

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA
DE VERTISOLES DEL NORESTE DE MEXICO
SOMETIDOS A DISTINTAS FORMAS DE MANEJO**

Por

BIOL. MIREIA LLORENTE SANCHEZ

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, N. L., MEXICO

DICIEMBRE 2004

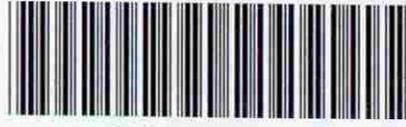
TM

Z598

FCF

2004

.LLC



1020150225

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE VERTISOLES
DEL NORESTE DE MÉXICO SOMETIDOS A

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Por

MIREIA LLORENTE SÁNCHEZ

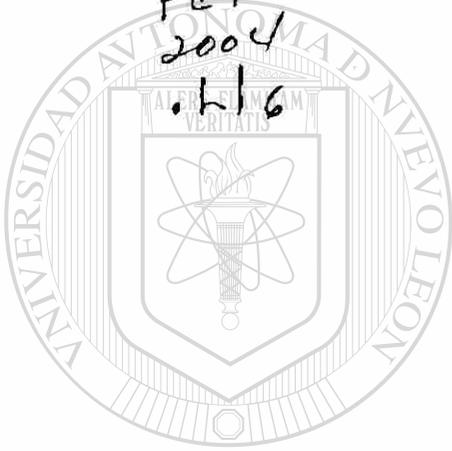
Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES.



Diciembre, 2004

987894

TH
Z5991
FCF
2004
.H16



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FONDO
TESIS

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE VERTISOLES
DEL NORESTE DE MÉXICO SOMETIDOS A
DISTINTAS FORMAS DE MANEJO**

Aprobación de la Tesis:




Dr. Guillermo A. Rodríguez y Rodríguez
Asesor


Dr. Humberto González Rodríguez
Secretario

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS


Dr. César M. Cantú Ayala
Vocal



A mis padres, a los que quiero y admiro profundamente.

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AGRADECIMIENTOS

A Gustavo, que tanto me has ayudado a sacar adelante este trabajo y que con tu amor incondicional me has animado a seguir siempre adelante.

Al CONACYT que, a través del proyecto J-42145 “Evaluación e influencia del tipo de uso y determinación del cambio de vegetación en suelos de Linares, N.L.”, financió el presente trabajo de tesis.

Al Dr. Guillermo A. Rodríguez y Rodríguez, asesor principal del presente trabajo de tesis, por su apoyo, por su amistad, por su paciencia, por sus consejos y por jugar conmigo con todas las canicas para lograr sacar esta tesis adelante.

Al Dr. Humberto González Rodríguez por sus sabios consejos, por sus acertadas sugerencias y por su dedicado trabajo.

Al Dr. Cesar M. Cantú Ayala, por su valiosa participación en este trabajo y por sus sugerencias.

Al Ing. M.C. José Antonio González Treviño y a la Ing. Mayra Covarrubias Martínez, por la fundamental ayuda que me han prestado durante mi estancia en la UANL.

A Inés, por trabajar conmigo codo a codo en el laboratorio, por su alegría, por su agradable compañía.

A Ovidio y a Rigo, mis trabajadores de campo favoritos, por su duro trabajo en el campo, siempre combinado con risas y alegría.

Al Dr. José de Jesús Navar Chaidez, por sus acertadas observaciones y por su ayuda.

A Antgie, a Jorge, a Thania, al Paisa, a Chuy, a Alan, al Bayo, a Pancho, a Saul y a todas las personas de esta facultad y de Linares que han hecho de mi estancia en México toda una experiencia de vida y que me han brindado su cariño, su apoyo y su compañía durante este tiempo.

RESUMEN

Los cambios en el uso del suelo provocan variaciones en las características físicas y químicas del mismo, especialmente en cuanto a su contenido de materia orgánica. La materia orgánica, importante reservorio de carbono, funciona como fuente y sumidero del CO₂ atmosférico jugando un papel fundamental en el cambio climático global. Además, la materia orgánica es fuente potencial de nutrientes para las plantas, favorece la infiltración y conservación del agua y, al estructurar el suelo, disminuye las pérdidas por erosión.

El presente estudio cuantifica los cambios en las características físicas y químicas de un suelo de tipo vertisol (WRB, 1998), contrastando las tres formas de uso más frecuentes en el Noreste Mexicano: matorral alto subhúmedo (COTECOCA, 1973) conservado, parcela de cultivo de temporal (secano) y vegetación secundaria sometida a pastoreo; se hace especial énfasis en las consecuencias del cambio de uso del suelo en cuanto a su contenido de materia orgánica y, en consecuencia, en cuanto a su capacidad como reservorio de carbono.

Se eligieron tres parcelas colindantes, representativas de los tres usos de suelo antes mencionados, haciendo cuatro calicatas de muestreo por parcela. Se tomaron muestras hasta 70 cm de profundidad en intervalos de 10 cm y se analizaron las variables: densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno total, relación C/N, textura, pH, conductividad eléctrica, macros (Ca, K, Mg, N y S) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn).

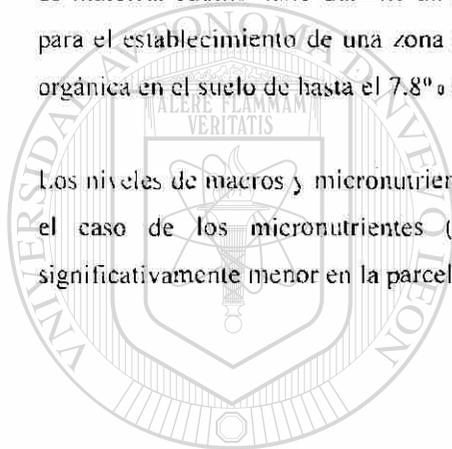
Los datos se evaluaron estadísticamente, según el diseño experimental de tipo factorial con criterio de clasificación (Cochran, 1991), con ayuda del paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences). Las pruebas de comparación de medias para cada una de las variables estudiadas fue de acuerdo a la Prueba de Tukey y análisis de la varianza (ANOVA).

El suelo bajo los tres tipos de manejo es de tipo textural arcilloso (de 42 a 66% de arcillas) y de escasa salinidad (conductividad eléctrica baja, de 44 a 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$), presenta pH cercano a la neutralidad (entre 6.2 y 7.6), con tendencias a la alcalinización a partir de los 50 cm de profundidad por la cercanía de la terraza con un alto contenido de carbonato cálcico (CaCO₃).

La densidad aparente del suelo muestra diferencias significativas entre parcelas, siendo significativamente menor en la parcela de matorral conservado para los primeros 40 cm de profundidad. Los valores fluctúan de $0,8 \text{ Mg/m}^3$ en los primeros 10 cm de profundidad hasta $1,2 \text{ Mg/m}^3$ a 40 cm de profundidad en la parcela de matorral. En las parcelas de cultivo y de vegetación secundaria los valores de densidad aparente del suelo fluctúan de 1.2 a $1,4 \text{ Mg/m}^3$ desde la superficie del suelo hasta 40 cm de profundidad.

Los resultados mostraron la disminución de la materia orgánica al cambiar el uso del suelo de matorral conservado a cultivo, existe una reducción significativa en los 20 primeros cm de profundidad respecto al sistema natural. La disminución de la capacidad del suelo como reservorio de carbono orgánico fue de hasta el 37% al cultivar una zona que originalmente fue de matorral submontano durante un periodo cercano a los 50 años. El abandono del cultivo para el establecimiento de una zona de pastoreo lleva a una cierta reacumulación de materia orgánica en el suelo de hasta el 7.8% en catorce años.

Los niveles de macros y micronutrientes son de altos a adecuados (Woerner, 1989) aunque, en el caso de los micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu), se encuentran en proporción significativamente menor en la parcela cultivada.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ABSTRACT

Different types of land use induce changes in physical and chemical soil characteristics, especially in the organic matter pool. Soil organic matter is a large carbon pool and it can work either as a source or as a sink for atmospheric CO₂. This has an important influence in variations or changes in the global climate. Soil organic matter plays a very important role for plant nutrition, drainage capabilities, water holding capacity and soil structure stability, minimizing compaction and erosion.

This paper quantifies the changes in physical and chemical characteristics of a vertisol (WRB, 1998) contrasting the three more common management regimes in the Northeast of Mexico: natural shrub *alto subinermé* (COTECOCA, 1973), cultivate land and grazing field, with a special emphasis in soil organic matter content and in soil capacity as carbon reservoir.

There are three adjacent sites, representative for the three forms of use comparing the soil characteristics. Soil was sampled in four plots for site up 70 cm soil deepness at 10cm intervals. The studied variables were: bulk density, organic matter, total nitrogen, C/N, texture, pH, electric conductivity, macro (Ca, K, Mg and Na) and micronutrients (Cu, Fe, Mn and Fe).

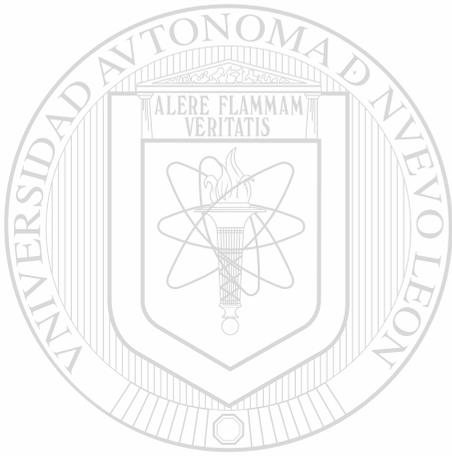
For data analysis, descriptive statistical analysis, one way analysis of the variance (ANOVA) and Tukey's analysis, with a factorial experimental design (Cochram, 1991), we performed by means of the SPSS (Statistical Package for Social Sciences).

The soil is clayey (from 42 to 66% of clay) with little salinity (low electric conductivity, from 44 to 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$), The soil pH is almost neutral (from 6.2 to 7.6) tending to alkalinizing from the 50 cm of soil depth due to the presence of alluvial parental rock with high level of CaCO₃.

The bulk density of soil is significantly different between studied plots: it is significantly less ($\alpha = 0.05$) in native shrub site at the first 40 cm depth. In native shrub site there are 0.8 Mg/m³ in the first 10 cm deepness to 1.2 Mg/m³ at 40 cm. In the cultivate site and grazing field site the values are between 1.2 to 1.4 Mg/m³ in the first 40 cm deepness.

Land use had a strong influence in soil C pool specially in the 20 first cm of soil where we found significant differences compared to the native system. Cropping of natural forest vertisol reduces it's organic matter content in 37% in a 50 years period. The abandonment of cultivated land for grazing use land suppose a new accumulation of organic matter content in 7.8% in a 14 years period.

Micro- and macronutrients had an appropriate level in the studied plots, however micronutrients content (Fe, Mn, Zn y Cu) was significantly lower ($\alpha = 0.05$) in the cultivated plot.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ZUSAMMENFASSUNG

Verschiedene Formen der Landnutzung verursachen Veraenderungen der physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften; besonders des Gehaltes an organischer Bodensubstanz. Die organische Bodensubstanz mit ihrem hohen Anteil an Kohlenstoff hat grossen Einfluss auf Zu- und Abnahme des atmosphärischen CO₂.

Dies wiederum spielt eine wichtige Rolle bei globalen Klimaveränderungen. Ausserdem fungiert die organische Bodensubstanz als hauptsächlicher Nährstofflieferant der Pflanzen, begünstigt Infiltration, Wasserbindung sowie Bodenstabilität und verringert Erosionen.

Die vorliegende Studie quantifiziert Veränderungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Vertisol-Bodens (WRB, 1998), basierend auf drei der häufigsten Nutzungsformen im Nordosten Mexikos: Hoher fast unbewehrter Matorral (COTECOCA, 1973), temporäre Agrikultur und sekundäre Weidevegetation mit besonderer Berücksichtigung ihrer Fähigkeiten als Kohlenstoff-Quelle.

Es wurden drei aneinander grenzende Parzellen, repräsentativ für die erwähnten Nutzungsformen, ausgewählt. In ihnen wurden jeweils vier Bodenproben bis 70 cm Tiefe in Abständen von 10 cm genommen und auf Dichte, organische Bodensubstanz, Natriumgehalt, C/N-Verhältnis, Textur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit sowie Makro (Ca, K, Mg, Na y N)- und Mikroelemente (Cu, Fe, Mn y Zn) untersucht.

Die Auswertung der Proben und die Datenanalyse erfolgten statistisch mit Hilfe des faktoriellen Klassifikationsverfahrens (Cochran, 1991), dem nach dem Prinzip des SPSS (Statistical Package of Science), der Varianzanalyse (ANOVA) sowie Tukey's Analyseverfahren.

Der beschriebene Boden ist tonig (42 bis 66% Tonminerale) mit niedrigem Salzgehalt (elektrische Leitfähigkeit niedrig, 44 bis 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und fast neutralen bis tendenziell alkalischen pH-Werten (zwischen 6.2 und 7.6), ab 50 cm Tiefe aufgrund des hohen Calciumcarbonat (CaCO₃)-Gehaltes an der Wasseranreicherungsgrenze.

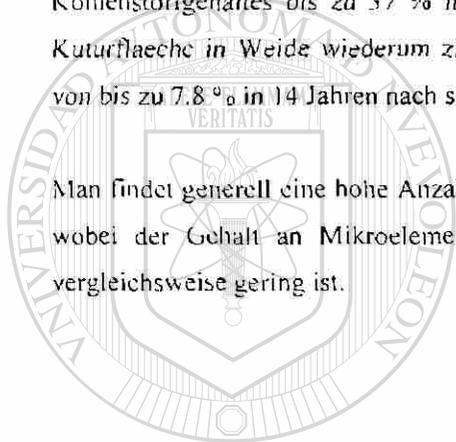
Die Bodendichte variiert stark zwischen den verschiedenen Parzellen mit einem Minimum im Bereich des Busches bis zu 40 cm Tiefe. Die Werte liegen dort zwischen 0.8 Mg/m^3 in den ersten 10 cm Tiefe und 1.2 Mg m^3 ab 40 cm Tiefe.

Im Gebiet von Agrikultur und Weide wurde eine Dichte von 1.2 bis 1.4 Mg/m^3 ab der Oberfläche bis 40 cm Tiefe gemessen.

Die Ergebnisse demonstrieren einen starken Einfluss der Landnutzungsform auf den Gehalt an organischer Bodensubstanz und somit Kohlenstoff, besonders in den ersten 20 cm Tiefe, wo signifikante Unterschiede zum ursprünglichen Boden beobachtet werden konnten.

Die Kultivierung netuerlichen submontanen Busches fuehrte zu einer Abnahme des Kohlenstoffgehaltes bis zu 37 % in einem Zeitraum von 50 Jahren. Die Umwandlung der Kulturflaeche in Weide wiederum zieht eine Wiederanreicherung organischer Bodensubstanz von bis zu 7.8 % in 14 Jahren nach sich.

Man findet generell eine hohe Anzahl von Makro- und Mikroelementen vor (Woerner, 1989), wobei der Gehalt an Mikroelementen (Fe, Mn, Zn, y Cu) in der kultivierten Parzelle vergleichsweise gering ist.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

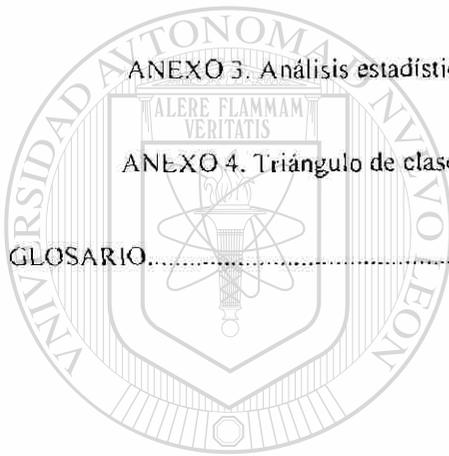


TABLA DE CONTENIDO

| Capítulo | Página |
|--|--------|
| RESUMEN..... | v |
| ABSTRACT..... | vii |
| ZUSAMMENFASSUNG..... | ix |
| LISTA DE CUADROS..... | xiv |
| LISTA DE FIGURAS..... | xx |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Materia orgánica y uso del suelo..... | 2 |
| 1.2. La materia orgánica como reservorio de carbono y el cambio climático..... | 6 |
| 1.3. Uso del suelo en el Noreste de México..... | 7 |
| 1.4. Estudios afines en el Noreste de México..... | 8 |
| 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS..... | 10 |
| 2.1. Objetivo general..... | 10 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 10 |
| 2.3. Hipótesis experimental..... | 10 |
| 3. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 11 |
| 3.1. Descripción general del área de estudio..... | 11 |
| 3.1.1. Localización del área..... | 11 |
| 3.1.2. Clima..... | 11 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3. Geología..... | 12 |
| 3.1.4. Vegetación..... | 13 |
| 3.1.5. Suelo..... | 13 |
| 3.1.6. Área de muestreo..... | 15 |
| 3.1.7. Uso e historia del área de estudio..... | 17 |
| 3.2. Material..... | 18 |
| 3.2.1. Material y equipo de campo..... | 18 |
| 3.2.2. Material y equipo de laboratorio..... | 18 |
| 3.3. Metodología..... | 19 |
| 3.3.1. Fundamentación de la selección del área..... | 19 |
| 3.3.2. Ubicación de los puntos de muestreo y toma de muestras..... | 19 |
| 3.3.3. Muestreo de vegetación..... | 20 |
| 3.3.4. Métodos de laboratorio..... | 21 |
| 3.3.5. Caracterización física del suelo..... | 22 |
| 3.3.6. Caracterización química del suelo..... | 23 |
| 3.4. Análisis de datos..... | 26 |
| 3.4.1. Cálculos..... | 26 |
| 3.4.2. Análisis estadísticos..... | 26 |
| 4. RESULTADOS..... | 27 |
| 4.1. Análisis estadísticos de las variables observadas..... | 27 |
| 4.2. Textura (análisis granulométrico)..... | 33 |
| 4.3. Densidad aparente del suelo..... | 35 |
| 4.4. Materia orgánica y carbono orgánico del suelo..... | 35 |
| 4.5. Nitrógeno total y relación C/N del suelo..... | 37 |
| 4.6. pH y conductividad eléctrica del suelo..... | 38 |
| 4.7. Contenido de Macro y micronutrientes en el suelo..... | 39 |
| 5. DISCUSIÓN..... | 41 |

| | |
|--|----|
| 6. CONCLUSIONES..... | 47 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 49 |
| ANEXOS..... | 56 |
| ANEXO 1. Inventario de vegetación | 57 |
| ANEXO 2. Evaluación de las variables..... | 59 |
| ANEXO 3. Análisis estadísticos: medias y Pruebas de Tukey..... | 62 |
| ANEXO 4. Triángulo de clases texturales..... | 72 |
| GLOSARIO..... | 71 |



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



LISTA DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 1. Distribución de las reservas de carbono en la biosfera..... | 7 |
| 2. Determinaciones analíticas y métodos utilizados para el análisis físico y químico de las muestras..... | 21 |
| 3. Fracciones granulométricas utilizadas por la ISSS y justificación de los valores adoptados..... | 23 |
| 4. Resumen del análisis de la varianza que compara las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arenas (Ar.), limos (Lim.), arcillas (Arc.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio..... | 28 |
| 5. Resumen del análisis de la varianza que compara las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio..... | 28 |
| 6. Resumen del análisis de la varianza para la textura del suelo entre parcelas de uso para cada uno de los intervalos de profundidad..... | 29 |
| 7. Resumen del análisis de la varianza para la densidad aparente del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad..... | 29 |
| 8. Resumen del análisis de la varianza para el carbono orgánico (CO) del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad..... | 29 |
| 9. Resumen del análisis de la varianza para el nitrógeno total del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad..... | 30 |
| 10. Resumen del análisis de la varianza para la relación C/N del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad..... | 30 |

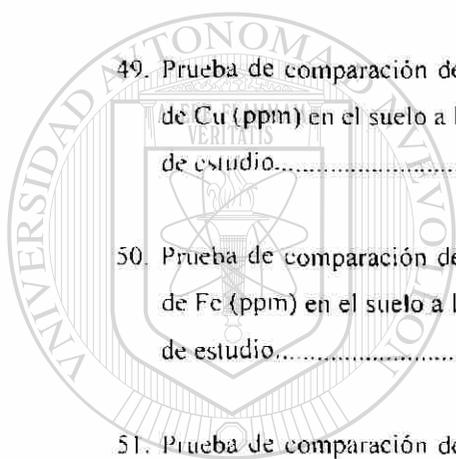
11. Resumen del análisis de la varianza para el pH del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....30
12. Resumen del análisis de la varianza para la conductividad eléctrica (C.E.) del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....31
13. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Ca del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad31
14. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de K del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....31
15. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Mg del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....31
16. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Na del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....32
17. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Cu del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....32
-
18. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Fe del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....32
19. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Mn del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....32
20. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Zn del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.....33
21. Contenido de carbono orgánico del suelo (Mg/ha) en profundidad para las tres parcelas de estudio, aplicando y no las correcciones para ajustar la densidad aparente de la parcela a la densidad aparente original del terreno.....36

22. Valores medios y valoración de los macronutrientes en las parcelas de estudio.....40
23. Valores medios y valoración de los micronutrientes en las parcelas de estudio.....40
24. Inventario de vegetación del matorral alto subinerme: estrato superior (altura > 4 m).....57
25. Inventario de vegetación del matorral alto subinerme: estrato medio (altura de 1.5 a 4 m).....58
26. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 0-10 cm entre las distintas parcelas de uso.....62
27. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 10-20 cm entre las distintas parcelas de uso.....62
28. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 20-30 cm entre las distintas parcelas de uso.....63
29. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 30-40 cm entre las distintas parcelas de uso.....63

30. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arcillas (Arc.), limos (Lím.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 40-50 cm entre las distintas parcelas de uso.....64
31. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 50-60 cm entre las distintas parcelas de uso.....64
32. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 60-70 cm entre las distintas parcelas de uso.....65
33. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) (ppm) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) (ppm) en el intervalo de profundidad 0-10 cm entre las distintas parcelas de uso.....65
34. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) (ppm) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) (ppm) en el intervalo de profundidad 10-20 cm entre las distintas parcelas de uso.....66
35. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) (ppm) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) (ppm) en el intervalo de profundidad 20-30 cm entre las distintas parcelas de uso.....66
36. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la proporción de arenas (%) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....67

37. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la proporción de limos (%) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....67
38. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la proporción de arcillas (%) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....67
39. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....68
40. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de carbono orgánico (Mg/ha) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....68
41. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de nitrógeno total ($g\ kg$) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....68
42. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la relación C N del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....69
43. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del pH del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....69
44. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la conductividad eléctrica ($\mu S\ cm$) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....69
45. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Ca (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....70

46. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de K (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....70
47. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Mg (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....70
48. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Na (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....70
49. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Cu (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....71
50. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Fe (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....71
51. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Mn (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....71
52. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Zn (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.....71



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1. Modelo conceptual de la pérdida de materia orgánica del suelo ante una perturbación..... | 4 |
| 2. Modelo conceptual de la reacumulación de materia orgánica del suelo tras el cese de una perturbación..... | 5 |
| 3. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Camacho, Linares, N.L..... | 12 |
| 4. Esquema del movimiento de automezclado que caracteriza a los suelos de tipo Vertisol..... | 14 |
| 5. Plano sintético de la distribución de las parcelas en el área de estudio (matorral submontano conservado, parcela de cultivo de temporal y vegetación secundaria sometida eventualmente a pastoreo). Los puntos P hace referencia a la ubicación de los pozos analizados en cada16 | 16 |
| <hr/> | |
| 6. Proporción de las distintas fracciones granulométricas (texturales) del suelo en profundidad para las tres parcelas de estudio: matorral, cultivo y vegetación secundaria..... | 34 |
| 7. Densidad aparente del suelo en profundidad para las tres formas de uso de suelo estudiadas: matorral, cultivo de maíz y vegetación secundaria..... | 35 |
| 8. Contenido de materia orgánica en profundidad para tres formas de uso de suelo: matorral, cultivo y vegetación secundaria..... | 37 |
| 9. Comportamiento de la variable pH en profundidad para tres formas de uso de suelo: matorral, cultivo y vegetación secundaria..... | 38 |

1. INTRODUCCIÓN

La apertura de áreas con vegetación nativa para el establecimiento de zonas agrícolas y ganaderas, unido a la sobreexplotación de las mismas, es una de las causas principales de la degradación del suelo (Schlesinger, 1986).

En el Noroeste de México, el matorral natural sufre frecuentemente desmontes para uso agrícola, establecimiento de áreas para pastoreo (pastas o praderas), y extracciones descontroladas (esquilmos). Esto hace que, esta zona del país, presente procesos degradativos debidos tanto a la pérdida de suelo fértil por erosión al quedar el suelo sin vegetación que lo proteja frente al arrastre hídrico y cólico, como a procesos que promueven la degradación *in situ* provocada, por ejemplo, por la sobreextracción de nutrientes que supone la agricultura intensiva o la compactación del suelo debida al pisoteo del ganado y al uso de maquinaria pesada (Rodríguez y Rodríguez, 2002; Bravo, 2002).

Así, numerosos estudios se han dirigido a la evaluación de los cambios físicos (Goss et al., 1992; Shipitalo y Protz, 1987) y químicos (Rauschkolb, 1971) que se producen en el suelo en función del tipo de uso al que esté sometido. Al desmontar una zona de matorral se producen modificaciones considerables de la estructura y composición de su vegetación influyendo, por tanto, en su potencial agropecuario, forestal y ecológico (Ruiz, 1990).

Las actividades agrícolas ocasionan un "estrés" al recurso edáfico representado principalmente por la extracción de nutrientes y la reducción de la entrada de materia orgánica, alterando, subsecuentemente, sus propiedades físicas y químicas (Greenland y Szabolcs, 1994). La materia orgánica es un factor determinante de la fertilidad del suelo (Tiessen y Cuevas, 1994) ya que es la fuente potencial de nutrimentos (nitrógeno, fósforo, azufre, etc.) para las plantas y los microorganismos del suelo. Además, la materia orgánica determina la capacidad relativa del suelo para retener nutrimentos contra pérdidas por lixiviación, favorece la estabilidad de la estructura edáfica, aumenta la capacidad del suelo para retener agua, promueve la formación de agregados, protege al suelo de la compactación y aumenta la capacidad de intercambio catiónico del mismo (Bohn et al., 1993).

Además de ser indicadora de calidad edáfica, la materia orgánica es uno de los mayores almacenes de carbono dentro de los ecosistemas terrestres (Eswaran et al., 1993) actuando como fuente y sumidero de CO₂ atmosférico, por lo que juega un papel fundamental en el control del efecto invernadero. La potencialidad de los suelos para almacenar materia orgánica y la extensión de la cubierta edáfica en su conjunto explican su importancia en el balance global de carbono atmosférico. Así, el estudio de los cambios que se dan en la materia orgánica del suelo en función del régimen de manejo al que se sometan es de gran importancia para conocer el balance global del carbono y su relación con el cambio climático global (Lal et al., 1995).

El hecho de que las emisiones de CO₂ supongan más del 80% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (SSSA, 2001) ha hecho intensificar los estudios sobre los factores que inciden en el incremento de la concentración de carbono atmosférico.

El contenido de materia orgánica del suelo depende, entre otros factores, del clima, de la vegetación, del tipo de suelo, del tipo de cultivo, del drenaje y del manejo. En los últimos siglos, el ser humano, posiblemente, está siendo el factor que más determina la dinámica del secuestro y liberación del carbono en los suelos a través de la forma de manejo del suelo y tipo de prácticas utilizadas para ello (Johnson, 1995). Con el preocupante incremento de los gases invernadero, el ser humano debe cuantificar la potencialidad de los suelos como reservorios de carbono atmosférico y valorar las consecuencias de la forma de manejo de los mismos.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



1.1. Materia orgánica y uso del suelo.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas (producción y economía) como en sus funciones ambientales, como es la captura de carbono. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de la actividad biológica del suelo.

La cantidad, la diversidad y la actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con la materia orgánica por lo que tiene gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Robert, 1996).

La influencia del **hombre en los ecosistemas con fines productivos ha provocado una pérdida de la homeostasis de los mismos** que, en el caso del suelo, se refleja en un proceso de degradación y pérdida de la capacidad productiva del mismo. En México, la CONAZA (1994) reporta que, dentro del territorio nacional, el fenómeno de desertificación se debe, **en un 13%**, a factores climáticos y, en un **87%**, al mal manejo del recurso edáfico. Según la misma fuente, el mal uso del suelo ha ocasionado una disminución en la fertilidad del suelo en un **80%** del territorio nacional debido a la pérdida de materia orgánica. Según Smith y Elliott (1990), los niveles de materia orgánica del suelo, en regiones semiáridas, disminuyen fundamentalmente debido a la erosión del suelo y a que las técnicas de labranza aplicadas alteran la descomposición microbiana de los residuos de cosecha.

Según Mann (1986), la cantidad de materia orgánica perdida es función de la **materia orgánica** inicial en condiciones nativas y la forma e intensidad del uso que se le dé al suelo, siendo la pérdida siempre más intensa en los horizontes superficiales y menor en horizontes más profundos. El mismo estudio encuentra que, suelos inicialmente muy ricos en materia orgánica, pierden hasta un **20%** del carbono orgánico al ser usados para cultivo, mientras que suelos naturalmente pobres en materia orgánica pueden incrementar su capacidad para almacenar carbono al ser aplicadas ciertas prácticas culturales como la fertilización o la adición de material orgánico para abonado. Suelos de ecosistemas naturales convertidos a parcelas de cultivo o pastizales muestran cambios en el contenido y disponibilidad de carbono y en otras variables como la densidad aparente del suelo (Schelesinger, 1986). Pérdidas entre el 20 y el 30% son frecuentemente reportadas aunque también existen estudios contrarios a esa afirmación (Hassik y Neetesoon, 1991; Naeth et al., 1990).

En la Figura 1 se muestra, esquemáticamente, la pérdida de materia orgánica del suelo que se produce ante un disturbio, como puede ser un cambio de uso del suelo. Se observa como, ante el disturbio, la pérdida de materia orgánica suele ser muy rápida hasta que el sistema alcanza un nuevo equilibrio. El nivel de materia orgánica en el nuevo estado de equilibrio estará en función de la intensidad, la duración y la extensión del fenómeno perturbador así como de el cultivo, la plantación o el tipo de residuos asociados a la perturbación (Johnson, 1995).

Un nuevo cambio en el manejo del suelo puede hacer que éste recupere materia orgánica como se muestra en la Figura 2.

Actualmente se proponen ciertas estrategias de manejo del suelo que permiten reducir la emisión de gases invernadero a la atmósfera y utilizar el suelo como sumidero de carbono.

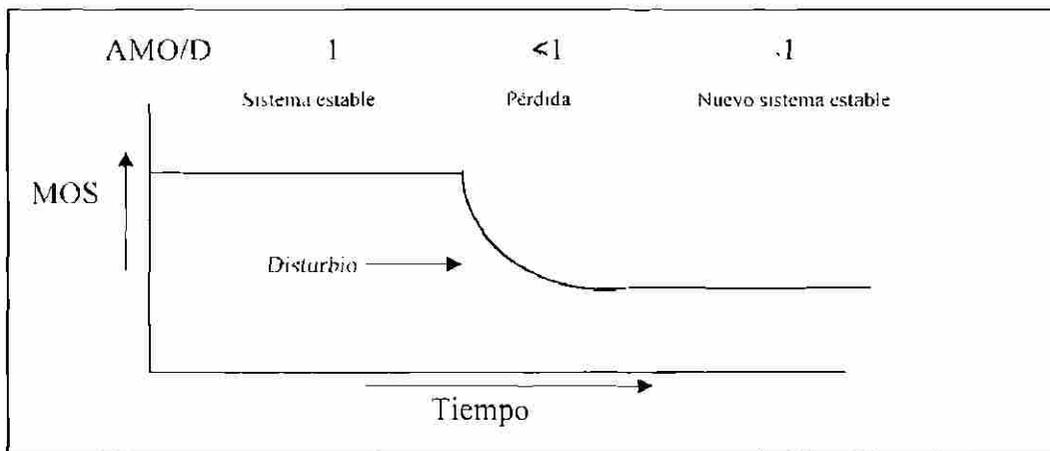


Figura 1. Modelo conceptual de la pérdida de materia orgánica en el suelo (MOS) ante una perturbación (modificado de Johnson, 1995). La materia orgánica se acumula en el suelo cuando la producción de desechos vegetales supera la tasa de descomposición de los mismos. Sin embargo, cuando la tasa de descomposición (D) supera la tasa de acumulación de materia orgánica (AMO) la MOS se va perdiendo ($AMO/D < 1$). Cuando el sistema está estable con respecto a la MOS $AMO/D = 1$.

Johnson y Kern (1991) proponen tres estrategias de manejo de suelo para reducir los gases invernadero:

- a) Mantener los niveles existentes de materia orgánica en los suelos, evitando ciertas formas de manejo como la labranza convencional o la deforestación.
- b) Manejar los suelos para recuperar los niveles de materia orgánica que tenían en estado natural. En algunos suelos, para lograr esta recuperación, es necesario aplicar prácticas intensas de restauración pero en muchos casos basta con pequeños cambios en el manejo (Figura 2).
- c) Manejar suelos para aumentar su contenido de materia orgánica por encima de los niveles en estado natural. Normalmente esto es difícil de conseguir pues el nivel de materia orgánica está determinado por ciertos factores no manipulables como son el clima o el material de origen. La fertilización del suelo es una vía propuesta para aumentar el contenido de carbono del suelo.

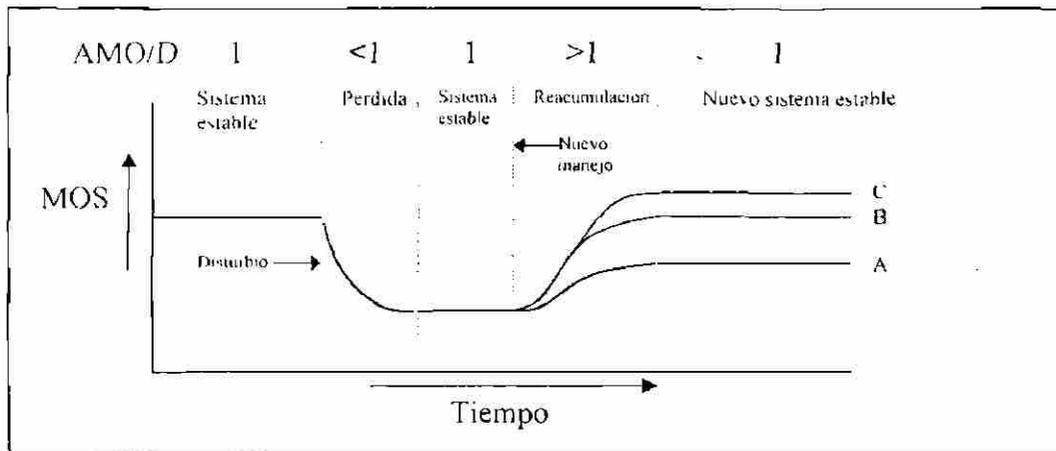


Figura 2. Modelo conceptual de la reacumulación de materia orgánica en el suelo (MOS) tras el cese de una perturbación (modificado de Johnson, 1995). Si la tasa de acumulación de materia orgánica (AMO) supera la tasa de descomposición (D) se reacumula la MOS ($AMO/D > 1$) y si este nuevo régimen de manejo se mantiene un período de tiempo suficiente el sistema alcanza un nuevo equilibrio. La línea A representa un estado en el que la recuperación de la materia orgánica ha sido sólo parcial respecto al sistema inicial. La línea B representa una recuperación completa y la línea C muestra una reacumulación de MOS por encima de los niveles iniciales.

Numerosos trabajos han proliferado al respecto de estas cuestiones. Burke et al. (1989) menciona que, en estudios llevados a cabo en E.E.U.U., se han documentado pérdidas de hasta un 50% en el contenido de materia orgánica del suelo cuando los pastizales se han convertido en zonas agrícolas.

En un estudio llevado a cabo en Zimbabwe sobre el contenido de materia orgánica del suelo bajo diferentes tipos de cobertura, King y Campbell (1994) encontraron que un 10% del contenido del carbono orgánico del suelo original se había perdido al desmontar la vegetación natural para establecer plantaciones de pino y cultivos de maíz.

Late (1987), prueba el mantenimiento del contenido de carbono en el suelo utilizando prácticas de la labranza de conservación, que minimizan la perturbación del suelo, e incorporando los residuos de cosecha al suelo.

1.2. La materia orgánica como reservorio de carbono y el cambio climático.

A escala global, el carbono circula a través de tres grandes reservorios (océanos, atmósfera y sistema terrestre), encontrándose en varios componentes dentro de cada uno de estos grandes reservorios. Se prevé que el cambio climático tenga un fuerte efecto en el equilibrio del ciclo del carbono (Prentice y Fung, 1990).

La materia orgánica del suelo ha sido reconocida como importante *fuentes* y reservorio en el ciclo global del carbono debido a que los suelos contienen cerca de tres veces más carbono que la atmósfera (Cuadro 1). El balance de salidas y entradas de carbono en el suelo tiene una influencia crítica en la concentración de CO₂ atmosférico y por ello en el efecto invernadero y el cambio climático global (Post et al., 1990). La gestión de la materia orgánica del suelo permite incidir a corto y medio plazo en el secuestro de carbono. Es cierto que el papel de los océanos en el secuestro de carbono en forma de carbonatos precipitados es de mayor importancia, no obstante su efecto es muy a largo plazo y, además, no resulta posible actuar sobre él (Porta et al., 1999).

Sombroek et al., (1993), usaron el Mapa Mundial de Suelos FAO /UNESCO (a escala 1:5,000,000) y cerca de 400 perfiles de suelos, agrupados por unidades de suelo de la FAO, con el rango y los valores medios para el contenido de carbono orgánico y la densidad para cada unidad de suelo. Con ello les fue posible estimar las existencias de carbono orgánico según los grupos de suelos de la FAO y las existencias de carbono total en el mundo.

Ciertos estudios, como el de Ellert y Bettany (1995), muestran que, bajo distintos sistemas de manejo varía la capacidad del suelo para almacenar materia orgánica y por tanto para retener carbono. El desmonte de tierras, el sobrepastoreo, la labranza, la tala incontrolada y otras formas de manejo contribuyen a la pérdida de CO₂ hacia la atmósfera fomentando el problema del efecto invernadero.

Se estima que aproximadamente el 40% del incremento total del CO₂ atmosférico ha provenido de cambios en el sistema vegetación-atmósfera (Trabalka, 1985).

Cuadro I. Distribución de las reservas de carbono en la biosfera (Porta et al., 1999).

| Compartimento | Carbono (10^{12} Kg) |
|----------------------------|-------------------------|
| Sedimentos | 6×10^7 |
| Carbón y petróleo | 1×10^4 |
| Carbonatos en océanos | 3840 |
| Humus marino | 3000 |
| Materia orgánica del suelo | 2500 |
| Atmósfera | 700 |
| Vida terrestre | 480 |
| Vida marina | 50 |

Houghton (1995) estima que las emisiones correspondientes al cambio de uso de la tierra (deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas) fueron cerca de 140 Pg entre 1850 y 1990 (de 0.4 Pg/año en 1850 a 1.7 Pg/año en 1990), con una liberación neta hacia la atmósfera de 25 Pg de carbono. De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación.

1.3. Uso del suelo en el Noreste de México.

Se encuentra en esta región una gran variedad de cultivos, destacando entre ellos el cultivo de cítricos, especialmente la naranja pero también mandarinas y pomelos de excelente calidad debido al clima semicálido subhúmedo que caracteriza a la región (Cavazos y Molina, 1992). Otros cultivos de la región son sorgo, maíz, frijol, hortalizas, peral, nogal, aguacate, etc. Las zonas de riego constituyen una excepción por su pequeña superficie y la tecnología sofisticada que en ellas se maneja, la agricultura de temporal es más frecuente, aprovecha los escurrimientos y depende en gran medida de las prácticas de manejo (Maldonado, 1985). En general, los campesinos no desarrollan prácticas conservacionistas, por el contrario, las labores culturales que realizan aceleran el proceso de degradación del ecosistema (Natividad, 1986).

Por otra parte la vegetación característica natural es el matorral submontano aunque, en contraste a esta afirmación, estudios de Peñalosa y Reid (1989) presumen un origen secundario de la gran superficie actual de matorral en el Noreste de México, origen que atribuyen al sobrepastoreo y a incendios inducidos en la época de la conquista.

El matorral natural sufre frecuentemente desmontes para uso agrícola, establecimiento de áreas para pastoreo (pastas o praderas), sobrepastoreo de agostaderos y extracciones descontroladas (esquilmos). Las extracciones del matorral más frecuentes, para uso doméstico, forrajero y forestal, son principalmente de mezquite (*Prosopis laevigata*), huizache (*Acacia farnesiana*), huajillo (*Acacia berlandieri*), tenaza (*Pithecellobium pallens*) y barreta (*Helietta parvifolia*) (Cavazos y Molina, 1992).

En cuanto a la ganadería, existe ganado caprino, bovino, ovino, caballar y mular. Aunque la vocación del suelo es en gran parte de pastizal la mayoría de los agostaderos están sobrepastoreados por haber estado sometidos durante mucho tiempo a diferentes tipos e intensidades de uso, que en muchos casos han modificado sustancialmente los ecosistemas (Maldonado, 1985).

Los suelos bajo estudio son del tipo vertisol (WRB, 1998) que son de gran importancia en la zona del noreste de México y particularmente en la región de Linares, N.L., ya que ocupan la mayor parte de la superficie sujeta a actividades productivas agrícolas o pecuarias, y sustentan la mayor parte de la vegetación nativa de importancia económica regional. Los vertisoles son suelos con un gran potencial productivo y de fertilidad potencial alta, siendo su mayor limitante la disponibilidad de agua para lograr provecho de ellos (Rodríguez y Rodríguez, 2002; Ruiz, 1990; Woerner, 1991).

1.4. Estudios afines en el Noreste de México.

Etchevers et al. (2004) reporta que en México y América Central la acumulación y el secuestro de carbono en el suelo es un aspecto escasamente documentado. No existen estimaciones precisas del tamaño del almacén presente en el suelo. La contribución de los suelos del Noreste de México como reservorio de carbón orgánico y su papel en la dinámica de la materia orgánica con el cambio de uso no se han cuantificado, aunque existen importantes contribuciones a su estudio (Bravo, 2002; Rodríguez y Rodríguez, 2002; Woerner, 1991; Ruiz, 1990; Carstens, 1987).

La mayor parte de los estudios edafológicos llevados a cabo en la región de Linares y Hualahuises se relacionan con la capacidad de aprovechamiento agropecuario y forestal de la zona debido al gran potencial agropecuario que estos municipios tienen en el contexto del estado de Nuevo León, como menciona Rocha (1980), quien llevó a cabo un levantamiento cartográfico del potencial agropecuario y forestal de los suelos del municipio de Linares y Hualahuises.

Villareal (1977), realizó estudios de los suelos y generalidades del aprovechamiento agropecuario de la zona sur del Estado de Nuevo León. Mata (1977), estudió las principales características agronómicas del suelo de Linares y Hualahuises.

Manzano (1997), investigó el efecto del sobrepastoreo por caprinos en un área de matorral sin disturbio, no encontrando cambios significativos en cuanto al contenido de materia orgánica antes y después del pastoreo, en cambio la densidad aparente de ese suelo aumento un 13% en un año de estudio. Gutiérrez (1997), analizó muestras de suelo y subsuelo encontrando que las cantidades de materia orgánica y nitrógeno del suelo estaban relacionadas con factores climáticos y fisiográficos.

Maldonado (1992), estableció parcelas de muestreo en Linares y Montemorelos para cuantificar el grado de desertificación en la zona, reportando un contenido de materia orgánica menor al 5% en áreas bajo uso agrícola, mientras que las áreas sin disturbio presentan valores cercanos o arriba del 10%. Bravo (1999, 2002), estudió el contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo del suelo en áreas con y sin disturbio sobre leptosoles y sobre vertisoles de los municipios de Linares y de Iturbide encontrando influencia del uso del suelo en la dinámica de la materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible del suelo.

Rodríguez y Rodríguez (2002), describe y compara varios perfiles de suelo de vertisoles y chemozemes en el municipio de Linares, N.L. Compara distintos parámetros físicos y químicos entre usos de suelo (matorral, cultivo y vegetación secundaria) determinando su contenido en carbono orgánico y haciendo énfasis en la firma isotópica ($\delta^{13}\text{C}$) de la materia orgánica para determinar su origen y edad.

Cavazos y Molina (1992), publican un registro climatológico de la región citrícola de Nuevo León, boletín en el que recopilan información fisiográfica y climatológica sobre el Sureste del Estado de Nuevo León. Años más tarde, Argüello et al. (2000), publican "Las zonas áridas (y semiáridas) del Noreste de México", reporte en el que presentan una caracterización física, biótica y económica de la región.

Woerner (1991), Marroquín et al. (1981), Maldonado (1985) y Natividad (1986) abordan en sus estudios distintos aspectos ecológicos, ambientales y de aprovechamiento de los recursos naturales en esta región del país. Rojas-Mendoza (1965), Miranda et al. (1964), Johnston (1963), Shreve (1942) y Muller (1939) publicaron distintos estudios sobre la vegetación en el Noreste de México.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general

El presente estudio pretende comparar parámetros físicos y químicos del suelo bajo distintas formas de uso: matorral submontano conservado, parcela de cultivo y vegetación secundaria sometida a eventualmente a pastoreo, haciendo especial énfasis en el contenido de carbono orgánico del suelo. Asimismo, se describen parámetros físicos y químicos a lo largo del perfil del suelo para cada uno de los usos de suelo mencionados.

2.2. Objetivos específicos

- a) Caracterización y contraste de un suelo sometido a tres formas de uso distintas mediante su análisis físico y químico.
- b) Contraste de las características físicas y químicas del suelo a lo largo del perfil para tres usos de suelo diferentes.
- c) Evaluación del potencial de un vertisol, según su uso, como reservorios de carbono.

2.3. Hipótesis experimental

Las características físicas y químicas del suelo, así como su capacidad como reservorio de carbono, varían en función del régimen de manejo del suelo: matorral conservado, parcela cultivada y parcela con vegetación secundaria eventualmente sometida a pastoreo. Asimismo existe una variación en las características físicas y químicas del suelo a lo largo del perfil según el régimen de manejo.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización del área

El área de estudio se ubica en el rancho "El Refugio" en el Municipio de Linares, Nuevo León, sobre las coordenadas 24° 55' 37" N y 99° 45' 46" LO. Con una altitud de 520 m.s.n.m. (según mediciones con GPS).

Este rancho se sitúa en la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos, dentro de la Provincia de Llanura Costera del Golfo Norte. La Subprovincia de Llanuras y Lomeríos, se encuentra al pie de la Sierra Madre Oriental, tiene una superficie de 9.602 km² y se encuentra constituida por serranías pequeñas y lomeríos suaves con algunas llanuras de gran extensión, con altitudes de entre los 150 y los 600 m.s.n.m. (INEGI, 1986).

3.1.2. Clima

Por su situación geográfica latitudinal, el área se encuentra comprendida dentro de la gran zona árida mundial, sin embargo, la presencia de cadenas montañosas y la cercanía del Golfo de México mitigan en parte el clima extremoso dando lugar a un clima semicálido-subhúmedo con lluvias de verano ((A)C (W_o)) según la clasificación climática de Köppen modificada por García (1987).

La precipitación anual es muy variable, con valores promedio de aproximadamente 796 mm/año, concentrándose en dos períodos de lluvias estivales (marzo-junio y septiembre-octubre). La temperatura media anual es de 22.5°C, sin embargo, la temperatura máximas alcanzadas en verano es de 40-45 °C en los meses de julio y agosto y las mínimas, son alcanzadas en los meses de diciembre, enero y febrero, llegan a los -7°C (Woerner, 1991).

El clima extremoso de la región es debido básicamente a su posición geográfica en la zona subtropical de las altas presiones, con la influencia de los vientos alisios húmedos y la canícula durante el verano y los vientos fríos del Norte durante el invierno (Cavazos y Molina, 1992).

En la Figura 3 se muestra el diagrama ombrotérmico elaborado con los datos reportados por la estación meteorológica de Camacho (Linares) desde 1924 hasta el 2003.

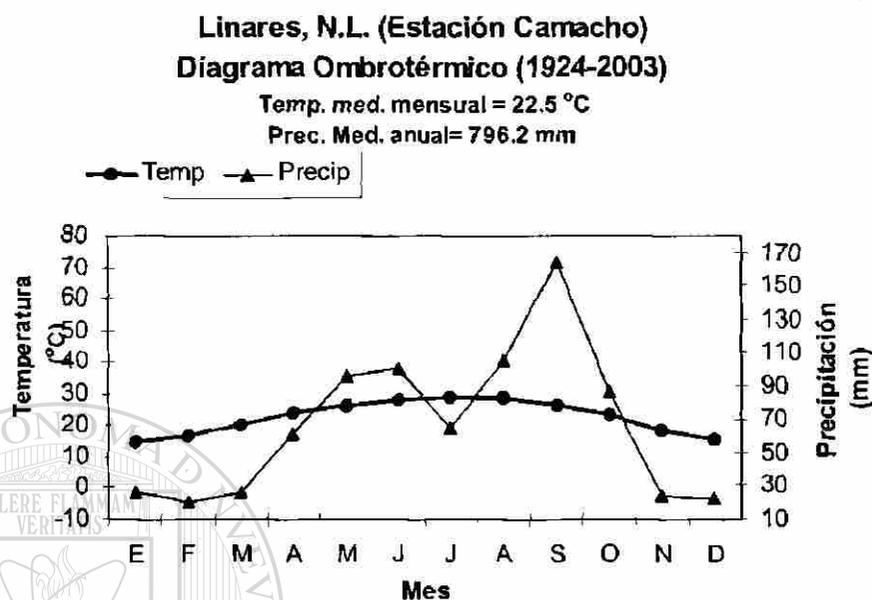


Figura 3. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Camacho, Linares, N.L.

3.1.3. Geología

La Subprovincia de Llanuras y Lomeríos está constituida por rocas sedimentarias marinas del Cretácico de diferente grado de descomposición (formación Méndez) y sedimentos aluviales acumulados desde el Pleistoceno (Woerner, 1991).

Los sedimentos Mesozoicos de la formación Méndez muestran varios centenares de metros de espesor (200-760m), dichos sedimentos son principalmente lutitas (roca calcárea compuesta por limos y arcillas) y, en menor grado, margas, ambas muy susceptibles a la erosión compuestos por materiales finos con distinto contenido de carbonatos (Gamper, 1977; López-Ramos, 1985) con texturas que varían desde franco arenosas hasta arcillosas. Estos sedimentos fueron cubiertos por sedimentos aluvio-coluviales más finos poco cementados y de espesor entre unos y varios decímetros (Padilla y Sánchez, 1978). Una parte de los sedimentos aluviales fue sometida a un proceso intenso de acumulación de carbonatos durante el periodo climático Plio-pleistocénico. La formación del paisaje actual se explica por procesos erosivos que exportan y reorganizan el material fino, modelando el paisaje actual disectado por terrazas de varios niveles, valles y llanuras extendidas (Rohdenburg, 1989). Actualmente la región de estudio está atravesada por los ríos Pablillo, Camacho y Hualahuisés, que fluyen dirección Oeste-Noreste hasta el río Conchos (Tamayo, 1962).

3.1.4. Vegetación

La zona de estudio está comprendida dentro de la llamada Región Xerofítica Mexicana, que comprende a las provincias florísticas de la Altiplanicie y de la Planicie Costera del Noreste (Rzedowski, 1978).

El ecosistema natural característico del área de muestreo es el matorral alto subinermes (COTECOCA, 1973), aunque la denominación de la comunidad vegetal dominante en este área se presta a controversias, siendo los términos matorral submontano y matorral alto subinermes los más utilizados. Este tipo de vegetación cubre aproximadamente el 35% de la superficie de la región de Linares, tanto al pie de la montaña como en tierra más bajas (Villalón-Mendoza, 1989).

El matorral queda dominado por especies de 3 a 6 m de altura, en su mayoría árboles y arbustos de hoja pequeña. Las especies que se encontraron con más frecuencia en el matorral fueron: tenaza (*Uyerdia pallens*), colima (*Zanthoxylum jagara*), chapote prieto (*Diospyros texana*), vara dulce (*Eysenhardtia polystachya*), gavia (*Acacia rigidula*), coma (*Bumelia celastrina*) y brasil (*Condalia hookeri*), entre otras.

La relación de especies encontrada en el muestreo de vegetación del área se muestra en el Anexo 1.

Junto al matorral se ubica una parcela dedicada al cultivo de maíz y una parcela con vegetación secundaria dedicada a pastoreo, en la que domina el estrato herbáceo, compuesto principalmente por gramíneas y con presencia de huizaches (*Acacia farnesiana*) dispersos de entre 2 y 4 m de altura.

3.1.5. Suelo

En la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos predominan los suelos profundos y oscuros, de origen aluvial, destacando los vertisoles crómicos y pélicos (INEGI, 1986).

El suelo del área de estudio es de tipo general vertisol pélico (éutrico) según la clasificación de la World Reference Base for Soil Resources (WRB, 1998). Los vertisoles son suelos pesados con, al menos, el 30% de arcillas en los 50 primeros cm de profundidad, siendo en gran proporción arcillas expansivas (esmectitas). Se caracterizan por presentar superficies de fricción (slickensides) y profundas grietas que se abren desde la superficie hacia abajo en momentos de sequía.

El nombre de vertisol proviene del latín *vertere* “que vuelve” debido a el fenómeno conocido como *self mulching* o automezclado. según el cual el suelo está sometido a un ciclo interno de mezclado del material edáfico según se esquematiza en la Figura 4.

Estos suelos, generalmente, presentan acumulación de calcio (concreciones o polvo). Son suelos profundos, de color oscuro a negro, con horizontes superficiales ricos en materia orgánica, textura fina arcilloso-limosa con estructura en bloques angulares y subangulares. La porosidad de estos suelos es elevada por la gran cantidad de microporos

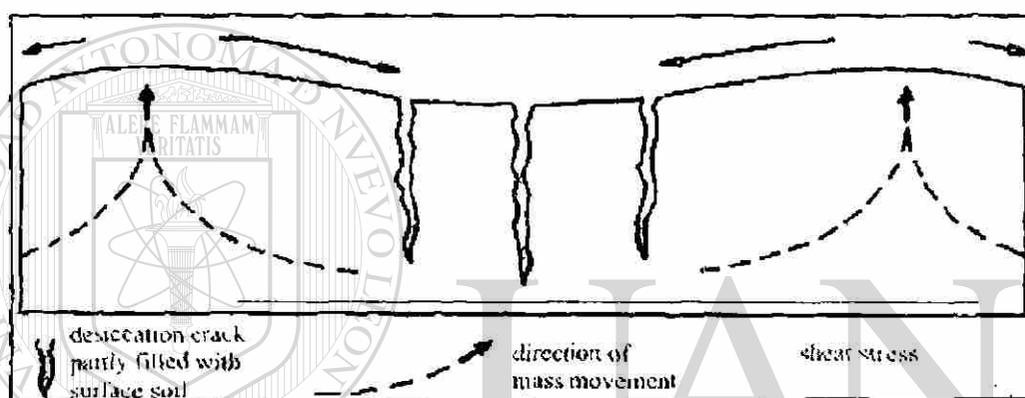


Figura 4. Esquema del movimiento de automezclado que caracteriza los suelos de tipo vertisol (FAO, 2000)

Se forman a partir de materiales parentales ricos en esmectitas que es el primer mineral secundario que se forma por meteorización de las rocas en zonas semiáridas y subtropicales. Las arcillas de esmectita retienen gran parte de los iones, especialmente Ca^{2+} y Mg^{2+} , liberados en la meteorización de silicatos primarios. Si el lixiviado es intenso estos cationes básicos pueden ser arrastrados. Generalmente tienen alta Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) que comúnmente oscila entre los 30 y los 80 $\text{cmol}(+)/\text{Kg}$.

El pH de estos suelos tiende a la neutralidad con variaciones de ligeramente ácido a ligeramente alcalino, normalmente en un rango de 6.0 a 8.0 (Blokhuis, 1982). En la región de Linares el vertisol es especialmente rico en carbonatos de calcio (Ruiz, 1990).

Los usos agronómicos de los vertisoles varía mucho según el clima. El elevado contenido en arcillas y la baja permeabilidad asociadas a estos suelos cuando están húmedos, los hace convenientes para cultivos que requieren buena retención del agua superficial aunque sobre todo suelen ser utilizados para pastos. Son suelos muy productivos, con un elevado potencial agrícola, pero que requieren un manejo especial debido a que en época seca se agrietan y se endurecen mucho y, con humedad, se tornan muy pegajosos (Larry y Puentes, 1988).

3.1.6. Área de muestreo

El área de muestreo comprende una superficie total de 4.4 ha, tiene forma rectangular (Figura 5) orientada en dirección norte-sur y con una pendiente de escasa a nula (0 a 3%). En el extremo Oeste se encuentra el área de matorral alto submerme conservado con 1.87 ha, en posición central del área se encuentra la parcela de cultivo de temporal o secano (maizal) con una superficie de 1.13 ha y en el extremo Este se encuentra el área de vegetación secundaria sometida eventualmente a pastoreo con 1.41 ha.

Este área de muestreo se eligió porque en ella se encuentran las tres formas de uso más frecuentes en la región del noreste de México en parcelas contiguas que comparten el mismo suelo y las mismas características climáticas con pendientes de nulas a escasas, de manera que se puede considerar que, los factores determinantes de las características del suelo son homogéneos para las tres parcelas respecto a los factores secundarios de influencia conocidos, con la excepción del tipo de manejo que se hace de cada una de ellas. Cabe la posibilidad de que la leve pendiente (0 a 3%) tenga alguna influencia sobre las variables de estudio. De esta forma se considera que se reduce al máximo la posible influencia de la variabilidad natural del suelo. Se hicieron varios pre-muestreos con barrena para confirmar la homogeneidad del suelo antes de hacer los pozos de muestreo.

El matorral es denso y bien conservado, se le calcula una edad mínima aproximada de 90 años. El área de cultivo tiene una edad mínima aproximada de 40 años e inicialmente comprendía también la parcela hoy ocupada por vegetación secundaria que hace aproximadamente 14 años fue retirada del manejo agrícola.

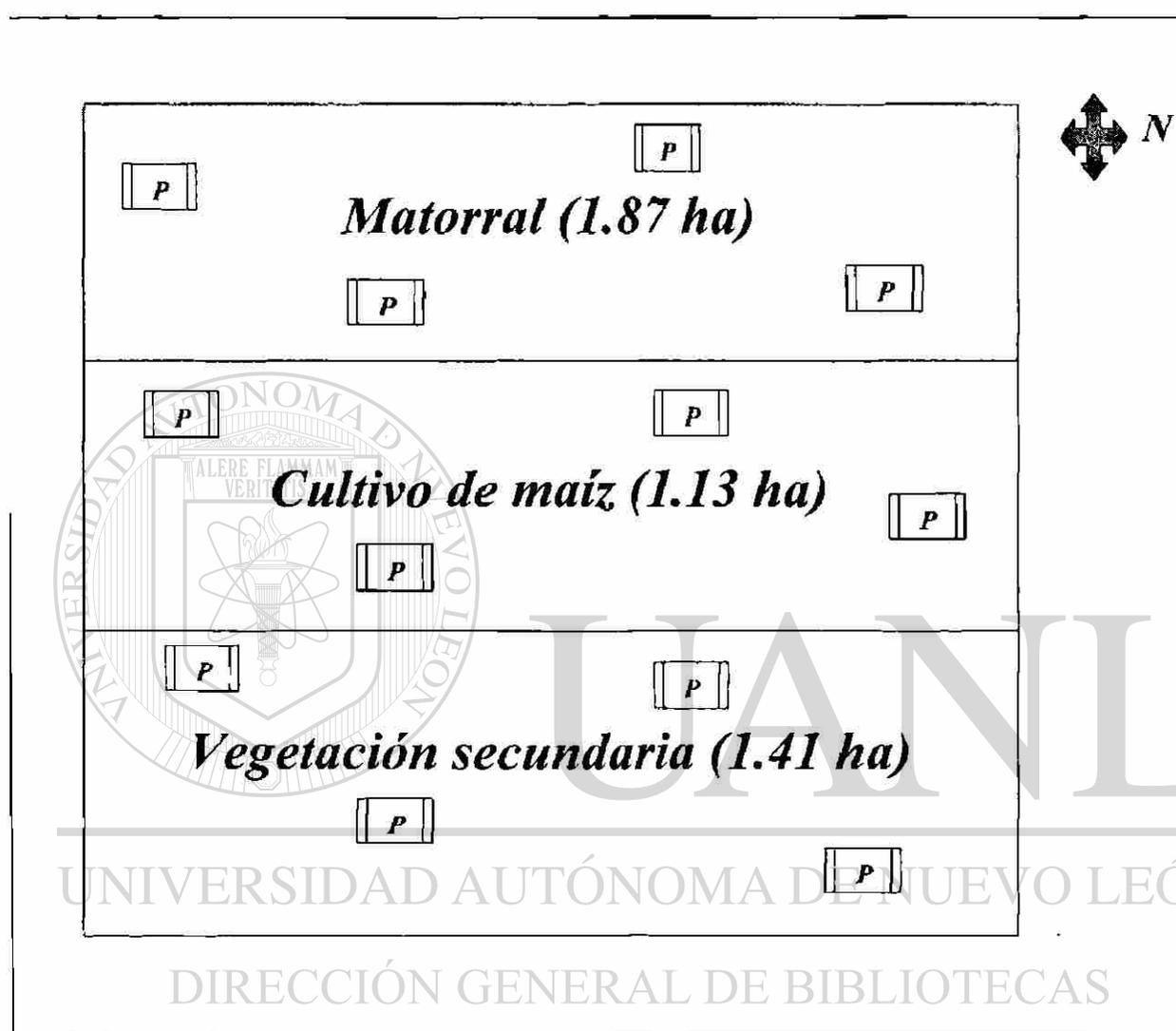


Figura 5. Plano sintético de la distribución de las parcelas en el área de estudio (matorral submontano conservado, parcela de cultivo de temporal y vegetación secundaria sometida eventualmente a pastoreo). Los puntos P hace referencia a la ubicación de los pozos analizados en cada parcela.

3.1.7. Uso e historia del área de estudio

El testimonio más reciente sobre el uso del área de estudio es el del Sr. Ramón Villarreal quien adquirió el rancho hace unos 50 años. De acuerdo con lo registrado en su entrevista, a su llegada al terreno que actualmente es de su propiedad, el matorral ya estaba alto y muy denso de lo que se puede deducir que dicho matorral tiene una edad al menos de 90 años. La zona de matorral, desde hace 90 años, no ha sido utilizada para pastoreo y el matorral es suficientemente denso como para dificultar la entrada ocasional de ganado.

Según las declaraciones del propietario del rancho, en el matorral tan sólo ocasionalmente se hace extracción de algunas maderas: especialmente de tenaza para el mantenimiento de las cercas. Se puede considerar por la diversidad, la estructura y la información obtenida de los propietarios del rancho sobre el área que es un matorral en buen estado de conservación.

En el área de cultivo (de temporal o de secano) se alterna maíz con sorgo y ocasionalmente con otros cultivos como trigo o frijol (produce de 2 a 3 Ton de maíz por cosecha). No se usa, para ello, ni herbicidas ni fertilizantes. Se ara el suelo con arado de vertedera, aporean el cultivo cuando está medio crecido y, tras la siega, se introduce ganado ovino y bovino para que se alimente del rastrojo y abone el campo. Se lleva cultivando desde hace aproximadamente 50 años según el testimonio del Sr. Manuel Villarreal de 55 años (hijo de Ramón Villareal, propietario del rancho, de 84 años).

El manejo del área de vegetación secundaria consiste en alternar épocas de pastoreo (con ganado ovino y vacuno) con épocas de descanso para dejar que vuelva a crecer la hierba. Esta área originalmente fue dedicada al cultivo de temporal y hace aproximadamente 14 años se abandonaron las actividades agrícolas en él y se dejó crecer la vegetación.

3.2. MATERIAL

3.2.1. Material y equipo de campo

- a) Brújula (marca SUUNTO modelo KB-14)
- b) GPS (Geoposicionador, marca GARMIN modelo GPS 12.1)
- c) Clinómetro (marca SUUNTO modelo PM5/360PC)
- d) Carta (1:50,000) topográfica (INEGI, 2001), edafológica (SPP, 1977) y de uso del suelo (SPP, 1978): HUALAHUISES G14C57.
- e) Cilindros de muestreo (100 cm³)
- f) Palas, picos, mazos y navaja
- g) Cinta métrica y estacas
- h) Bolsas plásticas y marcadores
- i) Cuaderno y diario de campo
- j) Vehículo automotor

3.2.2. Material de laboratorio

- a) Medida de la densidad aparente: cilindros de muestreo de 100 cm³, bolsas de papel, balanza de precisión (marca OHAUS modelo 61200-SO) y estufa de secado con aire forzado (marca HERAEUS modelo D-6450-HANAUS).
- b) Análisis granulométrico: tamices metálicos (0.63, 0.44 y 0.20 mm), centrifugadora (marca BRCKMAN modelo AS-6K), hidrómetro Bouyoucos (marca ASTM modelo 152H), termómetro y probetas de sedimentación.
- c) pH: potenciómetro (marca CORNING modelo M220).
- d) Conductividad eléctrica: conductímetro (marca CONDUCTRONIC modelo CL8).
- e) Materia orgánica y carbono orgánico: campana extractora de humos y bureta graduada.
- f) Nitrogeno total: campana extractora de humos, bureta graduada, bloque de digestión de alta temperatura (marca TECATOR modelo 2006) y unidad de destilación (marca TECATOR modelo 2100).
- g) Micros y macronutrientes: espectrofotómetro de absorción atómica (marca VARIAN modelo ESPECTRAA 200).

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Fundamentación de la selección del área

En este estudio se compararon las características físicas y químicas del suelo bajo las tres formas de uso más frecuentes en la región:

- parcela de cultivo de temporal **no** tratada con agroquímicos y sujeta a labranza tradicional.
- área con vegetación secundaria sometida eventualmente a pastoreo
- y vegetación natural de matorral alto subinme conservado (de al menos 90 años de edad).

Las tres parcelas comparten el mismo tipo de suelo (vertisol), se distribuyen de forma colindante y poseen pendientes de nula a suave (de 0 a 3%). Todas las parcelas comparten el mismo tipo de suelo, lo cual se corroboró haciendo varias extracciones de suelo con ayuda de una barrena. Estas condiciones nos permiten considerar que, salvo el tipo de uso y su duración, los factores que más pudieran influir sobre las características del suelo (factores climáticos, factores topográficos o material de origen) son homogéneos para las tres parcelas a comparar y que, por tanto, la diferencia en las características físicas y químicas que se encuentren pueden ser atribuibles principalmente al tipo de uso del suelo y no a la variabilidad que exista en el mismo.

Para las comparaciones, pueden considerarse como tres formas de uso de suelo o puede entenderse la parcela de vegetación secundaria como una etapa en la recuperación del suelo tras un periodo de explotación agrícola.

3.3.2. Ubicación de los puntos de muestreo y toma de muestras

Tras verificar la homogeneidad del área de estudio mediante extracción de suelo con ayuda de una barrena en diferentes puntos del terreno, se distribuyeron cuatro pozos de muestreo por cada una de las parcelas de uso (doce pozos de muestreo en total). La distribución de los pozos en el área se hizo de forma regular (muestreo sistemático) de manera que la posible diversidad del suelo quedara reflejada en los muestreos (Figura 5). Se evitaron zonas de borde de la parcela que pudieran no ser representativas del área (Darwich, 2003).

Los 12 perfiles de suelo resultantes fueron descritos como un tipo uniforme de vertisol pélico (eútrico) (WRB, 1998). Los pozos se hicieron hasta alcanzar el límite de la matriz del suelo, lo que supone una profundidad que oscila entre los 70 y los 100 cm según el pozo.

- Extracción de muestras en bolsas:

Se extrajeron muestras suelo, suficiente como para obtener 1.5 Kg de suelo seco y tamizado, cada 10 cm de profundidad hasta el límite de la matriz del suelo (la máxima profundidad del pozo oscilaba entre 70 y 100 cm) extrayendo suelo de las tres paredes intactas del pozo. Se guardó el suelo en bolsas plásticas debidamente etiquetadas para su posterior secado, molienda y tamizado a 2 mm para su posterior análisis físico y químico en laboratorio.

- Extracción de cilindros:

Se tomaron muestras de suelo inalterado en cilindros metálicos de aproximadamente 100 cm³ para el cálculo de la densidad aparente del suelo a diferentes profundidades (cada 10 cm hasta alcanzar una profundidad de 70 cm). Se tomaron tres cilindros por cada 10 cm de profundidad en cada uno de los pozos (21 cilindros por pozo, 252 cilindros en total). Para la extracción exitosa de suelo intacto se hace el muestreo con cilindros en el momento en el que el suelo está próximo a su capacidad de campo (Blake y Hartge, 1986).

3.3.3. Muestreo de vegetación

Se hizo el inventario de la vegetación en la parcela de matorral conservado cuyos resultados se muestran en el Anexo I.

Para el muestreo de la vegetación se rastrearon parcelas distribuidas al azar por el área de matorral utilizando el método de sorteo de parcelas. Se tomaron parcelas de 10 m² para el rastreo del estrato alto o arbóreo (>4 m de altura) y para el estrato medio o arbustivo (de 1.5 a 4 m de altura) (Rodríguez y Rodríguez, 1994).

Para decidir el área mínima de muestreo se traza una curva de riqueza de especies y se rastrean parcelas hasta que la curva se estabiliza de tal manera que aumentando en un 10% la superficie ya no aumenta el número de especies (Muller-Dombois y Ellenberg, 1974).

Para el muestreo del área mínima de matorral, con una superficie total de 1.87 ha, se trazaron 23 parcelas de muestreo de 10 m², es decir, hubo que muestrear un 1.23% del terreno.

3.3.4. Métodos de laboratorio

Las muestras inalteradas de suelo para la determinación de la densidad aparente, fueron secadas, en bolsas de papel, en una estufa de aire forzado a 105°C y pesadas cada 24 horas hasta peso constante. Las muestras de suelo tomadas en bolsas plásticas para su análisis físico y químico fueron secadas al aire. Una vez secas se procedió a su molienda con mazo de madera y su tamizado a 2 mm. El suelo fino extraído fue utilizado para las determinaciones de la textura del suelo, el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica (y carbono orgánico), el nitrógeno total (y relación C/N), el contenido de macronutrientes (Ca, K, Mg, y Na) y el contenido de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn). Todas las variables fueron estimadas, cada 10 cm de profundidad, hasta una profundidad de 70 cm salvo en el caso de las variables nitrógeno total, macros y micronutrientes que se estimaron, cada 10 cm de profundidad, hasta los 30 cm.

Los métodos utilizados para estas determinaciones físicas y químicas quedan sintetizados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Determinaciones analíticas y métodos utilizados para el análisis físico y químico de las muestras.

| Determinación | Método |
|-------------------------|--|
| Densidad aparente | Método del cilindro (Blake, 1986) |
| Análisis granulométrico | Método del Hidrometro de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986) |
| pH (reacción del suelo) | Potenciómetro en suspensión de suelo-CaCl ₂ 0.01M, relación 1:2.5 (Woerner, 1989) |
| Conductividad eléctrica | Celda de conductividad en suspensión suelo-agua 1:5 (Woerner, 1989) |
| Materia orgánica | Método de combustión húmeda según Walkley-Black (Woerner, 1989) |
| Nitrógeno total | Método semi-micro de Kjeldahl (Woerner, 1989) |
| Micronutrientes | Extracción de Fe, Mn, Zn y Cu con DTPA-H ₂ A-CaCl ₂ y determinación mediante EAA (Woerner, 1989) |
| Macronutrientes | Extracción de K, Mg, Ca y Na con acetato-NH ₄ pH 7.0 y determinación mediante EAA (Woerner, 1989) |

3.3.5. Caracterización física del suelo

a) Densidad aparente:

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que estos ocupan. El interés de medir la densidad aparente del suelo a diferentes profundidades es debido a que la densidad aparente está relacionada y es indicadora de otras propiedades y características del suelo, entre estas destacan la textura, el contenido en materia orgánica, la porosidad, la compactación-compresión, la conductividad térmica y la resistencia del suelo a la penetración.

Se determinó la densidad aparente extrayendo, mediante cilindros metálicos de 100 cm³, suelo intacto de distintas profundidades (cada 10 cm de profundidad) en las tres paredes intactas del pozo. Los cilindros se pesaron antes de la colecta, luego se pesaron con suelo húmedo y una vez seco (hasta peso constante) y se realizaron los cálculos pertinentes según la siguiente relación (Blake y Harge, 1986):

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso del suelo seco (g)}}{\text{Volumen de la muestra (cm}^3\text{)}}$$

Se utilizan muestras (tres muestras tomadas cada 10 cm hasta 70 cm de profundidad para los 12 pozos) tomadas con cilindros metálicos de 100 cm³ de volumen cuando el suelo se encontraba próximo a su capacidad de campo. Se obtendrá el peso fresco y el peso seco (secado a 105° C hasta peso constante) para cada muestra y se harán los cálculos pertinentes.

b) Textura (análisis granulométrico del suelo):

Las clases texturales quedan determinadas por la abundancia relativa (en %) de las tres fracciones del suelo: arenas, limos y arcillas. Las partículas gruesas pueden ser separadas mediante tamizado y las más finas se separarán en un proceso de sedimentación basado en la ley de Stokes según la cual la velocidad relativa de sedimentación en una solución acuosa depende del tamaño de las partículas (Porta et al., 1999).

Para separar las distintas fracciones granulométricas se hace necesario establecer previamente los límites que definen cada una de las fracciones. Los criterios para ello son un tanto arbitrarios, en el presente estudio se utiliza el criterio propuesto por Atterberg, adoptados por la International Society of Soil Science (ISSS) en 1927 (Mathieu y Pieltain, 1998), y cuyos límites y la justificación de los mismos se exponen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fracciones granulométricas utilizadas por la ISSS y justificación de los valores adoptados.

| Límite | Fracción | Justificación |
|-------------------|-----------------------------|--|
| 200 μm | Límite superior de la arena | Por encima de este límite los minerales formadores de las rocas se presentan separados |
| 20 μm | Límite superior del limo | Límite arbitrario |
| < 2 μm | Arcillas | Partículas con importante carga eléctrica superficial. Superficie específica elevada |

La textura del suelo es un indicador de la proporción relativa de arenas, limos y arcillas del suelo que lo constituyen. Según esta proporción se pueden clasificar los suelos según clases texturales. Para la clasificación textural se utiliza un triángulo de clases de textura según el cual se pueden distinguir doce clases texturales (triángulo de clases texturales propuesto por el ISSS según Mathieu y Pieltain (1998)).

Lo útil de conocer la clase de textura que tiene el suelo es nos permite hacer una deducción de ciertas propiedades generales del suelo.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

3.3.6. Caracterización química del suelo

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

a) pH:

El pH de una solución es su grado de acidez o alcalinidad, y se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno. La reacción del suelo (pH) es una de las determinaciones más importantes, ya que es un indicador de múltiples propiedades químicas, físicas y biológicas que influyen fuertemente en su fertilidad (Castellanos et al., 2000). El procedimiento utilizado en este caso consistió en pesar 10 g de suelo seco fino y añadirle una solución de cloruro cálcico 0.01M (20 ml). Se deja reposar durante 1 hora agitando de vez en cuando y se toman las medidas del pH con un potenciómetro electrónico digital, calibrado previamente.

b) Conductividad eléctrica:

La conductividad eléctrica de un extracto de pasta saturada mide la salinidad de una muestra en condiciones de saturación de agua. La salinidad del suelo queda determinada por la cantidad de sales solubles que se definen como los constituyentes inorgánicos del suelo que son fácilmente solubles en agua (Castellanos et al., 2000). La conductividad eléctrica varía con la temperatura por lo que las lecturas se refieren a la temperatura de 25°C (Porta et al., 1999).

El método utilizado consiste en añadir 50 ml de agua a una muestra de 10 g de suelo y dejar reposar durante al menos 2 horas agitando de vez en cuando. Utilizamos un conductímetro debidamente calibrado. Los criterios de valoración de la salinidad se utilizaron según el Manual de Métodos Químicos para el Análisis de Suelos Calizos de Zonas Áridas y Semiáridas (Woerner, 1989).

c) Materia orgánica y carbono orgánico en el suelo:

Se utilizó el método de combustión húmeda y titulación Walkley-Black que hace la digestión de la materia húmeda con ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), oxidación del carbono con dicromato de potasio 0.07M y titulación del exceso de dicromato con sulfato ferroso 0.2M aplicando los cálculos adecuados se obtienen valores de carbono orgánico en porcentaje respecto al peso de suelo (Woerner, 1989).

Una vez obtenido el porcentaje de carbono orgánico del suelo se estimó la cantidad de materia orgánica con un factor $F = 1.724$ ya que se considera que la materia orgánica del suelo contiene un promedio de 58% de carbono ($100/58 = 1.724$) (Woerner, 1989).

d) Nitrogeno orgánico total (‰):

Se estimó por digestión del nitrógeno total y su titulación según el procedimiento semi-micro de Kjeldahl. El N fijado en la materia orgánica se transforma a través de la ebullición con ácido sulfúrico concentrado a través de un catalizador de sulfato de amonio al 40%, destilación en medio alcalino, recolección en ácido bórico y determinación del N llevado en forma amoniacal al ácido bórico a través de titulación con ácido clorhídrico 0.03M (Woerner, 1989).

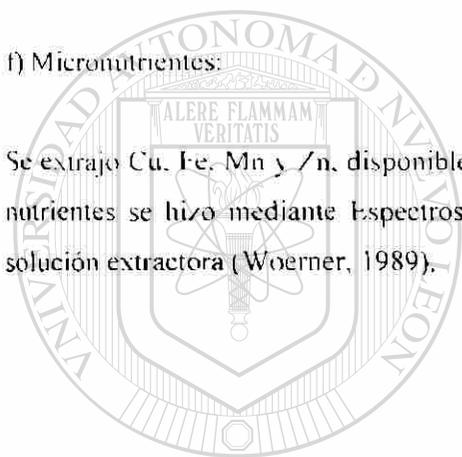
También se estimó la relación C/N, entre el contenido de carbono orgánico (C) y el de nitrógeno total (N), pues esta relación se puede utilizar como indicador de la calidad de la materia orgánica y de la rapidez con la que es degradada por los microorganismos del suelo.

e) Macronutrientes:

Se extrajo Ca, K, Mg y Na con acetato de amonio a pH 7.0. Se utilizó acetato de amonio 1 M a pH 7.0 por intercambio catiónico en suelos liberados de carbonatos. La determinación de los nutrientes se hizo mediante Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) usando estándares en solución de acetato de amonio (Woerner, 1989).

f) Micronutrientes:

Se extrajo Cu, Fe, Mn y Zn, disponibles con DTPA-TEA-CaCl₂ a pH 7.3. La determinación de los nutrientes se hizo mediante Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) usando estándares en solución extractora (Woerner, 1989).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.4. Análisis de datos

3.4.1. Cálculos

El porcentaje de carbono orgánico (CO) del suelo se convirtió a peso de carbono orgánico (PCS) del suelo por unidad de superficie (Mg/ha) en función de la espesor del suelo (L) (cm) y la densidad aparente (ρ) (Mg/m³) según la relación (Veldkamp, 1994):

$$PCS = CO \cdot L \cdot \rho$$

Debido al efecto compactador que el pisoteo del ganado o el uso de maquinaria agrícola pueden provocar en el suelo, la densidad aparente del mismo aumenta con respecto al estado natural del suelo (sin uso). Esto tiene un efecto importante sobre los cálculos referentes al contenido de carbono orgánico del suelo, pues las muestras tomadas en el matorral conservado a cierta profundidad no son directamente comparables con las muestras tomadas en la parcela de vegetación secundaria o en la de cultivo para la misma profundidad. Según esto, se hicieron correcciones en los resultados referentes al carbono orgánico asumiendo que la relación entre la profundidad y la densidad aparente para la parcela de vegetación secundaria y de cultivo originalmente era la misma que para la parcela de matorral conservado (Veldkamp, 1994). Un ejemplo de estas correcciones: para la parcela de vegetación secundaria, en los primeros 10 cm de profundidad, el análisis de muestras arroja un promedio de 18.48 Mg/ha de carbono almacenado en el suelo, sin embargo, para esta profundidad, la densidad aparente es de 1.19 Mg/m³, pues ha sufrido una compactación por el uso. Si se tiene en cuenta que la densidad aparente original para esta profundidad es de 0.86 Mg/m³, la cantidad de carbono almacenado en este estrato sería de 13.35 Mg/ha. Si no se realiza esta transformación se sobreestimaría la capacidad de el suelo para almacenar carbono.

3.4.2. Análisis estadísticos

Se efectuaron análisis de la varianza con un criterio de clasificación (ANOVA) de las variables de estudio para las distintas profundidades del suelo dentro de cada parcela (matorral conservado, cultivo y vegetación secundaria). Mediante Pruebas de Tukey (con un coeficiente de confianza $\alpha = 0.05$) se compararon las variables de estudio tanto entre parcelas para una profundidad dada como entre profundidades a lo largo del perfil del suelo para cada una de las formas de uso (matorral conservado, cultivo y vegetación secundaria). Se usó para ello el paquete estadístico SPSS versión 6.0 para Windows (Statistical Package for Social Sciences).

4. RESULTADOS

4.1. Análisis estadísticos de las variables observadas

Los datos resultantes de los análisis físicos y químicos realizados se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y Pruebas de Tukey (para coeficientes de confianza $\alpha = 0.05$) mediante las cuales se comparó cada variable en profundidad en cada parcela de estudio y cada variable con respecto a las otras parcelas de estudio para una profundidad determinada.

Estos análisis se llevaron a cabo hasta 70 cm de profundidad en intervalos de 10 cm para las variables Densidad aparente, Fracciones granulométricas (arenas, limos y arcillas), Carbono orgánico, pH y Conductividad eléctrica. Para las variables Nitrógeno total, relación C/N, macronutrientes (Ca, K, Mg y Na) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) las comparaciones se hicieron hasta 30 cm de profundidad en intervalos de 10 cm.

Para las variables: textura, densidad aparente, materia orgánica y pH, se muestran gráficos del comportamiento de la variable en profundidad según el tipo de uso.

Los resultados del análisis de la varianza que compara las variables de estudio entre parcelas de uso para una profundidad dada se muestran en los Cuadros 4 y 5. Los resultados del análisis de la varianza que compara las diferentes variables de estudio en profundidad para cada una de las parcelas de estudio se muestran en los Cuadros 6-20.

Las Pruebas de Tukey para la comparación de las variables de estudio tanto en profundidad para cada una de las parcelas de uso como entre parcelas para una profundidad dada se muestran en el Anexo 3.

Cuadro 4. Resumen del análisis de la varianza que compara las variables de estudio: densidad aparente (Dens. ap.), arenas (Ar.), limos (Lim.), arcillas (Arc.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia.

| Variable | Parcela | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|---------|---------|------|---------|---------|--------|------|-----------------|---------|--------|-----|
| | Matorral | | | | Cultivo | | | | Veg. Secundaria | | | |
| g.l. | CME | Valor F | Sig. | g.l. | CME | Valor F | Sig. | g.l. | CME | Valor F | Sig. | |
| Dens.ap. | 70 | 0.23 | 80.159 | *** | 58 | 0.22 | 6.275 | *** | 70 | 0.17 | 10.324 | *** |
| Ar. (%) | 20 | 135.10 | 6.081 | *** | 19 | 8.29 | 2.411 | NS | 21 | 20.41 | 3.734 | * |
| Lim. (%) | 20 | 581.57 | 0.994 | NS | 19 | 175.88 | 5.703 | ** | 21 | 386.50 | 0.791 | NS |
| Arc. (%) | 20 | 423.70 | 5.901 | ** | 19 | 185.57 | 5.006 | ** | 21 | 433.78 | 1.428 | NS |
| CO | 21 | 84.11 | 71.004 | *** | 21 | 30.15 | 3.006 | * | 21 | 90.51 | 0.501 | NS |
| C/N | 6 | 6.10 | 1.174 | NS | 6 | 9.62 | 6.819 | * | 6 | 13.47 | 8.224 | * |
| NT | 6 | 0.39 | 171.831 | *** | 6 | 0.05 | 14.104 | ** | 6 | 0.06 | 42.030 | *** |
| pH | 18 | 0.83 | 0.138 | NS | 18 | 0.44 | 1.314 | NS | 18 | 0.57 | 19.137 | *** |
| C.E. | 15 | 2863.15 | 3.224 | * | 14 | 1102.78 | 6.305 | ** | 17 | 1491.67 | 8.373 | *** |

NS: $p > 0.05$; *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$

Cuadro 5. Resumen del análisis de la varianza que compara las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia.

| Variable | Parcela | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-----------|--------|------|---------|-----------|--------|------|-----------------|-----------|--------|-----|
| | Matorral | | | | Cultivo | | | | Veg. Secundaria | | | |
| g.l. | CME | F | Sig. | g.l. | CME | F | Sig. | g.l. | CME | F | Sig. | |
| Ca | 6 | 603040.34 | 3.594 | NS | 6 | 379707.37 | 3.709 | NS | 8 | 289904.31 | 0.787 | NS |
| K | 6 | 13404.45 | 2.091 | NS | 6 | 6662.78 | 5.550 | * | 6 | 2243.34 | 49.795 | *** |
| Mg | 6 | 7892.17 | 15.829 | ** | 7 | 1217.71 | 3.284 | NS | 7 | 8809.59 | 1.014 | NS |
| Na | 8 | 7420.26 | 8.521 | * | 5 | 1810.92 | 6.630 | NS | 5 | 2504.85 | 2.468 | NS |
| Cu | 6 | 0.03 | 3.710 | NS | 6 | 0.09 | 0.813 | NS | 6 | 0.16 | 0.501 | NS |
| Fe | 6 | 57.56 | 0.143 | NS | 6 | 4.67 | 3.251 | NS | 6 | 20.64 | 5.556 | * |
| Mn | 6 | 217.88 | 1.311 | NS | 6 | 46.10 | 0.927 | NS | 6 | 695.96 | 1.079 | NS |
| Zn | 6 | 0.12 | 3.527 | NS | 6 | 0.62 | 45.922 | *** | 6 | 0.22 | 9.825 | * |

NS: $p > 0.05$; *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$

Cuadro 6. Resumen del análisis de la varianza para la textura del suelo entre parcelas de uso para cada uno de los intervalos de profundidad. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia.

| cm | Variable | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|---------|--------|------|-------|---------|-------|------|----------|---------|--------|----|
| | Arenas | | | | Limos | | | | Arcillas | | | |
| g.l. | CME | Valor F | Sig. | g.l. | CME | Valor F | Sig. | g.l. | CME | Valor F | Sig. | |
| 0-10 | 8 | 87.82 | 5.738 | * | 8 | 222.25 | 3.103 | NS | 8 | 165.33 | 12.853 | ** |
| 10-20 | 9 | 30.38 | 3.653 | NS | 9 | 239.93 | 0.640 | NS | 9 | 272.62 | 0.023 | NS |
| 20-30 | 8 | 7.96 | 11.263 | ** | 8 | 142.41 | 0.185 | NS | 8 | 131.74 | 1.038 | NS |
| 30-40 | 9 | 21.97 | 0.572 | NS | 9 | 171.71 | 1.369 | NS | 9 | 125.32 | 1.194 | NS |
| 40-50 | 9 | 3.62 | 0.304 | NS | 9 | 156.93 | 0.252 | NS | 9 | 158.45 | 0.205 | NS |
| 50-60 | 9 | 4.68 | 2.209 | NS | 9 | 102.18 | 3.172 | NS | 9 | 87.94 | 2.559 | NS |
| 60-70 | 8 | 7.34 | 1.524 | NS | 8 | 108.50 | 3.341 | NS | 8 | 101.64 | 4.722 | NS |

NS: p > 0.05; *: p < 0.05; **: p < 0.01; ***: p < 0.001

Cuadro 7. Resumen del análisis de la varianza para la densidad aparente del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 25 | 26 | 28 | 33 | 33 | 30 | 30 |
| CME | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 0.11 | 0.9 | 0.11 |
| Valor F | 115.667 | 7.393 | 2.687 | 10.140 | 1.318 | 1.103 | 1.453 |
| Sig. | *** | ** | NS | *** | NS | NS | NS |

NS: p > 0.05; *: p < 0.05; **: p < 0.01; ***: p < 0.001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Cuadro 8. Resumen del análisis de la varianza para el carbono orgánico (CO) del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| CME | 25.35 | 9.99 | 38.97 | 45.35 | 20.04 | 29.48 | 35.84 |
| Valor F | 305.007 | 34.494 | 3.296 | 3.245 | 3.590 | 1.762 | 0.982 |
| Sig. | *** | *** | NS | NS | NS | NS | NS |

NS: p > 0.05; *: p < 0.05; **: p < 0.01; ***: p < 0.001

Cuadro 9. Resumen del análisis de la varianza para el nitrógeno total del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - |
| CME | 0.29 | 0.09 | 0.10 | - | - | - | - |
| Valor F | 263.886 | 30.156 | 29.280 | - | - | - | - |
| Sig. | *** | *** | *** | - | - | - | - |

NS:p>0.05; *:p< 0.05; **:p< 0.01; ***:p< 0.001

Cuadro 10. Resumen del análisis de la varianza para la relación C/N del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - |
| CME | 9.04 | 13.31 | 6.85 | - | - | - | - |
| Valor F | 0.292 | 8.966 | 13.219 | - | - | - | - |
| Sig. | NS | * | ** | - | - | - | - |

NS:p > 0.05; *:p < 0.05; **:p < 0.01; ***:p < 0.001

Cuadro 11. Resumen del análisis de la varianza para el pH del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 5 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 7 |
| CME | 0.33 | 0.25 | 0.21 | 0.30 | 0.39 | 0.43 | 0.59 |
| Valor F | 15.012 | 51.666 | 44.758 | 23.380 | 4.831 | 1.562 | 0.313 |
| Sig. | ** | *** | *** | *** | NS | NS | NS |

NS:p > 0.05; *:p < 0.05; **:p < 0.01; ***:p < 0.001

Cuadro 12. Resumen del análisis de la varianza para la conductividad eléctrica (C.E.) del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad. g.l.: grados de libertad del error. CME: Cuadrado Medio del Error. Sig.: Significancia.

| f-estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|---------------|------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| CME | 1223.43 | 833.61 | 592.73 | 487.61 | 623.05 | 1244.11 | 453.02 |
| Valor F | 32.444 | 19.866 | 31.622 | 32.119 | 27.185 | 3.722 | 1.929 |
| Sig. | *** | ** | *** | *** | *** | NS | NS |

NS:p>0.05; *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p≤0.001

Cuadro 13. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Ca del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 7 | 6 | 7 | - | - | - | - |
| CME | 6412450.12 | 3200551.23 | 3113516.31 | - | - | - | - |
| Valor F | 14.431 | 48.214 | 62.709 | - | - | - | - |
| Sig. | ** | *** | *** | - | - | - | - |

NS:p>0.05; *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.001

Cuadro 14. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de K del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| f-estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|---------------|------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - |
| CME | 16646.03 | 3675.46 | 1989.75 | - | - | - | - |
| Valor F | 0.308 | 4.582 | 4.848 | - | - | - | - |
| Sig. | NS | NS | NS | - | - | - | - |

NS:p>0.05; *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p≤0.001

Cuadro 15. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Mg del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|----------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 8 | 6 | - | - | - | - |
| CME | 3592.42 | 10976.68 | 3350.37 | - | - | - | - |
| Valor F | 11.385 | 2.722 | 13.834 | - | - | - | - |
| Sig. | ** | NS | ** | - | - | - | - |

NS:p>0.05; *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p≤0.001

Cuadro 16. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Na del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 7 | 5 | - | - | - | - |
| CME | 2322.13 | 6848.24 | 2564.97 | - | - | - | - |
| Valor F | 9.854 | 2.484 | 11.485 | - | - | - | - |
| Sig. | * | NS | * | - | - | - | - |

NS: $p > 0.05$; *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$

Cuadro 17. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Cu del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - |
| CME | 0.11 | 0.11 | 0.08 | - | - | - | - |
| Valor F | 2.102 | 3.041 | 7.286 | - | - | - | - |
| Sig. | NS | NS | * | - | - | - | - |

NS: $p > 0.05$; *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$

Cuadro 18. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Fe del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - |
| CME | 46.65 | 11.69 | 6.05 | - | - | - | - |
| Valor F | 6.478 | 12.758 | 4.989 | - | - | - | - |
| Sig. | * | * | NS | - | - | - | - |

NS: $p > 0.05$; *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$

Cuadro 19. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Mn del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - |
| CME | 454.55 | 374.16 | 131.24 | - | - | - | - |
| Valor F | 10.635 | 4.822 | 11.785 | - | - | - | - |
| Sig. | * | NS | * | - | - | - | - |

NS: $p > 0.05$; *: $p \leq 0.05$; **: $p \leq 0.01$; ***: $p \leq 0.001$

Cuadro 20. Resumen del análisis de la varianza para el contenido de Zn del suelo entre parcelas para cada uno de los intervalos de profundidad.

| Estadístico | Profundidad (cm) | | | | | | |
|-------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| g.l. | 6 | 6 | 6 | - | - | - | - |
| CMF | 0.78 | 0.09 | 0.08 | - | - | - | - |
| Valor F | 28.812 | 7.409 | 0.140 | - | - | - | - |
| Sig. | *** | * | NS | - | - | - | - |

NS: p > 0.05; *: p = 0.05; **: p = 0.01; ***: p < 0.001

4.2. Textura (análisis granulométrico)

Se hizo el análisis de textura para los cuatro pozos de cada parcela. Se compararon las medias entre parcelas para cada profundidad dada y entre profundidades por parcela aplicando Pruebas de Tukey, con nivel de significancia de 0.05.

Con el uso del triángulo de texturas propuesto por la International Society of Soil Science, ISSS (Mathieu et al., 1998) (Anexo 4) se determinó que el suelo es de tipo arcilloso cercano a arcillolimoso, al tener proporciones de arcillas que oscilan entre el 45 y el 67%, como corresponde a los vertisoles que son suelos pesados por naturaleza.

La comparación de las parcelas de uso para una profundidad dada muestra que, para los 10 primeros cm de profundidad, la proporción de arcillas es mayor en la parcela de cultivo que en la de matorral (45.5% en la parcela de matorral y 63.0% en la de cultivo). Para los limos, fracción intermedia del suelo, no se han encontrado diferencias significativas ni entre parcelas ni en profundidad. En la parcela de matorral, entre los 0 y 30 cm de profundidad, la proporción de arenas es significativamente mayor que en la parcela de cultivo (con una media de 8.1% de arenas en los 30 primeros cm de profundidad para la parcela de matorral frente a 3.2% en la parcela de cultivo). El análisis de Tukey para comparación de medias en profundidad muestra que, para las tres parcelas de estudio, existe una mayor proporción de arenas en superficie con tendencia a ir disminuyendo progresivamente con la profundidad.

En la Figura 6 se muestra gráficamente la proporción de cada una de las fracciones del suelo para las distintas parcelas de uso estudiadas.

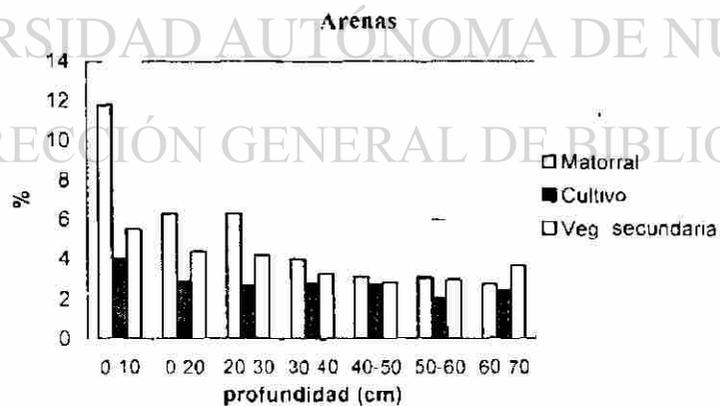
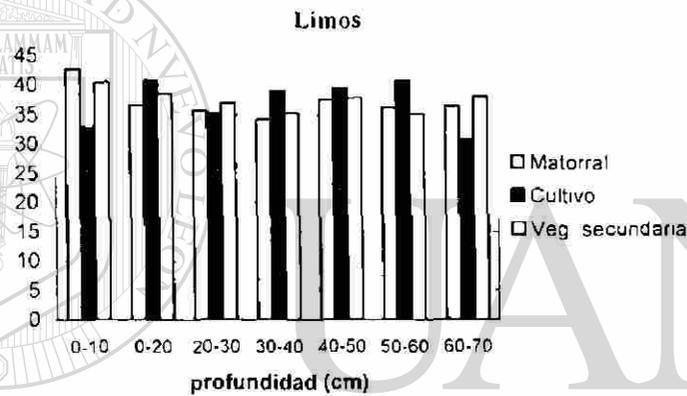
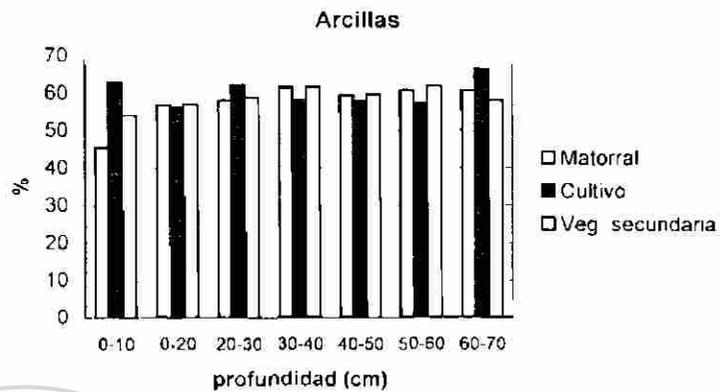


Figura 6. Proporción de las distintas fracciones granulométricas (texturales) del suelo en profundidad para las tres parcelas de estudio: matorral, cultivo y vegetación secundaria.

4.3. Densidad aparente del suelo

El comportamiento observado para esta variable, según se profundiza en el perfil del suelo, para cada tipo de uso, se representa en la Figura 7. Puede observarse una tendencia al aumento de la densidad aparente a medida que se profundiza en el suelo.

Según los análisis de Tukey realizados existen diferencias significativas ($\alpha = 0.05$), para los 10 primeros cm de profundidad entre la parcela de matorral (0.8 Mg/m^3) y las otras dos parcelas de estudio (1.2 Mg/m^3). Entre 10 y 20 cm de profundidad, las diferencias sólo se mantienen entre la parcela de matorral y la de vegetación secundaria, presentando esta segunda parcela una mayor compactación. Para el resto de las profundidades no existen diferencias significativas entre las 3 parcelas de uso.

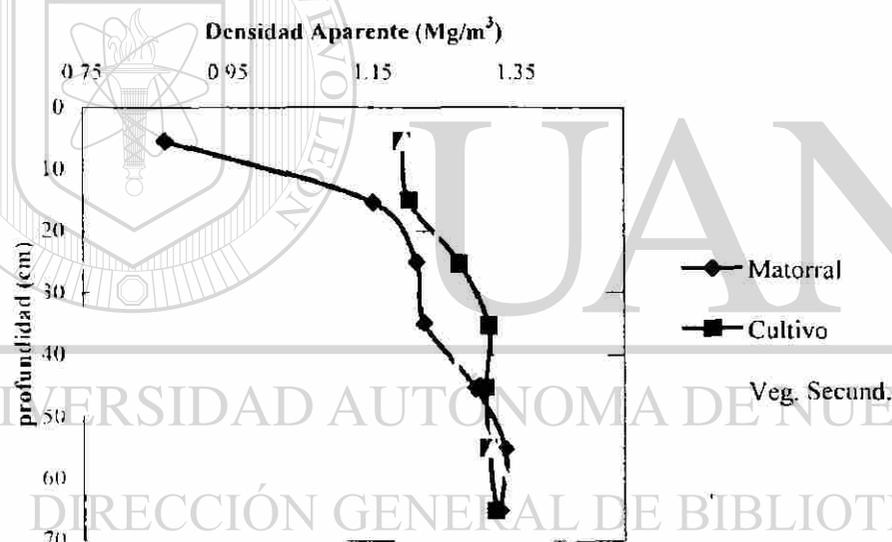


Figura 7. Densidad aparente (Mg m^{-3}) en profundidad para las tres formas de uso de suelo estudiadas: matorral, cultivo de maíz y vegetación secundaria.

4.4. Materia orgánica y carbono orgánico del suelo

El contenido de carbono orgánico del suelo (%) ha sido convertido, para su análisis estadístico a Mg/ha utilizando la media de los datos de densidad aparente obtenidos para cada profundidad y pozo en intervalos de 10 cm de espesor.

Se muestra en el Cuadro 21, el contenido medio de carbono orgánico del suelo, contrastando las diferencias en los cálculos que supone aplicar o no las correcciones referentes a la densidad aparente original del suelo. Los análisis estadísticos se hicieron utilizando los datos de carbono orgánico ya corregidos.

El cálculo de la materia orgánica se hizo transformando los datos de carbono orgánico con un factor de conversión $F = 1.724$ establecido por convención para suelos minerales (Forstliche Standortsaufnahme, 1996) tal como se explica en el apartado 3.3.6.b.

Según la Prueba de Tukey, existen diferencias significativas entre las tres parcelas de estudio para los primeros 20 cm de profundidad. En la parcela de matorral conservado se muestran proporciones de carbono orgánico mucho mayores que en las otras dos parcelas para estas profundidades y significativamente menores para la parcela de cultivo (36.2 Mg/ha en la parcela de matorral frente a 8.9 Mg/ha en la de cultivo para el intervalo de profundidad 0-10 cm y 17.0 Mg/ha frente a 10.5 Mg/ha entre 10 y 20 cm). Al hacer comparaciones en profundidad para una parcela dada observamos una mayor acumulación de materia orgánica en las partes más superficiales de suelo con tendencia a disminuir en profundidad, salvo en la parcela de vegetación secundaria en la que el contenido de materia orgánica en el suelo parece mantenerse constante a lo largo del perfil tendencia que puede observarse gráficamente en la Figura 8.

Cuadro 21. Contenido de carbono orgánico del suelo (Mg/ha) en profundidad para las tres parcelas de estudio, aplicando y no las correcciones para ajustar la densidad aparente de la parcela a la densidad aparente original del terreno.

| Profundidad cm | Matorral | Cultivo | | Veg. Secundaria | |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------------|--------------|
| | | Corregido | Sin corregir | Corregido | Sin corregir |
| | C.O. (Mg/ha) | | | | |
| 0-10 | 36.2 | 8.9 | 12.3 | 13.2 | 18.5 |
| 10-20 | 17.0 | 10.5 | 11.4 | 13.3 | 14.6 |
| 20-30 | 15.4 | 12.1 | 12.3 | 12.9 | 13.0 |
| 30-40 | 15.2 | 12.5 | 12.9 | 11.5 | 11.9 |
| 40-50 | 14.2 | 12.1 | 11.9 | 11.7 | 11.5 |
| 50-60 | 13.3 | 11.0 | 10.9 | 12.0 | 11.9 |
| 60-70 | 11.3 | 10.4 | 10.7 | 12.3 | 12.6 |

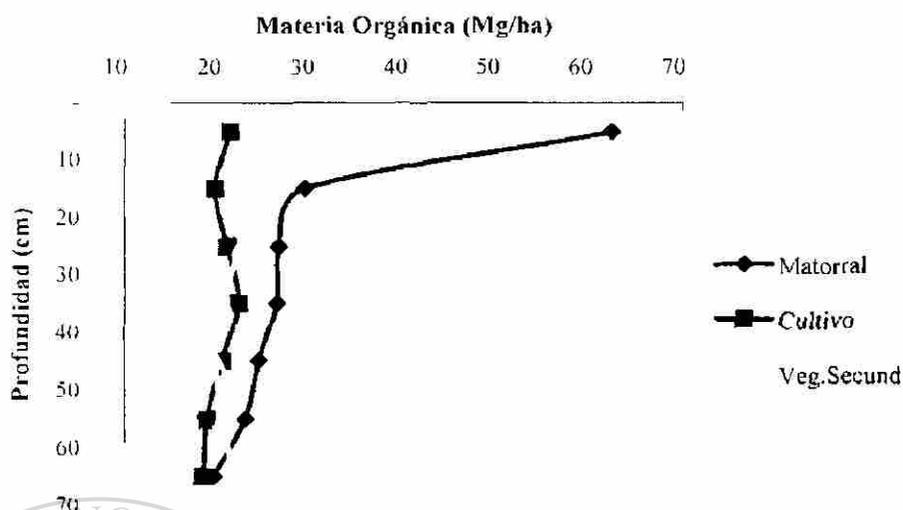


Figura 8. Contenido de materia orgánica con la profundidad para tres formas de uso de suelo: matorral, cultivo y vegetación secundaria.

4.5. Nitrógeno total y relación C/N

El nitrógeno total, expresado en g de N Kg de suelo, así como la relación C/N, fueron estimados para los primeros 30 cm de suelo en intervalos de 10 cm.

La variable nitrógeno total en el suelo muestra diferencias significativas, con $\alpha = 0.05$, entre las tres parcelas. Para esta variable se encuentran concentraciones mayores para los primeros 10 cm disminuyendo a medida que se profundiza en el suelo. Al hacer la comparación entre parcelas para esta variable se encontraron diferencias significativas entre las tres parcelas de estudio entre 0 y 30 cm de profundidad.

Se encontró significativamente mayor concentración de nitrógeno total en la parcela con matorral (2.6 g/Kg de media entre los 0 y 30 cm) que en las otras dos parcelas de uso y a su vez mayor concentración de nitrógeno total en la parcela con vegetación secundaria (1.00 g/Kg) que en la de cultivo (0.83 g/kg).

Al aplicar la Prueba de Tukey en la comparación de parcelas, en cuanto a la relación C/N del suelo, para una profundidad dada, observamos que, con un nivel de confianza de 0.05, existen diferencias significativas entre las parcelas, entre 10 y 30 cm de profundidad, siendo esta relación mayor en la parcela de vegetación secundaria y menor en la parcela de matorral conservado.

4.6. pH y Conductividad Eléctrica

En la Figura 8 se observa el comportamiento de la variable pH según profundizamos en el perfil del suelo para cada tipo de uso.

Según la valoración considerada por el Manual de Métodos Químicos para el Análisis de Suelos Calizos de Zonas Áridas y Semiáridas (Woerner, 1989) el suelo analizado oscila entre un pH neutro y alcalino (valores comprendidos entre 6.2 y 7.6) y posee una salinidad muy escasa (conductividad eléctrica baja, de 44 a 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (= $\mu\text{mbhos}/\text{cm}$).

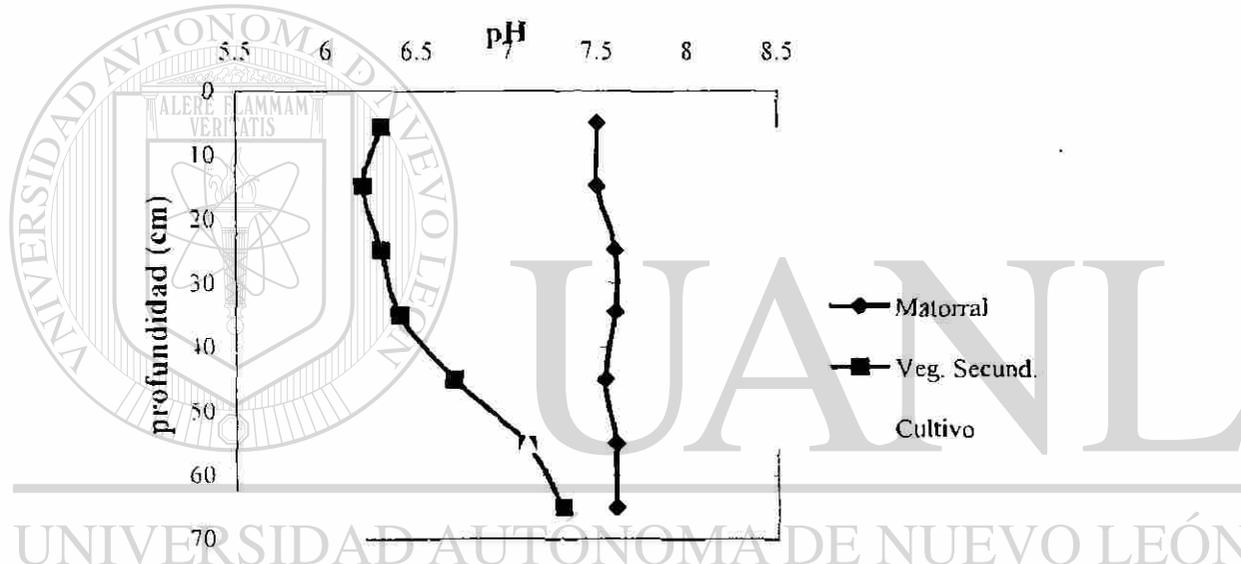


Figura 9. Comportamiento del pH en profundidad para las tres formas de uso de suelo: matorral conservado, cultivo y vegetación secundaria.

Se muestra en la Figura 9 y en la Prueba de Tukey para esta variable en profundidad, una acidificación del suelo para la parcela de vegetación secundaria por encima de los 40 cm de profundidad.

La Prueba de Tukey realizada para comparar las medias de la variable entre parcelas para una profundidad dada indica que existen diferencias significativas entre parcelas, para un nivel de confianza del 0.05, en los primeros 40 cm de profundidad, intervalo de profundidad en el que la parcela de vegetación secundaria presenta un suelo significativamente más ácido que las otras dos parcelas de estudio.

En cuanto a la conductividad eléctrica, también se observan diferencias significativas en cuanto a esta variable al comparar parcelas para una profundidad dada. De 0 a 50 cm se observa que la parcela de matorral muestra valores de conductividad eléctrica significativamente superiores a los valores de las otras dos parcelas, esto parece acorde con los datos observados para el pH, sin embargo, según las valoraciones propuestas por el Manual de Métodos Químicos para el Análisis de Suelos Calizos de Zonas Áridas y Semiáridas (Woerner, 1989) para esta variable (Anexo 2), para todos los casos se encontró un suelo de salinidad muy escasa (conductividad eléctrica baja, de 44 a 130 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($\mu\text{mhos cm}$)).

4.7. Contenido de macros y micronutrientes en el suelo

En los Cuadros 22 y 23 se muestra la valoración agronómica (Woerner, 1989) del contenido de macros y micronutrientes que se encontró para cada una de las parcelas de estudio. Puede observarse que el contenido de macronutrientes del suelo es alto para todos los elementos analizados y adecuado para los micronutrientes estudiados, con la excepción del zinc, el cual se encuentra en baja concentración en el suelo de estudio salvo para los primeros 10 cm de suelo de la parcela de matorral, intervalo de profundidad para el cual los niveles son bajos.

El análisis estadístico de los datos obtenidos sobre los macronutrientes, indican que existe significativamente mayor cantidad de magnesio en el área de matorral para los 30 primeros cm de profundidad que en el resto de las parcelas.

En cuanto al análisis de los micronutrientes, se observan diferencias significativas para el Cu, el Fe, el Mn y el Zn, existiendo menor proporción de estos micronutrientes en la parcela dedicada al cultivo que en las otras dos parcelas de uso (obsérvese Anexo 3).

Cuadro 22. Valores medios y valoración de los macronutrientes en las parcelas de estudio.

| Parcela | Prof. | | Ca | | Mg | | Na | | K | |
|--------------------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|--|
| | cm | ppm | valor | ppm | valor | ppm | valor | ppm | valor | |
| Matorral | 0-10 | 12328 | alto | 250 | alto | 174 | alto | 244 | Alto | |
| | 10-20 | 14068 | alto | 145 | alto | 225 | alto | 107 | Alto | |
| | 20-30 | 14356 | alto | 86 | alto | 269 | alto | 109 | Alto | |
| Cultivo | 0-10 | 10325 | alto | 155 | alto | 236 | alto | 216 | Alto | |
| | 10-20 | 9049 | alto | 168 | alto | 276 | alto | 127 | Alto | |
| | 20-30 | 8602 | alto | 130 | alto | 296 | alto | 155 | Alto | |
| Veg. Secundaria | 0-10 | 8574 | alto | 212 | alto | 235 | alto | 215 | Alto | |
| | 10-20 | 8438 | alto | 209 | alto | 232 | alto | 167 | Alto | |
| | 20-30 | 8976 | alto | 187 | alto | 193 | alto | 136 | Alto | |

Cuadro 23. Valores medios y valoración de los micronutrientes en las parcelas de estudio.

| Parcela | Prof. | | Cu | | Fe | | Mn | | Zn | |
|--------------------|-------|------|----------|------|----------|------|----------|-----|----------|--|
| | cm | ppm | valor | ppm | valor | ppm | valor | ppm | valor | |
| Matorral | 0-10 | 0.97 | adecuado | 10.3 | adecuado | 11.0 | adecuado | 2.7 | adecuado | |
| | 10-20 | 0.95 | adecuado | 10.3 | adecuado | 20.5 | adecuado | 0.8 | bajo | |
| | 20-30 | 1.04 | adecuado | 12.4 | adecuado | 24.5 | adecuado | 0.4 | bajo | |
| Cultivo | 0-10 | 0.76 | adecuado | 4.3 | adecuado | 5.8 | adecuado | 0.6 | bajo | |
| | 10-20 | 0.82 | adecuado | 5.6 | adecuado | 7.0 | adecuado | 0.4 | bajo | |
| | 20-30 | 0.69 | adecuado | 6.0 | adecuado | 8.9 | adecuado | 0.3 | bajo | |
| Veg. secundaria | 0-10 | 0.98 | adecuado | 13.1 | adecuado | 39.8 | adecuado | 1.0 | bajo | |
| | 10-20 | 1.12 | adecuado | 11.7 | adecuado | 28.8 | adecuado | 0.5 | bajo | |
| | 20-30 | 1.03 | adecuado | 8.2 | adecuado | 28.3 | adecuado | 0.3 | bajo | |

5. DISCUSIÓN

Los perfiles de suelo mostraron un suelo uniforme para las tres parcelas de estudio, del tipo vertisol. El análisis granulométrico de las muestras permitió determinar valores muy altos para la proporción de arcillas (del 45 al 66%), también altos para la proporción de limos (del 30 al 42%) y muy bajos para la proporción de arenas (del 2 a 12%). Estos valores obtenidos para las distintas fracciones granulométricas concuerdan con lo reportado por otros autores para vertisoles de la región de Linares (Bravo, 2002; Rodríguez y Rodríguez, 2002; Woerner, 1991). Cabe destacar que se trata, por tanto, de suelos sumamente arcillosos lo que explica la problemática en el manejo de los mismos en condiciones de sequía o de gran humedad.

Según los análisis estadísticos aplicados, entre 0 y 10 cm de profundidad se observa una proporción de arcillas mayor para la parcela de cultivo (63%) que para la de matorral (46%). En los primeros 30 cm de profundidad, al comparar las parcelas, encontramos significativamente mayor proporción relativa de arenas en la parcela de matorral (8% de media) que en la parcela de cultivo (3% de media). Esto puede ser debido al arrastre hídrico superficial que tiende a transportar tan sólo las fracciones más finas del suelo, debido a que la suave pendiente (de 0 a 3%) no le concede al agua de escorrentía la energía cinética suficiente como para arrastrar las fracciones más gruesas.

También es probable que el suelo con menor protección de la vegetación, como es el caso de la parcela de cultivo, quede más expuesto a la meteorización de sus materiales, pudiendo explicar esto una mayor proporción de las fracciones finas del suelo en esta parcela.

Al comparar la textura del suelo a lo largo del perfil del mismo se observa que existe una mayor proporción relativa de arenas en los estratos más superficiales del suelo. Esto puede ser debido al arrastre hídrico de las fracciones más finas del suelo desde las capas más superficiales, en un proceso eluvial, y la iluviación de estas arcillas a mayor profundidad. Sin embargo, según Driessen et al. (1989), este contenido más bajo en arcillas, ya detectado por ellos en otros perfiles de este mismo tipo de suelo, no es resultado de un lavado de arcillas hacia el subsuelo ya que la alta presencia de cationes de Ca^{2+} en estos suelos evitan la peptización libre de las arcillas y de esta manera la movilización y el transporte posterior con agua de escurrimiento interno. Woerner (1991), atribuye este fenómeno a una pérdida relativa de arcillas a través de un aporte eólico de limos y arena fina procedentes de zonas con amplios desmontes. Contenidos más elevados de arcillas en partes bajas del subsuelo pueden originarse bajo condiciones húmedas en una neoformación o recristalización *in situ* de minerales arcillosos.

Los factores que más influyen en la variación de la densidad aparente del suelo son la presencia de materia orgánica, la textura del suelo, el efecto de las raíces y la compactación provocada por el pisoteo del ganado o por el uso de maquinaria pesada (Glinski y Lipiec, 1990).

Por su facilidad de medida, la densidad aparente es posiblemente la medida más comúnmente utilizada para evaluar la compactación (Harte, 1993).

Lal (1996), determinó los efectos de la deforestación, la labranza de "post desmonte" y sistemas de cultivos sobre las propiedades del suelo, desde 1978 hasta 1987 en el Suroeste Nigeriano. Los resultados mostraron que la deforestación y los cambios en el uso del suelo causan cambios drásticos en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo, los cuales habían sido extremadamente favorables bajo el sistema boscoso antes de la tala. La densidad aparente y la resistencia a la penetración como indicadores de la compactación se incrementaron significativamente y con ello la infiltración se vio reducida debido al pisoteo del ganado.

Una excesiva compactación del suelo llega a provocar una disminución en la calidad del terreno ya que disminuye la macroporosidad del suelo y la cantidad de agua y de nutrientes que quedan disponibles para las raíces de las plantas dificultando su crecimiento (Pagliai y Jones, 2002). Sin embargo, en ninguna de las parcelas (máximo encontrado de 1.4 Mg/m^3) se alcanza el valor crítico de densidad aparente propuesto por Bowen (1981), que para suelos arcillosos se establece en 1.5 Mg/m^3 .

Debido al buen estado de conservación, la ausencia de pisoteo por ganado y el aporte de materia orgánica, la parcela de matorral presenta una menor compactación del suelo de manera que la densidad aparente hasta 20 cm de profundidad es significativamente menor en el matorral ($0.8, 1.1 \text{ Mg/m}^3$) que para las otras dos formas de uso del suelo (1.2 Mg/m^3 en ambas parcelas) y especialmente baja para los 10 primeros cm de profundidad.

El suelo presenta una capacidad amortiguadora frente a las cargas estáticas que hace que éstas se atenúen en profundidad (Soane y Van Ouwerkerk, 1994) por lo que, a partir de los 20 cm de profundidad, las diferencias en cuanto a densidad aparente entre parcelas dejan de ser significativas.

Cabe destacar que, para este mismo área, Rodríguez y Rodríguez (2002), reportó valores de 0.7 a 1.4 Mg/m³ para la parcela de matorral (desde la superficie hasta 90 cm de profundidad), de 0.9 a 1.43 Mg/m³ para la parcela de cultivo y de 1.0 a 1.6 Mg/m³ para la parcela de vegetación secundaria. Estos resultados parecen mostrar un gradiente de densidad aparente más marcado que los encontrados en el presente estudio.

En cuanto a la materia orgánica, se observan considerables diferencias a lo largo del perfil del suelo en función del tipo uso al que se ha sometido la parcela, estas diferencias se hacen más significativas teniendo en cuenta el efecto de la compactación y refiriendo los resultados a la densidad aparente original del suelo (tomando como densidad original la que presenta la parcela de matorral) tal como propone Veldkamp (1994).

Para los 20 primeros cm de profundidad se muestran diferencias significativas entre parcelas en cuanto al contenido de materia orgánica del suelo, siendo bastante mayor en la parcela de matorral conservado (36.2 Mg/ha entre 0 y 10cm y 17.0 Mg/ha entre 10 y 20 cm), estimándose una pérdida del 37% del contenido en carbono orgánico (teniendo en cuenta todo el perfil de suelo) al pasar a cultivar el suelo anteriormente ocupado por matorral submontano (8.9 Mg/ha entre 0 y 10 cm y 10.4 Mg/ha entre 10 y 20 cm), estos resultados son acordes a los encontrados por Detwiler (1986), que en su estudio sobre suelos tropicales, estima una reducción del 40% del contenido de carbono en suelos al convertir zonas forestales en cultivo pero algo inferiores a los datos reportados por Rodríguez y Rodríguez (2002) que muestran una pérdida del 45% de la materia orgánica. Estas pérdidas son ocasionadas, principalmente, por la labranza y la poca cantidad de residuos que se reincorporan al suelo. Otras publicaciones sobre el tema reportan pérdidas que oscilan del 20 al 60% al cultivar un suelo (Tiessen y Stewart, 1983; Burke et al., 1989; Paustian et al. 1997). La tasa de reducción de la materia orgánica al cultivar un área depende fundamentalmente de la intensidad del manejo y de las características edáficas y climáticas y que la mayor tasa de reducción se produce en los primeros 5 a 10 años (Bravo, 2002).

Sabiendo que la parcela actualmente ocupada por vegetación secundaria fue en su momento cultivada (hace 14 años), podríamos considerarla en proceso de reacumulación de materia orgánica, tal como se propone en el modelo de Johnson (1995).

En la parcela de vegetación secundaria se estima una recuperación del 7.8% del carbono orgánico en un periodo aproximado de 14 años (13.2 Mg/ha entre 0 y 10 cm y 13.3 Mg/ha entre 10 y 20 cm).

Sería interesante un estudio periódico de esta parcela para establecer las tasas de reaccumulación de materia orgánica, la dinámica de la reaccumulación de carbono orgánico y si existe o no la tendencia hacia la completa recuperación de la capacidad de almacenamiento de carbono del suelo.

Se observa asimismo que la máxima acumulación de materia orgánica se ubica en los 10 primeros cm del suelo en la parcela de matorral y en los primeros 30 cm en el caso de la parcela con vegetación secundaria, con una tendencia a la reducción en profundidad. Esta diferencia en la distribución de materia orgánica a lo largo del perfil del suelo entre parcela de matorral y de vegetación secundaria, más rica en gramíneas, se debe a que, en el caso del matorral, el aporte de materia orgánica se produce desde la superficie del suelo en forma de hojarasca, ramas y troncos muertos, mientras que en zonas ricas en gramíneas el aporte de materia orgánica se produce desde las raíces dentro de la parte superior del suelo como humus rizógeno (Baldock y Nelson, 2000). Además, el área de vegetación secundaria es más susceptible a la erosión superficial al estar menos protegida por la vegetación pudiendo reducir los valores superficiales de materia orgánica (Rodríguez y Rodríguez, 2002)

El nitrógeno total del suelo incluye el nitrógeno de compuestos orgánico y el nitrógeno amoniacal pero no es un indicador de la disponibilidad del nitrógeno para las plantas (Castellanos et al. 2000). Para la variable nitrógeno total se encuentran concentraciones mayores para los primeros cm disminuyendo a medida que se profundiza en el suelo. Al hacer la comparación entre parcelas para esta variable se encontraron diferencias significativas entre las tres parcelas de estudio entre 0 y 30 cm de profundidad. Se encontró significativamente mayor concentración de nitrógeno total en la parcela con matorral nativo (con un valor medio de 2.56 g/Kg entre los 0 y 30 cm) que en las otras dos parcelas de uso y a su vez mayor concentración de nitrógeno total en la parcela con vegetación secundaria (1.00 g/Kg) que en la de cultivo (0.83 g/kg). Estos resultados son acordes con los encontrados por Bravo (1999) que encuentra una reducción del nitrógeno total en las áreas de uso frente a las de vegetación conservada aunque en su estudio estas diferencias son significativas sólo en los primeros 15 cm de profundidad.

La relación C/N para los 30 primeros cm de profundidad se mostró significativamente más alta en la parcela de vegetación secundaria (12.8 de media entre 0 y 30 cm) que en la del cultivo (11.0) y en la del matorral (9.2), que muestran también diferencias significativas entre sí. Rodríguez y Rodríguez (2002), para el mismo área de estudio, reporta valores de 10.3 para el área de matorral en los 30 primeros cm de profundidad, 12.1 para la parcela de vegetación secundaria y 11.3 para la parcela de cultivo.

La relación C/N puede entenderse como un indicador de la facilidad de la materia orgánica del suelo para decomponerse ya que hace refleja la tasa de mineralización y transformación del humus. Valores bajos de C/N, como los encontrados en la parcela de matorral, indican una mayor actividad microbiana y una buena disponibilidad de nitrógeno. Valores entre 9 y 12 en el horizonte A de este tipo de suelos indican una buena transformación de la materia orgánica (Tate y Churchman, 1978).

Se debe de tener en cuenta que la relación C/N no es indicadora de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo ya que no existe una correlación directa entre ambas variables según estudios al respecto de Lehmann et al. (1995) y Handayanto et al. (1997).

La relación C/N comúnmente se utiliza como indicador de la calidad de la materia orgánica de un suelo si sólo se tiene en cuenta la facilidad de descomposición de la misma, sin embargo, esta valoración clásica debe variar si el objetivo de la valoración deja de ser la liberación rápida del carbono, el nitrógeno y otros nutrientes y pasa a ser el secuestro de carbono (Cadisch y Giller, 2001). Según estudios de Nadelhoffer et al. (1999) altas relaciones de C/N pueden implicar almacenamiento de carbono en el suelo a largo plazo lo que resulta interesante desde do el punto de vista del secuestro de carbono.

El pH, es para todas las parcelas de neutro a ligeramente alcalino (valores entre 7.6 y 6.2). Se observa una tendencia hacia la alcalinización a partir de los 50 cm de profundidad en la parcela de vegetación secundaria lo que podría estar debido a la cercanía de la roca madre con alto contenido en carbonatos que aumenta considerablemente el pH del suelo debido a una liberación de cationes de Ca^{2+} en la solución acuosa del suelo (Olsen, 1977). También podría deberse la alcalinización en profundidad al lavado de bases desde las capas más superficiales del suelo hacia zonas más profundas en esta parcela, debajo de la pendiente.

En el caso de la parcela con vegetación secundaria dedicada a pastoreo se observa un pH significativamente ($\alpha = 0.05$) más bajo que en las demás parcelas para los primeros 40 cm de profundidad. La ligera pendiente del terreno (de 0 a 3%) está dirigida desde el matorral hacia la parcela de vegetación secundaria, como se comento para la textura, de manera que la acumulación de aguas que se produce en la parte más baja del terreno (parcela de vegetación secundaria) pudiera explicar que en esta parcela el lavado de bases sea mayor que en las otras parcelas produciendo una acidificación del terreno en relación a las demás parcelas.

La conductividad eléctrica del suelo, según las valoraciones propuestas por el Manual de Métodos Químicos para el Análisis de Suelos Calizos de Zonas Áridas y Semiáridas (Woerner, 1989) para esta variable (Anexo 2), para todos los casos nos encontramos ante un suelo de salinidad muy escasa (conductividad eléctrica baja, de 44 a 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Para los primeros 50 cm de profundidad, la conductividad eléctrica del suelo en la parcela de matorral (de 129.7 a 98.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de 0 a 50 cm de profundidad) se muestra significativamente mayor que para las otras dos parcelas de uso (de 62.3 a 55.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la parcela de cultivo y de 59.7 a 47.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la parcela de vegetación secundaria entre 0 y 50 cm de profundidad).

Los vertisoles son suelos muy ricos en bases debido a la alta proporción de arcillas de tipo esmectita que retienen gran cantidad de iones, especialmente los de calcio y magnesio (Blokhuis, 1982). Debido a esta característica del suelo de estudio, y a un material de origen rico en carbonatos, encontramos, para las tres parcelas de estudio, niveles de macronutrientes (Ca, K, Mg y Na) valorados por el Manual de Métodos Químicos para el Análisis de Suelos Calizos de Zonas Áridas y Semiáridas (Woerner, 1989) como altos. Los vertisoles son suelos con una fertilidad potencial muy alta debido a la presencia de esmectitas que provocan una Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) muy elevada con una capacidad de almacenamiento de nutrientes disponibles como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , y a causa de la presencia de carbonatos libres en el sustrato y falta de un proceso de lavado, una saturación de bases muy alta (Le Mare, 1987). Los valores esperados para la CIC oscilan entre 450 y 900 mmol/Kg según los datos reportados por Rodríguez y Rodríguez para el mismo área de estudio.

En el caso de los micronutrientes estudiados también encontramos niveles adecuados, según el manual anteriormente citado, más sin embargo, se observa que la proporción de Cu, Fe, Mn y Zn es significativamente menor en el campo de cultivo que en las otras dos parcelas cuyo uso no es agrícola. El contenido elevado de carbonatos en el suelo actúa como diluyente del volumen de suelo aprovechable por las plantas, disminuyendo el contenido relativo de partículas húmicas, responsables del intercambio de nutrientes disponibles y de minerales intemperizables para la liberación de compuestos nutritivos (Pagel et al., 1982). Fuehring (1977) y Olsen (1977), estudiaron como la liberación de cationes Ca^{2+} debida a la presencia de carbonatos en el suelo afecta a la disponibilidad relativa del zinc y del hierro conduciendo a procesos de fijación.

6. CONCLUSIONES

-Los vertisoles de la región estudiada de Linares, tienen una gran proporción de arcillas (> 45%) lo que los hace suelos muy pesados, difíciles de trabajar en condiciones de sequía o de gran humedad y fácilmente compactables, sin embargo, son suelos de gran fertilidad potencial si se aplica un manejo adecuado.

-El tipo de manejo del suelo influye en la densidad aparente del mismo, siendo el uso de maquinaria agrícola un agente compactante del terreno. Sin embargo, para las tres parcelas de uso comparadas, las diferencias en cuanto a la densidad aparente del suelo fueron significativas tan solo en los primeros 20 cm de profundidad (0.8 y 1.1 Mg/m³ para los intervalos de profundidad 0 a 10 y 10 a 20 cm en la parcela de matorral y 1.2 Mg/m³ en las parcelas de cultivo y vegetación secundaria para los mismos intervalos de profundidad).

-El contenido de materia orgánica del suelo y, en consecuencia, la cantidad de nitrógeno total del mismo, se ven fuertemente influidos por el tipo de uso del suelo. Debido a esto, la potencialidad del suelo como reservorio de carbono depende del uso del terreno pudiendo disminuir, para vertisoles de zonas semiáridas, hasta en un 37% al convertir una zona forestal (matorral alto subinerme) en un área de cultivo por un periodo de 50 años. Estos resultados son acordes a otras publicaciones sobre el tema que reportan pérdidas que oscilan entre el 20 y el 60% al cultivar un suelo originalmente cubierto por vegetación nativa (Tiessen y Stewart, 1983; Burke et al., 1989; Paustian et al. 1997; Rodríguez y Rodríguez, 2002).

-Al abandonar una zona de cultivo y dejar que en ella se establezca una vegetación secundaria eventualmente sometida a pastoreo supone una fase de reacumulación de materia orgánica en el terreno cuya tasa y punto de equilibrio sería interesante cuantificar haciendo análisis periódicos de la aportación e incorporación de materia orgánica en este tipo de parcelas. En un periodo aproximado de 14 años de abandono del cultivo la reacumulación de carbono orgánico en el suelo fue del 7.8%.

-La parcela con vegetación secundaria, quizás por estar situada en la parte baja de la pendiente y, por tanto, presentar mayor lavado de bases, muestra valores de pH significativamente más ácidos que las otras parcelas de estudio para los 40 primeros cm de profundidad (6.3 de pH medio entre 0 y 40 cm de profundidad para la parcela de vegetación secundaria frente a 7.4 de media en las parcelas de matorral y cultivo para el mismo intervalo de profundidad). Aunque las diferencias entre matorral y cultivo en cuanto al pH no son significativas, puede observarse un cierto gradiente de pH a lo largo de la pendiente.

-Los suelos de tipo vertisol, de pH cercano a la neutralidad (de 6.2 a 7.6) y con baja salinidad (de 44 a 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$), por su alto contenido en arcillas (mayor al 45%), mantienen una alta proporción de macronutrientes (según las valoraciones agronómicas propuestas por Woerner (1989)), de manera que la fertilidad de los mismos se conserva en niveles adecuados a pesar de la explotación agrícola del terreno durante un largo período (50 años). Los niveles de micronutrientes son agronómicamente adecuados, con la excepción del zinc que aparece en baja concentración. Los elementos micronutrientes estudiados parecen verse afectados por el cultivo del suelo, presentándose en esta parcela siempre en menor proporción que en la parcela de matorral y de vegetación secundaria, aunque esta diferencia es estadísticamente significativa sólo en algunos casos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Baldeck J.A. y Nelson P.N. 2000. Soil organic matter. Handbook of Soil Science. CRC Press. Boca Ratón. 25-27pp.

Blake R.G. y Hartge H.K. 1986. Methods of soil analysis. Bulk density. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin. 363-367pp.

Blokhuis W.A. 1982. Morphology and genesis of vertisols. Congress of Soil Science. New Delhi. 3: 23-47pp.

Bohn L.H., McNeal I. B. y O'Connor A.G. 1993. Química del suelo. Limusa. México D.F. 370pp.

Bowen H.D. 1981. Alleviating mechanical impedance. ASAS Monogr. 4. St. Joseph M.J. 47-50pp.

Bravo G.M. 2002. Degradation and nature rehabilitation of vertisols of Northeastern Mexico. Thesis for the degree of master. University of Toronto. Canada.

Bravo G.M. 1999. Distribución de la materia orgánica del suelo en ecosistemas naturales e inducidos en el Estado de Nuevo León. México. Tesis de grado. UANI. Nuevo León. México.

Burke I.C., Yonker C.M., Parton W.J., Cole C.V., Flach K. y Schimel D.S. 1989. Texture, climate and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. Grassland Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:800-805pp.

Cadisch G. y Giller K.E. 2001. Soil organic matter management: The role of residue quality in C sequestration and N supply. CAB International. 97-101pp.

Carstens A. 1987. Struktur eines Matorrales im semiariden-subhumiden Nordosten Mexikos und Auswirkungen von Behandlung zu einer Bewirtschaftung. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Heft 27.

Castellanos J.Z., Uvalle-Bueno J.X. y Aguilar-Santelices A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Colección INCAPA. México.

Cavazos P.T. y Molina G.V. 1992. Registro climatológico de la región citrícola de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, N.L., México. Bol. Tec. 1. 1-6pp.

Cochran. W.G. y Cox, G.M. 1991. Diseños experimentales, 2ª edición. Trillas. México DF.

Comisión Nacional de Zonas Áridas, SEDESOL. 1994. Plan de acción para combatir la desertificación en México. CONAZA. Secretaría de Desarrollo Social. México. 160pp.

COFECOCA-SAG. 1973. Coeficientes de agostadero de la república mexicana: Estado de Nuevo León. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero. Secretaría de Agricultura (SAG) de Nuevo León. México.

Darwich N. 2003. Muestreo de suelos para una fertilización precisa. II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID. 2:281-289pp.

Detwiler R.P. 1986. Land use change and the global carbon cycle on the role of tropical soils. Biogeochemistry. 2.

Driessen R.F. y Dudal R. 1989. Lecture notes on the geography, formation and use of the major soils of the world. Agricultural University Wageningen. Katholieke Universiteit Leuven.

Ellert B.H. y Bettany J.R. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Can. J. Soil.Sci. 75: 529-538pp.

Eswaran H., Van den Berg P. y Reich P. 1993. Organic carbon in soils of the world. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 192-194pp.

Etchevers J.D., Masera O., Balbontin C., Gómez D., Montemoso A. y Ortiz C. 2004. Soil carbon sequestration: México and Central América (Biome A). Workshop on the potential of soil carbon sequestration in Latin America, SP. Brazil. 2-4pp.

FAO. 2000. World soil resources report. lecture notes on the major soils of the world. FAO 94.

Forstliche Standortaufnahme F. 1996. Begriffe, Definitionen Einteilungen, Kennzeichnungen. Erläuterung. Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung. 5 Auflage. Fching bei München. IHW-Verl. 5.

Fuchring H.D. 1977. Response of crops grown on calcareous soils to fertilization. FAO Soils Bulletin 21: 53-72pp.

Gamper M.A. 1977. Estratigrafía y microfácies cretácicas del Anticlinalorio Huizachal-Peregrina (Sierra Madre Oriental). Boletín de la Sociedad de Geología Mexicana 38: 1-17pp.

García E. 1987. Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. UNAM, México, D.F.

Gee W.G. and Bauder W.J. 1986. Methods of soil analysis. particles size analysis. Amer. Soc. Agron. Madison. Wisconsin. 396-409pp.

Gilinski J. y Lipiec J. 1990. Soil physical conditions and plant roots. CRC. Press Inc. Florida. 250pp.

Goss M.J. Ehlers W. y Darbyshire J.F. 1992. Effects of soil management practice on soil physical conditions for root growth. J. Agric. Eng. Res. 30: 131-140pp.

Greenland D. J. y Szabolcs I. 1994. Soil resilience and sustainable land use. CAB International. Oxon, U.K. 561pp.

Gutiérrez G.R.M. 1997. Evaluación del grado de desertificación en el Municipio de Linares, N.L., México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales, UANI, Linares, NL.

Handayanto F., Cadisch G y Giller K.E. 1997. Regulating N mineralization from legume tree pruning by mixing residues of different quality. Soil Biology and Biochemistry 29: 1417-1426pp.

Harte. 1993. Soils and farming practice. In P.E.V. Charman and Murphy B.W. Soil. Their properties and management. 1993. Sydney University Press. 227-241pp.

Hassik J. y Neetesson J.J. 1991. Effect of grassland management on the amounts of soil organic N and C. *Neth. J. Agric. Sci.* 39: 225-236pp.

Hintermaier-Erhard G. y Zech W. 1997. Wörterbuch der Bodenkunde. Enke. 37pp.

Houghton R.A. 1995. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. Stewart B.A. & Lewis Publishers. Boca Raton FL. 45-65pp.

INEGI. 2000. Carta topográfica 1:50,000. Hualahuises G14C57. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mexico.

INEGI. 1986. Síntesis geográfica de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística. Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

IPCC. 2000. Land use, land use change, and forestry special report. Cambridge University Press. 377 pp.

Johnson M.G. 1995. The role of soil management in sequestering soil carbon. soil management and greenhouse effect. Lewis publishers. 29: 351-363pp.

Johnson M.G. y Kern J.S. 1991. Sequestering carbon in soils: a workshop to explore the potential for mitigating global climate change. USEPA, Environmental Research Laboratory. Corvallis, OR. 85pp.

Johnston M.C. 1963. Past and present grasslands of Southern Texas and Northeastern Mexico. *Ecology*. 44: 456-466pp.

King J.A. y Campbell B.M. 1994. Soil organic matter relations in five land cover types in the Miombo Region (Zimbabwe). *For. Ecol. Managé.* 67: 225-239pp.

Lal R. 1996. Deforestation and land: use effects on soil degradation and rehabilitation in Western Nigeria. I. Soil physical and hydrological properties. *Land Degradation & Development*. 7:19-45 pp.

Lal R., Kimble J. y Stewart B.A. 1995. Towards soil management for mitigating the greenhouse effect. soil management and greenhouse effect. Lewis publishers. 31: 373-381pp.

Larry P.W. y Puentes R. 1988. Vertisols: their distribution, properties, classification and management. Texas A & M University Printing Center. College Station. Texas. 129-141pp.

Lehmann, J; Schroth, G y Zech, W. 1995. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in Central Togo. *Agroforestry Systems*. 29: 21-36pp.

Le Mare P.H. 1987. Chemical fertility characteristics of vertisols. Management of vertisols under semiarid conditions. International Board for Soil Research and Management Inc. (IBSRAM). Nairobi. 6.

López Ramos E. 1985. Geología de México. UNAM. México, D.F. 2.

- Mann L.K. 1986. Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Sci.* 142: 279-288pp.
- Maldonado H.A. 1992. Modelo para la evaluación cuantitativa de la desertificación. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. UANL, Linares, NL. México.
- Maldonado H.A. 1985. Descripción y desarrollo de las regiones áridas de México. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, NL. 10: 36-58pp.
- Marroquín J.S., Borja G., Velásquez R. y De la Cruz J.A. 1981. Estudios ecológicos y dasonómicos de las zonas áridas del Noreste de México. INIF, SARH. México.
- Marroquín J.S. 1959. Observaciones ecológicas comparativas de la vegetación de tres áreas salinas de Nuevo León. Tesis de licenciatura. Esc. Cienc. Biol. UANL. Monterrey, NL. México.
- Mata S.M.A. 1977. Estudio de la principales características agronómicas del suelo de Linares y Hualahuises. Tesis profesional. Facultad de Agronomía. UANL, N.L. México.
- Mathieu G. y Pieltain P. 1998. *Analyse physique des sols*. Tec. Doc. Paris. 275pp.
- Miranda F. y Hernandez F. 1964. Fisiografía y vegetación. Las zonas áridas del Centro y Noreste de México. *Ldic. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. México, D.F.* 1-27pp.
- Müller C.H. 1939. Relations of the vegetation and climatic types in Nuevo León, México. *Amer. Midl. Nat.* 21: 687-729pp.
- Muller-Dombois y Ellenberg H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & sons. New York, U.S.A. 154pp.
- Naeth M.A., Pluth D.S., Chanasyk A.W., Bailey A.W. y Fedkenhauer A.W. 1990. Soil compacting impacts of grazing in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta. *Can. J. Soil Sci.* 70: 157-167pp.
- Nadelhoffer K.J., Emmelt B.A., Gundersen P., Kjonnas O.J., Koopmans C.J., Schleppi P., Tietema A. y Wright R.T. 1999. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forest. *Nature*. 398: 145-148pp.
- Natividad L.A. 1986. Recursos naturales: reseña histórica, utilización actual y perspectivas. Metodología de planeación integral de los recursos naturales. Medina J. y Natividad L.A. (Comps.) UAAAN. Saltillo. México. 23-28pp.
- Olsen S.R. 1973. Nutrient supply and availability in calcareous soils. *FAO Soils Bulletin* 21: 41-52pp.
- Padilla R. y Sánchez R.J. 1978. Geología y estratigrafía (Cretácico Superior) del límite suroeste del Estado de Nuevo León. Instituto de Geología. UNAM, México. 2: 37-44pp.
- Pagel H., Enzmann J. y Mutscher H. 1988. *Pflanzennährstoffe in tropischen Böden-ihre Bestimmung und Bewertung*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin.
- Pagliari M. y Jones R. 2002. Sustainable land management-environmental protection. A soil physical approach. *Adv. in Geofecology*. Reiskirchen. 35: 588pp.

Paustian K., Collins H.P. y Paul E.A. 1997. *Management controls on soils carbon. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC. Boca Ratón, FL. 15-50pp.

Peñalosa R. y Reid N. 1989. Pasado, presente y futuro del uso de la tierra en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. Simposio Agroforestal en México: Sistemas y métodos de uso múltiple del suelo. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, N.L. México. 2: 14-16pp.

Porta J., López-Acevedo M. y Roquero C. 1999. *Manual de edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2.edición. Ed. Mundi Prensa.

Post W.M., Peng T.H., Emanuel W.R., King A.W., Dale V.H. y De Angelis D.L. 1990. The global carbon cycle. *Am. Soil Sci.* 78: 310-326pp.

Prentice K.C. y Fung I.Y. 1990. The sensitivity of terrestrial carbon storage to climate change. *Nature*. 346:48-51pp.

Rauschkolb. R. S. 1971. *Land degradation*. *Soils bull. FAO*. Roma. 13:105pp.

Robert M. 1996. *Le Sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Dimod Masson, Paris. 240 pp.

Rocha R.G. 1980. Levantamiento cartográfico del potencial agropecuario y forestal de los suelos de los municipios de Linares y Hualahuises, N.L. Tesis profesional. Facultad de Agronomía, UANL. N.L. México.

Rodríguez Fuentes H. y Rodríguez Absi J. 2002. *Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación*. Ed. Trillas.

Rodríguez y Rodríguez G.A. 2002. Untersuchungen Von Böden im Nordosten mexikos und ^{13}C -Isotopenverhältnisse im Hinblick auf Nutzung und Vegetationsänderung. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten*. Hamburg.

Rodríguez y Rodríguez G.A. 1994. Análisis de la fitodiversidad (sinusias: arbórea y arbustiva) de dos comunidades de matorral espinoso tamaulipeco en Linares, N.L., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. San Nicolás de los Garza, N.L., México.

Rodhenburg H. 1970. Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. *Hiszeitalter und Gegenwart*. 21: 81-96pp.

Ruiz Martínez M.A. 1990. Zur Gliederung, Verbreitung und ökologischen Bewertung der Böden in der region von Linares, N.L. Mexiko. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*. Heft 56.

Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. LIMUSA. México, D.F. 435pp.

Schlesinger W.H. 1986. Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: Trabalka J.R. y Reichle D.E. *The changing carbon cycle*. Springer. NY. 592pp.

Shreve F. 1942. Grassland and related vegetation in Northern Mexico. *Madroño*. 6: 190-198pp.

Shipitalo M.J. y Protz R. 1987. Comparison of morphology and porosity of soil under conventional and zero tillage. *Canadian J. Soil Sci.* 67: 445-456pp.

Smith L.J. y Elliott F.L. 1990. Tillage and residue management effects on soil organic matter dynamics in semiarid regions. *Advances in Soil Science*. Springer-Verlag, New York.

Soane B.D. y Van Ouwerkerk C. 1994. Soil compaction in crop production. Elsevier, Amsterdam. 665pp.

Sombroek W.G., Nachtergaele F.O. y Hebel A. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*. 22: 417-426pp.

Soil Science Society of America (SSSA). 2001. *Carbon sequestration: position of Soil Science Society of America*. SSSA Ad Hoc Committee S983. Madison, WI.

SPP. 1978. Carta de uso de suelo y vegetación 1:50,000. Hualahuises G14C57. Secretaría de Programa y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CE TERNAL). México.

SPP. 1977. Carta edafológica 1:50,000. Hualahuises G14C57. Secretaría de Programa y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CE TERNAL). México.

Tamayo J.C. 1962. Geografía general de México. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. México.

Tate R.L. 1987. Soil organic matter: biological and ecological effects. John Wiley & Sons, New York, NY.

Tate K.R. y Churchman G.J. 1978. Organo-mineral fractions of a climosequence of soils in New Zealand tussock grasslands. *J. Soil Sci.* 29: 331-339pp.

Tiessen H. y Cuevas E. 1994. The role of the soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371: 735-738pp.

Tiessen H. y Stewart W.B. 1983. Particle-size fractions and their use in studies of organic Matter: II cultivation effects on organic matter composition in size fractions. *Soil Science Soc. Am. J.*

Trabalka J.R. 1985. Atmospheric carbon dioxide and global carbon cycle. U.S. Department of Energy. Washington. 1-13pp.

Veldkamp E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 175-180pp.

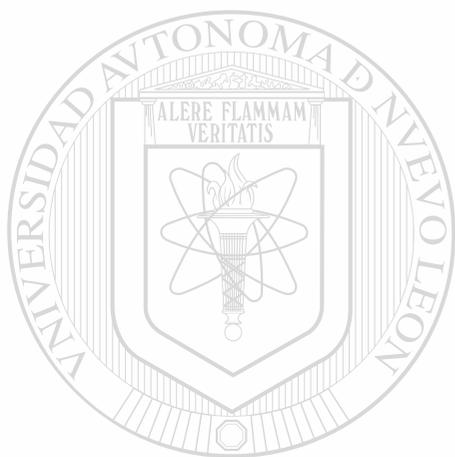
Villalón Mendoza H. 1989. Ein Beitrag zur Verwertung von Biomasseproduktion und deren Qualität für forst- und landwirtschaftliche Nutzung des Matorrals in der Gemeinde Linares, N.L. Mexiko. *Göttlinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*. Heft 39.

Villareal G.J.G. 1977. Estudio de los suelos y generalidades del aprovechamiento agropecuario de la zona sur del Estado de Nuevo León. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). N.L. México.

Woerner P.M. 1991. Los suelos bajo vegetación de matorral en el Noreste de México, descritos a través de ejemplos en el campus universitario de la U.A.N.L. Linares, N.L. México.

Woerner P.M. 1989. Métodos químicos para el análisis de suelos calizos de zonas áridas y semiáridas. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Linares, N.L. México.

WRB. 1998. World reference base for soil resources reports 84. International Society of Soil Resources (ISSS), International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

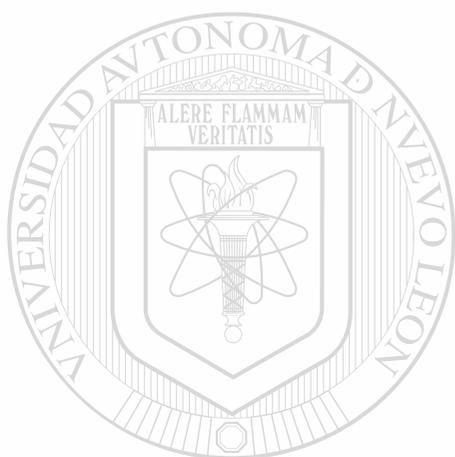


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



ANEXOS

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



ANEXO 1. INVENTARIO DE VEGETACIÓN

Se muestra el inventario de vegetación de la parcela de matorral alto subinerme conservado que representa la vegetación natural de la zona de estudio. En el inventario se distinguieron dos estratos de vegetación: se definió el estrato superior como el constituido por las especies de altura mayor a 4m y un estrato medio constituido por especies entre 1.5 y 4m de altura.

Cuadro 24. Inventario de vegetación del matorral alto subinerme: estrato superior (altura > 4 m)

| <i>Nombre científico</i> | <i>Familia</i> | <i>Nombre común</i> |
|---------------------------------|----------------|---------------------|
| <i>Scucia rigidula</i> | Fabaceae | Gavia |
| <i>Bumelia celastrina</i> | Sapontaceae | Coma |
| <i>Celtis laevigata</i> | Ulmaceae | Palo blanco |
| <i>Condalia hookeri</i> | Rhamnaceae | Brasil |
| <i>Cordia boissieri</i> | Boraginaceae | Anacahuita |
| <i>Diospyros texana</i> | Ebenaceae | Chapote prieto |
| <i>Diospyros palmeri</i> | Ebenaceae | Chapote manzano |
| <i>Eysenhardtia polystachya</i> | Fabaceae | Vara dulce |
| <i>Eupatorium sp</i> | Asteraceae | Bisbirinda |
| <i>Havardiu pallens</i> | Fabaceae | Jenaza |
| <i>Lycium berlandieri</i> | Solanaceae | Cruceto |
| <i>Pistacea texana</i> | Anacardiaceae | Lantrisco, lentisco |
| <i>Sapindus saponaria</i> | Sapindaceae | Jaboncillo |
| <i>Sargentia greggii</i> | Rutaceae | Chapote amarillo |
| <i>Zanthoxylum fagara</i> | Rutaceae | Colima |

Cuadro 25. Inventario de vegetación del matorral alto subinerme: estrato medio (altura de 1.5 a 4 m)

| <i>Nombre científico</i> | <i>Familia</i> | <i>Nombre común</i> |
|------------------------------------|----------------|---------------------|
| <i>Acacia wrightii</i> | Fabaceae | Uña de gato |
| <i>Amyris texana</i> | Rutaceae | Barretilla |
| <i>Berberis chochocho</i> | Berberidaceae | Palo amarillo |
| <i>Bernardia myricaefolia</i> | Euphorbiaceae | Oreja de raton |
| <i>Bumelia celastrina</i> | Sapotaceae | Coma |
| <i>Capsicum annum</i> | Solanaceae | Chile piquin |
| <i>Castela texana</i> | Simaroubaceae | Chaparro amargoso |
| <i>Celtis pallida</i> | Ulmaceae | Granjeno |
| <i>Cercidium floridum</i> | Fabaceae | Palo verde |
| <i>Citharexylum fruticosum</i> | Verbenaceae | - |
| <i>Croton ciliatoglanduliferum</i> | Euphorbiaceae | Palillo |
| <i>Eupatorium sp.</i> | Asteraceae | Bisbirinda |
| <i>Eysenhardtia polystachya</i> | Fabaceae | Vara dulce |
| <i>Forestiera angustifolia</i> | Oleaceae | Panalero |
| <i>Haywardia pallens</i> | Fabaceae | Tenaza |
| <i>Helietta parvifolia</i> | Rutaceae | Barreta china |
| <i>Karwinskia humboldtiana</i> | Rhamnaceae | Coyotillo |
| <i>Lycium berlandieri</i> | Solanaceae | Cruceto |
| <i>Malpighia glabra</i> | Malpighiaceae | Manzanita, Acerola |
| <i>Randia laetevirens</i> | Rubiaceae | Crucillo |
| <i>Rhus andrieuxii</i> | Anacardiaceae | Lentisco |
| <i>Selloa glutinosa</i> | Asteraceae | Jarilla, Escobilla |
| <i>Solanum verbascifolium</i> | Solanaceae | Salvadora, Galantea |
| <i>Ugnadia speciosa</i> | Sapindaceae | Corvagallina |
| <i>Viyosma flexuosum</i> | Flacourtiaceae | Granadilla |

ANEXO 2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

En este anexo se muestran las valoraciones propuestas por el Manual de Métodos Químicos para el Análisis de Suelos Calizos de Zonas Áridas y Semiáridas (Woerner, 1989) para las distintas variables analizadas en este estudio, con excepción de la densidad aparente para la cual se muestra la valoración propuesta por Hintermaier-Erhard y Zech (1997).

- pH:

| pH | Valoración |
|-----------|--------------|
| > 8.2 | Muy alcalino |
| 7.2 - 8.2 | Alcalino |
| 6.5 - 7.2 | Neutro |
| 5.5 - 6.5 | Poco ácido |
| 4.5 - 5.5 | Ácido |
| < 4.5 | Muy ácido |

- Conductividad eléctrica (C.E.):

| C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Salinidad |
|----------------------------------|------------|
| < 500 | Muy escasa |
| 500 - 1000 | Escasa |
| 1000 - 2000 | Moderada |
| 2000 - 4000 | Alta |
| > 4000 | Extrema |

- Densidad aparente

| Densidad aparente (Mg/m^3) | Valoración |
|--|------------|
| < 1.4 | Muy baja |
| 1.4-1.6 | Baja |
| 1.6-1.8 | Media |
| 1.8-2.0 | Alta |
| > 2.0 | Muy alta |

- Carbono orgánico

| Carbono orgánico (%) | Valoración para suelos arcillosos |
|----------------------|-----------------------------------|
| < 0.75 | Muy escaso |
| 0.75 - 1.00 | Escaso |
| 1.00 - 2.00 | Mediano |
| 2.00 - 4.00 | Alto |
| > 4.00 | Muy alto |

- **Nitrógeno total**

| Nitrógeno total (%) | Valoración para suelos arcillosos |
|----------------------------|--|
| < 0.075 | Deficiente |
| 0.075 0.100 | Bajo |
| 0.100 0.200 | Adecuado |
| 0.200 0.400 | Alto |
| > 0.400 | Muy alto |

- **Calcio disponible**

| Calcio disponible (ppm) | Valoración para suelos arcillosos |
|--------------------------------|--|
| < 90 | Deficiente |
| 90 130 | Bajo |
| 130 175 | Adecuado |
| 175 300 | Alto |
| > 300 | Muy alto |

- **Magnesio disponible**

| Magnesio disponible (ppm) | Valoración para suelos arcillosos |
|----------------------------------|--|
| < 50 | Bajo |
| 50 150 | Adecuado |
| > 150 | Alto |

- **Potasio disponible**

| Potasio disponible (ppm) | Valoración para suelos arcillosos |
|---------------------------------|--|
| < 90 | Deficiente |
| 90 130 | Bajo |
| 130 175 | Adecuado |
| 175 300 | Alto |
| > 300 | Muy alto |

- **Cobre disponible**

| Cobre disponible (ppm) | Valoración para suelos arcillosos |
|-------------------------------|--|
| < 0.5 | Bajo |
| > 0.5 | Adecuado |

- **Hierro disponible**

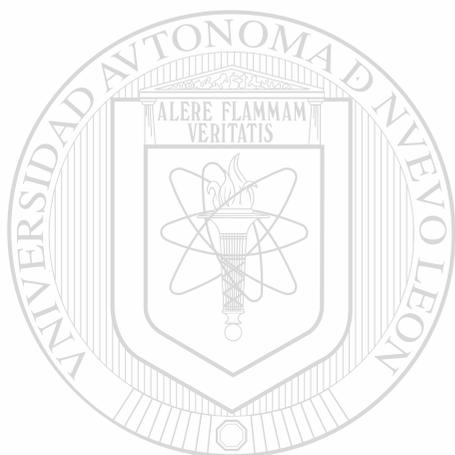
| Hierro disponible (ppm) | Valoración para suelos arcillosos |
|--------------------------------|--|
| < 2.0 | Bajo |
| 2.0 4.0 | Marginal |
| > 4.0 | Adecuado |

- Manganese disponible

| Manganese disponible (ppm) | Valoración para suelos arcillosos |
|----------------------------|-----------------------------------|
| < 1.8 | Bajo |
| > 1.8 | Adecuado |

- Zinc disponible

| Zinc disponible (ppm) | Valoración para suelos arcillosos |
|-----------------------|-----------------------------------|
| < 1.0 | Bajo |
| 1.0 – 1.5 | Marginal |
| > 1.5 | Adecuado |



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



ANEXO 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS : MEDIAS Y PRUEBA DE TUKEY ($\alpha = 0.05$)

Cuadro 26. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. Ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 0-10 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcelas | | |
|------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral Media | Cultivo Media | Veg. secundaria media |
| Dens.ap.(Mg/m ³) | 0.8 ^a | 1.2 ^b | 1.2 ^b |
| Arc. (%) | 45.5 ^a | 63.1 ^b | 54.0 ^{ab} |
| Lim. (%) | 42.8 ^a | 33.0 ^a | 40.5 ^a |
| Ar. (%) | 11.8 ^a | 4.0 ^b | 5.5 ^b |
| CO (Mg/ha) | 36.2 ^a | 8.9 ^b | 13.2 ^c |
| C/N | 8.6 ^a | 10.3 ^a | 11.7 ^a |
| NT (g Kg) | 4.9 ^a | 1.0 ^b | 1.5 ^b |
| pH | 7.5 ^a | 7.1 ^a | 6.3 ^b |
| C.E. (μS/cm) | 129.7 ^a | 62.3 ^b | 59.7 ^b |

*: letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 27. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. Ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 10-20 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcelas | | |
|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| Dens.ap.(Mg/m ³) | 1.1 ^a | 1.2 ^a | 1.2 ^b |
| Arc. (%) | 56.9 ^a | 56.4 ^a | 57.2 ^a |
| Lim. (%) | 36.6 ^a | 40.8 ^a | 38.5 ^a |
| Ar. (%) | 6.3 ^a | 2.9 ^b | 4.4 ^{ab} |
| CO (Mg/ha) | 17.0 ^a | 10.4 ^b | 13.3 ^c |
| C/N | 9.8 ^a | 10.8 ^a | 14.7 ^b |
| NT (g Kg) | 1.6 ^a | 0.7 ^b | 0.8 ^b |
| pH | 7.6 ^a | 7.3 ^a | 6.2 ^b |
| C.E. (μS/cm) | 96.6 ^a | 64.6 ^b | 44.1 ^b |

*: letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 28. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. Ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 20-30 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcelas | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| Dens.ap.(Mg m ⁻³) | 1.2 ^{a*} | 1.3 ^a | 1.2 ^a |
| Ar. (°o) | 6.3 ^a | 2.7 ^b | 4.2 ^{ab} |
| Lim. (%) | 35.7 ^a | 35.3 ^a | 37.0 ^a |
| Arc. (°o) | 58.1 ^a | 62.2 ^a | 58.8 ^a |
| CO (Mg/ha) | 15.4 ^b | 12.1 ^a | 12.8 ^a |
| C N | 9.3 ^a | 11.8 ^b | 12.1 ^b |
| NT (g Kg) | 1.4 ^a | 0.7 ^b | 0.8 ^b |
| pH | 7.6 ^a | 7.2 ^a | 6.3 ^b |
| C.E. (µS/cm) | 95.5 ^a | 65.0 ^b | 44.3 ^b |

* letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 29. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. Ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 30-40 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcelas | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| Dens.ap.(Mg m ⁻³) | 1.2 ^{a*} | 1.3 ^b | 1.3 ^a |
| Arc. (°o) | 61.7 ^a | 58.1 ^a | 61.5 ^a |
| Lim. (°o) | 34.3 ^a | 39.1 ^a | 35.3 ^a |
| Ar. (%) | 4.0 ^a | 2.8 ^a | 3.3 ^a |
| CO (Mg/ha) | 15.2 ^a | 12.5 ^a | 11.5 ^a |
| pH | 7.6 ^a | 7.1 ^a | 6.4 ^b |
| C.E. (µS/cm) | 95.7 ^a | 63.4 ^b | 46.8 ^c |

*. letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 30. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. Ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 40-50 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcelas | | |
|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| Dens.ap.(Mg/m ³) | 1.3 ^a | 1.3 ^a | 1.3 ^a |
| Arc. (%) | 59.3 ^a | 57.8 ^a | 59.5 ^a |
| Lim. (%) | 37.6 ^a | 39.5 ^a | 37.8 ^a |
| Ar. (%) | 3.1 ^a | 2.7 ^b | 2.8 ^b |
| CO (Mg/ha) | 14.1 ^a | 12.0 ^a | 11.6 ^a |
| pH | 7.4 ^a | 7.1 ^a | 6.7 ^a |
| C.E. (μS/cm) | 98.5 ^a | 55.6 ^b | 47.6 ^b |

*. Letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$.

Cuadro 31. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. Ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 50-60 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcelas | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| Dens.ap.(Mg m ⁻³) | 1.3 ^a | 1.3 ^a | 1.3 ^a |
| Arc. (%) | 60.9 ^a | 57.3 ^a | 62.0 ^a |
| Lim. (%) | 36.0 ^a | 40.6 ^a | 35.0 ^a |
| Ar. (%) | 3.1 ^a | 2.1 ^a | 3.0 ^a |
| CO (Mg/ha) | 13.3 ^a | 11.0 ^a | 12.3 ^a |
| pH | 7.6 ^a | 7.1 ^a | 7.1 ^a |
| C.E. (μS/cm) | 97.8 ^a | 74.1 ^a | 67.3 ^a |

*. Letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$.

Cuadro 32. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: densidad aparente (Dens. Ap.), arcillas (Arc.), limos (Lim.), arenas (Ar.), carbono orgánico (CO), relación C/N, nitrógeno total (NT), pH y conductividad eléctrica (C.E.) en el intervalo de profundidad 60-70 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcelas | | |
|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| Dens.ap.(Mg/m ³) | 1.3 ^a | 1.3 ^a | 1.4 ^a |
| Arc. (°o) | 60.7 ^a | 66.5 ^a | 58.3 ^a |
| Lim. (°o) | 36.5 ^a | 30.9 ^a | 38.0 ^a |
| Ar. (°o) | 2.8 ^a | 2.5 ^a | 3.7 ^a |
| CO (Mg/ha) | 11.3 ^a | 10.4 ^a | 12.3 ^a |
| pH | 7.6 ^a | 7.2 ^a | 7.3 ^a |
| C.E. (µS cm) | 93.7 ^a | 86.2 ^a | 79.7 ^a |

*. Letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 33. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) (ppm) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) (ppm) en el intervalo de profundidad 0-10 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcela | | |
|----------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| Ca | 12328.0 ^a | 11225.0 ^a | 8574.0 ^a |
| K | 244.0 ^a | 216.0 ^a | 215.0 ^a |
| Mg | 250.0 ^a | 155.0 ^b | 212.0 ^b |
| Na | 174.0 ^a | 236.0 ^b | 235.0 ^b |
| Cu | 0.9 ^a | 0.8 ^a | 0.9 ^a |
| Fe | 10.3 ^a | 4.3 ^a | 13.1 ^b |
| Mn | 11.0 ^a | 5.8 ^a | 39.8 ^b |
| Zn | 2.7 ^a | 0.6 ^b | 1.0 ^b |

*. Letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 34. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) (ppm) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) (ppm) en el intervalo de profundidad 10-20 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcela | | |
|----------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| | Matorral | Cultivo | Veg. Secundaria |
| | media | media | media |
| Ca | 14068.0 ^{a*} | 9859.0 ^b | 8438.0 ^b |
| K | 107.0 ^a | 127.0 ^a | 167.0 ^a |
| Mg | 145.0 ^a | 168.0 ^a | 209.0 ^a |
| Na | 225.0 ^a | 276.0 ^a | 232.0 ^a |
| Cu | 0.9 ^a | 0.8 ^a | 1.1 ^a |
| Fe | 10.3 ^a | 5.6 ^b | 11.7 ^a |
| Mn | 20.5 ^a | 7.0 ^a | 28.8 ^a |
| Zn | 0.8 ^a | 0.4 ^b | 0.5 ^{ab} |

*. letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 35. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de las variables de estudio: macronutrientes (Ca, K, Mg, N) (ppm) y micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) (ppm) en el intervalo de profundidad 20-30 cm entre las distintas parcelas de uso.

| Variable | Parcela | | |
|----------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| | Matorral | Cultivo | Veg. Secundaria |
| | media | media | media |
| Ca | 14356.0 ^{a*} | 9569.0 ^b | 8976.0 ^b |
| K | 109.0 ^a | 155.0 ^a | 136.0 ^a |
| Mg | 86.0 ^a | 130.0 ^{ab} | 187.0 ^b |
| Na | 269.0 ^a | 296.0 ^a | 193.0 ^b |
| Cu | 1.0 ^{ab} | 0.7 ^a | 1.0 ^b |
| Fe | 12.4 ^a | 6.0 ^a | 8.2 ^a |
| Mn | 24.5 ^a | 8.9 ^b | 28.3 ^a |
| Zn | 0.4 ^a | 0.3 ^a | 0.3 ^a |

*. letras iguales, para una variable dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 38. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la proporción de arcillas (%) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 45.5 ^{a*} | 63.1 ^{ab} | 54.0 ^a |
| 10-20 | 56.9 ^b | 56.4 ^a | 57.2 ^a |
| 20-30 | 58.1 ^b | 62.2 ^{ab} | 58.8 ^a |
| 30-40 | 61.7 ^b | 58.1 ^a | 61.5 ^a |
| 40-50 | 59.3 ^b | 57.8 ^a | 59.5 ^a |
| 50-60 | 60.9 ^b | 57.3 ^a | 62.0 ^a |
| 60-70 | 60.7 ^b | 66.5 ^b | 58.3 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 37. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la proporción de limos (%) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 42.8 ^{a*} | 33.0 ^{bc} | 40.5 ^a |
| 10-20 | 36.6 ^a | 40.8 ^b | 38.5 ^a |
| 20-30 | 35.7 ^a | 35.3 ^{bc} | 37.0 ^a |
| 30-40 | 34.3 ^a | 39.1 ^{bc} | 35.3 ^a |
| 40-50 | 37.6 ^a | 39.5 ^{bc} | 37.8 ^a |
| 50-60 | 36.0 ^a | 40.6 ^{bc} | 35.0 ^a |
| 60-70 | 36.5 ^a | 30.9 ^d | 38.0 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 36. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la proporción de arenas (%) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 11.8 ^{a*} | 4.0 ^a | 5.5 ^a |
| 10-20 | 6.3 ^{ab} | 2.9 ^{ab} | 4.4 ^{ab} |
| 20-30 | 6.3 ^{ab} | 2.7 ^{ab} | 4.2 ^{ab} |
| 30-40 | 4.0 ^b | 2.8 ^{ab} | 3.3 ^{ab} |
| 40-50 | 3.1 ^b | 2.7 ^{ab} | 2.8 ^b |
| 50-60 | 3.1 ^b | 2.1 ^b | 3.0 ^b |
| 60-70 | 2.8 ^b | 2.5 ^b | 3.7 ^{ab} |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 39. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. Secundaria media |
| 0-10 | 0.8 ^{a*} | 1.2 ^d | 1.2 ^a |
| 10-20 | 1.1 ^b | 1.2 ^a | 1.2 ^{ab} |
| 20-30 | 1.2 ^{bc} | 1.3 ^{ab} | 1.2 ^{ab} |
| 30-40 | 1.2 ^{bc} | 1.3 ^b | 1.3 ^{ab} |
| 40-50 | 1.3 | 1.3 ^b | 1.3 ^b |
| 50-60 | 1.3 ^c | 1.3 ^b | 1.3 ^{bc} |
| 60-70 | 1.3 ^c | 1.3 ^b | 1.4 ^c |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 40. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de carbono orgánico ($Mg\ ha^{-1}$) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 36.2 ^{a*} | 8.9 ^a | 13.2 ^a |
| 10-20 | 17.0 ^b | 10.4 ^{ab} | 13.3 ^a |
| 20-30 | 15.3 ^{bc} | 12.1 ^{ab} | 12.8 ^a |
| 30-40 | 15.2 ^{bc} | 12.5 ^b | 11.5 ^a |
| 40-50 | 14.1 ^{bc} | 12.0 ^b | 11.7 ^a |
| 50-60 | 13.3 ^{bc} | 11.0 ^{ab} | 12.0 ^a |
| 60-70 | 11.3 ^c | 10.4 ^{ab} | 12.3 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 41. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de nitrógeno total ($g\ Kg^{-1}$) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 4.8 ^{a*} | 1.0 ^a | 1.4 ^a |
| 10-20 | 1.5 ^b | 0.9 ^a | 0.8 ^b |
| 20-30 | 1.4 ^b | 0.6 ^b | 0.8 ^b |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 42. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la relación C/N del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|--------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 8.6 ^a | 10.3 ^a | 11.7 ^a |
| 10-20 | 9.8 ^a | 10.8 ^{ab} | 14.7 ^b |
| 20-30 | 9.3 ^a | 11.8 ^b | 12.1 ^{ab} |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 43. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del pH del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 7.5 ^a | 7.1 ^a | 6.3 ^a |
| 10-20 | 7.6 ^a | 7.3 ^a | 6.2 ^a |
| 20-30 | 7.6 ^a | 7.2 ^a | 6.3 ^a |
| 30-40 | 7.6 ^a | 7.1 ^a | 6.4 ^a |
| 40-50 | 7.4 ^a | 7.1 ^a | 6.7 ^b |
| 50-60 | 7.6 ^a | 7.1 ^a | 7.1 ^c |
| 60-70 | 7.6 ^a | 7.2 ^a | 7.3 ^c |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 44. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}$) del suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 129.7 ^a | 62.3 ^a | 59.7 ^a |
| 10-20 | 96.6 ^b | 64.6 ^a | 44.1 ^a |
| 20-30 | 95.5 ^b | 65.0 ^b | 44.3 ^a |
| 30-40 | 95.7 ^b | 63.4 ^a | 46.8 ^b |
| 40-50 | 98.5 ^b | 55.6 ^{ab} | 47.6 ^{ab} |
| 50-60 | 97.8 ^b | 74.1 ^c | 67.3 ^c |
| 60-70 | 93.7 ^b | 86.2 ^c | 79.7 ^d |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 45. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Ca (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 12328 ^{a*} | 10325 ^a | 8574 ^a |
| 10-20 | 14068 ^a | 9049 ^a | 8438 ^a |
| 20-30 | 14356 ^a | 8602 ^a | 8976 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 46. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de K (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 244 ^{a*} | 216 ^a | 215 ^a |
| 10-20 | 107 ^b | 127 ^a | 167 ^a |
| 20-30 | 109 ^b | 155 ^a | 136 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 47. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Mg (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 250 ^{a*} | 155 ^a | 212 ^a |
| 10-20 | 145 ^a | 168 ^a | 209 ^a |
| 20-30 | 86 ^b | 130 ^a | 187 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 48. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Na (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 174 ^{a*} | 236 ^a | 235 ^a |
| 10-20 | 225 ^a | 276 ^a | 232 ^a |
| 20-30 | 269 ^b | 296 ^b | 193 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 49. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Cu (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|-------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 0.97 ^{a*} | 0.76 ^a | 0.98 ^a |
| 10-20 | 0.95 ^a | 0.82 ^a | 1.12 ^a |
| 20-30 | 1.04 ^a | 0.69 ^a | 1.03 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 50. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Fe (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 10.3 ^{a*} | 4.3 ^a | 13.1 ^a |
| 10-20 | 10.3 ^a | 5.6 ^a | 11.7 ^{ab} |
| 20-30 | 12.4 ^a | 6.0 ^a | 8.2 ^b |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

Cuadro 51. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Mn (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|--------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 11.0 ^{a*} | 5.8 ^a | 39.8 ^a |
| 10-20 | 20.5 ^a | 7.0 ^a | 28.8 ^a |
| 20-30 | 24.5 ^a | 8.9 ^a | 28.3 ^a |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

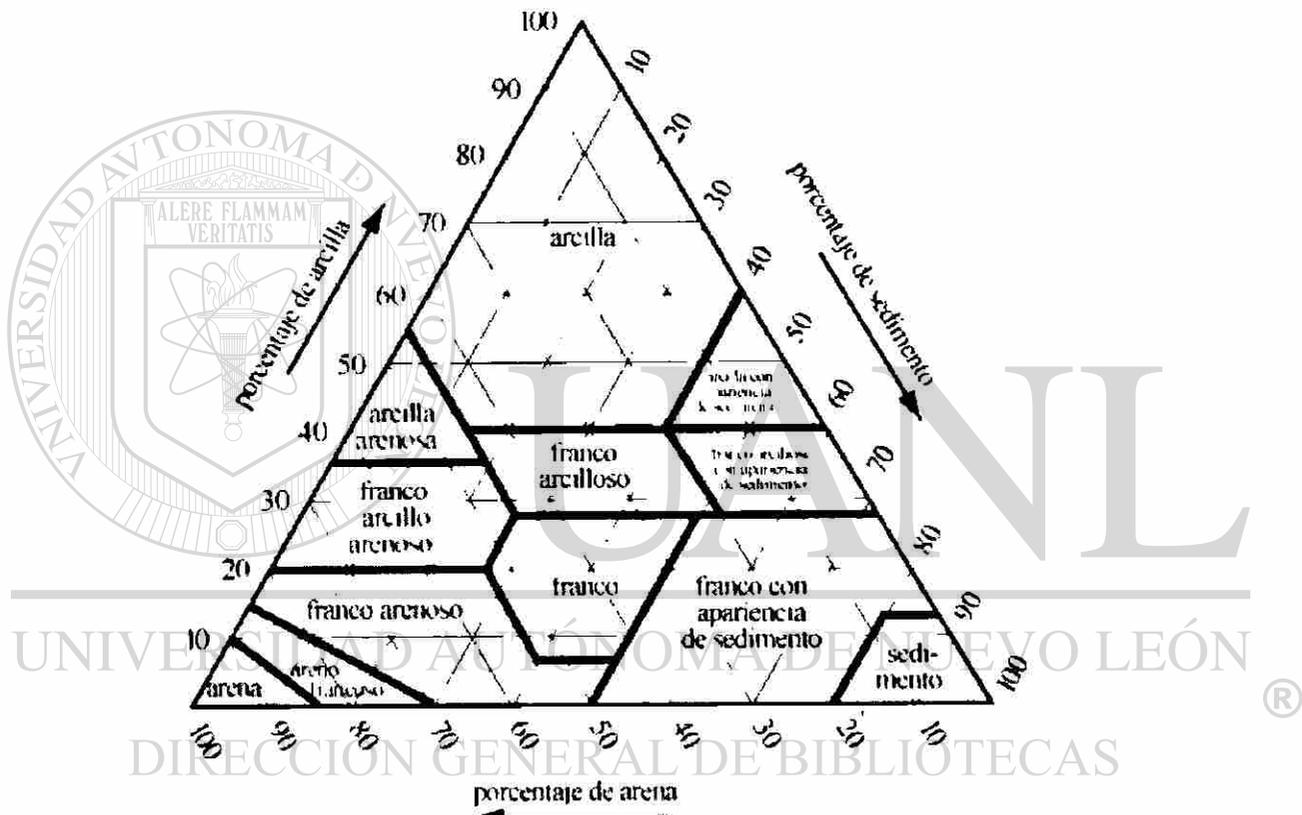
Cuadro 52. Prueba de comparación de medias según Tukey para comparación del contenido de Zn (ppm) en el suelo a lo largo del perfil del suelo para cada una de las parcelas de estudio.

| Prof. cm | Parcela | | |
|-------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| | Matorral media | Cultivo media | Veg. secundaria media |
| 0-10 | 2.7 ^{a*} | 0.6 ^a | 1.0 ^a |
| 10-20 | 0.8 ^b | 0.4 ^a | 0.5 ^b |
| 20-30 | 0.4 ^b | 0.3 ^a | 0.3 ^b |

*: letras iguales, para una parcela dada, indican medias estadísticamente iguales según la prueba de Tukey para $\alpha = 0.05$

ANEXO 4. TRIÁNGULO DE CLASES TEXTURALES.

Este triángulo de clases texturales se construyó a partir del criterio propuesto por Atterberg, adoptados por la International Society of Soil Science (ISSS) en 1927 (Mathieu y Pieltain, 1998).



GLOSARIO

CE: Conductividad eléctrica, $dS\ m^{-1}$ a $25^{\circ}\ C$

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

C/N: relación carbono-nitrógeno

FAO: Food and Agriculture Organization

g.l.: grados de libertad

M: molar

Mg: megagramo, tonelada métrica, $10^6\ g$

m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar

Pg: picogramo, $10^{-11}\ g$

pp.: paginas

ppm: partes por millón (unidad no SI). $1\ mg\ Kg^{-1}$, $1\ mg\ l^{-1}$

ρ : densidad, $Kg\ m^{-3}$

α : intervalo de confianza

— : aproximadamente

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



