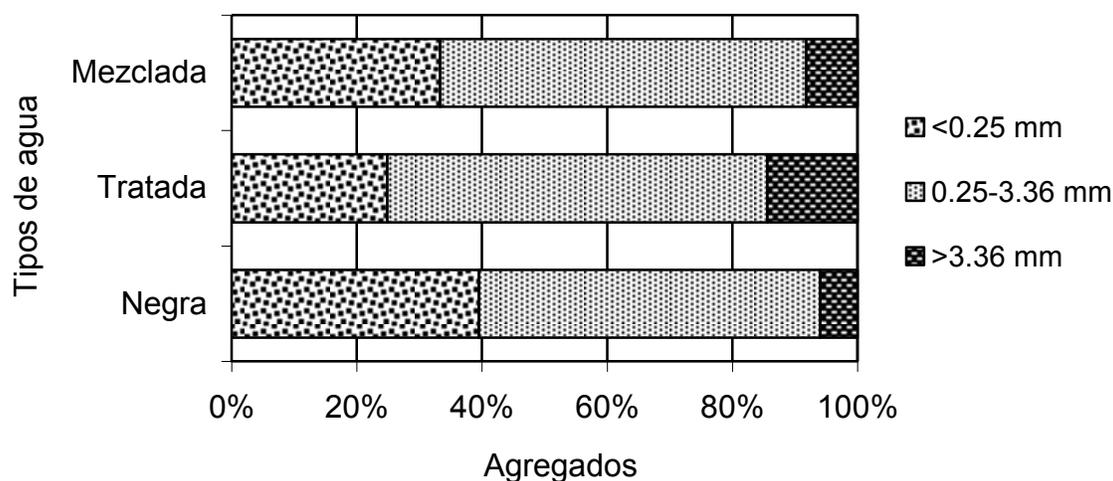


Figura 7. Distribución de agregados producto del tamizado en húmedo, en los diferentes grupos de suelos regados con tres tipos de agua.

En la Figura 8 se muestra el contenido acumulativo de agregados, donde se observa que los sitios regados con agua Tratada tienen mayor proporción de agregados con diámetro mayor a 0.38 mm, con 50% más del contenido total. Para los suelos irrigados con agua Negra y Mezclada (T+N) se tiene en promedio 66% de agregados menores a este diámetro, por lo cual la proporción de macroagregados es mínima a excepción de los sitios irrigados con agua Tratada. En base a los resultados obtenidos se tiene que los sitios irrigados con agua Tratada presentan mayor estabilidad de los agregados al agua.

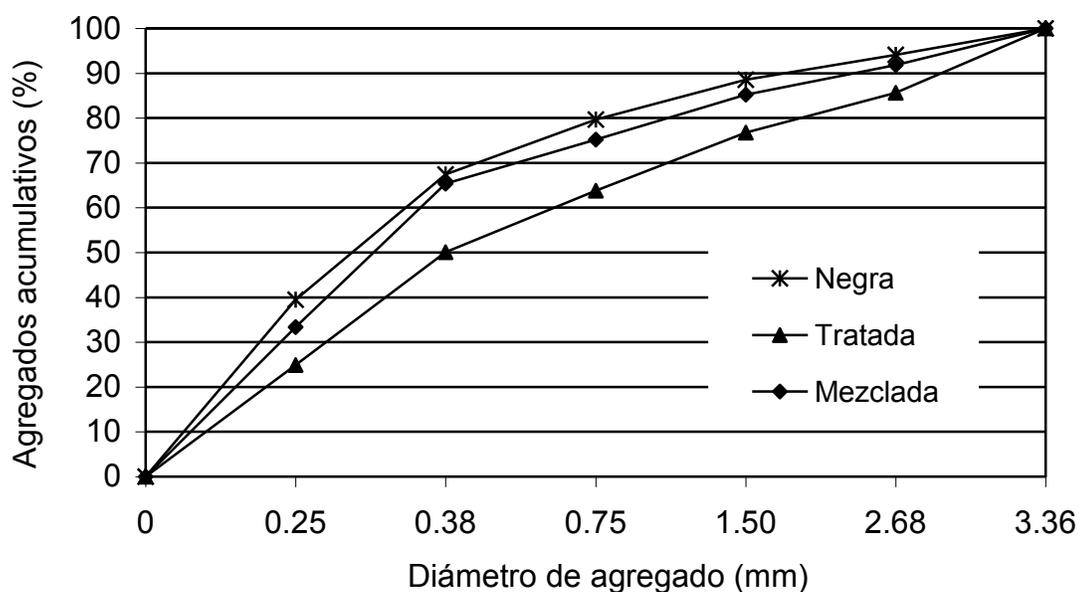


Figura 8. Agregados acumulativos en húmedo en los grupos de suelos.

Con base en lo anterior, es necesario promover la formación y estabilización de agregados iguales o mayores a 0.25 mm, mediante prácticas adecuadas de manejo del suelo para favorecer el desarrollo de la estructura del suelo.

7.1.1.2. Índices de agregación

7.1.1.2.1. Diámetro medio ponderado

Los valores obtenidos de diámetro medio ponderado (DMP) del tamizado en húmedo indicaron una variabilidad al interior de los grupos de suelos regados con los

diferentes tipos de agua, por lo que se consideró más ilustrativo presentar el valor mínimo y máximo del grupo (Cuadro 21), observándose que los valores máximos se localizaron en los sitios irrigados con agua Tratada y Mezclada (T+N), estos sitios presentaron un rango de dispersión de 0.1 a 1.2 de DMP, en cambio los sitios irrigados con agua Negra presentaron un rango de 0.1 a 0.9 de DMP.

En el Cuadro 22, se muestran las clases obtenidas del DMP al interior de los grupos de suelos, se observa que 75% de los suelos regados con agua Negra y también para los suelos regados con Mezclada (T+N) presentaron un promedio de 0.2 a 0.3 mm de DMP. Por otra parte, 44.4% de los suelos regados con agua Tratada presentaron un promedio de 0.2 mm de DMP y 44.4% presentaron un promedio de 1.1 mm de DMP.

Finalmente, los suelos evaluados en el ejido de Mixquic se obtuvo que 61.9% de los sitios tienen un promedio de 0.2 mm de DMP, valor que corresponde al rango de baja estabilidad. Los cuales no son favorables para el desarrollo de los cultivos, ya que el rango que proporciona las condiciones físicas óptimas en la capa arable varía de 0.5 a 10 mm. Solamente 38.1% de los suelos estudiados del ejido se encuentran en el límite inferior de esta clasificación.

En este estudio no se obtuvo una correlación significativa entre el contenido de materia de orgánica con el DMP teniendo en cuenta una $r^2 = 0.1455$.

7.1.1.2.2. Estabilidad estructural

En el Cuadro 21, se muestran los valores mínimos y máximos del DMP que clasifica la estabilidad estructural del suelo, observándose que en los tres grupos de suelos su estabilidad fueron de “medios a muy inestables”.

Las clases de estabilidad estructural al interior de los grupos de suelos, se muestran en el Cuadro 22, se observa que 75% de los suelos irrigados respectivamente con agua Negra y con agua Mezclada (T+N), se clasificaron como “muy inestables”. Los sitios irrigados con agua Tratada el 44.4% su clasificación resultó como “muy

inestable” y 44.4% con estabilidad “media”. Lo anterior indica que el tipo de agua influyó en una disminución de la estabilidad estructural.

Cuadro 21. Dispersión de los valores de DMP y su evaluación en la estabilidad y encostrabilidad del suelo, en los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.

Grupo de suelos		Indicador		Estabilidad	Encostrabilidad
		DMP (mm)	S (%)		
Negra	Mín.	0.1	45	Muy inestable	Formación sistemática de costras
	Máx.	0.9	62	Medio	Encostramiento moderado
Tratada	Mín.	0.1	34	Muy inestable	Formación sistemática de costras
	Máx.	1.2	82	Medio	Encostramiento moderado
Mezclada (T+N)	Mín.	0.1	29	Muy inestable	Formación sistemática de costras
	Máx.	1.2	61	Medio	Encostramiento moderado

Cuadro 22. Porcentajes de la distribución de clases obtenidas de Estabilidad y Encostrabilidad del suelo, en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua.

% de las clases en el interior de los grupos		DMP (mm)	Estabilidad	Encostramiento
			Clases	
Negra	25	0.9	Medio	Encostramiento Moderado
	75	0.2	Muy Inestable	Formación sistemática de costras
Tratada	44.4	1.1	Medio	Encostramiento Moderado
	11.1	0.8	Inestable	Encostramiento Frecuente
Mezclada (T+N)	44.4	0.2	Muy Inestable	Formación sistemática de costras
	12.5	1.2	Medio	Encostramiento Moderado
	12.5	0.8	Inestable	Encostramiento Frecuente
	75	0.3	Muy Inestable	Formación sistemática de costras

De manera general, el 61.9% de los sitios evaluados en el ejido de Mixquic, se clasificaron como “muy inestables”, con una estimación de “formación sistemática de costras” y 28.6% con una estabilidad “media”, con susceptibilidad al “encostramiento moderado”. En condiciones de campo, la estabilidad de los agregados y el diámetro de los poros, afectan procesos como: la velocidad de infiltración, drenaje, erosión del

suelo, almacenamiento de humedad, actividad de microorganismos y al desarrollo de los cultivos, entre otros.

De acuerdo con Sustaita (1998) la materia orgánica promueve la estabilización de los agregados, además de que se conserva el estado estructural del suelo ante la ausencia de la alteración provocada por la labranza en la estructura y en el espacio poroso; lo cual evidencia que los suelos dedicados al uso agrícola presentan baja capacidad de estructuración como respuesta a la elevada proporción de microagregados producto del alto contenido de limo y bajo contenido de arcilla, además de la acción de la labranza.

7.1.1.2.3. Estado estructural del suelo

Considerando el porcentaje de agregados en el diámetro del rango 0.25 - >3.36 mm con el peso total de la muestra utilizada en la distribución de agregados del tamizado en húmedo. Se obtuvieron valores de 29 a 82% del estado estructural del suelo (EES), siendo los sitios irrigados con agua Tratada donde se presentó la mayor dispersión de los valores de EES (34 a 82%), en cambio los sitios irrigados con agua Negra se presentó el menor rango de dispersión (45 a 62% de EES) (Cuadro 21).

Debido a la variabilidad de los valores obtenidos del EES, en el interior de cada uno de los grupos de suelos, se considero más ilustrativo presentar los porcentajes de las clases obtenidas en el interior de los grupos. En el Cuadro 23 se muestran dichas clases, dentro del grupo de los suelos irrigados con agua Negra, se presentó dos categorías, predominando la de un estado estructural “satisfactorio”. Por otra parte, en el interior del grupo de los suelos regados con agua Tratada se presentaron cuatro clases, siendo el único grupo donde se presentó la categoría “excelente” en su estado estructural, predominaron las categorías “no satisfactorio” y “buena”.

De manera general, se pudo observar que de las 21 parcelas distribuidas en las 600 ha que comprendió el estudio, 4 resultaron con un estado estructural “no satisfactorio”, 16 con estado estructural de “satisfactorio a buena”, y solamente una parcela fue “excelente”, ubicada entre los sitios irrigados con agua Tratada.

Cuadro 23. Evaluación del estado estructural de los suelos en el interior de los grupos, regados con diferentes tipos de agua.

% de las clases en el interior de los grupos		S (%)*	Estado estructural Clases
Negra	75	48	Satisfactorio
	25	62	Buena
Tratada	33.3	35	No Satisfactorio
	22.2	52	Satisfactorio
	33.3	61	Buena
	11.1	82	Excelente
Mezclada (T+N)	12.5	29	No Satisfactorio
	50	51	Satisfactorio
	37.5	59	Buena

*S = Estabilidad Estructural

7.1.2. Constante hidrofísica del suelo

7.1.2.1. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

En el Cuadro 24 se presentan los contenidos de humedad disponible definida en base a la capacidad de campo (CC), que representa el límite superior de retención de humedad de los suelos útil para el desarrollo de los cultivos y el punto de marchitez permanente (PMP) que representa el límite inferior de dicho rango; en el cual se observa que las diferencias en la capacidad de retención, tienden a ser mínimas entre los suelos irrigados con los diferentes tipos de aguas. En particular, las diferencias entre los valores promedios de las constantes de humedad fueron las siguientes para la CC: Negra 70%, Tratada 67% y Mezclada (T+N) 69%; así mismo las diferencias para PMP fueron las siguientes: Negra 30%, Tratada 32% y Mezclada (T+N) 31%. En general, el promedio global se obtuvo un valor de 68% para la CC y de 31% para el PMP, con una consecuente capacidad de retención promedio de 37%.

Cuadro 24. Constantes de humedad en suelos regados con diferentes tipos de agua.

Tipo de agua	Humedad (%)	
	CC	PMP
Negra	70	30
Mínimo	66	27
Máximo	75	33
Tratada	67	32
Mínimo	63	27
Máximo	73	40
Mezclada (T+N)	69	31
Mínimo	60	27
Máximo	85	34

En el análisis de correlación entre las variables CC con la Estabilidad Estructural y CC con Macroagregados no hay una tendencia de asociación entre las mismas.

7.1.2.2. Curva de retención de humedad

Se denomina curva característica de humedad a la relación entre el contenido de humedad y la fuerza con que las partículas del suelo retienen el agua, lo que esta relacionado con la composición mineralógica y propiedades químicas de las partículas elementales del suelo, textura, contenido y composición de microagregados y con el espacio poroso.

En la Figura 9, se presentan las curvas de retención de humedad para los diferentes grupos de suelos, éstas resultaron similares y por consecuencia muestran valores semejantes en cualquier punto de la curva. Con un rango de humedad que varia aproximadamente de 31 a 68%, con tensión de 0 a 20 bar. En Anexo, se presentan los resultados del contenido de humedad a diferentes tensiones en cada uno de los suelos evaluados y los promedios de los diferentes tipos de agua.

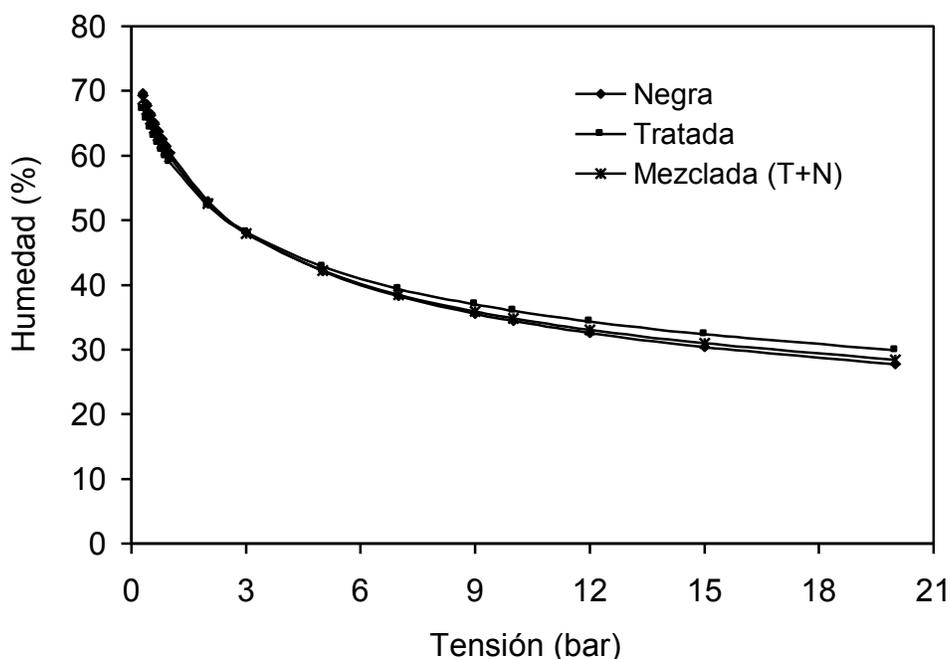


Figura 9. Curvas de retención de humedad para los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.

7.2. Propiedades químicas asociadas con la fertilidad del suelo

En el Cuadro 25 se muestran los resultados del análisis químico de los suelos irrigados con los distintos tipos de agua. Los resultados obtenidos indicaron una gran variabilidad de los valores, prácticamente en todas las propiedades químicas evaluadas. Esto es normal dado que no se tiene un control en el tratamiento del agua, de tal forma que se consideró más ilustrativo presentar los valores mínimo y máximo para cada variable evaluada y las clasificaciones de los parámetros en el interior de cada uno de los grupos.

7.2.1. pH

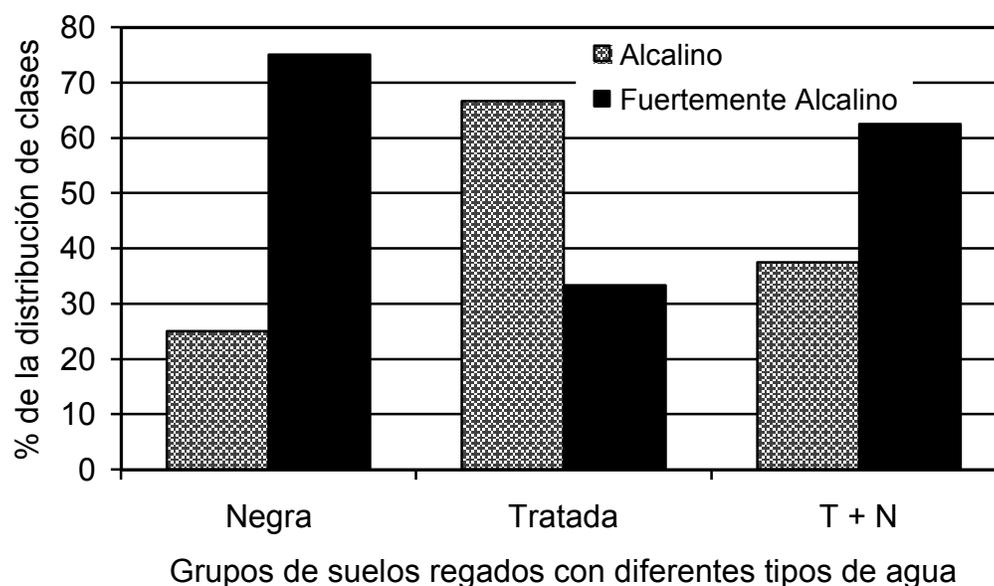
Los valores de pH en los suelos irrigados con agua Negra y Mezclada (T+N) presentaron los valores más altos, con un rango de variación de 8.2 a 8.9, en los sitios irrigados con agua Tratada se presentó un rango de 8.0 a 8.5 (Cuadro 25).

Cuadro 25. Principales características químicas de los suelos regados con tres tipos de agua del ejido de Mixquic.

Tipo de agua	pH	CE	M.O.	Nt	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CIE	
		dSm ⁻¹	← [%] →	ppm	← [meq/100g] →						
Negra	Mín.	8.2	0.6	6.6	0.34	38	21.7	15.5	1.0	8.8	47.0
	Máx.	8.9	2.5	13.8	0.47	130	27.4	17.2	2.7	40.0	62.8
Tratada	Mín.	8.0	0.7	6.6	0.40	52	19.5	11.9	1.6	6.7	42.7
	Máx.	8.5	3.5	15.1	0.61	152	40.1	23.3	3.3	36.0	90.2
T + N	Mín.	8.2	0.4	11.5	0.41	52	22.6	14.2	1.2	2.7	45.6
	Máx.	8.9	4.0	14.7	0.66	190	30.1	23.3	3.9	33.8	85.6

pH=1:2 H₂O; CE=Conductividad Eléctrica (1:5 H₂O); M.O.=Materia Orgánica (Walkley-Black); Nt=Nitrógeno total (Semi-micro Kjeldahl); P=Fósforo (Olsen); Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺=Cationes Intercambiables (NaOAc 1N pH 8.2); Na⁺= Sodio Intercambiable (NH₄Oac 1N pH 7); CIE=Capacidad de Intercambio Efectiva (Σ Bases Intercambiables)

En la Figura 10 se observa que 75% de los suelos irrigados con agua Negra y 62.5% de los suelos irrigados con agua Mezclada (T+N) se clasificaron como “fuertemente alcalinos” (pH >8.3) según Jones y Wolf (1984). Por otra parte, 67% de los suelos irrigados con agua Tratada se clasificaron como “alcalinos” con valores de pH <8.3.

**Figura 10.** Distribución de la abundancia de suelos irrigados con tres tipos de agua dentro de las clases alcalinos y fuertemente alcalinos.

De manera general, la evaluación del pH indicó que la mayoría de los suelos evaluados del ejido se clasificaron como “alcalinos” o “muy alcalinos”, lo que permite inferir que esta característica del suelo puede ser limitante para la disponibilidad de ciertos micronutrientes.

7.2.2. Conductividad eléctrica

Los valores obtenidos de C.E. fueron de 0.4 a 4.0 dSm^{-1} , los valores altos se ubicaron en los suelos irrigados con agua Tratada y Mezclada (T+N) (Cuadro 25).

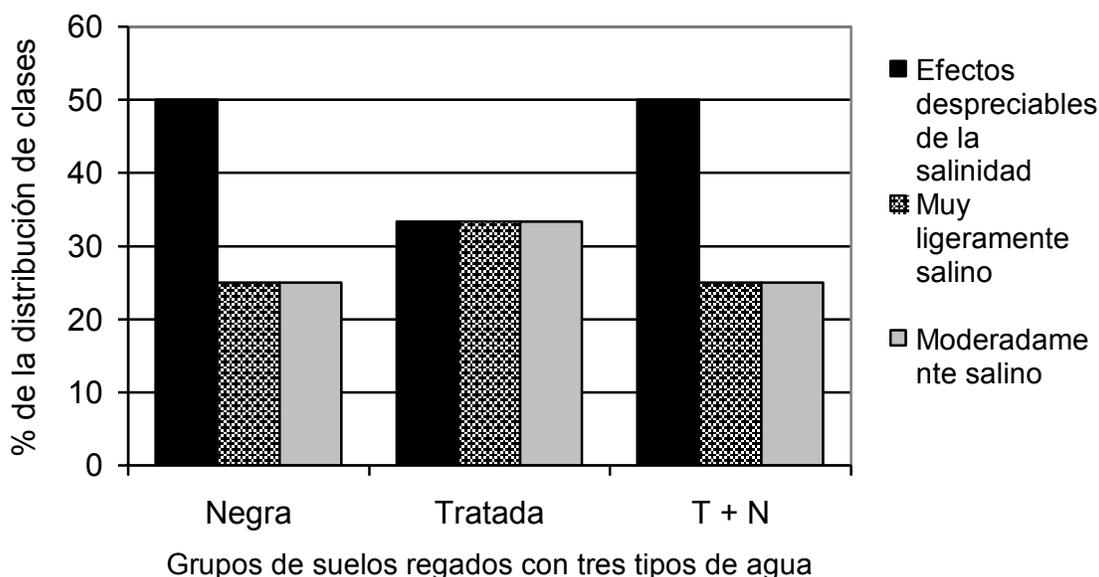


Figura 11. Clases de suelos con base en la C.E.

La variabilidad de esta propiedad al interior de cada grupo, se observa en la Figura 11. En todos los grupos predominan los sitios con un “efecto despreciable de la salinidad” ($\text{C.E.} < 1.0 \text{ dSm}^{-1}$) según la NOM-021-RECNAT-2000.

En forma general, de los sitios evaluados en el ejido de Mixquic, 28.6% se clasificaron como “ligeramente salinos” y 28.6% como “moderadamente salinos”, lo cual significa que 57.2% de los suelos del ejido se ubican en estas dos clases con problemas de salinidad.

7.2.3. Materia orgánica

La materia orgánica (M.O.) está relacionada con funciones vinculadas al comportamiento físico, químico y biológico del suelo, repercutiendo en su fertilidad y productividad (Dexter, 2004). Dentro de estas últimas funciones se incluyen la regularización de los flujos de agua, aire y nutrientes, y el impacto ambiental (Dexter, 2004).

Los suelos evaluados presentaron un mínimo de 6.6% y un máximo de 15.1% de M.O., la dispersión de los valores en el interior de los grupos se muestran en la Figura 12. De las 21 parcelas distribuidas en 600 ha que comprendió el estudio se detectaron que los resultados obtenidos de M.O. se clasificaron como “extremadamente ricos” (>4.21%) según Velasco (1983). Siendo los sitios irrigados con agua Mezclada (T+N) donde se ubican los valores más altos de M.O.

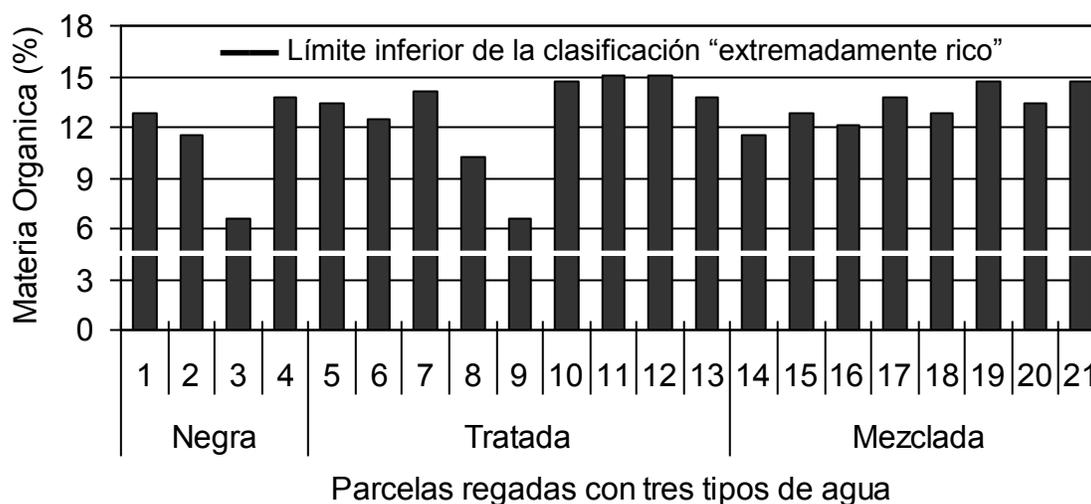


Figura 12. Contenidos y clasificación de la materia orgánica de los suelos regados con tres tipos de agua del ejido de Mixquic.

7.2.4. Nitrógeno

Los contenidos de Nitrógeno total (Nt) se muestran en el Cuadro 25, con un rango de variación de 0.34% a 0.66%, siendo los suelos irrigados con agua Mezclada (T+N) donde se localizaron los valores mas altos de Nt. La variabilidad de esta propiedad al

interior de cada grupo se observa en la Figura 13, donde todos los sitios evaluados son "ricos" (>0.22%) de acuerdo a Moreno (1978).

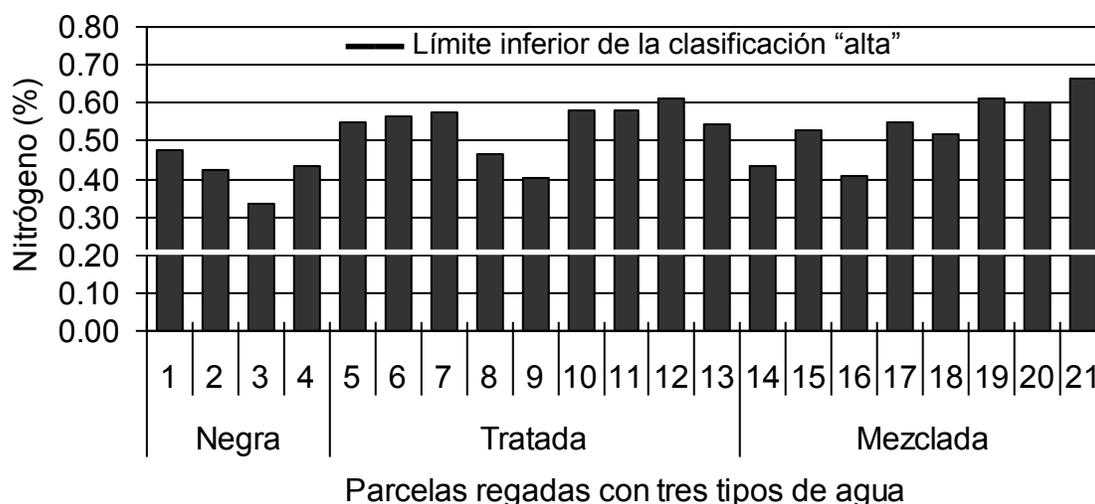


Figura 13. Contenidos y clasificación del nitrógeno en los suelos regados con tres tipos de agua del ejido de Mixquic.

7.2.5. Relación carbono/nitrógeno

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) se estimó con los contenidos de M.O. y Nt. A partir con los contenidos de M.O. se obtuvieron los valores de Carbono (C) (Cuadro 26).

Cuadro 26. Dispersión de los valores de C y su relación C/N en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua.

Grupo de suelos		C	N	C/N
		← [%] →		
Negra	Mín.	3.8	0.34	11
	Máx.	7.9	0.44	18
Tratada	Mín.	3.8	0.40	9
	Máx.	8.7	0.58	15
Mezclada	Mín.	6.6	0.43	15
	Máx.	8.5	0.66	13

En el Cuadro 26 se muestra, la dispersión de los valores obtenidos de C y su relación C/N en el interior de los grupos de suelos regados con los diferentes tipos de agua, observándose que los sitios irrigados con agua Negra presento un rango de variación de 3.8 a 7.9% de C, los sitio irrigados con agua Tratada tuvieron un rango más amplio de 3.8 a 8.7% de C. La relación C/N en el interior de los grupos se observa que los sitios irrigados con agua Negra y Tratada presentaron una similitud en el rango de dispersión de los valores obtenidos, excepto en los sitios irrigados con agua Mezclada (T+N) donde se presento el menor rango de dispersión de los valores de C y su relación C/N.

De manera descriptiva al interior de los grupos de suelos, se obtuvieron dos clases en cada grupo, la diferencia de cada grupo lo hace el tipo de clase obtenida y su porcentaje de distribución. En el Cuadro 27 se muestra la distribución de las clases, se observa que los sitios irrigados con agua Negra y Mezclada (T+N) presentaron clases “mediana” (10-15% de C/N) y “alta” (15-25% C/N) según Moreno (1978), y los suelos regados con agua Tratada se presentaron clases “baja” (<8% C/N) y “mediana”. En los suelos regados con agua Negra predomino la clase “alta” con el 75% de los sitios, en los suelos regados con agua Tratada y Mezclada (T+N) predomino la clase “mediana” respectivamente con el 89 y 87.5% de los sitios.

Cuadro 27. Clases obtenidas de la relación C/N en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.

Suelos irrigados con tres tipos de agua	Distribución de las clases en el interior de los grupos (%)		
	Baja	Mediana	Alta
Negra	/	25	75
Tratada	11	89	/
Mezclada (T+N)	/	87.5	12.5

De manera general, de las 21 parcelas evaluadas y distribuidas en el ejido de Mixquic, se diagnosticó que 16 parcelas se encontraron en el rango de 11 a 15% de

C/N, correspondiendo a la clase “mediana”. Por otro parte, 20 parcelas se ubicaron en una relación C/N <17% que según Moreno (1978) significa que habrá mineralización neta.

7.2.6. Fósforo

El contenido de Fósforo (P), en los suelos irrigados con agua Negra presentaron un rango de variación de 38 a 130 ppm, y en los sitios irrigados con agua Mezclada (T+N) una variabilidad de 52 a 190 ppm (Cuadro 25).

Sin embargo, en la Figura 14 se observa que las 21 parcelas distribuidas en el ejido de Mixquic se clasifican como “altos” en P Olsen (>11.0 ppm), de acuerdo a CSTPA (1980).

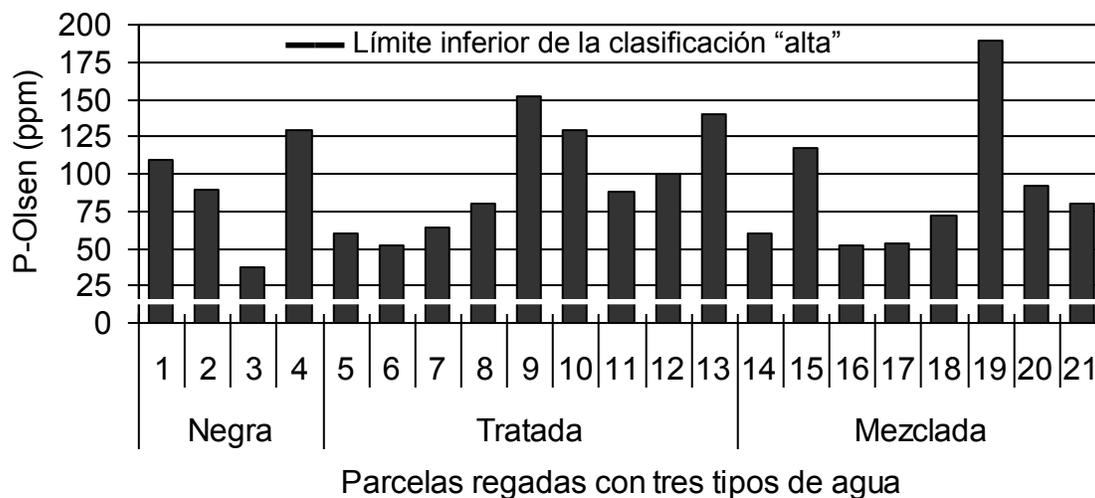


Figura 14. Contenidos y clasificación del fósforo Olsen en suelos regados con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic.

El 57% de los suelos evaluados están entre el rango de 52 a 92 ppm de P, valores que rebasan con mucho al límite de la categoría alta, y 38% en un rango de 100 a 190 ppm de P, que rebasan de 8 a 15 veces más el contenido de la categoría alta.

7.2.7. Bases intercambiables

Las 21 parcelas que comprendió el estudio se detectaron que los resultados obtenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Sodio (Na), rebasan los valores inferiores de las clasificaciones “altas”, para Ca (>11 meq/100g), Mg (>3.0 meq/100g), K (>0.6 meq/100g), según Etchevers *et al.*, (1971) y Na (>0.6 meq/100g) según Rodríguez (1987) (Figura 15).

En el Cuadro 25 y en la Figura 15 se observa la variabilidad de los cationes intercambiables de los suelos regados con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic. El Ca intercambiable en los sitios irrigados con agua Tratada presentan la mayor dispersión, con un rango de 19.5 a 40.1 meq/100g. El Mg intercambiable en los sitios irrigados con agua Negra presentan el menor rango de variación de los contenidos (15.5 a 17.2 meq/100g), en cambio los sitios irrigados con agua Tratada y Mezclada (T+N) tienen una mayor dispersión y una similitud en el rango. El K intercambiable en los sitios irrigados con agua Negra presentan la menor dispersión de los valores (1.0 a 2.7 meq/100g) y en los sitios irrigados con agua Mezclada (T+N) se presentan la mayor dispersión de los valores (1.2 a 3.9 meq/100g). El Na intercambiable mostró en cada una de las parcelas contenidos altos de este elemento, donde corresponde a una concentración muy alta para los cultivos, en los sitios irrigados con agua Tratada se observo la mayor dispersión de los valores. De acuerdo a la clasificación anterior propuesta por Rodríguez, los valores de Na obtenidos pudieran llegar a constituir un riesgo para los cultivos.

En general, todos los suelos presentaron contenidos “altos” de cationes intercambiables, lo cual significa que en su totalidad los suelos están bien abastecidos de estos nutrimentos.

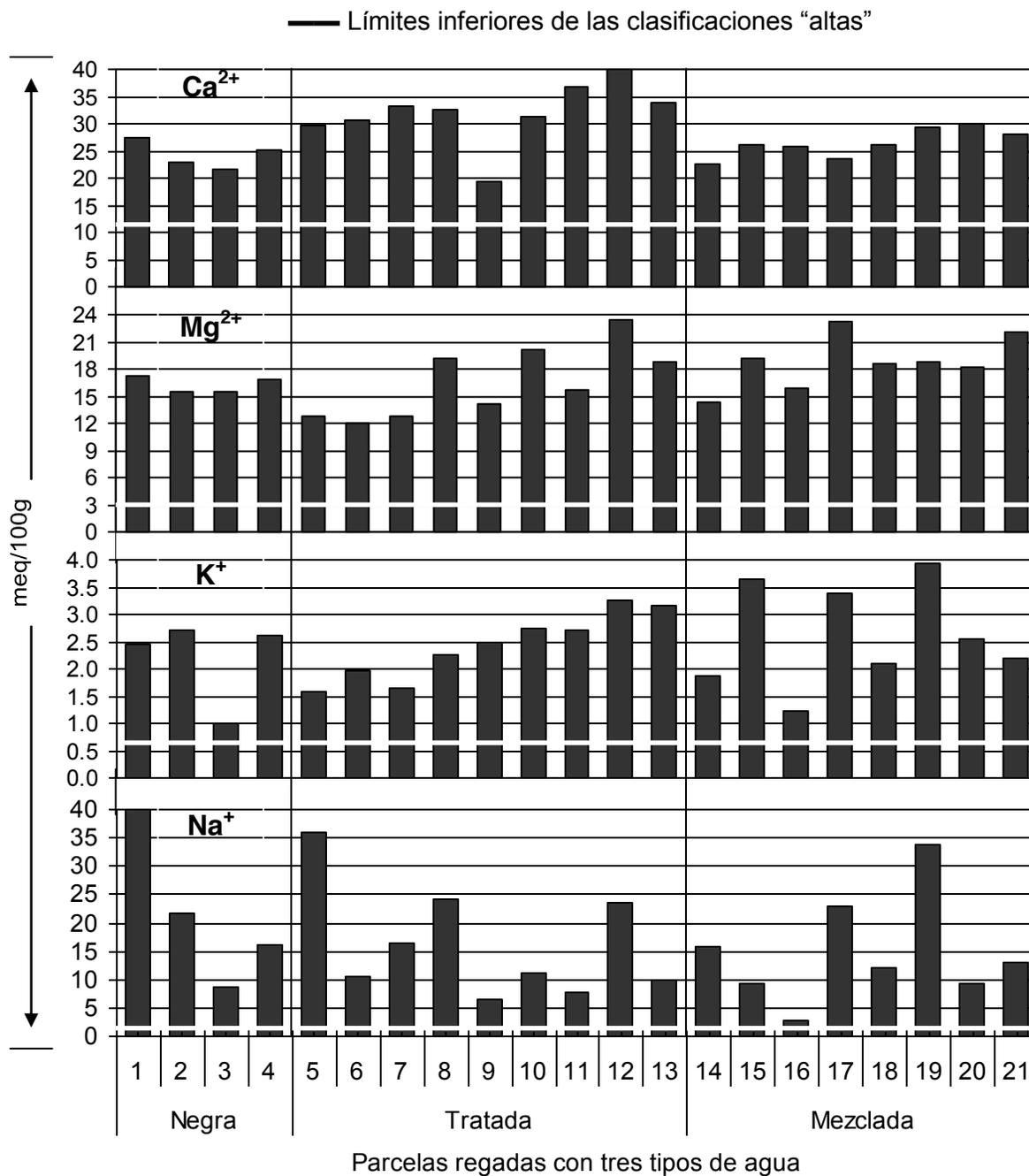


Figura 15. Contenidos de cationes intercambiables en suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.

7.2.8. Capacidad de intercambio efectiva

La Capacidad de Intercambio Efectiva (CIE), en los suelos estudiados presentaron una gran dispersión en los valores (42.7 a 90.2 meq/100g). En el Cuadro 25, se

observa la variabilidad de los valores, en los grupos de suelos regados con tres tipos de agua, en donde los suelos irrigados con agua Tratada se presentó el mayor rango de variación (42.7 a 90.2 meq/100g) y los sitios irrigados con agua Negra se obtuvieron los valores mas bajos (47.0 a 62.8 meq/100g).

En la Figura 16 se observa que las 21 parcelas distribuidas en el ejido de Mixquic, presentaron valores arriba de 40 meq/100g, establecido como categoría “muy alta”, según Cottenie (1980), este mismo autor propone que los valores superiores a 25 meq/100g de suelo son clasificados con una reserva nutrimental abundante; por lo cual todos los sitios evaluados se clasificaron con dicha categoría.

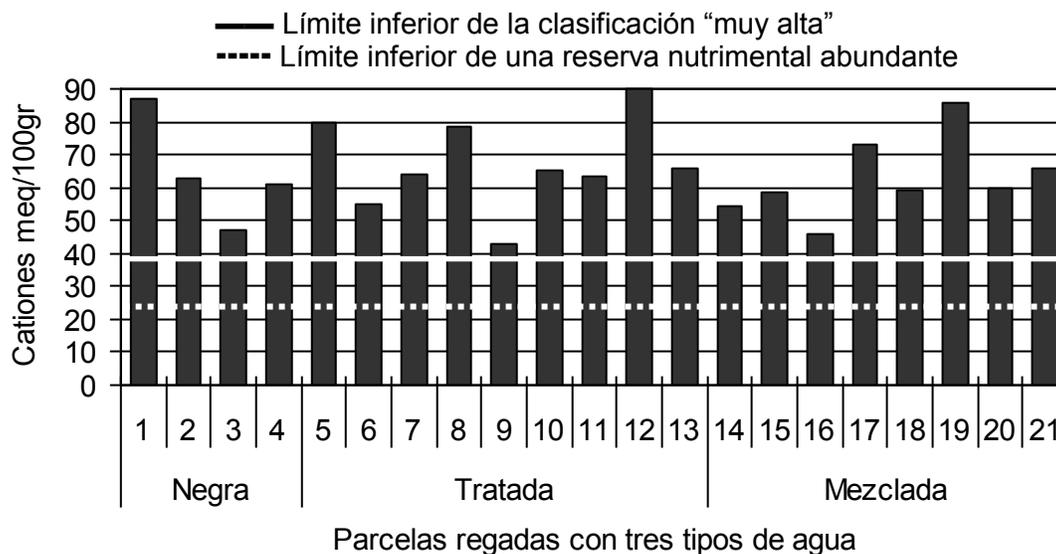


Figura 16. Valores de la CIE y su clasificación, en parcelas regadas con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic.

7.3. Propiedades químicas que caracterizan la salinidad de los suelos con base en el extracto de saturación

En el Cuadro 28, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros químicos evaluados en el extracto de saturación. Los valores reportados indicaron una gran variabilidad en las propiedades químicas. En Anexo se reportan los valores obtenidos de cada una de las parcelas distribuidas en el ejido Mixquic.

Cuadro 28. Principales características químicas en el extracto de saturación de los suelos regados con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic.

Tipo de agua	pH	CE dSm ⁻¹	Aniones					Cationes				
			SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	
			[meq/L]					[meq/L]				
Negra	Mín.	8.1	2.2	2.14	5.57	1.25	4.48	0.78	9.56	5.20	2.94	0.25
	Máx.	8.3	10.2	107.06	28.84	23.77	5.12	1.56	121.20	23.00	18.75	3.20
Tratada	Mín.	7.8	1.8	7.03	7.92	1.61	2.72	0.39	14.92	5.93	6.75	0.30
	Máx.	8.3	9.3	75.47	38.62	31.27	5.58	1.69	76.54	43.79	28.23	4.01
Mezclada (T+N)	Mín.	8.1	1.0	4.39	4.40	0.12	4.22	0.78	8.40	4.16	2.60	0.62
	Máx.	8.4	11.4	82.33	49.37	15.80	8.43	1.82	93.30	38.99	20.88	4.13

7.3.1. pH en el extracto de suelo

En el Cuadro 28, se muestra la dispersión de los valores del pH en el extracto de saturación, observándose un rango de variación de 7.8 a 8.4. En el Cuadro 30 se observa el porcentaje de las clasificaciones obtenidas de pH en el interior de los grupos de suelos, según Jones y Wolf (1984). En donde los suelos irrigados con agua Negra y Tratada se clasificaron como “alcalinos” (pH 7.4 a 8.3). Por otra parte, 75% de los suelos regados con agua Mezclada (T+N) se clasificaron como “alcalinos” y 25% como “fuertemente alcalinos” (pH>8.3).

De manera general, el pH indicó que el 90.5% de las parcelas evaluadas en el ejido de Mixquic se clasificaran como “alcalinas” y 9.5% con reacción “fuertemente alcalina”.

Cada hortaliza adquiere mayor vigor y productividad dentro de un cierto intervalo de valores de pH. Ello no significa que no pueda vivir fuera de dicho intervalo, ya que representa una cierta capacidad de adaptación. Los intervalos de pH idóneo para las principales hortalizas cultivadas en el ejido de Mixquic, se muestra en el Cuadro 29, según algunos autores.

Cuadro 29. Intervalos de pH idóneos para las principales hortalizas sembradas en el ejido de Mixquic.

Cultivo	pH (reportados)	pH (obtenidos)
	Óptimos y/o tolerantes para rendimientos satisfactorios	Según los autores son:
Brócoli	Óptimo: 5.2-7 (Poincelot, 2004; Porta y López, 2005) Tolerancia para rendimientos satisfactorio: 7.5-7.8 (Moroto, 2002) y 6-8 (Porta y López, 2005)	En 5 parcelas, el cultivo es tolerante a su pH obtenido
Romerito	Tolerante a pH altos (Richards, 1994)	Todas las parcelas son óptimas para el cultivo
Acelga	Óptimo: 7-7.6. Tolerancia para rendimientos satisfactorio: 6-8.2 (Porta y López, 2005)	16 parcelas resultan tolerantes a la acelga
Apio	5.5-6.6 (Poincelot, 2004) 6-7.2 (SEP, 1999; Moroto, 2002)	Parcelas no aptas para el cultivo del apio
Espinaca	6.0-7.0 (Poincelot, 2004; Porta y López, 2005; SEP, 1999; Moroto, 2002)	Parcelas no aptas para el cultivo de la espinaca

7.3.2. Conductividad eléctrica en el extracto de suelo

Los valores de C.E. en el extracto de saturación, se presentan en el Cuadro 28, observándose una dispersión amplia de los valores obtenidos (1.0 a 11.4 dSm⁻¹). En los sitios regados con agua Mezclada (T+N) se obtuvo el mayor rango de variación de C.E.

Cuadro 30. Distribución del porcentaje de las clases de pH y C.E., en el extracto de saturación, en suelos regados con tres tipos de agua en el ejido de Mixquic.

	Clasificación (Efecto de la salinidad)	Distribución del % de las clases interior de los grupos		
		Negra	Tratada	T + N
pH	Alcalino	100	100	75
	Fuertemente Alcalino	/	/	25
	Efectos despreciables de la salinidad	/	/	12.5
C.E.	Muy ligeramente salino	/	11.1	25
	Moderadamente salino	50	44.4	25
	Suelo salino	/	33.3	25
	Fuertemente salino	50	11.1	12.5

En el Cuadro 30 y Figura 17, se muestra la distribución de los porcentajes de las clases obtenidas de la C.E. en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua. Los sitios irrigados con agua Mezclada (T+N) presentaron cinco clasificaciones en el interior del grupo y en cambio los suelos regados con agua Negra solamente se presentó dos clasificaciones: “moderadamente salino” (2.1-4.0 dSm^{-1}) y “fuertemente salino” (8.1-16.0 dSm^{-1}) según la NOM-021-RECNAT-2000. Los suelos regados con agua Tratada se obtuvo una dominancia de la clasificación “moderadamente salino” (2.1-4.0 dSm^{-1}).

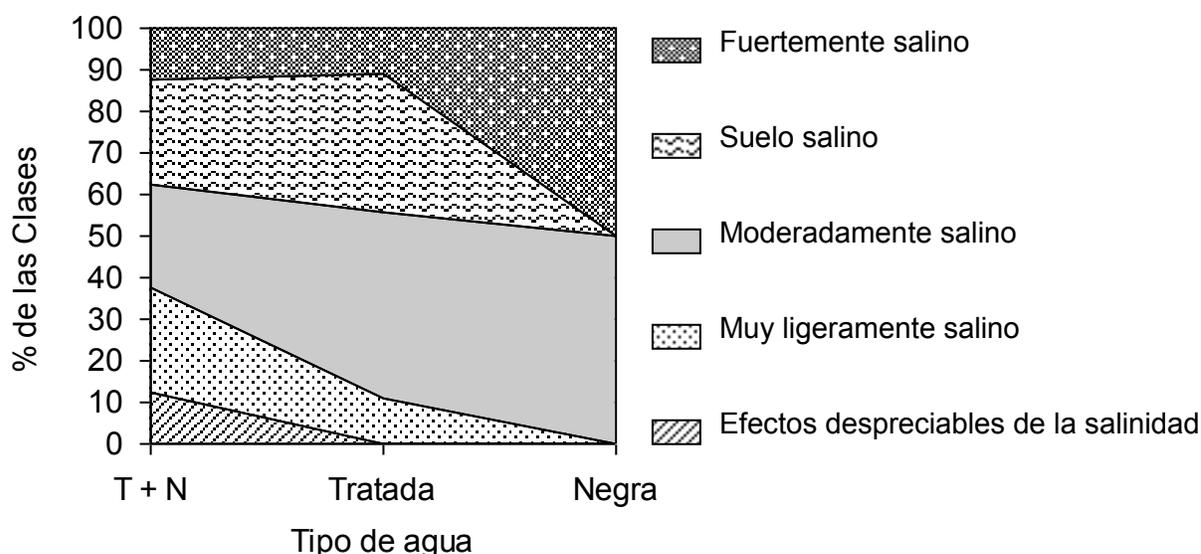


Figura 17. Distribución de los porcentajes de las clases obtenidas de C.E. en el interior de los grupos de suelos regados con tres tipos de agua, en el ejido de Mixquic.

De manera general, se observó que la clasificación “moderadamente salino” (2.1-4.0 dSm^{-1}) predomina en las parcelas del ejido de Mixquic, “los rendimientos de los cultivos más sensibles pueden ser restringidos”; seguido de la clasificación “suelo salino” (4.1-8.0 dSm^{-1}) en donde “se reducen los rendimientos de muchos cultivos” (Richards, 1962), y las de menor proporción las clasificaciones: “muy ligeramente salino” y “efectos despreciables de la salinidad”, con un “efecto de la salinidad casi nulo”.

La tolerancia a la salinidad de las principales hortalizas sembradas en el ejido de Mixquic, se observa en el Cuadro 31, donde se muestran los rangos óptimos y tolerantes a la C.E., de las hortalizas, según información de algunos autores.

Cuadro 31. Intervalos óptimos y tolerantes de C.E. para las principales hortalizas sembradas en el ejido de Mixquic.

Cultivo	CE dS m ⁻¹ a 25°C (reportados)	CE dS m ⁻¹ (obtenidos)
	Óptimos y/o tolerantes para rendimientos satisfactorios	De acuerdo a los autores
Brócoli	2.8: Tolerante a la salinidad (Porta y López, 2005)	El cultivo es tolerante en 6 parcelas del ejido
Romerito	Altas concentraciones de sales en los primeros 30 cm (Richards, 1994)	El cultivo se adapta a los suelos
Acelga	7.0: Muy tolerante a la salinidad. Es muy sensible a la primera etapa de germinación. (Porta y López, 2005)	La acelga es tolerante en la mayor parte de los suelos del ejido
Apio	2.0-3.0 (Moroto, 2002)	6 parcelas son aptas
Espinaca	2.0: Tolerante a la salinidad (Porta y López, 2005)	4 parcelas son aptas

7.3.3. Cationes solubles en el extracto de suelo

Contenido de sodio (Na⁺). El contenido de Na soluble de las 21 parcelas distribuidas en 600 ha, se obtuvo una amplitud en el rango de los valores, con un mínimo de 8.40 y un máximo de 121.20 meq/L. En el Cuadro 28, se observa que los suelos irrigados con agua Negra presentaron un rango de variación de 9.56 a 121.20 meq/L, siendo el grupo que presenta la mayor dispersión de los valores. Los suelos irrigados con agua Tratada presentaron un mínimo de 14.92 meq/L y un máximo de 76.54 meq/L.

Contenido de potasio (K⁺). Los contenidos del ión K, se muestra en el Cuadro 28, observándose un mínimo de 0.25 meq/L y un máximo de 4.13 meq/L. En el interior de los tres grupos de suelos, se obtuvo una similitud en los valores del mínimo y el máximo.

Contenido de calcio (Ca²⁺). Entre los sitios evaluados se observó un mínimo de 2.60 meq/L de Ca soluble y un máximo de 28.23 meq/L de Ca. En el Cuadro 28 se

observan los valores mínimos y máximos en el interior de los grupos de suelos regados con los diferentes tipos de agua, siendo los suelos irrigados con agua Tratada donde se localizó la mayor dispersión de los valores (6.75 – 28.23 meq/L) y el menor rango de dispersión entre el mínimo y el máximo se localizó en los sitios irrigados con agua Negra (2.94 – 18.75 meq/L).

Contenido de magnesio (Mg^{2+}). Los contenidos del ión Mg, en el interior de los grupos de suelos regados con los diferentes tipos de agua se muestran en el Cuadro 28, observándose un mínimo de 4.16 meq/L y un máximo de 43.79 meq/L de Mg soluble. Los sitios irrigados con agua Negra presentaron el menor rango de dispersión de los valores, obteniéndose un mínimo de 5.20 meq/L y un máximo de 23.0 meq/L de Mg soluble; en cambio los sitios irrigados con agua Tratada se localizó la dispersión más amplia de los valores obtenidos, con un mínimo de 5.93 meq/L y un máximo de 43.79 meq/L de Mg soluble. Los contenidos del ión Mg, son más altos que los iones Ca y K, esto puede explicarse debido a la solubilidad del ión Mg, y al contenido natural con que se encuentra en los suelos.

7.3.4. Aniones solubles en el extracto de suelo

Contenido de carbonatos (CO_3^{2-}). La presencia de CO_3 precipitados indica que existe un elevado pH, la baja disponibilidad de algunos nutrientes, o la toxicidad de otros. En el Cuadro 28, se observa que los suelos evaluados presentan un rango de dispersión de 0.39 a 1.82 meq/L de CO_3 . En el interior de los grupos de suelos regados con los diferentes tipos agua, se observa una similitud en los valores obtenidos del mínimo y el máximo.

Contenido de bicarbonatos (HCO_3^-). Aún cuando la presencia de los HCO_3 no implica condiciones tan drásticas de pH como las impuestas por los CO_3 , su relación ayuda en el abatimiento del mismo y con ello a la corrección de otros problemas de la química del suelo. En el Cuadro 28, se observa la dispersión de los valores obtenidos de HCO_3 , con un mínimo de 2.72 meq/L y un máximo de 8.43 meq/L de HCO_3 . Los suelos regados con agua Tratada presentaron el menor rango de dispersión de los

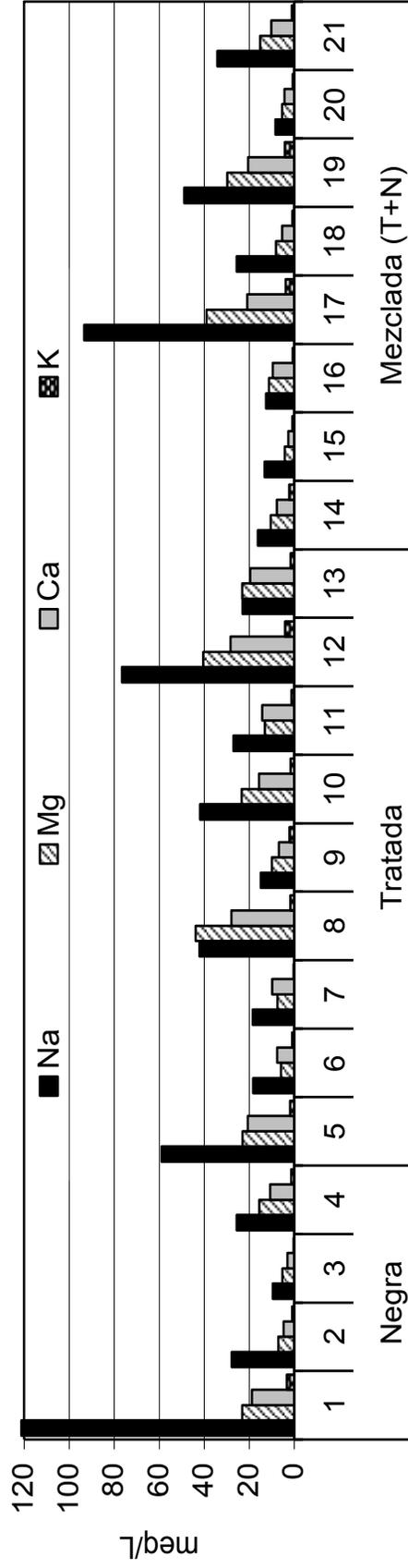
valores de HCO_3 (2.72 a 5.58 meq/L) y la dispersión más amplia en los suelos regados con agua Mezclada (T+N) (4.22 a 8.43 meq/L).

Contenido de nitratos (NO_3^-). Los valores obtenidos de NO_3 en el ejido de Mixquic se muestran en el Cuadro 28, observándose un rango amplio de dispersión de los valores, con un mínimo 0.12 meq/L y un máximo de 31.27 meq/L de NO_3 . En el interior de los grupos de suelos, se observa que los sitios irrigados con agua Mezclada (T+N) presentaron la menor dispersión de los valores (0.12 a 15.80 meq/L de NO_3) y los sitios regados con agua Tratada la mayor dispersión de los valores de NO_3 (1.61 a 31.27 meq/L). Los grupos de suelos se comportaron en el mismo orden que el catión Ca y con valores obtenidos similares.

Contenido de cloruros (Cl^-). En el Cuadro 28, se muestra la dispersión de los valores obtenidos de Cl^- en el interior de los grupos de suelos regados con los diferentes tipos de agua, observándose un mínimo de 4.40 meq/L y un máximo de 49.37 meq/L de Cl^- . En el interior de los grupos se observa que los sitios regados con agua Negra presentan la menor dispersión de los valores obtenidos de Cl^- (5.57 a 28.84 meq/L), y los sitios irrigados con agua Mezclada la mayor dispersión. Los grupos de suelos se comportaron en el mismo orden que el catión Mg y con valores obtenidos similares.

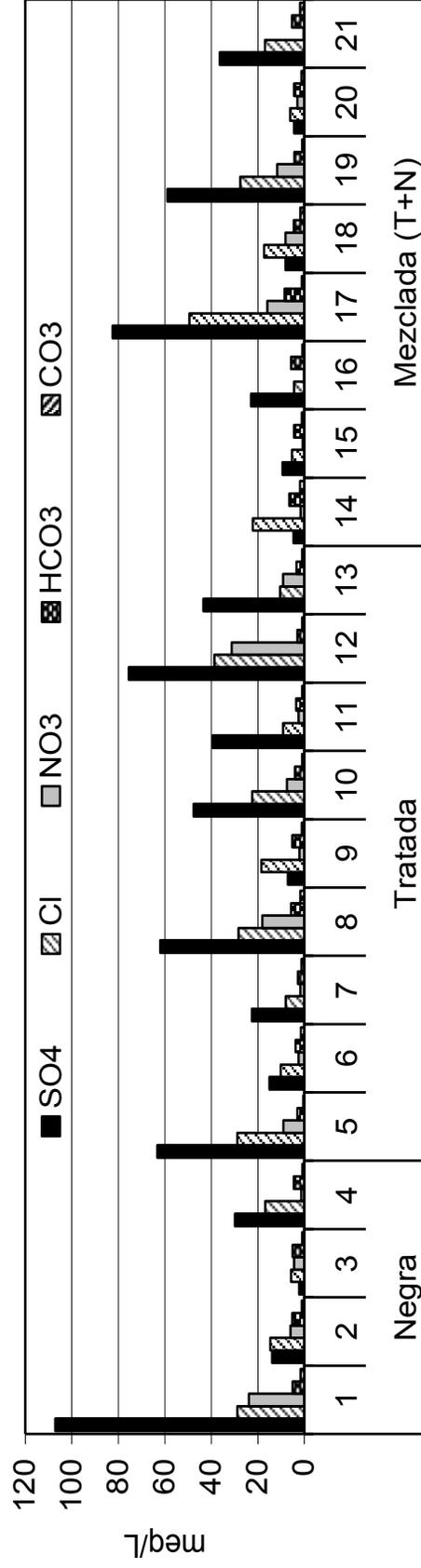
Contenido de sulfatos (SO_4^{2-}). La presencia del ión SO_4 se muestra en el Cuadro 28, observándose una gran dispersión de los valores obtenidos, con un mínimo de 2.14 meq/L y un máximo de 107.06 meq/L de SO_4 . En el interior de los tres grupos de suelos, presentan la misma situación de la dispersión de los valores obtenidos. Los grupos se comportaron en el mismo orden que el catión Na y con valores cercanos a los obtenidos que el anión SO_4 .

En las Figuras 18 y 19, se muestran los contenidos de cationes y aniones solubles respectivamente en cada una de las parcelas, ubicadas dentro de los grupos de suelos regadas con los diferentes tipos de agua, observándose que el catión Na dominó en cada uno de los sitios evaluados, seguido del ión Mg, y los aniones que predominaron con altos contenidos fue el SO_4 , seguido del ión Cl.



Parcelas regadas con diferentes tipos de agua

Figura 18. Dispersión de cationes solubles en los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.



Parcelas regadas con diferentes tipos de agua

Figura 19. Dispersión de aniones solubles en los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.

7.4. Porcentaje de sodio intercambiable

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) puede interpretarse como un indicador del grado de permeabilidad de un suelo y una disminución drástica de esta propiedad, se traduce en afectaciones indirectas sobre la planta, como es la formación de costras que dificultan la germinación de la semilla, o la dificultad al paso de la maquinaria agrícola entre otras.

En las 600 ha que comprendió el estudio se obtuvo un mínimo de 6 PSI y un máximo de 45 PSI. En forma descriptiva, al interior de cada uno de los grupos, se presentaron diferentes clases de PSI, según Richards (1962), observándose que el grupo de los suelos regados con agua Negra presentaron tres clases, en cambio los sitios regados con agua Tratada y Mezclada (T+N) presentaron cuatro clases, siendo la clase “moderada” (PSI 15-20) que ocupa el mayor porcentaje en los tres grupos de suelos, con un rendimiento relativo en los cultivos de 60-40%. La clasificación “fuerte” (PSI 20-30) y “extremada” (PSI >30) ocupan porcentajes similares en los tres grupos de suelos. La clase “ligera” (PSI <15) solamente se presentan en los suelos regados con agua Tratada y Mezclada (T+N) ocupando el menor porcentaje en el interior de los grupos (Cuadro 32).

Cuadro 32. Distribución de los porcentajes de las clases obtenidas de PSI, en los suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.

PSI Clases	Rendimiento relativo %	% de las clases en el interior de los grupos		
		Negra	Tratada	T + N
Ligera	80 – 60	/	11	13
Moderada	60 – 40	50	44	38
Fuerte	40 – 20	25	22	25
Extremada	> 20	25	22	25

La toxicidad por sodio resulta difícil de diagnosticar porque a medida que aumenta la cantidad de sodio intercambiable se puede inducir una deficiencia en calcio. Los síntomas de toxicidad por sodio se manifiestan primero en las hojas más viejas, ya que requiere un cierto tiempo para que la acumulación alcance concentraciones tóxicas. Se manifiestan en forma de quemaduras o secados de los tejidos situados en los bordes de las hojas y, a medida que el fenómeno se agrava, progresan hacia el interior, hacia las internerviaduras (Ayers y Westcot, 1985).

En el Cuadro 33 se muestra la tolerancia de los intervalos del PSI en tres hortalizas cultivadas en el ejido de Mixquic.

Cuadro 33. Tolerancia al sodio intercambiable en tres hortalizas cultivadas en el ejido de Mixquic, según Porta y López, 2005; y Richards, 1994.

Cultivo	PSI (%) - reportados	PSI (%) - obtenidos
	Tolerancia al sodio intercambiable	De acuerdo con los autores
Romerito	>15%: Tolerante (Richards, 1994)	El romerito tolera los contenidos de PSI en los suelos del ejido
Acelga	>40%: Tolerante (Porta y López, 2005)	El cultivo es tolerante al PSI obtenido en la totalidad de los suelos
Espinaca	15-40%: Semitolerante (Porta y López, 2005)	La espinaca es semitolerante en la totalidad de los suelos evaluados

7.5. Relación de adsorción del sodio

Los valores obtenidos de la Relación de Adsorción del Sodio (RAS) en los sitios evaluados presento un rango de dispersión con un mínimo de 4 y un máximo de 27 % de sodio adsorbido. En forma descriptiva al interior de los grupos de suelos regados con los diferentes tipos de agua, se presentaron de dos a tres clases de salinidad de acuerdo con los valores y según Richards (1962). Los sitios irrigados con agua Negra presentaron tres clases de RAS, en cambio los sitios irrigados con agua Tratada y Mezclada (T+N) presentaron dos clases (Figura 20). En los tres grupos de suelos hubo un domino de la clase “poco salino” (3-10% de sodio adsorbido).

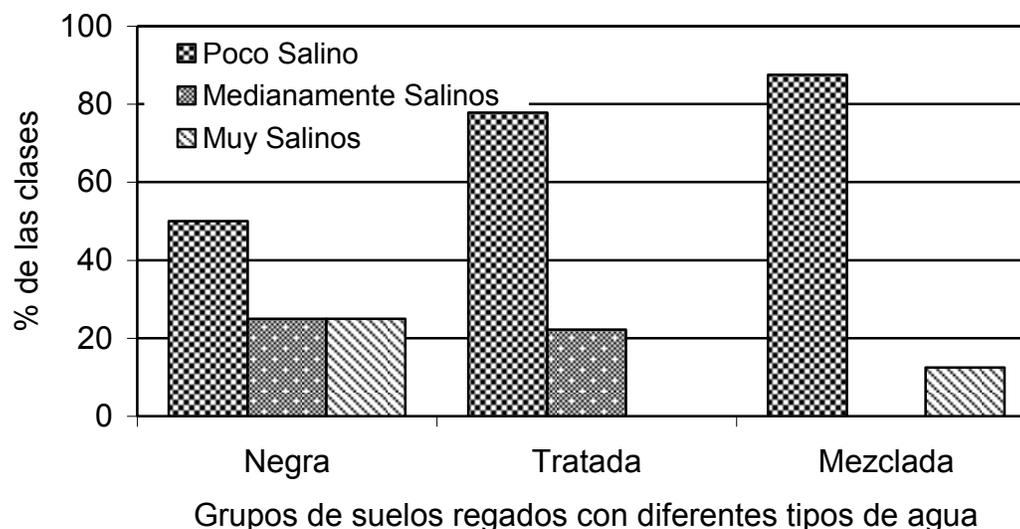


Figura 20. Porcentaje de las clases obtenidas de la RAS, en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua en el ejido de Mixquic.

Se manera general, de las 21 parcelas evaluadas y distribuidas en el ejido de Mixquic, 16 resultaron “poco salino” (3-10% de sodio adsorbido), y el resto de “medianamente salino a muy salino” (>10% de sodio adsorbido).

En el Cuadro 34 se muestra la resistencia a la salinidad de los principales cultivos sembrados en el ejido de Mixquic, según algunos autores.

Cuadro 34. Resistencia a la salinidad de las principales hortalizas cultivadas en el ejido de Mixquic, según algunos autores.

Cultivo	Salinidad	Salinidad
	Reportados por algunos autores	De acuerdo a las clases obtenidas de salinidad en el RAS
Brócoli	Medianamente resistentes a la salinidad del suelo (Moroto, 2002)	19 parcelas se ubican de poco a medianamente salino
Romerito	Aptos para suelos alcalinos, salinos (Espinosa y Sarukhán, 1997)	Los suelos son aptos para cultivar romerito
Acelga	Resistencia media-alta a la salinidad (Moroto, 2002)	La acelga es apta para cultivarse en el ejido
Apio	Se adapta a condiciones algo salinas de las aguas (Moroto, 2002)	Solamente en 16 parcelas pudiera adaptarse el apio
Espinaca	Resistente a la salinidad (Moroto, 2002)	Parcelas aptas para el cultivo

7.6. Suelos salinos y sódicos

La clasificación de los suelos Salinos y Sódicos se diagnosticó con base en los contenidos del PSI, C.E. en el extracto de saturación y pH, de acuerdo a la literatura. En la Figura 21, se presenta la distribución de los porcentajes de las clasificaciones obtenidas de salinidad-sodicidad, en el interior de cada uno de los grupos, observándose que en el grupo de los suelos irrigados con agua Negra se obtuvieron dos categorías la de “suelos sódicos-salinos” y la de “suelos sódicos-no salinos”, respectivamente cada una con 50%; en cambio en los suelos irrigados con agua Tratada se obtuvieron tres clasificaciones, que son: los “suelos salinos” con 11.2%, “suelos sódicos-salinos” y “suelos sódicos-no salinos” respectivamente con 44.4%. Finalmente, para los suelos irrigados con agua Mezclada (T+N) se obtuvieron las siguientes categoría: 50% de los suelos son “sódicos-salinos”, 37.5% son “suelos sódicos-no salinos”, y 12.5% del grupo fueron “suelos sin problemas de salinidad y sodicidad”. En general, en todos los grupos de suelos predominaron las categorías de “suelos sódicos-salinos” y “suelos sódicos-no salinos”.

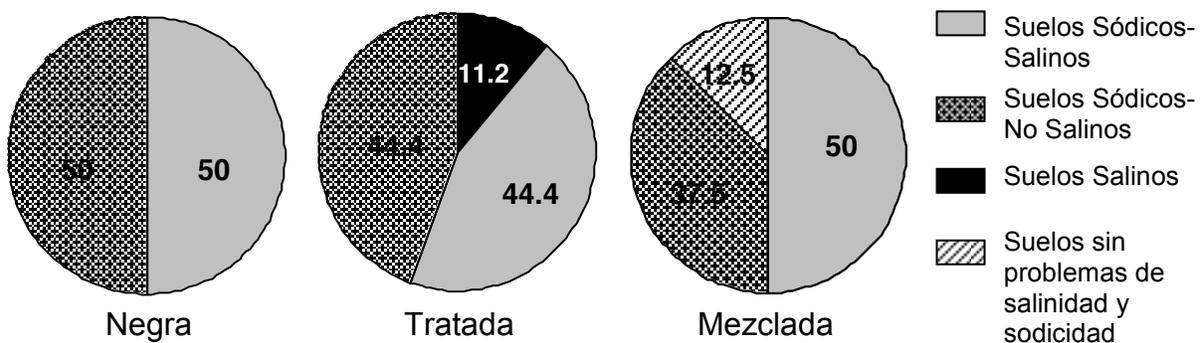


Figura 21. Porcentajes de las clases obtenidas de Salinidad-Sodicidad, en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua, en el ejido de Mixquic.

En la Figura 22, se observan las clases obtenidas de Salinidad y Sodicidad de las 21 parcelas distribuidas en 600 ha que comprendió el estudio, conocido como el ejido de

Mixquic. De manera general se observa que los “suelos sódicos-salinos” y los “suelos sódicos-no salinos” están presentes de manera uniforme en toda la superficie del ejido, en la misma Figura se observa los porcentajes de las clases.

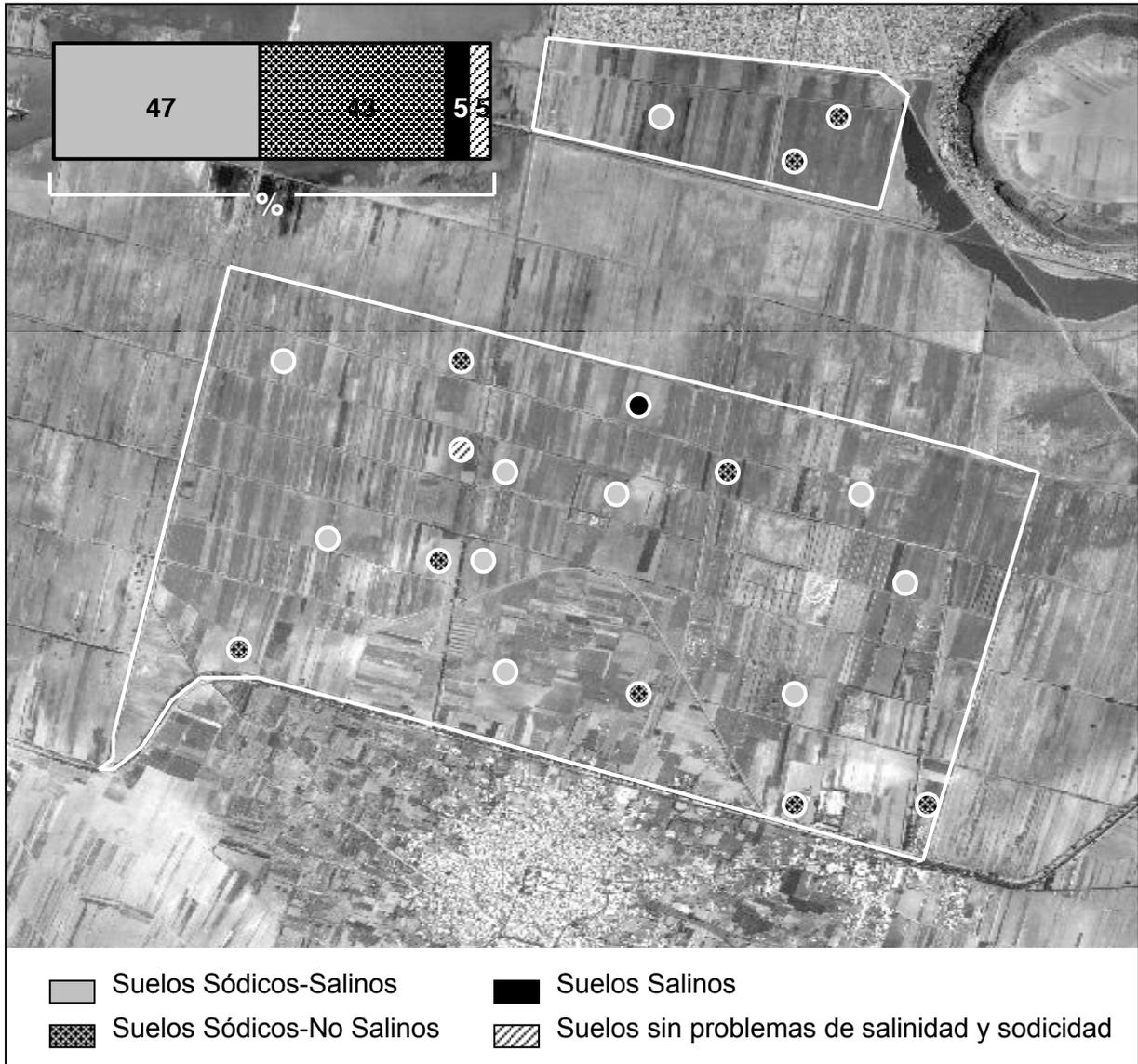


Figura 22. Porcentaje de las clases de Salinidad-Sodicidad, y la distribución de las mismas, en cada uno de los sitios evaluados en el ejido de Mixquic (Ortofotografía digital: E14B31D y E14B41A, Fotografías aéreas escala 1:75,000, Abril de 1999. INEGI).

7.7. Análisis de correlación

En Anexo 6, se presentan los resultados del análisis de correlación de los parámetros físicos y químicos evaluados, se observa que la CIE se correlaciona positivamente con la totalidad de las sales solubles (Cl, NO₃, SO₄, Ca, Mg, K, y Na), Ca y Na intercambiables, C.E., RAS, M.O. y Nt. Así mismo, la C.E. también se correlaciona significativamente con la totalidad de las variables químicas que son: sales solubles (Cl, NO₃, SO₄, Ca, Mg, K, y Na), Na intercambiable, CIE y PSI. En el mismo cuadro se puede observar que el Na intercambiable, Cl, NO₃, SO₄, y PSI son significativamente con algunas variables químicas. Por otra parte, se muestra que el Cl presenta un alto grado de asociación con el K soluble (0.86), el NO₃ con el Na soluble (0.82), El SO₄ con el Na soluble (0.93), el Ca soluble con el Mg soluble (0.95), el Na soluble con el RAS (0.94), la M.O. con el Nt (0.81), El Na intercambiable con el PSI (0.97) y CIE (0.85). Por otra parte, existe una correlación negativa de HCO₃ con el Ca intercambiable (-0.64). El pH presento correlaciones negativas con las variables: C.E., SO₄ y Nt.

Los macroagregados del suelo presentaron un alto grado de asociación con la estabilidad de agregados (0.92) y el DMP (0.96). Por otra parte, con las variables: microagregados, M.O., Mg y K intercambiables, fueron correlacionados negativamente. La estabilidad estructural del suelo con el DMP, fue significativa, en cambio con la MO se asocio negativamente.

Las variables que no presentaron ninguna correlación positiva y negativa con las variables evaluadas fueron CC y CO₃.

7.8. Discusión general

La agricultura de Mixquic ha existido desde tiempos precolombinos, a la fecha permanece la producción en chinampas, aunque cada día en menor superficie,

debido al crecimiento urbano de la ciudad de México, cuenta con una superficie de 600 ha en el ejido. Su producción agrícola se considera importante, debido a su producción intensiva durante todo el año, en donde se cultivan de 3 a 4 ciclos por parcela/año, en cada ciclo se realizan las labores de preparación del suelo, empleando maquinaria agrícola y mano de obra intensiva para las labores. En el riego se emplea el agua tratada, agua residual (negra) y mezclada (tratada + negra).

Sin embargo, los suelos se han insertado en un proceso general de degradación cotidiana, entre otras causas por el abuso de la aplicación de agroquímicos, el mal manejo de prácticas agrícolas, el uso intensivo de maquinaria y la mala calidad del agua. El conjunto de tales causas ha provocado un importante deterioro del agroecosistema, de particular interés para la investigación han sido la identificación y evaluación de las principales limitantes productivas ocasionadas, y los efectos sensibles de las mismas sobre la calidad de los suelos.

En la zona agrícola del ejido de Mixquic se encontró una gran dispersión de los valores obtenidos en las propiedades físicas y químicas, esto debido a que no hay un control en el riego. La diferencia en cada uno de los tres grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua, lo hace el rango de dispersión de los contenidos y la distribución de los porcentajes de las clases obtenidas en su interior.

7.8.1. Caracterización de las propiedades físicas del suelo

a).- **Estructura del suelo.** Los suelos evaluados presentaron un deterioro en su estructura, siendo los sitios irrigados con agua Negra donde se observó un predominio de agregados de diámetro pequeño, menor estabilidad estructural y mayor porcentaje de agregados acumulativos. En los mismos suelos se encontraron los valores más bajos de M.O. entre los suelos estudiados. En los sitios regados con agua Tratada presentaron un dominio de mayor estabilidad estructural y DMP.

El contenido de microagregados (agregados <0.25 mm) se considera cómo un buen indicador de la degradación estructural del suelo. En general los suelos evaluados se caracterizaron que el 61.9% de los sitios tienen un DMP de 0.2 mm, valor que

corresponde al rango de baja estabilidad. Algunos autores, indican que la intensidad de la labranza favorece la proporción de microagregados (Oades, 1984; Baldock y Kay, 1987; Magallanes, 1999; Sustaita *et al.*, 2000; Martínez, 2007). La principal causa del encostramiento, es el rompimiento de los agregados de la superficie del suelo en agregados de menor tamaño (microagregados), que provocan el taponamiento de los poros y el encostramiento superficial al presentarse lluvias de alta intensidad, que propicia el salpicado de partículas finas (Skujins, 1991; Le Bissonnais, 1996).

La proporción de macroagregados (agregados >0.25 mm) fue mayor en los sitios irrigados con agua Tratada y menor en los sitios irrigados con agua Negra.

Los parámetros estructurales evaluados definieron a los suelos irrigados con agua Tratada, Negra y Mezclada (T+N) de medios a muy inestables, con problemas de encostramiento. Los sitios irrigados con agua Negra presentaron un estado estructural de bueno a satisfactorio y los suelos regados con agua Tratada de excelente a no satisfactorio. Sustaita (1998), indica que los agregados de los suelos dedicados al uso agrícola son muy inestables, en donde los agregados son totalmente destruidos por la acción del agua sobre ellos. Desde el punto de vista de manejo del suelo, para mantener las propiedades físicas en condiciones adecuadas es fundamental que los agregados sean estables al agua (Blanck y Fosber, 1989; Boersma y Kooistra, 1994).

La agregación del suelo es un indicador útil para evaluar los efectos de las prácticas agrícolas (Skujins, 1991). En el caso de Mixquic la mecanización de los suelos y el empleo intensivo de mano de obra para las labores agrícolas pueden estar afectando la agregación del suelo. El deterioro de la estructura del suelo y los problemas que se han presentado con la producción mecanizada de los cultivos justifica reducir al mínimo la intensidad de las operaciones de laboreo apenas lo suficiente para mantener los rendimientos (Baldock y Kay, 1987; Oades, 1984).

b).- **Capacidad de retención de humedad.** En los tres grupos de suelos irrigados con diferentes tipos de agua fueron similares en su capacidad de retención de

humedad. Los suelos muestran un incremento considerable en la humedad aprovechable, debido a la gran cantidad de material orgánico que se aplica a los suelos y la que pudiera contener el agua residual. El exceso de materiales orgánicos agregados al suelo, causa problemas de drenaje que afectan el crecimiento de plantas y las condiciones de aireación (Zeng-Yei y Zueng-Sang, 1996).

Este resultado es asociado en general al elevado contenido de agregados pequeños, con base en los cuales se explican los altos rangos de humedad disponible en los suelos, en su caso aunada agronómicamente a una circunstancia territorial de una planicie inundable con una baja permeabilidad del suelo.

7.8.2. Caracterización de las propiedades químicas del suelo

a).- **Contenido de materia orgánica y nitrógeno total.** Los contenidos más altos de M.O. se encontraron en los suelos irrigados con agua Mezclada (T+N) de 11.5 a 14.7% y los valores bajos en los sitios irrigados con agua Negra (6.6 a 13.8%), los contenidos de Nt se encontraron en el mismo orden que la M.O. Lo cual coincide con lo encontrado por Ramos *et al.*, (2001) quienes reportan valores de M.O. de 11.3% y 12.9% respectivamente en las profundidades de 0-10 y 20-30 cm, en un suelo de Tláhuac; y Pérez (2007) en suelos del ejido de Mixquic reporto valores de M.O. de 7.67 a 13.4% y Nt de 0.32 a 0.67%, estos valores fueron similares a los encontrados en este estudio. Los suelos de esta región lacustre (exlago de Chalco) tienen altos contenidos de M.O., aunque no ayuda de mucho a la estabilidad de agregados siendo estos muy inestables.

Algunos autores mencionan que la materia orgánica es un factor de agregación en la recuperación estructural del suelo, reportando una correlación entre la M.O. y la agregación. Sustaita (1998) encontró una correlación significativa (0.81%) entre el contenido de microagregados y los contenidos de M.O., la cual en su estudio evidencio que la aplicación continua de M.O. al suelo causa la disminución en el contenido de agregados menores a 0.25 mm, mediante la formación y estabilización de macroagregados. En comparación, en este estudio los contenidos de M.O. fueron altos y no favorecieron la estabilización de agregados, por lo que no existe una

correlación positiva entre los contenidos de agregados, con el contenido de materia orgánica.

b).- **Propiedades químicas asociadas a la fertilidad del suelo.** Se observó que los suelos irrigados con agua Negra y Mezclada (T+N) tienen una ligera tendencia al aumento del pH, en cambio la C.E. tiende a disminuir en los mismos y aumentar en los suelos irrigados con agua Tratada. En el estudio predominó la categoría fuertemente alcalina ($\text{pH} > 8.3$). Estos valores coinciden con los resultados encontrados por Ramos *et al.*, (2001) y Pérez (2007) en un suelo de chinampa de Tláhuac y en suelos del ejido de Mixquic. De manera general se ha encontrado que la incorporación de residuos de cultivo reduce el pH del suelo mientras que las actividades de labranza lo incrementan (Lomelí, 1996).

En los suelos irrigados con agua Tratada se localizó el rango de dispersión más amplio de los contenidos de P-Olsen, aunque en general en todos los sitios evaluados sobrepasan el valor límite inferior de la categoría alta, de igual manera los valores altos de C.E. se localizaron en los mismos sitios. Los elevados contenidos de P-Olsen en los suelos del ejido, tal vez se explique por la utilización de diversos tipos de aguas residuales, ya que el agua Negra proviene del canal de Chalco y del pueblo de Mixquic, y los contenidos se pueden explicar, entre otros por los detergentes.

Todos los sitios estudiados se clasifican con contenidos altos de: M.O, N, P-Olsen, K, Ca, Mg, Na y CIE. En donde los sitios irrigados con agua Negra se localizaron los valores más bajos de Ca, Mg, K y Na intercambiables, al igual que la CIE, esto coincide con los contenidos más bajos de C.E., M.O., y Nt en los mismos sitios, esto se refleja en los valores más bajos de macroagregados y DMP. Los sitios irrigados con agua Tratada presentaron las cantidades más cuantiosas de Ca, Na y CIE entre los suelos evaluados, coincidiendo con los valores elevados de C.E. y P-Olsen, siendo estos sitios los que presentaron los contenidos más altos de macroagregados y DMP. Coincidiendo con el estudio realizado por Pérez (2007), en donde las concentraciones más altas de las variables evaluadas se localizaron en los sitios

tratados con agua tratada y las más bajas en los sitios tratados con agua negra. La sumatoria de las bases intercambiables es similar a los obtenidos por Pérez (2002), donde los suelos con agua residual tuvieron mayor CIC. De acuerdo con el INPOFOS (1988), la principal contribución al incremento de la CIC está relacionada con la cantidad de M.O. retenida en la matriz del suelo superficial. En el ejido de Mixquic los altos contenidos de M.O. se reflejó en la capacidad de intercambio efectiva con valores entre 40 a 90 meq/100g, por lo tanto los suelos tienen una capacidad de mantener una reserva nutrimental abundante para las plantas (Cottenie 1980).

c).- **Propiedades químicas en el extracto de saturación.** Los suelos evaluados presentaron un pH arriba de 7.8, con un promedio de 8.1, siendo el 90.5% de los sitios con clasificación alcalina. Pérez (1994) reportó un pH en el extracto de 8.3 en un suelo del ejido de Mixquic, siendo similar a los obtenidos en este estudio. En consecuencia el uso de aguas residuales induce el incremento en pH (Mace y Amrhein, 2001; Pocknee y Sumner, 1997). En cambio los valores más altos de C.E. se presentaron en los suelos irrigados con agua Negra, de igual manera para el Na. Observándose que a mayor contenido de Na, se incremento la C.E.

En cuanto a los cationes y aniones solubles se observó que en los sitios irrigados con agua Tratada presentaron los contenidos más elevados de Mg, Ca, SO_4 , Cl y NO_3 ; y los contenidos menos cuantiosos de HCO_3 y CO_3 . Los contenidos bajos CO_3 , favorecen las condiciones negativas hacia la sodificación, elevación de pH y la infertilidad en general. En los suelos irrigados con agua Negra se localizaron los contenidos menos cuantiosos de Ca, K, y Cl entre los sitios estudiados, excepto el Na que fue alto en estos sitios. El incremento en Na y otros cationes ocasiona una elevada acumulación de sales en los terrenos irrigados con el agua residual (Mace y Amrhein, 2001). En los suelos irrigados con agua Mezclada (T+N) se presentaron los contenidos más bajos de Na, Mg y NO_3 , y los valores altos de K, HCO_3 y CO_3 . El anión HCO_3 está muy relacionado al anión CO_3 , por lo que los contenidos en los diferentes grupos de suelos se comportaron en el mismo orden. La acumulación de

sales también puede ser causada por el uso persistente de fertilizantes o de aguas residuales industriales con concentraciones elevadas de compuestos tóxicos y sales (Debanay *et al.*, 1989).

En manera general, los cationes solubles estudiados en el extracto de suelo, se presentaron de la siguiente manera, el catión K, fue el que se encontró en menor proporción, seguido del Ca y Mg; y el que se presentó en mayor cantidad fué el Na. La presencia menos cuantiosa de los aniones solubles fue el CO₃, sucesivamente de los HCO₃, NO₃, Cl, y el más dominante fué el SO₄. Las sales, en altas concentraciones, ejercen efecto osmótico sobre las plantas, y disminuyen su capacidad de absorción de agua (Allison *et al.*, 1985). Las concentraciones de sales solubles fueron inferiores a las reportadas por Ramos *et al.*, (2001) en la capa arable de un suelo de Tláhuac, pero coincidieron en el mismo orden de concentración.

d).- **El efecto de la salinidad-sodicidad.** De manera general, el 40% de los suelos evaluados presentaron un PSI de 15 a 20, clasificándose como moderada, y el 50% de fuerte a extremada con PSI>20. Siendo los valores más altos de PSI en los sitios irrigados con agua Tratada (PSI 15-45), y los más bajos en los sitios irrigados con agua Negra. Pérez (1994) reportó un PSI de 49 en un suelo del ejido de Mixquic irrigado con agua tratada, similar al valor más alto encontrado en este estudio. De forma similar, Arana (1990) en los suelos del exlago de Texcoco, encontró que en los suelos tratados con agua tratada el PSI fue mayor que los suelos irrigados con agua negra, los resultados fueron similares a los obtenidos en este estudio. Pérez (2002) reporta PSI>15 en suelos irrigados con agua residual.

En los sitios irrigados con agua Negra se presentó un promedio de RAS de 15.16. y en los sitios irrigados con agua Mezclada (T+N) se presento un RAS de 7.63. En consecuencia, los valores son considerablemente altos para garantizar el desarrollo de la mayoría de los cultivos (WFH, 1975; Mace y Amrhein, 2001; Evans, 1997).

En cuanto a la salinidad-sodicidad de los suelos, se pudo observar que las clasificaciones que predominaron en los grupos de suelos fueron Sódicos-Salinos y Sódicos, siendo los suelos irrigados con agua Mezclada (T+N), en donde se localizo

un 12.5% de suelos sin problemas de salinidad y sodicidad, en cambio en los suelos irrigados con agua Negra son los más afectados. Pérez (1994), Ramos *et al.*, (2001) y Reyes *et al.*, (2004) clasificaron a los suelos de chinampa y ejido de Mixquic como suelos salino sódico, con alta C.E. Lo anterior, además de alcalinizar el suelo, genera potencialmente contaminación del nivel freático por el alto contenido de sales solubles. Fernández (1972), menciona que el problema de las zonas ensalitradas en los terrenos bajos, se deriva de un mal manejo del agua de riego, ya sea por mal drenaje, mala calidad del agua o sencillamente mal manejo.

7.9. Prácticas agrícolas y efecto del manejo en las propiedades del suelo en el ejido de Mixquic

Las principales labores agrícolas realizadas en el ejido de Mixquic, se comentan en relación con los valores obtenidos en los parámetros físicos y químicos, en donde de alguna manera se podría justificar dichos resultados, así mismo se muestran las Figuras de las labores, y entre otras, que fueron obtenidas en el transcurso que se realizó la presente investigación.

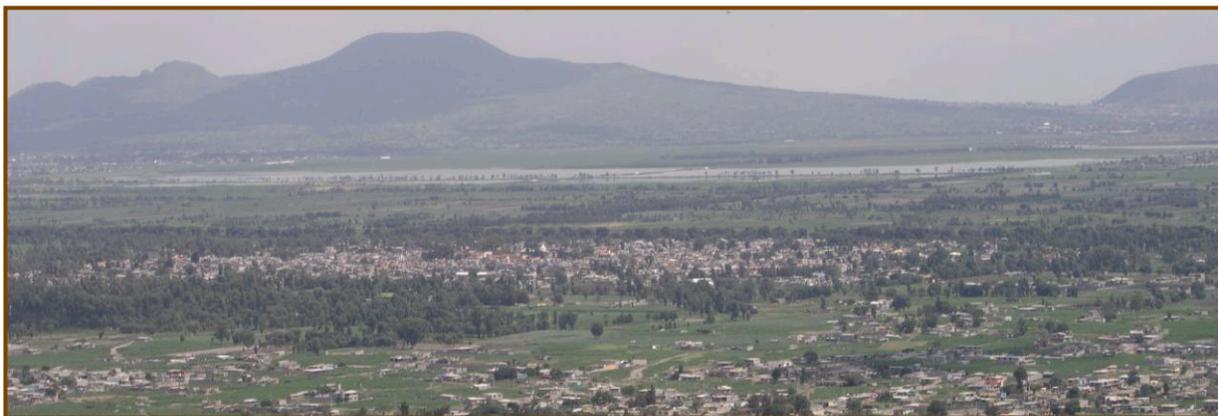


Figura 23. Vista panorámica de la localidad de San Andrés Mixquic, Distrito Federal.

San Andrés Mixquic, es originariamente desde tiempos precolombinos, un pueblo campesino, que hasta la fecha de hoy conserva sus características rurales (Figura

23) y cultivan en chinampas, cuyo paisaje es inconfundible por el agua en los canales y los ahuejotes (*Salix bonpladiana*) en las orillas de las chinampas (Olivares, 2007).



Figura 24. Agricultura chinampera y agricultura de riego en el ejido de Mixquic.

En la actualidad en el territorio de Mixquic, se conocen dos tipos de agricultura: 1) la agricultura chinampera (Figura 24, izquierdo); y la agricultura de riego (Figura 24, derecha). Esta última es prácticamente en el ejido de Mixquic y Axolocalco. Cabe destacar que la actividad agrícola tiene importancia para la comunidad debido a que es la principal fuente de ingresos para numerosos productores y sus familias; que desarrollan un proceso de producción, basado predominantemente en el trabajo intensivo que aporta la familia (Olivares, 2007; Pérez, 2007).



Figura 25. Extracción de lodo de los canales, para la elaboración del almacigo.

En la Figura 25, se muestra la elaboración del almacigo, que es la clave del sistema chinampero y ahora utilizado en la agricultura de riego, se realiza de forma tradicional. La plántula es transplantada con el sustrato, ya que la experiencia de los agricultores es que el sustrato contiene nutrimentos y materia orgánica. De alguna

manera puede reflejarse en los altos contenidos de cationes intercambiables y materia orgánica en las parcelas evaluadas (Cuadro 25, Figura 12, 15 y 16).

De manera generalizada, el proceso de elaboración del almacigo y obtención de plántula se lleva a cabo de la siguiente manera: 1) Elaboración del cuadro, con bordos a los lados que sirven para sostener el lodo; 2) Extracción de lodo de los canales, es sacado con un aro conocido localmente como *cuero*, sostenido de una garrocha de 4 metros \pm de largo, el lodo es depositado en una canoa, incorporándole un poco de estiércol bovino, y es acarreado con cubetas, carretilla ó el mismo *cuero* dependiendo de la cercanía del establecimiento del almacigo; 3) Extendido del lodo, se extiende uniformemente a un grosor de 10 cm de altura aproximadamente y se deja orear una tarde o una noche; 4) Elaboración de *chapines*, con la ayuda de un rastrillo de madera que contiene de 15 a 20 clavos a una distancia de 2 cm, rayan verticalmente y horizontalmente para forman cuadros de 2 x 2 cm, localmente conocido como *chapin*; 5) Agujerado, con una espiga de maíz, tallo de lirio ó con el dedo de la mano se realizan huecos en cada uno de los *chapines*; 6) Ensemillado, se coloca una semilla en cada una de las cavidades; 7) Cortado, con la ayuda de un punzante asemejándose a un pica hielo pero a una dimensión de 1.5 metros \pm , se cortan cuadros de 8 x 8 *chapines*, conocido como *tlapehuatl*; 8) Tapado, esto se realiza para cubrir los huecos llenándolos de estiércol seco ó aserrín, para uniformizar la capa se barre con una rama, posteriormente se protege con pasto, nailo ó malla sombra. Subsecuentemente se le hace de uno a dos riegos, algunos productores acostumbran a realizar un tratamiento de control de plagas y enfermedades. Siete días antes del transplante se arranca los *tlapehuales* con la ayuda de una pala recta, con el fin de que la plántula no se estrese en el momento de la plantación, estos son depositados en cajas de plástico para ser transportadas a las parcelas, ó en carretilla cuando la parcela esta cerca.



Figura 26. El agua tratada es utilizada en Mixquic para el riego de los cultivos.

En la Figura 26 y 27, se muestran los tipos de agua utilizada para el riego, la cual el agua tratada en su trayecto hacia las parcelas se mezcla con el agua residual, donde

se ve el grado de contaminación del agua que lleva el cauce. Uno de los factores del problema de las zonas ensalitradas en los terrenos bajos, se deriva de un mal manejo del agua de riego, como es la mala calidad. Los altos contenidos de sales solubles, C.E. elevada y pH alto en los suelos evaluados (Cuadro 28 y 30) no se descarta que estos tipos de agua influyan en sus valores, aunque Pérez en 1994, ya había clasificado a una parcela del ejido regada con agua tratada como Salino-Sódico con alta C.E.



Figura 27. El agua sin tratar proveniente del río Amecameca (canal de Chalco).

En Mixquic, actualmente sobresale el cultivo de romerito (*Suaeda diffusa*) (Figura 28, en el centro) que ocupa el primer lugar en producción en México y que junto con el brócoli (*Brassica oleracea*) (Figura 28, izquierdo) son los de mayor superficie cultivada en Mixquic, seguido de verdolaga (*Portulaca oleracea*) (Figura 28, derecho), entre otras de menor superficie, con los cuales se integran las principales rotaciones de cultivo existentes, en donde se cultivan de 3 a 4 ciclos por parcela/año, lo que lo hace un sistema intensivo de incorporación de materia orgánica a partir de los residuos de cosecha. De acuerdo a la literatura el romerito y la acelga son aptos para estos tipos de suelos (Cuadro 29, 31, 33, y 34).

Los altos contenidos de Na soluble en las parcelas evaluadas (Figura 19), que influyen en la dispersión de los agregados, aunado a la mecanización de los suelos y la frecuencia de las intervenciones culturales (Figura 29 y 30) provocan el deterioro de la estructura del suelo, favoreciendo el predominio de microagregados (Cuadro 19 y 20), los cuales provocan el taponamiento de los poros y el encostramiento superficial al presentarse lluvias de alta intensidad, que propicia el salpicado de las

partículas finas. Actualmente con el cambio climático en el Valle de México se han presentado lluvias de este tipo, por lo que a un futuro se corre el riesgo que los suelos presenten una severa degradación.



Figura 28. Principales cultivos sembrados en el ejido de Mixquic: brócoli, romerito y verdolaga.

Otra de las desventajas de la labranza, sería que tiende a disminuir las tasas de infiltración, lo que sería un factor que el tipo de agua utilizada (Figura 26 y 27) no filtre y sea la acumulación de sales en la capa arable del suelo.



Figura 29. Preparación del suelo con maquinaria agrícola en el ejido de Mixquic.



Figura 30. Labores agrícolas en el ejido, empleando una intensa mano de obra.

En la Figura 29, 30 y 31, se puede observar que los agricultores han sabido conjugar las prácticas modernas y las llamadas tradicionales en sus actuales sistemas producción, en donde emplean una intensa mano de obra, además de ser un sistema de producción prehispánico. Algunos autores consideran que el laboreo del suelo influye en la estructura y grado de agregación, reduciendo el tamaño de agregados en los suelos (Cuadro 19, 21, y 22).



Figura 31. El *cuadreo* ó *encamellonado*, es una práctica que se realiza manualmente, para el control de riego.

El *cuadreo* ó *encamellonado* como se conoce localmente, se realiza de manera manual empleando una herramienta en forma de azadón, que puede ser de fierro ó madera con la que se realizan pequeños bordes para el *encajonado*, donde van cortando para formar divisiones (cuadros), con este mismo instrumento perfeccionan los caños para la distribución del agua en los cuadros.

En la Figura 32 se muestra la práctica del *mateado*, la cual puede deberse a los altos contenidos de materia orgánica, nutrimentos y capacidad de intercambio efectiva en los suelos (Cuadro 25; Figura 12, 13, 14, 15 y 16), por lo tanto la fertilidad del suelo

ha podido mantenerse mediante esta práctica. La materia orgánica en las parcelas del ejido de Mixquic se clasifican como muy ricos, pero debido a que esta es muy lábil, su mineralización se intensifica con la labranza (Franzluebbbers *et al.*, 1999).



Figura 32. El *mateado* es una práctica que se realiza para cultivos de transplante.

La práctica del *mateado* se realiza manualmente y de manera inmediata a la preparación del suelo, empleando un tipo de *coa* mesoamericana, con la que se realizan los *cajetes*, en donde se deposita un puño de estiércol bovino, gallinaza, composta, ó tierra amarilla (*lama*); donde se colocaran las plántulas, posteriormente se tapa y se realiza el primer riego.

El estiércol bovino lo aplican de uno o dos días antes del transplante. La tierra amarilla ó *lama* son sedimentos del río Amecameca que afloran a la superficie cuando se desborda, o bien cuando se desasolva, este sustrato es utilizado después de un proceso de secado. El lodo de los canales, también es utilizado en el *mateado*, su forma de aplicación es la misma, la diferencia es que se le aplica una pequeña cantidad lo que es una cuchara sopera y se riega inmediatamente. Cuando desolvan los canales los agricultores aprovechan el lodo.

En la Figura 22, se puede observar la distribución de las clases de salinidad y sodicidad de los suelos del ejido de Mixquic, en donde casi siempre se reconocen los suelos



Figura 33. Características de un suelo salino en el ejido.

salinos por la presencia de costras blancas de sal en su superficie (Figura 33, izquierda). Las plantas usualmente presentan achaparramiento con una variabilidad

considerable en su tamaño. En brócoli y en otros cultivos, generalmente desarrollan una coloración verde-azulosa notable, cuando crecen en suelos salinos, y se ven manchones sin plantas (Figura 33, derecha).



Figura 34. Característica de un suelo sódico en el ejido.

En los suelos altamente sódicos, la materia orgánica dispersa y disuelta puede depositarse en la superficie debido a la evaporación, causando así un ennegrecimiento y dando origen al término “álcali negro” (Figura 34).



Figura 35. Formación de costra dura en un suelo del ejido.

Los suelos que tienen baja permeabilidad estructural, se dispersan y desmoronan cuando son mojados por la lluvia o el agua de riego y pueden formar una costra dura cuando la superficie se seca (Figura 35). Esta costra representa un serio problema para la emergencia de las plántulas y en ciertos cultivos es la causa principal de que se obtenga una pobre población de plantas.



Figura 36. Corte de apio y apreciación del tipo de maquinaria para la preparación de suelo en las parcelas del ejido.

De manera general, el empleo de maquinaria agrícola sobre el terreno; el tránsito de vehículos en las parcelas; el pisoteo por personas y prácticas intensivas de labranza en el ejido de Mixquic (Figura 36 y 37), significa una compactación y degradación en la estructura del suelo, que pudiera estar afectando negativamente los macroagregados (Cuadro 19 y Figura 7), la estabilidad estructural (Cuadro 21), la retención de humedad (Cuadro 24 y Figura 9) y la concentración de sales en la capa arable (Cuadro 28; Figura 18 y 19), este último por el tipo de agua empleada para el riego (Pág. 12; Cuadro 2; Figuras 26 y 27), sufriendo de costras superficiales, debido a las bajas tasas de infiltración por la elevada proporción de agregados pequeños en los suelos (Cuadro 20).



Figura 37. Corte de brócoli en una parcela del ejido de Mixquic.

En la Figura 38 se observa que el año 1970, la zona chinampera y la agricultura de temporal todavía eran bastante extensas en relación con la zona urbana, y por lo tanto la agricultura era la actividad principal. En el 2000 ya se observa la agricultura de riego con el agua tratada proveniente del cerro de la estrella.

En los últimos nueve años, la superficie agrícola sembrada en el Distrito Federal ha disminuido en más de 2,000 ha, al pasar de 26,982 ha en 1999 a 24,356 ha en 2006 (Reforma, 2008). A pesar del nivel de urbanización de la Ciudad, cerca de 16 por ciento de la superficie del Distrito Federal sigue siendo de uso agrícola, de acuerdo con los datos de la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del D.F.

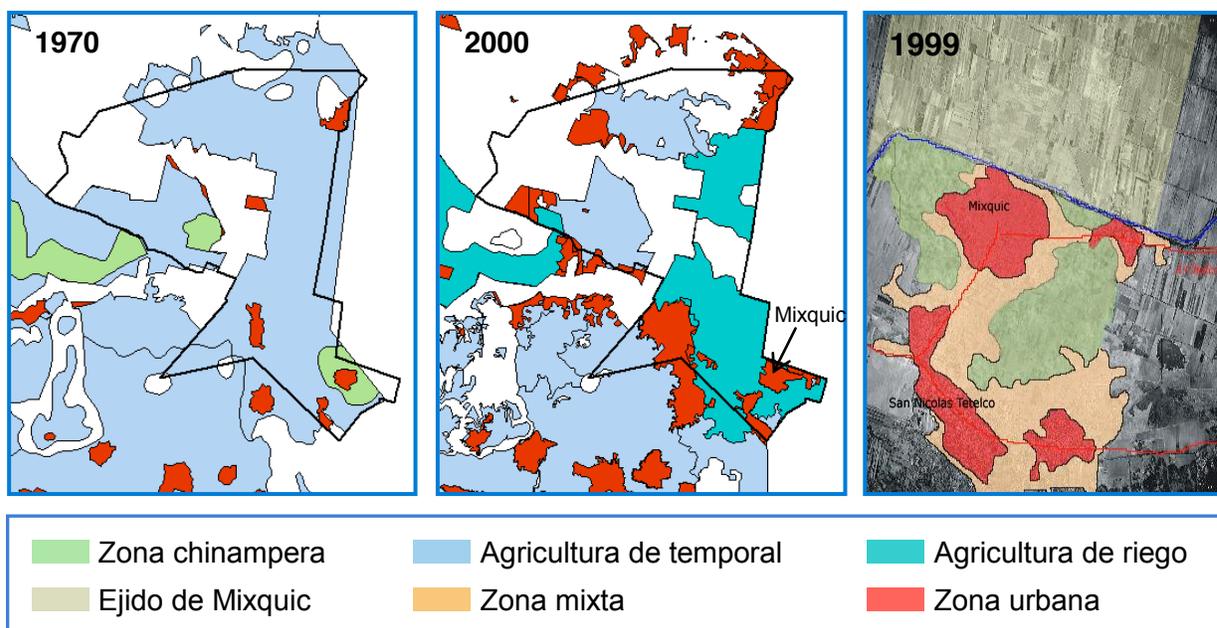
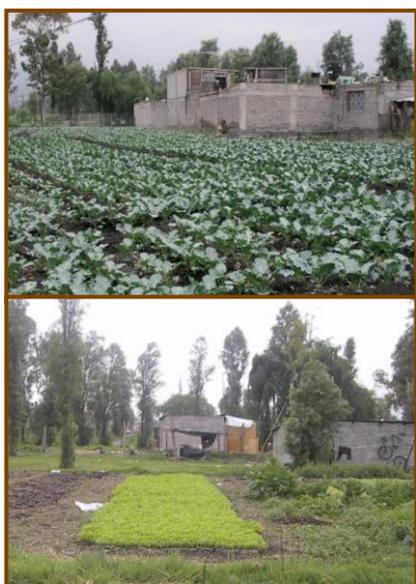


Figura 38. El crecimiento urbano en 1970 a 2000, en la Delegación Tláhuac y en Mixquic (a partir de CONABIO, 2003; Le Jeloux y Olivares, 2006).



El crecimiento de la población ha impactado de manera negativa a la agricultura debido al incremento de la demanda de la tierra agrícola, lo que ha llevado a la intensificación de cultivar de 3 a 4 ciclos al año en una misma parcela, repercutiendo en la mecanización de los suelos, mano obra intensiva en sus labores, uso de agroquímicos, uso de agua tratada y residual, estos afectando la calidad agronómica de los suelos.

Figura 39. Asentamientos urbanos en la zona agrícola de Mixquic.

8. CONCLUSIONES

Los resultados derivados del presente trabajo de investigación y descritos previamente, son la base para llegar a las siguientes conclusiones:

Los suelos presentaron una estabilidad estructural de media a muy inestables; el 62% de los sitios, presentó un promedio de DMP de 0.2 mm; una alta capacidad de retención de humedad y pH alcalino.

Los suelos son ricos en materia orgánica; los nutrientes (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺) se encontraron en las categorías altas; CIE >42 meq/100g; pH >8; PSI >15 en la mayor parte de los suelos; se presentó un dominio en las clasificaciones de suelos sódicos-salinos y suelos sódicos; las sales solubles se encontraron en el siguiente orden de concentración: Na⁺>Mg²⁺>Ca²⁺>K⁺, y SO₄²⁻>Cl⁻>NO₃⁻>HCO₃⁻>CO₃²⁻.

Los indicadores de Estabilidad Estructural, C.E. en extracto de saturación y Na⁺, soluble, mostraron una dispersión en los valores obtenidos y una variabilidad de clases en el interior de los grupos de suelos regados con diferentes tipos de agua, clases en que se diferenciaron los grupos de suelos. Por tanto, la Estabilidad Estructural, C.E. y Na soluble se podrían considerar como un indicador para evaluar el impacto de las prácticas agrícolas a un futuro sobre la calidad de los suelos en el ejido de Mixquic.

Los sitios irrigados con agua Negra presentaron predominante existencia de microagregados, además entre los suelos estudiados se encontraron en este grupo los contenidos menos cuantiosos de nutrientes y CIE; así como las concentraciones bajas de sales solubles de Ca²⁺, K⁺, y Cl⁻.

Los sitios regados con agua Tratada presentaron en su mayoría una mejor distribución de agregados, pero aún así no son suelos con una buena estabilidad estructural. Su deterioro estructural, puede explicarse en parte por la intensidad de utilización del suelo y la consecuente frecuencia en la labranza del suelo.

El pH y C.E. en el extracto de suelo, fueron los parámetros que sirvieron para confirmar que los sitios evaluados se diagnosticaran como suelos moderadamente salinos a salinos.

Las prácticas agrícolas como el *mateado* y la producción de plántula realizadas en el ejido de Mixquic, propician la fertilidad de los suelos, lo cual se ve reflejado en los altos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo Olsen, cationes intercambiables, y capacidad de intercambio efectiva.

Los agricultores de Mixquic han desarrollado sus propios sistemas de producción, manteniendo algunas prácticas del sistema chinampero, en donde existe una gran inversión de mano de obra familiar y asalariada, en los procesos productivos, favoreciendo la generación de empleos, ingreso y la economía local. Los cultivos como el brócoli, apio y espinaca de alguna manera se han adaptado a los suelos salinos, en cambio el romerito, la acelga y la verdolaga se cultivan en suelos salinos, restrictivos para numerosos cultivos.

9. RECOMENDACIONES

Del presente trabajo de investigación se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

Conservar la práctica del *mateado* (aplicación de abonos orgánicos) que se realiza en el ejido, para mantener la fertilidad de los suelos, estimular la actividad de la fauna del suelo e inducir la formación y estabilización de agregados de tamaño adecuado.

La reducción de labranza (la reducción puede ser en el número de labores), tienen el potencial para minimizar la degradación del suelo resultante de la labranza excesiva. Es de fundamental importancia la conservación del suelo y agua, lo que se logra en parte con los sistemas de labranza que involucren el menor número de labores al suelo.

Realizar un estudio de la situación de los micronutrientes, para conocer con especial énfasis sus contenidos en los suelos alcalinos del ejido de Mixquic; así como estudios de la calidad del agua que se emplea en el riego de las hortalizas.

10. LITERATURA CITADA

- Adriaanse, A. 1993. Environmental performance indicators. A study in the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. SUK. The Netherlands.
- Aguilera, C. M., y Martínez, E. R. 1980. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Departamento de Enseñanza Investigación y Servicios en Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. 321 p.
- Alcalá R., J. M., Carreón P., A., Rodríguez R., H. y Rivera O., P. 1992. Levantamiento nutricional del cultivo del maíz (*Zea mays*), en la región de Hidalgo, Tamaulipas. Pp 129. *In*: Tovar S., J. L. y Quintero L. R. (Eds.). La investigación Edafológica en México 1991-1992. Memorias XXIV Congreso Nacional de la Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Acapulco, Gro. México.
- Allison L., E., J. Brown W., H. Hayward E., L. Richards A. 1985. Determinación de las propiedades de Suelos Salinos y Sódicos. *In*: Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Richards L. A. (ed). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa. México. 172 p.
- Arana Muñoz, O. E. 1990. Efecto de la aplicación de tres ácidos fuertes y aguas residuales sobre algunas propiedades físicas y químicas de los suelos del ExLago de Texcoco. Edafología. Colegio de Postgraduados. México.
- Arshad, M. A, and G. M. Cohen. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *Am. Journal Alternative Agriculture*. 7:25-31.
- Asociación Agrícola Local de San Andrés Mixquic. 2004. Producción y comercialización de productos hortícolas seleccionados, en la zona agrícola del Distrito Federal, Méx. CORENA-Ecoglobal. 125 p.
- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, 29. FAO. Roma. 174 pp.
- Baldock J. A. and B. D. Kay. 1987. Influences of cropping history and chemical treatments on the water-stable aggregation of a silt loam soil. *Can. J. Soil Sci.* 67:501-511.
- Bautista, C. M. A. 2001. Indicadores de la calidad del suelo en tres cronosecuencias de bosque mesófilo. Sierra norte, Oaxaca. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Blanck, R. R. and M. A. Fosber. 1989. Cultivated and adjacent virgin soil in Northern South Dakota: I. Chemical and physical comparisons. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 3: 1484-1490.

- Boersma, O. H. and M. J. Kooistra. 1994. Differences in soil structure of silt loam Typic Fluvaquent under various agricultural management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 51: 21-42.
- Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*. 9: 177-213.
- Breewisma, A.; J. H. M. Wosten; J.J. Vleeshouwer; A M. Slobbe, and J. Bouma. 1986. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. *Soil Sci. Society of American Journal* 50:186-190.
- Brito V., H. 1997. Levantamiento nutrimental de los tepetates de la sierra Nevada del Estado de México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Amecameca, Méx. 74 p.
- Carter, M. R; E G. Gregorich; D. W. Anderson; J. W. Doran; H. H. Janzen, and F. J. Pierce. 1997. Concepts of soil quality and their significance. P 1-19 *In*: E G. Gregorich and M. Carter (ed.) *Soil quality for crop production and ecosystem health*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Cazares G., L. R. 1998. Evaluación del estado nutrimental de los alfalfares del Valle de México. Tesis MC. Colegio de Postgraduados. Edafología. 193 p.
- Cody, R. O. and J. K. Smith. 1991. *Applied Statistics and the SAS Programming Language*. North-Holland, New York.
- CONABIO. 2003. Base de datos CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). SIG.
- Cottenie A. 1980. Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. *Boletín de suelos de la FAO* 38-2. FAO. Roma, Italia.
- Cruz H., Ma. De L. 1990. Establecimiento de la dosis de fertilización fosfatada para maíz y cebada en suelos de Tlaxcala, mediante un modelo integral simplificado. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- CSTPA. 1980. *Handbook on reference methods for soil testing (Revised edition)*. Council Soil Testing and Plant Analysis. Athens Georgia, USA.
- Cuanalo de la C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Debanay, J. P., J. Pagés and P. S. Diouf, 1989. Ecological zonation of hypersaline estuary of Casamance River (Senegal): For-aminifera zooplankton and abiotic variables. *Hydrobiologia* 174: 161-176.
- Dexter, A. R. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effect of soil texture, density, and organic matter, and effect on root growth. Article in press, *Geoderma*.
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH). 2000. Informe anual del contenido de sólidos, metales alcalinos y región ion eos, y metales pesados del agua de tratamiento del Cerro de la Estrella. Subdesarrollo Tecnológico, Departamento del Distrito Federal 13 p.

- DGDER (Dirección General de Desarrollo Económico y Rural – Tláhuac). 2004. Programa de trabajo 2004, Delegación Tláhuac. San Pedro Tláhuac, D.F. 52 p.
- Doran, J. W. A and T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *In*: J. W. Doran, o. C. Coleman, o. F. Bezdicek, and B. A. Stewart. (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Doran, J. W. A., and A. J. Alice. 1996. Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Pub. No. 49. ASA, CSSA, and SSSA. Madison.
- Doran, J. W. A.; A. Sarrantonio, and M. A. Liebig. 1996. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* 56:1-54.
- Espinosa G., F. J. y J. Sarukhán, 1997. Manual de malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- Etchevers B. J. D., Espinoza G., E. Riquelme. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes. 2da. Edición, Corregida. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillan, Chile.
- Etchevers B., J. D. 1987. Determinación de nitrógeno en suelos. Pp. 45-79. *In*: Aguilar S., A., Etchevers B., J. D. y Castellanos R., J. Z. (Eds.) *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Etchevers B., J. D. 1994. El diagnóstico visual como apoyo para la fertilización. *Agroproductividad Colegio de Postgraduados*. Enero (1994):15-19.
- Etchevers B., J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Rev. Terra* 17(3):209-219.
- Etchevers B., J. D.; A. Trinidad S.; S. Guerrero M.; A. Pérez G.; D. García L. y G. Morfín R. 1985. Levantamiento nutricional del maíz en la sierra Tarasca de Michoacán. *Agrociencia* 60:143-154.
- Evans, C. V. 1997. Anthraquic conditions in nonagricultural soils: a proposal and case study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:556-559.
- FAO. 1984. Proteger y producir. Conservación del suelo para el desarrollo. Roma, Italia.
- FAO-UNESCO. 1973. Irrigation, drainage and salinity. HUTCHINSON-FAO-UNESCO. Great Britain.
- Fernández, G. R. 1972. El problema de salinidad de suelos en México y trabajos de recuperación de tierras ensalitradas. *Bol. Inform. Soc. Méx. De la Ciencia del Suelo*.
- Finck, A. 1995. From the fertilization of crops to the management of nutrients in crop rotations and farming systems. An overview. *Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* FAO, Rome. 12: 67-82.

- Franzluebbers, A. J., G. W. Langdale, and H. H. Schomberg. 1999. Soil carbon, nitrogen and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 349-355.
- García de M., E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta edición. México. 217 p.
- Gregorich, E. G.; M. R. Carter; D. A. Angers; C. M. Monreal, and B. H. Ellert. 1994. Toward a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* 74:367-386.
- Gupta R., K.; Chhabra, R. and Abrol, I. P. 1981. The relationship between pH and exchangeable sodium in a sodic soil. *Soil Science.* 131 (4):215-219.
- Gutiérrez C, Ma. Del C., C. A. Ortiz S. y P. Sánchez G. 2003. Edafología General. Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 74-84 pp.
- Harris, R. F., and O. F. Bezdicek. 1994. Descriptive aspects of soil quality. *In: J. W. Doran, O. C. Coleman, O. F. Bezdicek, and B. A. Stewart. (eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.*
- Harris, R. F.; O, lo Karlen, and O. J. Mulla. 1996. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. *In: J. W. Doran and H. J. Jones (eds.), Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication No. 49. Madison, Wis. USA.*
- Hernández, G. A. 2000. Manejo fitosanitario y producción de romerito (*Suaeda diffusa* Wats) en Mixquic, Delegación Tláhuac, D.F. Tesis Licenciatura. Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Méx.
- Hilgard, E. W. 1906. Soils. Their formation, properties, composition, and relations to climate and plant growth. 593 pp., illus. New York and London.
- Hodgson J., M. 1987. Muestreo y descripción de suelos. Editorial Reverte, México, D.F.
- Homer-Dixon, T. F., J. H. Boutwell, and G. W. Rathenfs. 1993. Environmental change and violent conflict. *Sci. Am.* 268 (2):16-23.
- Hünemeyer, A. J., De Camino, R. y Muller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica. Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- INEGI. 1980. Carta Edafológica E14B41 – Amecameca. Escala 1:50 000. Aguascalientes, México.
- INEGI. 2001. Principales resultados por localidad. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. CD Magnético.
- INEGI. 2003. Aspectos Geográficos del Distrito Federal (<http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>).

- INEGI. 2007. II Censo de Población y Vivienda 2005 (<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/region/sistemas/cento2005/iter2005/selentcampo.aspx>).
- Infante, G. S., y Zárate de L. G. P. 1984. Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Ed. Trillas. México.
- INPOFOS. 1988. Manual de fertilidad de los suelos. Potash & Phosphate Institute. Querétaro, México.
- Jackson, M., L. 1976. Análisis químico de suelos. Traducción al español J. B. Martínez. Edit. Omega. Barcelona, España.
- Jiménez, B. 2008. Verdolaga, una alternativa de cultivo bajo invernadero. AGROTLÁHUAC, es editado por la Dirección General de Desarrollo Económico y Rural de la Delegación de Tláhuac. <http://www.geocities.com/agrotlahuac/verdolaga.html>. Fecha de consulta: 18/07/08
- Jiménez O. J. y P. Núñez. 1993. La producción en chinampas diversificadas de San Andrés Mixquic, México, D. F. en Ferrera-Cerrato (ed). Agroecología sustentabilidad y educación. Colegio de Postgraduados. México. Pp. 62-74.
- Johnson, D. I., and A. Lewis. 1995. Land degradation. Creation and Blackwell Publishers. UK.
- Jones, B. J. and B. Wolf. 1984. Manual soil testing procedure using modified (Wolf) Morgan extracting reagent. Benton Laboratories INC, Athens Georgia, USA.
- Jury, W. A., Gardner, W. R., and Gardner, W. H. 1991. Soil physics. John Wiley Sons. New York.
- Karlen, D. L., Andrews, S. S. and Doran, J. W. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy* 74:1-40.
- Karlen, D. I.; M. J. Mausbach; J. W. Doran; R. G. Cline; R. F. Harris, and G. E. Schuman. 1997. Soil quality a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc Amer. Journal* 61:4-10.
- Kemper, W. D. and Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. *In: C.A. Black (ed.) Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Number 9 in the series Agronomy. Madison, Wisconsin.*
- Kennedy, A. C., and R. I. Papendick. 1996. Microbial characteristics of soil quality. *In: SOL 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Agricultural Research Service. USA.*
- Lal, R. 1999. Soil quality and food security: the global perspective. *In: Lal, R. (ed). Soil Quality and Soil Erosion. CRC Press. Boca Raton, FL.*
- Lal, R., and B. A. Stewart. 1990. Soil degradation. *Advances in Soil Science. Vol 11. Springer-Verlag. New York.*
- Landon, J. R. 1984. Booker tropical soil manual. Booker agriculture international limited. Londres, Inglaterra.

- Larson, W. E. and F. J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. *In: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol. 2 IBSRAM Proc. 12(2). Bangkok, Thailand. Intl. Board for Soil Res. And Mgmt.*
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: theory and methodology. *European Journal of Soil Science. 47:425-437.*
- Le Jeloux, J. y Olivares R., F. 2006. Investigación de campo y gabinete sobre el crecimiento urbano del área de Mixquic. *Desarrollo Rural-Colegio de postgraduados.*
- Lomelí V., G. 1996. Cambios antropogénicos de los vertisoles de la cuenca del arroyo Ucum, Quintana Roo. Tesis de maestría. CEDAF-CP, Montecillo, México. 228 p.
- Mace, J. E., and C. Amrhein. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. *Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 199-204.*
- Magallanes E, A. 1999. Efecto de la estabilidad de agregados y la labranza en el rendimiento y acumulación de nitratos en el sistema suelo-planta. *Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Tesis M.C. Edafología. 153 pp.*
- Martínez T, S. 2007. La agregación del suelo como indicador de calidad en un ecosistema tropical seco. *Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Tesis M.C. Edafología. 108 pp.*
- Moreno D. R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. *INIA-SARH, México, D.F.*
- Moroto Borrego, J. V. 2002. *Horticultura Herbácea Especial. 5ta edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.*
- Navarro, B. A., B. Figueroa, V. M. Ordaz y F. V. González. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *TERRA 18:61-69.*
- NOM-021-RECNAT-2000. NORMA Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial. Segunda Sección, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Martes 31 de diciembre de 2002 (Tercera Sección). Pp 90-169.*
- Oades J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil. 76:319-337.*
- Olivares R, F. 2007. *Agricultura campesina, cambio y permanencia: el caso de Mixquic. Tesis Doctorado en Antropología Social. Universidad Iberoamericana. México. 318 p.*
- Olivares, H. G.; M. Soto V. y M. Arellano A. 1993. Producción y comercialización del romerito (*Suaeda diffusa* Wats) en San Andrés Mixquic, Tláhuac, D.F. *Dpto. de Economía Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.*

- Olsen, S. R. and L. A. Dean. 1965. Phosphorus. *In*: C. A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9:035-1049. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA.
- Ortiz S. M.; M. Anaya G.; J. W. Estrada Berg. 1997. Evaluación, cartografía y alícticas preventivas de la degradación de la tierra. CONAZA-CP.-UACH. México.
- Padilla C., J. y Olvera T., E. 1991. Métodos de análisis químico de suelos y plantas: muestreo, preparación de la muestra, digestiones y extracciones. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Dpto. Suelos. 205 p.
- Palacios V., E. 1980. Método para estimar la tensión de humedad del suelo en función del contenido de humedad. Boletín técnico No. 14. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de irrigación. Chapingo, México. 16 p.
- Parr J. F.; R. Papendick; S. B. Hornick, and R. E. Meyer. 1992. Soil quality: tributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Journal of Alternative Agriculture* 7: 5-11.
- Peck, T. R., J. T. COPE, and D. A. Whitney. 1997. Soil testing. Correlating and interpreting the analytical results. ASA Special Publication Number 22. American Society of Agronomy, Madison, WI. 117 p.
- Pérez H., L. F. 1994. Mejoramiento físico-químico de un suelo salino-sódico de la región de Mixquic, Distrito Federal; utilizando yeso puro y agua tratada de la zona, lavando a diferentes volúmenes porosos: 0 y 0.4438-0.8756. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Hidrociencias. 135 p.
- Pérez-Zamora, O. 2002. Efecto de la aplicación de aguas residuales industriales en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia* 36: 279-290.
- Pérez O, M. A. 2007. Residuos de plaguicidas organofosforados y metales pesados en brócoli (*Brassica oleraceae var. itálica*) en Mixquic, D.F. Tesis Doctorado en Horticultura. Dpto. de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 118 p.
- Pérez O., M. A.; Vázquez A., A.; García M., R.; Colinnas L., T.; Pérez G., M. y Navarro G. H. 2006. Contenido de Pb, Cd, Ni y Zn y tasas de transferencia en suelos de Mixquic. *En*: Alternativas para la Rehabilitación de Suelos Contaminados con Metales Pesados y Metaloides. Colegio de Postgraduados-Universidad Autónoma Chapingo. ISBN 970 92068 2 2.
- Pocknee, S., and M. E. Sumner. 1997. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 86-92.
- Poincelot, Raymond P. 2004. Sustainable Horticulture. United States of America. Today and Tomorrow. Editorial Prentice.
- Porta Casanella, J. y López Acevedo, M. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Power, J. F., and R. J. K. Myers. 1989. The maintenance or improvement of farming systems in North America and Australia. Proc. Of an Int. Cont. sponsored by the Canadian Int. Development Agency, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

- Quintos R. J y A. Quispe L. 2004. Estrategias de supervivencia de los productores agropecuarios en las áreas periurbanas de la ciudad de México. El caso de San Andrés Mixquic y San Nicolás Tetelco. Comunicaciones en Socioeconomía, Estadística e Informática. 8:1-26.
- Ramos B. R., L. Cajuste, D. Flores, y N. García. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia* 35: 385-395.
- Reitemeier, R. F. 1943. Semimicroanalysis of saline soil solutions. *Indus. And Engin. Chem., Analyt. Ed.* 15:393-402, illus.
- Reforma. 2008. Pierde la Ciudad terreno agrícola, jueves 10 de abril de 2008.
- Reyes-Ortigoza A. L. y N. E. García-Calderón. 2004. Evolución de las fracciones húmicas de suelos en la zona chinampera de la ciudad de México. *Terra Latinoamericana*: 289-298
- Richards, L. A. 1962. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos. Traducción al español por N. Sánchez D. *et al.* Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Richards, L. A. 1994. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Octava reimpresión. 172 p.
- Rodríguez S., J. 1987. Desarrollo de normas de fertilización para el cultivo de maíz y de cebada en el estado de Tlaxcala. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Rodríguez S., J. 1990. Fertilización de cultivos. Un método racional. 1ra. Edición. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Rojas R. T. 1991. La agricultura en la época prehispánica. *En*: Rojas T. (Coord): La agricultura en tierras mexicanas desde sus orígenes hasta nuestros días. Editorial Grijalbo. 420 pp. México, D. F.
- Roming, D. E.; M. J. Garlynd, and R. F. Harris. 1996. Farmer-based assessment of soil quality: a soil health scorecard. *In*: J. W. Doran and A. Jones (eds.) Handbook to methods for assessment to soil quality. ASA, CSSA, and SSSA, Madison.
- SCINCE. 2002. Sistema para la Consulta de Información Censal 2000, D.F. INEGI.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1999. Anuario estadístico de la producción forestal 1999. Dirección General Forestal, Subsecretaría de Recursos Naturales. México, D. F.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 2002. Programa Forestal y de Suelos. Dirección de Restauración y Conservación de Suelos. México, D. F.
- SEP. 1999. Horticultura. 2da Edición. Editorial Trillas. México.
- Seybold C. A.; M. J. Mausbach; D. L. Karlen, and H. H. Rogers. 1997. Quantification of soil quality. *In*: The soil quality concept. 1998. Bull. Edited by The Soil Quality Institution, USDA, NRCS, USA.

- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2008. Monografías. Hortalizas. <http://w4.siap.gob.mx/AppEstado/Monografias/Hortalizas/Verdolaga.html> Fecha de consulta: 18/07/08
- Sims, J. T. 2000. Soil fertility evaluation. *In*: M. E Sumner (ed.) Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida. Pp D106-D154
- Skujins, J. 1991. Semiarid lands and deserts, soil resource and reclamation. Books in soils, plants and the environment. Marcel Dekker, inc. New York, U.S.A. 668 p.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: a basic of soil classification for making and interpreting soil survey. Ag. HGK. 436. USDA-SCG. Washington, D. C.
- SQI-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Agricultural Research Service. USA.
- Sumner, M. and W. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *In*: Spark D. L. *et al.* (eds.). Methods of soil analysis. Chemical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Sustaita-Rivera, F; Ordaz C., V.; Ortiz S. C.; León G., F. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia* 34:379-386.
- Sustaita Rivera, F. 1998. Efecto del uso agrícola en la estructura y propiedades físicas de dos unidades de suelo en una región semiárida. Tesis maestría. Edafología. Colegio de Postgraduados. 147 p.
- Toledo, V. M. 1993. La racionalidad ecológica de la producción campesina. *En*: Sevilla, Eduardo y González de Molina (Eds.) Ecología, campesinado e historia. La piqueta Madrid. Pp 9-20.
- Velasco M., H. A. 1983. Uso y manejo del suelo: estudios de campo, determinaciones físicas y químicas, prácticas de recuperación y manejo. Limusa. México. 191 p.
- Vergara S., M. A. 2003. Identificación y selección de indicadores de calidad del suelo y sustentabilidad en sistemas naturales y agrícolas de ladera en Oaxaca. Tesis Doctorado. Colegio de Postgraduados. Edafología. 215 p.
- WFH (Western Fertilizers Handbook). 1975. Western Fertilizers Handbook. California Association. Sacramento, CA, USA. 250 p.
- Zárate V., J. L. 1986. Evaluación de la fertilidad de los suelos de pradera de la región de Teziutlan, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Zeng-Yei., H and Ch. Zueng-Sang. 1996. Saturation, reduction, and redox morphology of seasonally flooded alfisols in Taiwan. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:941-949.

11. ANEXO

Cuadro A1. Características de los suelos, de las principales hortalizas cultivadas en el ejido de Mixquic.

Cultivo	Condiciones del suelo para su desarrollo
Brócoli	Les perjudican menos los suelos ácidos, aunque se adapta perfectamente a pH del orden de 7.5-7.8 sin excesivos problemas. La textura de los suelos es preferible que sea ligera, con un buen poder de retención de humedad (Moroto, 2002). Humedad de 0.25 bar ó 70% ASM (Poincelot, 2004).
Romerito	Crece en suelos salobres, donde se tolera o cultiva por ser comestible; también crece silvestre en los manchones abiertos de los pastizales halófitas que cubren los fondos de varias cuencas grandes en México, pero se adaptan a sitios perturbados (Espinosa y Sarukhán, 1997). Se presenta en suelos con texturas de migajones que pueden hacerse lodosos fácilmente, pero que descansan sobre una formación subyacente compacta y dura. La capacidad de retención de humedad es de intermedia a elevada con PS de 30-60 (Richards, 1994).
Verdolaga	La verdolaga es una planta herbácea rastrera de 5 a 40 cm de altura. Humilde y sencilla planta silvestre que con el tiempo y esfuerzo de los hombres del campo fue domesticada y ahora se cultiva principalmente en zonas chinamperas y ejidales de diversos puntos de México y del Distrito Federal (Jiménez, 2008) Habita principalmente en terrenos cultivados, en suelos ricos en materia orgánica y en tierras baldías. Conservando húmedo el cultivo pero no saturado. El pH adecuado es del 5.5 a 5.8. Es muy sensible a las altas concentraciones de sales. Se reproduce por semillas y su siembra puede realizarse durante todo el año (SIAP, 2008).
Acelga	Le convienen los suelos de consistencia medio, fresco y bien provistos de materia orgánica. Es poco tolerante a la acidez del terreno y con una resistencia media-alta a la salinidad (Moroto, 2002).
Apio	Se adapta a cualquier tipo de terrenos con tal de que pose con un adecuado drenaje. Los terrenos humíferos son muy adecuados para este cultivo y quizá se adapte mejor a los terrenos sueltos. Con contenidos de materia orgánica medio. Humedad de 0.25 bar ó 70% ASM (Moroto, 2002; Poincelot, 2004).
Espinaca	Se adapta mejor a los terrenos de consistencia media, profunda y ricos. El terreno debe ser “fresco”, pero sin que se produzca problema alguno de estancamiento de aguas. No le convienen valores del pH inferior a 6. La espinaca es una planta resistente a la salinidad (Moroto, 2002).

Cuadro A2. Resultados de los análisis físicos realizados a los suelos regados con diferentes tipos de agua, en el ejido de Mixquic, D.F.

M	Tipo H ₂ O	Contenidos de agregados en húmedo						S	DMPH mm	CC	PMP
		4.76*	3.36*	2*	1*	0.5*	0.25*				
		[%]								[%]	
M1	Negra	9.9	8.3	12.3	10.9	12.9	7.6	62	0.9	67.6	31.3
M2	Negra	0.3	0.3	0.8	1.9	15.2	32.4	51	0.1	75.0	29.7
M3	Negra	0.6	1.3	2.7	6.2	15.7	21.1	48	0.2	65.6	27.4
M4	Negra	1.4	1.5	2.5	6.2	13.6	20.0	45	0.3	70.4	33.2
M5	Tratada	16.1	7.5	11.3	10.5	12.3	4.9	63	1.2	70.2	40.1
M6	Tratada	8.8	6.3	9.1	8.0	12.9	8.0	53	0.8	69.6	34.7
M7	Tratada	13.2	6.6	9.6	10.7	12.1	6.4	59	1.0	65.4	34.7
M8	Tratada	12.8	7.9	10.7	8.1	12.6	9.7	62	1.0	65.6	26.8
M9	Tratada	14.5	8.2	12.7	17.3	25.7	3.7	82	1.2	73.9	26.6
M10	Tratada	1.1	1.6	2.4	2.9	15.7	27.6	51	0.2	68.0	34.6
M11	Tratada	1.1	1.9	2.1	3.1	9.1	16.4	34	0.2	62.6	32.4
M12	Tratada	0.6	1.2	1.8	2.3	11.8	18.4	36	0.2	65.5	31.1
M13	Tratada	0.4	1.1	1.6	2.3	7.9	23.4	37	0.1	63.8	29.8
M14	T + N	11.2	3.9	7.2	8.7	17.2	13.2	61	0.8	60.1	26.8
M15	T + N	2.5	2.8	4.6	5.4	15.9	20.8	52	0.4	61.8	31.4
M16	T + N	14.2	11.0	16.7	3.4	9.7	5.9	61	1.2	64.3	27.5
M17	T + N	1.9	2.3	3.6	7.6	21.5	18.0	55	0.4	69.5	31.3
M18	T + N	0.5	0.6	0.9	2.0	10.4	14.2	29	0.1	84.9	27.6
M19	T + N	0.6	1.3	1.6	2.3	16.0	21.3	43	0.2	79.7	34.3
M20	T + N	2.5	4.2	4.4	7.1	19.6	18.2	56	0.4	64.0	34.4
M21	T + N	0.2	0.9	1.9	3.6	20.7	24.8	52	0.2	64.9	34.1

* Indica el número del tamiz utilizado para el estado estructural del suelo en húmedo.

DMPH: diámetro medio ponderado en húmedo.

S: estabilidad estructural.

Cuadro A3. Constantes de humedad del suelo a diferentes tensiones obtenidas con el modelo matemático de Palacios (1980), para cada uno de los sitios evaluados y promedio de acuerdo al tipo de agua.

Tensión (bar)	Tratada										Negra				
	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	Prom.	M1	M2	M3	M4	Prom.
0.3	70.2	69.6	65.4	65.6	73.9	68.0	63.8	62.6	65.5	67.18	75.0	65.6	70.4	67.6	69.67
0.4	69.1	68.2	64.1	63.7	72.0	66.6	62.2	61.2	63.9	65.68	73.2	63.8	68.9	66.0	68.00
0.5	68.1	66.9	62.9	62.0	70.1	65.3	60.8	59.9	62.5	64.32	71.5	62.2	67.6	64.6	66.48
0.6	67.1	65.8	61.8	60.5	68.5	64.2	59.5	58.8	61.3	63.07	70.0	60.7	66.3	63.3	65.09
0.7	66.2	64.7	60.8	59.2	66.9	63.1	58.3	57.8	60.1	61.93	68.6	59.4	65.1	62.1	63.81
0.8	65.4	63.7	59.9	57.9	65.5	62.1	57.2	56.8	59.0	60.88	67.3	58.1	64.0	61.0	62.63
0.9	64.6	62.7	59.1	56.8	64.1	61.2	56.2	55.9	58.0	59.90	66.1	57.0	63.0	60.0	61.52
1	63.9	61.8	58.3	55.7	62.9	60.4	55.3	55.1	57.1	58.99	64.9	56.0	62.1	59.0	60.49
2	58.4	55.3	52.5	48.0	53.6	54.1	48.7	49.3	50.5	52.33	56.2	48.4	55.0	52.0	52.93
3	54.8	51.0	48.8	43.4	47.7	50.0	44.6	45.7	46.4	48.12	50.6	43.8	50.5	47.6	48.13
5	50.0	45.6	44.1	37.6	40.3	44.9	39.6	41.3	41.2	42.79	43.4	38.1	44.7	42.1	42.08
7	46.9	42.1	41.1	34.1	35.8	41.6	36.4	38.4	37.9	39.39	38.9	34.6	40.9	38.6	38.25
9	44.6	39.5	38.9	31.5	32.5	39.2	34.1	36.3	35.6	36.95	35.7	32.1	38.3	36.0	35.52
10	43.6	38.5	38.0	30.5	31.2	38.2	33.2	35.5	34.6	35.96	34.4	31.1	37.2	35.0	34.41
12	42.0	36.7	36.5	28.8	29.1	36.5	31.7	34.1	33.0	34.28	32.2	29.4	35.3	33.3	32.56
15	40.1	34.7	34.7	26.8	26.6	34.6	29.8	32.4	31.1	32.31	29.7	27.4	33.2	31.3	30.39
20	37.7	32.1	32.5	24.5	23.7	32.2	27.6	30.3	28.8	29.90	26.7	25.0	30.5	28.8	27.76

... Continuación

Tensión (bar)	Tratada + Negra										Prom. general
	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	Prom.		
0.3	60.1	61.8	64.3	69.5	84.9	79.7	64.0	64.9	68.66	68.2	
0.4	58.3	60.3	62.5	67.9	82.9	78.2	62.7	63.6	67.04	66.6	
0.5	56.7	59.0	60.9	66.5	81.0	76.7	61.5	62.3	65.57	65.2	
0.6	55.3	57.8	59.5	65.1	79.2	75.3	60.4	61.2	64.23	63.9	
0.7	54.1	56.8	58.2	63.9	77.5	74.0	59.5	60.2	63.00	62.7	
0.8	53.0	55.8	57.0	62.7	76.0	72.8	58.6	59.3	61.85	61.6	
0.9	51.9	54.9	55.9	61.7	74.5	71.7	57.7	58.4	60.79	60.5	
1	51.0	54.1	54.9	60.7	73.1	70.6	57.0	57.6	59.81	59.6	
2	44.4	48.2	47.6	53.4	62.1	62.2	51.4	51.8	52.56	52.5	
3	40.5	44.6	43.2	48.7	54.8	56.6	47.8	48.1	47.96	48.1	
5	35.7	40.1	37.8	42.8	45.4	49.2	43.4	43.5	42.18	42.4	
7	32.8	37.3	34.4	39.1	39.4	44.4	40.5	40.5	38.51	38.8	
9	30.7	35.3	32.0	36.4	35.2	40.9	38.4	38.3	35.88	36.3	
10	29.8	34.4	31.0	35.3	33.6	39.5	37.6	37.4	34.82	35.2	
12	28.4	33.0	29.4	33.5	30.8	37.1	36.1	35.9	33.03	33.5	
15	26.8	31.4	27.5	31.3	27.6	34.3	34.4	34.1	30.93	31.4	
20	24.7	29.3	25.2	28.7	23.9	31.0	32.3	31.9	28.39	28.9	

Cuadro A4. Resultados de las principales características químicas asociadas a la fertilidad de los suelos en cada uno de los sitios evaluados en el ejido de Mixquic, Tláhuac, D.F.

M	Tipo H ₂ O	pH 1:2 H ₂ O	CE dSm ⁻¹	M.O. [%]	Nt	P ppm	Cationes Intercambiables [meq/L]				CIE
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
M1	Negra	8.2	2.50	12.8	0.47	110.0	27.4	17.2	2.5	40.0	87.1
M2	Negra	8.9	1.02	11.5	0.42	90.0	23.0	15.5	2.7	21.6	62.8
M3	Negra	8.6	0.58	6.6	0.34	38.0	21.7	15.6	1.0	8.8	47.0
M4	Negra	8.5	1.15	13.8	0.44	130.0	25.0	16.9	2.6	16.3	60.8
M5	Tratada	8.2	2.21	13.4	0.55	60.0	29.7	12.7	1.6	36.0	80.0
M6	Tratada	8.5	0.72	12.5	0.56	52.0	30.5	11.9	2.0	10.5	54.9
M7	Tratada	8.4	0.75	14.1	0.58	64.0	33.2	12.8	1.6	16.5	64.2
M8	Tratada	8.0	2.24	10.2	0.46	80.0	32.7	19.1	2.3	24.2	78.3
M9	Tratada	8.3	0.86	6.6	0.40	152.0	19.5	14.0	2.5	6.7	42.7
M10	Tratada	8.3	1.98	14.7	0.58	130.0	31.4	20.1	2.8	11.2	65.4
M11	Tratada	8.4	1.58	15.1	0.58	88.0	36.9	15.7	2.7	7.8	63.1
M12	Tratada	8.3	3.49	15.1	0.61	100.0	40.1	23.3	3.3	23.5	90.2
M13	Tratada	8.3	1.14	13.8	0.54	140.0	33.9	18.7	3.2	9.9	65.7
M14	T + N	8.2	0.88	11.5	0.43	60.0	22.6	14.2	1.9	15.8	54.6
M15	T + N	8.6	0.42	12.8	0.53	118.0	26.3	19.1	3.7	9.4	58.5
M16	T + N	8.4	0.61	12.1	0.41	52.0	25.8	15.9	1.2	2.7	45.6
M17	T + N	8.6	3.96	13.8	0.55	54.0	23.6	23.3	3.4	22.9	73.2
M18	T + N	8.6	1.58	12.8	0.52	72.0	26.0	18.6	2.1	12.2	58.9
M19	T + N	8.3	2.44	14.7	0.61	190.0	29.2	18.7	3.9	33.8	85.6
M20	T + N	8.3	0.44	13.4	0.60	92.0	30.1	18.1	2.6	9.3	60.0
M21	T + N	8.9	1.28	14.7	0.66	80.0	28.2	22.1	2.2	13.1	65.5

pH=1:2 H₂O; CE=Conductividad Eléctrica (1:5 H₂O); M.O.=Materia Orgánica (Walkley-Black); Nt=Nitrógeno total (Semi-micro Kjeldahl); P=Fósforo (Olsen); Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺=Cationes Intercambiables (NaOAc 1N pH 8.2); Na⁺= Sodio Intercambiable (NH₄OAc 1N pH 7); CIE=Capacidad de intercambio efectiva (Σ cationes intercambiable).

Cuadro A5. Resultados de las determinaciones químicas realizadas en el extracto de saturación, de los suelos agrícolas evaluados en el ejido de Mixquic.

M	Tipo H ₂ O	pH Ext.Sat.	C.E. dSm ⁻¹	Aniones					Cationes					Total			
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺					
				[meq/L]					[meq/L]								
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Total
M1	Negra	8.1	8.41	1.56	4.93	28.84	23.77	107.06	18.75	23.00	3.20	121.20	166				
M2	Negra	8.1	10.23	1.04	5.12	14.57	5.84	13.82	4.73	7.06	0.89	27.71	40				
M3	Negra	8.1	2.16	0.91	4.93	5.57	4.40	2.14	2.94	5.20	0.25	9.56	18				
M4	Negra	8.3	3.75	0.78	4.48	16.72	1.25	29.85	10.71	15.52	1.25	25.60	53				
M5	Tratada	8.1	6.82	0.39	2.98	28.84	8.90	63.20	20.60	22.91	1.86	58.93	104				
M6	Tratada	8.2	1.82	1.43	3.70	10.07	2.42	15.02	7.54	5.93	0.93	18.24	33				
M7	Tratada	8.1	2.16	1.17	2.72	7.92	1.61	22.55	9.83	7.47	0.30	18.38	36				
M8	Tratada	8.2	3.64	1.69	5.58	28.26	18.00	61.91	27.83	43.79	1.71	42.10	115				
M9	Tratada	8.3	3.07	1.04	5.12	18.48	2.00	7.03	6.75	9.93	2.09	14.92	34				
M10	Tratada	7.8	6.59	0.91	3.96	22.39	7.47	47.53	15.58	23.27	1.54	41.87	82				
M11	Tratada	7.9	4.89	0.91	3.50	9.09	2.49	39.39	14.16	13.03	1.20	27.00	55				
M12	Tratada	8.0	9.32	0.91	2.95	38.62	31.27	75.47	28.23	40.43	4.01	76.54	149				
M13	Tratada	8.2	3.41	0.91	3.37	10.36	9.09	43.33	19.50	23.08	1.57	22.92	67				
M14	T + N	8.4	3.98	1.82	6.36	22.19	1.49	4.64	7.73	10.40	2.26	16.12	37				
M15	T + N	8.3	1.02	1.04	4.41	5.18	0.64	9.38	2.60	4.16	0.79	13.10	21				
M16	T + N	8.2	1.93	0.78	5.64	4.40	0.12	22.94	9.45	11.27	0.62	12.54	34				
M17	T + N	8.0	11.37	1.04	8.43	49.37	15.80	82.33	20.88	38.99	3.80	93.30	157				
M18	T + N	8.1	3.30	1.69	4.54	17.31	8.05	8.12	5.36	8.13	0.73	25.48	40				
M19	T + N	8.1	7.50	0.91	4.22	27.47	11.60	58.86	20.42	29.70	4.13	48.80	103				
M20	T + N	8.4	1.82	1.17	4.35	5.96	2.92	4.39	4.30	5.40	0.70	8.40	19				
M21	T + N	7.8	4.55	1.82	5.19	16.91	0.25	36.28	10.13	15.11	1.01	34.20	60				

Cuadro A6. Coeficientes de correlación entre las variables físicas y químicas del suelo, en el ejido de Mixquic.

	MAC	MIC	S	DMP	PMP	pHex	CEex	HCO3	Cl	NO3	SO4	CaS	MgS	KS	NaS	RAS	MO	Nt	PO	Cai	Mgi	Nai	CIE	
MIC	-0.82	1																						
S	0.92	-0.53	1																					
DMP	0.96	-0.88	0.82	1																				
CEex	-0.22	0.31	-0.11	-0.25	0.17	-0.55	1																	
HCO3	0.20	0.05	0.32	0.07	-0.50	0.11	0.25	1																
Cl	0.06	-0.03	0.06	0.00	0.08	-0.34	0.80	0.37	1															
NO3	-0.11	-0.03	-0.17	-0.07	-0.04	-0.25	0.65	0.00	0.75	1														
SO4	0.01	-0.08	-0.04	0.05	0.28	-0.46	0.70	0.05	0.76	0.80	1													
CaS	-0.03	-0.10	-0.11	0.06	0.18	-0.37	0.55	-0.07	0.73	0.79	0.86	1												
MgS	-0.06	0.01	-0.08	-0.03	0.04	-0.35	0.61	0.17	0.83	0.80	0.83	0.95	1											
KS	0.01	-0.02	0.01	-0.04	0.05	-0.20	0.72	0.22	0.86	0.74	0.74	0.71	0.76	1										
NaS	0.04	-0.08	0.01	0.03	0.21	-0.40	0.78	0.19	0.82	0.82	0.93	0.69	0.70	0.76	1									
RAS	0.02	-0.03	0.01	-0.01	0.21	-0.38	0.74	0.17	0.66	0.68	0.80	0.44	0.44	0.59	0.94	1								
MO	-0.47	0.27	-0.51	-0.38	0.63	-0.42	0.31	-0.31	0.21	0.18	0.42	0.37	0.28	0.25	0.32	0.27	1							
Nt	-0.32	0.18	-0.36	-0.32	0.67	-0.47	0.18	-0.38	0.20	0.17	0.32	0.34	0.26	0.24	0.22	0.15	0.81	1						
C/N	-0.31	0.19	-0.33	-0.16	0.12	0.00	0.25	0.03	0.04	0.03	0.23	0.12	0.07	0.04	0.19	0.22	0.54	-0.04						
Cai	-0.33	0.02	-0.47	-0.18	0.40	-0.34	0.07	-0.64	0.08	0.41	0.40	0.59	0.41	0.15	0.19	0.04	0.64	0.67	0.09	1				
Mgi	-0.50	0.52	-0.38	-0.57	-0.08	-0.39	0.42	0.29	0.50	0.51	0.45	0.43	0.60	0.45	0.43	0.30	0.39	0.41	0.24	0.23	1			
Ki	-0.42	0.47	-0.30	-0.50	0.13	-0.13	0.43	0.02	0.38	0.35	0.36	0.34	0.41	0.58	0.32	0.26	0.45	0.46	0.72	0.24	0.59			
Nai	0.10	-0.11	0.08	0.13	0.35	-0.21	0.67	-0.01	0.68	0.66	0.75	0.61	0.57	0.65	0.79	0.76	0.24	0.16	0.16	0.12	0.10	1		
CIE	-0.20	0.08	-0.23	-0.14	0.41	-0.40	0.67	-0.18	0.69	0.81	0.86	0.82	0.77	0.70	0.80	0.68	0.55	0.51	0.26	0.55	0.45	0.85	1	
PSI	0.14	-0.09	0.15	0.14	0.31	-0.14	0.63	0.07	0.63	0.53	0.60	0.46	0.44	0.56	0.68	0.70	0.12	0.03	0.09	-0.05	-0.03	0.97	0.72	

MAC= Macroagregados del suelos (>0.25 mm); MIC= Microagregados (<0.25 mm); S= Estabilidad estructural; DMP= Diámetro medio ponderado; PMP= Punto de marchitez permanente; pHex= pH en extracto de saturación; CEex= Conductividad eléctrica en extracto de saturación; HCO3, Cl, NO3, SO4= Aniones solubles; CaS, MgS, KS, NaS= Cationes solubles; RAS= Relación de adsorción de sodio; MO= Materia orgánica; Nt= Nitrógeno total; PO= Fosforo Olsen; Cai, Mgi, Nai= Cationes intercambiables; CIE= Capacidad de intercambio efectiva.