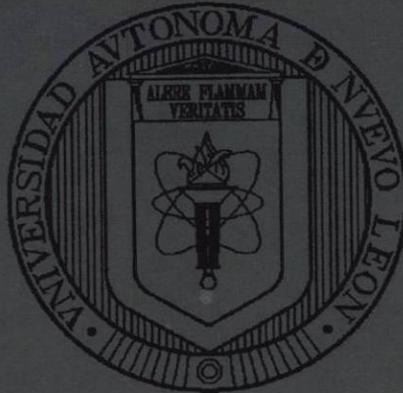


GA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN  
ECOSISTEMAS NATURALES E INDUCIDOS EN EL ESTADO  
DE NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

**TESIS**

Presentada como parte de los requisitos parciales para optar al  
Título de Ingeniero Forestal

Por

**María del Refugio Bravo Garza**

Linares, Nuevo León, México

Septiembre, 1999

TL  
S593  
.B7  
1999  
c.1



1080092523

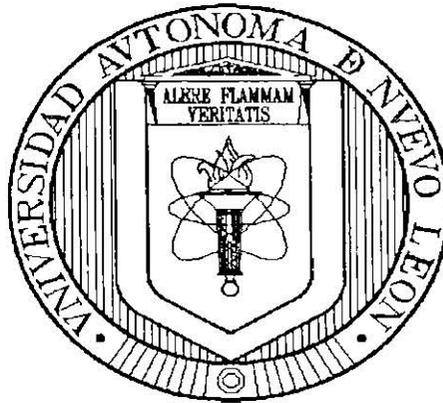
TL

S593

.B7

1997

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN  
ECOSISTEMAS NATURALES E INDUCIDOS EN EL ESTADO  
DE NUEVO LEÓN, MÉXICO**

**T E S I S**

Presentada como parte de los requisitos parciales para optar al Título de  
Ingeniero Forestal

Por

**María del Refugio Bravo Garza**

Linares, Nuevo León, México

Septiembre, 1999

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
DEPARTAMENTO AGROFORESTAL

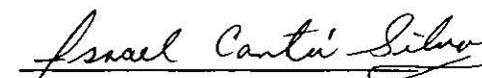
DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN  
ECOSISTEMAS NATURALES E INDUCIDOS EN EL ESTADO DE  
NUEVO LEÓN, MÉXICO.

T E S I S

Presentada como parte de los requisitos parciales para optar al Título de  
Ingeniero Forestal

María del Refugio Bravo Garza

COMISIÓN DE TESIS

  
Israel Cantú Silva Ph.D.  
Presidente

  
M.Sc. Marisela Pando Moreno  
Secretario

  
Humberto González Rodríguez Ph.D.  
Vocal

Linares, Nuevo León, México

Septiembre, 1999

## DEDICATORIA

*Con cariño dedico este trabajo a mis padres:*

*Joel Bravo Aranda y Emilia Garza Perales*

*de quienes he recibido amor, ejemplo y apoyo incondicional*

*A mis hermanos Joel, Margarita y Jorge*

*A mi cuñada Tere y a el pequeño Héctor Daniel*

*A Roque Felix Cervantes Soto por su amor, comprensión y apoyo constante*

*Ustedes representan lo mejor de mi vida*

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer profundamente a los miembros de mi comité de Tesis el Dr. Israel Cantú Silva, la M.Sc. Marisela Pando Moreno y el Dr. Humberto González Rodríguez por su amistad, consejos y acertadas observaciones. Y por el valioso tiempo que me dedicaron para que este trabajo llegara a buen término.

De forma especial quiero agradecer al Dr. Miguel A. Ruiz Martínez de quién recibí todo el apoyo durante mis estudios y la realización de este trabajo. Sobretudo agradezco su amistad, enseñanzas y consejos.

Agradezco también el apoyo recibido por parte de la Facultad de Ciencias Forestales por la oportunidad brindada para realizar los estudios de Licenciatura a la par de mi trabajo en el Laboratorio de Suelos, además por permitirme llevar a cabo los análisis de suelos de este trabajo en sus instalaciones. De igual forma, agradezco a la planta docente de la Facultad por el apoyo recibido y su comprensión ante nuestra condición de trabajadores-estudiantes.

Doy las gracias a los Sr. Agustín J. Martínez, propietario del predio bajo pastoreo en Santa Rosa, Iturbide; al Sr. Humberto López, Comisariado ejidal del Ojo de Agua 2; al Sr. Ramiro Gómez, Comisariado ejidal de El Poblado y al Sr. Eleazar González Martínez propietario del predio agrícola del ejido Guadalupe por haberme permitido realizar los muestreos en sus predios y por la información proporcionada acerca del uso de los mismos.

A mis compañeros trabajadores del Departamento Agroforestal: Yadira Garza, Alfredo Ortega, Ascensión García, Leonel Resendiz, Joel Bravo, Manuel Soto y José Uvalle les doy las gracias por su apoyo en el trabajo de campo y de laboratorio; en especial agradezco su paciencia y amistad.

A mi Papá, Margarita, Felix y Jorge quiero agradecerles infinitamente su gran ayuda en el trabajo de campo, bajo el inclemente sol Linarense.

Gracias a mis compañeros de la décima generación: Sandy, Miguel (petaquín), Tony, Lalo, Juan, Sergio y Pepe por su amistad y ayuda para poner al corriente los cursos. Gracias, además, por los gratos momentos que disfrutamos en nuestros viajes de estudio.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue investigar la relación entre la materia orgánica del suelo (fuente de nutrimentos orgánicos e inorgánicos) y el uso del suelo (pastoreo y agricultura) en tres diferentes tipos de vegetación en el Noreste de México. El contenido de materia orgánica del suelo (MO), el nitrógeno total (Nt) y fósforo disponible (Pi) fue determinado en muestras de suelo de toposecuencias ubicadas en áreas naturales y en áreas contiguas sujetas a alguno de los usos antes mencionados. Estas toposecuencias fueron establecidas en el Bosque de Pino, el Matorral Alto subinerme y en el Mezquital formando un transecto con una diferencia en altitud de 1,344 m y una longitud de 48 km, y que conecta los municipios de Linares e Iturbide en el estado de Nuevo León. El uso aplicado en las áreas seleccionadas correspondió a pastoreo extensivo en el Bosque de Pino, habiendo sido practicado por los menos durante 50 años; y agricultura de temporal en el Matorral y Mezquital, donde se ha practicado por 30 y 13 años, respectivamente. Las muestras de suelo fueron colectadas por horizontes, tomando por los menos 3 muestras en cada uno de los 54 puntos muestreados (seis toposecuencias por localidad con tres puntos cada una). Las determinaciones de contenido de hojarasca, densidad aparente del suelo y textura también fueron llevadas a cabo. Los contenidos de MO, Nt y Pi en  $\text{kg m}^{-2}$  fueron calculados para dos profundidades 0 – 15 y 15 – 30 cm. Los resultados mostraron que el contenido de MO y Nt dentro de los 15 cm superficiales de suelo no fue diferente entre los tres tipos de vegetación considerados mientras que un mayor contenido de Pi fue encontrado el Matorral Alto y en el Bosque de Pino que en el Mezquital. El Bosque de Pino reportó el mayor contenido de MO y Pi dentro de la profundidad 15 – 30 cm, además de haber reportado la más alta cantidad de hojarasca ( $1.71 \text{ kg m}^{-2}$ ) mientras que el Matorral Alto reportó la más baja ( $0.77 \text{ kg m}^{-2}$ ). Aún cuando no fueron estadísticamente comprobadas, las tendencias que se presentan en el contenido de MO y Pi hasta una profundidad de 30 cm es a reducirse conforme disminuye la altitud dentro del transecto, del Bosque de Pino a el Mezquital, mientras que el contenido de Nt presentó la tendencia contraria. El uso del suelo causó disminuciones en el contenido de MO y Nt en los tres tipos de vegetación. Pérdidas de 3.59, 2.98 y  $1.68 \text{ kg m}^{-2}$  fueron encontradas en los 15 cm superficiales de suelo en el Bosque de Pino, el Matorral y el Mezquital, respectivamente, cuando se compararon las áreas con uso con las áreas naturales. Para Nt las pérdidas fueron de 47.8, 228.4 y  $176.8 \text{ g m}^{-2}$  en las comunidades vegetales mencionadas anteriormente. No se encontró una disminución en el contenido de Pi entre las áreas con y sin uso en el Bosque de Pino mientras que el Matorral alto reportó  $7.05 \text{ g m}^{-2}$  menos Pi en

el área de cultivo que en el área natural. Dado que la pérdida de nutrientes del suelo depende, entre otros factores, del tipo de manejo practicado, el tiempo durante el cuál se haya llevado a cabo la utilización de los recursos y a las características físicas del ecosistema, se puede concluir que bajo condiciones naturales el contenido de materia orgánica del suelo tiende a disminuir en la planicie y que la agricultura de temporal en las áreas semiáridas causó mayores reducciones en el contenido de materia orgánica y nitrógeno total que el pastoreo extensivo practicado en el Bosque de Pino, y en un periodo de tiempo más corto.

## ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the relationship between organic soil matter (source of organic and inorganic nutrients) and land management systems (pasture and agricultural lands) in three different vegetation communities in northeastern Mexico. Soil organic matter (SOM), total nitrogen (N) and plant-available phosphorous (Pi) were measured in soils of paired natural and managed toposequences, established on Pine forest, Piedmont shrub and Mesquite scrub communities, forming a transect with a differential altitude of 1,344 m and a longitude of 48 km. The transect included the municipalities of Linares and Iturbide, in the state of Nuevo León. Studied land management systems comprised free grazing on the Pine forest, for at least 50 years, agriculture at the piedmont, and native scrub forests dominated by mesquite for 30 and 13 years, respectively. At least three soil samples corresponding to generic horizons were collected at each of the 54 points (six toposequences with three points each). Aboveground litter content, soil bulk density and particle size analysis were also measured. SOM, N and Pi mass ( $\text{kg m}^{-2}$ ) were calculated to 0-15 and 15-30 cm of soil depth. Results showed that in the 15 cm of soil surface, SOM and N content did not vary among vegetation communities. Pi content was greater in soil samples collected at the Piedmont shrub and Pine forest than in Mesquite scrub land. Pine forest showed the highest values for SOM and Pi content within the 15-30 cm soil depth. Also, this community showed the highest aboveground litter content ( $1.71 \text{ kg m}^{-2}$ ) whereas Piedmont shrub had the lowest ( $0.77 \text{ kg m}^{-2}$ ). SOM and Pi mass to 30 cm depth decreases with decreasing elevation along the transect, from Pine forest to Mesquite scrub, and N mass showed the opposite trend, although these patterns were not statistically significant. Land management caused reductions on SOM and N contents in the vegetation communities. Losses of  $3.59$ ,  $2.98$  and  $1.68 \text{ kg m}^{-2}$  on the SOM content of the 15 cm surface soils were found in Pine forest, Piedmont shrub and Mesquite scrub, respectively, when comparisons between natural and managed areas were done. While for N, losses of  $47.8$ ,  $228.4$  and  $176.8 \text{ g m}^{-2}$  were reported in the communities mentioned above, respectively. There were no reductions on Pi content between the natural and managed areas in the Pine forest site, while Piedmont shrub reported  $7.05 \text{ g m}^{-2}$  less Pi in the cultivated than in the natural area. Since nutrient losses depend on the type of management, time frame of resources utilization and physical characteristics of the ecosystem, it could be concluded that under natural conditions, SOM tend to decrease in lowlands and that land cropping in semiarid lands caused larger reductions on SOM and N, over a short time period than free grazing on temperate forest.

## ÍNDICE DE MATERIAS

<b>RESUMEN.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Importancia de la materia orgánica.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 El impacto del uso del suelo en la materia orgánica.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 La materia orgánica del suelo y el cambio climático.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Factores que afectan la acumulación y distribución         de la materia orgánica.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 Antecedentes edafológicos regionales.....</b>	<b>10</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Descripción general del área de estudio.....</b>	<b>13</b>
3.1.1 Localización.....	13
3.1.2 Clima.....	15
3.1.3 Geología.....	16
3.1.4 Vegetación.....	17
3.1.5 Suelo.....	18
<b>3.2 Material.....</b>	<b>19</b>
3.2.1 Material y equipo de campo.....	19
3.2.2 Material y equipo de Laboratorio.....	20

<b>3.3 Método.....</b>	<b>21</b>
3.3.1 Selección y ubicación de las áreas de muestreo.....	21
3.3.2 Muestreo y levantamiento de información.....	26
3.3.3 Métodos de Laboratorio.....	27
3.3.4 Diseño experimental y análisis estadístico.....	28
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Análisis estadístico de las variables observadas.....</b>	<b>31</b>
4.2 Materia orgánica.....	32
4.3 Nitrógeno.....	33
4.4 Fósforo.....	34
<b>4.2 La influencia de la topografía en la distribución         de los nutrimentos del suelo.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Acumulación y distribución de los nutrimentos evaluados         hasta una profundidad de 0 – 30 cm.....</b>	<b>45</b>
<b>4.4 Correlación entre las variables evaluadas.....</b>	<b>47</b>
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Información general de las localidades observadas.....	<b>24</b>
<b>Cuadro 2.</b> Determinaciones analíticas y métodos utilizados.....	<b>28</b>
<b>Cuadro 3.</b> Estadísticas descriptivas de las observaciones de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible.....	<b>32</b>
<b>Cuadro 4.</b> Prueba de <i>t</i> para los promedios de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en las dos profundidades evaluadas.....	<b>32</b>
<b>Cuadro 5.</b> Resumen del Análisis de varianza para materia orgánica en las dos profundidades evaluadas.....	<b>34</b>
<b>Cuadro 6.</b> Comparación de medias para materia orgánica de las tres localidades bajo estudio en la profundidad 15 – 30 cm.....	<b>35</b>
<b>Cuadro 7.</b> Resumen del Análisis de varianza para nitrógeno total en las dos profundidades evaluadas.....	<b>38</b>
<b>Cuadro 8.</b> Resumen del Análisis de varianza para fósforo disponible en las dos profundidades evaluadas.....	<b>40</b>
<b>Cuadro 9.</b> Comparación de medias del contenido de fósforo disponible en las tres localidades y las dos profundidades evaluadas.....	<b>42</b>
<b>Cuadro 10.</b> Comparación de medias del contenido de fósforo disponible para la interacción Localidad*Uso.....	<b>42</b>
<b>Cuadro 11.</b> Matriz de coeficientes de correlación (Pearson) para las variables observadas.....	<b>48</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización del área de estudio.....	<b>14</b>
<b>Figura 2.</b> Perfil del transecto bajo estudio.....	<b>22</b>
<b>Figura 3.</b> Diagramas climáticos de las estaciones meteorológicas cercanas a las localidades bajo estudio.....	<b>25</b>
<b>Figura 4.</b> Contenido de hojarasca presente en las tres localidades bajo estudio.....	<b>36</b>
<b>Figura 5.</b> Contenido de nitrógeno total en las dos profundidades evaluadas...	<b>39</b>
<b>Figura 6.</b> Contenido de fósforo disponible por Localidad y Uso.....	<b>41</b>
<b>Figura 7.</b> Contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible según la posición en la pendiente.....	<b>44</b>
<b>Figura 8.</b> Contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible en los 30 cm superficiales del suelo de las tres localidades bajo estudio.....	<b>46</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La presión que el ser humano está ejerciendo sobre los recursos naturales en busca de bienes y servicios, crece al mismo ritmo que el tamaño de su población; por lo que dichos recursos sufren actualmente un consumo y deterioro a una tasa superior a su capacidad de renovación (Fassbender, 1993 y Moreno, 1996). El suelo, como recurso natural indispensable para la producción de alimentos, entre otros muchos satisfactores, no ha estado exento a esta presión antropogénica, por lo que la degradación del suelo, que engloba todos los procesos que promueven la disminución de la capacidad productiva del mismo ya sea en el presente y/o en el futuro (Oldeman, 1994), es uno de los más serios problemas a nivel mundial.

En el territorio nacional se presentan, tanto procesos degradativos que tienen que ver con la pérdida de suelo por erosión, como aquellos procesos que promueven la degradación *in situ*. La Comisión Nacional de Zonas Áridas (1994), reporta una tasa de erosión de suelo de  $2.75 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y considera que al menos un 85% del mismo está siendo erosionado. Por tanto, se calcula que se tienen alrededor de 460 millones de toneladas al año de pérdida de suelo, siendo removido principalmente la capa de suelo superficial, la más fértil. Dentro de los procesos que ocasionan la degradación del suelo *in situ* se encuentra la disminución del humus del suelo vía mineralización y este factor afecta al 80% de la superficie del país (García y Estrada, 1990).

El censo de erosión llevado a cabo por la Dirección General de Conservación de Suelos y Aguas (1982-1984) mostró que el 18.6% (1,198,714 ha) de la superficie del estado de Nuevo León se encuentra ligeramente erosionada, el

67.8% (4,373,708 ha) presenta erosión moderada, el 12.5% (809,075 ha) presenta erosión severa y un 0.8% (49,649 ha) está muy severamente erosionada. Dentro de los factores considerados como promotores de este proceso en el estado, se encuentran la apertura de tierras a la agricultura (generalmente no aptas para este uso), el sobrepastoreo, los incendios forestales y los desmontes ilegales, entre otros.

La apertura de áreas naturales para el establecimiento de zonas agrícolas y ganaderas es una de las principales causas que desencadenan los procesos de degradación del suelo (Fassbender, 1987 y Eswaran, 1994). La actividad agrícola ocasiona, generalmente, un “estrés” al recurso edáfico representado por la extracción de nutrientes, reducción en la entrada de materia orgánica (lo que impacta negativamente en la actividad biológica del mismo) y/o en la alteración de sus propiedades físicas (Greenland y Szabolcs, 1994). Por otra parte, el sobrepastoreo contribuye a la compactación de las capas superficiales del suelo provocando con ello una reducción en la tasa de infiltración y un incremento en el escurrimiento superficial del suelo (Manzano, 1997).

Muchos de los problemas que se generan cuando se abren áreas naturales al uso intensivo están relacionados con la disminución en el contenido de materia orgánica del suelo (Nair, 1984, citado por King, 1994). Ya que este componente influye de manera determinante en la capacidad productiva del suelo; como fuente primordial de nutrimentos para las plantas y microorganismos, aumenta la capacidad de retención de agua, promueve la formación de agregados estables e incrementa la capacidad de intercambio catiónico, entre otras funciones (Fassbender, 1987; Smith y Emiott, 1990; Bohn et al., 1993). Por lo que la materia orgánica del suelo es uno de los principales indicadores de la

productividad y sustentabilidad del suelo (Pankhurst, 1994). Aunado a lo anterior, la materia orgánica del suelo es un importante almacén de carbono y, por tanto, los cambios que se dan en el carbono orgánico del suelo son de importancia para el conocimiento del balance global del carbono y su relación con el cambio climático (Mann, 1986 King, 1994; Cerri, 1996).

Por todo lo anteriormente expuesto el presente trabajo de investigación fue enfocado a estudiar algunos componentes del suelo que influyen en la estabilidad de los ecosistemas, con énfasis en la materia orgánica, y cómo responden diferentes tipos de vegetación a las perturbaciones antropogénicas más frecuentes (pastoreo y producción de cultivos). Para lograr lo anterior, se ubicaron sitios de muestreo bajo diferentes condiciones climáticas, de vegetación y de uso de suelo que conforman un gradiente entre la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo.

Este trabajo de investigación aporta información tanto básica como práctica acerca de la dinámica de algunos de los elementos más importantes para el desarrollo vegetal en áreas de bosque y de matorral, así como la repercusión del uso del suelo en el almacén de estos elementos. Adicionalmente este estudio contribuye a investigar los procesos de degradación del suelo y la susceptibilidad a ésta de las áreas bajo observación.

Considerando lo anterior se planteó el siguiente objetivo general:

Investigar los procesos de distribución de nutrimentos, con énfasis en la materia orgánica del suelo, en suelos de ecosistemas naturales e inducidos, localizados dentro de un gradiente climático-topográfico comprendido entre las Provincias Fisiográficas de la Sierra Madre Oriental y la Planicie Costera del Golfo.

Las hipótesis planteadas en el presente trabajo son:

- a) Los diferentes tipos de vegetación comprendidos dentro del transecto con un gradiente topográfico natural presentan diferencias en el aporte (hojarasca acumulada) y contenido de materia orgánica del suelo.
- b) El relieve del terreno altera la distribución y contenido de la materia orgánica, nitrógeno y fósforo del suelo.
- c) El uso del suelo, influyen en la distribución y contenido de la materia orgánica y aquellos nutrimentos que se relacionan directamente con ella, tal como son el N y P.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Importancia de la materia orgánica

El reconocimiento de la importancia de la materia orgánica del suelo en el ecosistema data de muchos años, siendo en un principio estudiado por sus efectos en la producción agrícola. Uno de los primeros investigadores que concluyeron que el humus es la fuente de alimento para las plantas fué Wallerius, profesor de Química en la Universidad de Upsala en 1761. Posteriormente, Thaer (1811), señalaba que la fertilidad del suelo depende totalmente del humus y que, así como era un producto de la vida, también era una condición de ella (Russell, 1968).

Actualmente están bien documentadas las funciones que la materia orgánica (humus) realiza en el suelo. Se sabe que en suelos de regiones templadas y sin fertilizar la materia orgánica aporta la mayor parte del nitrógeno requerido por las plantas, del 50 al 60% del fósforo, el 80% del azufre y gran parte del boro y molibdeno (Bohn et al.,1993). Por otro lado, en regiones semiáridas, Smith y Elliott (1990), reportan que el 95% del nitrógeno, 40% del fósforo y 90% del azufre absorbidos por las plantas provienen de esta fuente.

El contenido de materia orgánica del suelo representa un balance de la productividad del ecosistema, ya que se refleja mediante el aporte de residuos vegetales y animales al suelo, y la tasa de descomposición; por lo que es considerada como un parámetro sensible de los cambios que sufren los ecosistemas y como un indicador de la degradación del suelo (Burke, 1989; Flach,1990).

Hoy en día, gran parte de la importancia del conocimiento de este componente radica en los graves problemas de degradación del suelo que se presentan y que, en su mayor parte, son ocasionados por los cambios inapropiados del uso del suelo.

## **2.2 El impacto del uso del suelo en la materia orgánica del suelo**

La influencia del hombre en los ecosistemas con fines productivos ha ocasionado una pérdida de la homeostasis de los mismos y como resultado de ello, el suelo sufre de procesos que merman su capacidad productiva. En México, la Comisión Nacional de Zonas Áridas (1994), reporta que dentro del territorio nacional, el fenómeno de desertificación es originado en un 13% por factores climáticos y en un 87% por el mal manejo de los recursos utilizados por el hombre. Esto ha ocasionado una disminución en la fertilidad del suelo en aproximadamente un 80% del país a consecuencia de la pérdida de materia orgánica.

Smith y Elliott (1990), concluyeron que los niveles de materia orgánica del suelo, en las regiones semiáridas, están disminuyendo debido a las prácticas de labranza que promueven y/o alteran la descomposición microbiana de los residuos de cosecha, o que la cantidad de estos residuos que son incorporados al suelo son insuficientes para compensar la tasa de reducción.

Con relación a las pérdidas en el contenido de materia orgánica del suelo reportadas para áreas sujetas a la actividad agrícola, Mann (1986), efectuó análisis de regresión a 625 pares de muestras de suelo y encontró que los cambios más fuertes en el almacén de carbono en el suelo se dan durante los

primeros 20 años después de que las áreas son abiertas a la agricultura. Por otra parte, Burke (1989) menciona que en estudios llevados a cabo en los Estados Unidos de Norteamérica se han documentado pérdidas de hasta un 50% en el contenido de carbono orgánico cuando los pastizales de las planicies centrales se han convertido en zonas agrícolas. Similarmente, King (1994), en un estudio llevado a cabo en Zimbabwe, sobre el contenido de materia orgánica del suelo bajo diferentes tipos de cobertura encontró que un 10% del contenido original de carbono orgánico del suelo se perdió cuando la vegetación natural fue removida para establecer plantaciones de pino y cultivos de maíz, mientras que la conversión a plantaciones de eucalipto y a pastizales no presentaron pérdidas sustanciales.

Para conocer el impacto del uso agrícola en el contenido de materia orgánica del suelo en la región de las grandes planicies de los Estados Unidos, algunos autores han considerado como áreas vírgenes a los pastizales naturales donde se introdujo ganado hace casi 100 años (Hass et al., 1957; Bauer y Black, 1981; citados por Bauer et al., 1987). Dichos autores asumieron que esta práctica no ha alterado las condiciones originales del suelo. Sin embargo, se ha comprobado que tal aseveración no es verdadera. Bauer et al. (1987) encontró que en las áreas pastoreadas ocurren pérdidas de carbono hasta en  $165 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  cuando se comparó con áreas que habían sido excluidas del pastoreo durante 75 años.

En otro estudio, se encontró que la deforestación de la selva amazónica para convertirla en pastizales causó una disminución del contenido de materia orgánica del suelo en los 20 cm superficiales, de 90 a  $68.8 \text{ ton C ha}^{-1}$ . Esta

reducción (23%) se observó 2 años después de haber sido establecidos los pastizales (Cerri et al., 1996).

### **2.3 La materia orgánica del suelo y el cambio climático**

A nivel global, la cantidad de carbono contenido en la materia orgánica del suelo es un importante almacén de este elemento en el planeta, siendo ésta alrededor de  $1.5 \times 10^{18}$  g C (Solomon, 1985). Por tanto, aunado al interés actual en la investigación de los cambios que ocurren en la materia orgánica del suelo, como uno de los factores que influyen de manera determinante en los procesos de degradación de este recurso, se ha despertado una gran inquietud en conocer y determinar la influencia que tiene la reducción o pérdida del carbono orgánico del suelo en el aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.

Se estima que aproximadamente el 40% del incremento total del CO<sub>2</sub> atmosférico ha provenido de los cambios en el sistema suelo-vegetación (Trabalka, 1985). Siendo, la cultivación de pastizales vírgenes, la causa principal de la pérdida de carbono orgánico del suelo durante el siglo pasado. Actualmente es atribuida a la deforestación principalmente en los trópicos.

Cerri et al. (1996) mencionan que la deforestación global contribuye con 6.5% del incremento anual de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico y encontraron que la apertura de  $14.4 \times 10^6$  ha al cultivo de caña de azúcar en 50 años resultó en una reducción de 72 a 38.5 ton C ha<sup>-1</sup>; lo que representa el 0.25% del incremento anual de CO<sub>2</sub> atmosférico global.

## **2.4 Factores que afectan la acumulación y distribución de la materia orgánica del suelo**

Las principales variables que afectan la descomposición, acumulación y/o pérdida de la materia orgánica del suelo han demostrado ser las mismas que controlan la formación de ésta como son el clima, específicamente la precipitación y la temperatura, la textura del suelo, el relieve, el régimen de manejo y la cantidad y método de adición de residuos de cosecha (Burke, 1989; Simth y Emiott, 1990).

El relieve ha demostrado ser un componente importante en la distribución de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Así surgió el concepto de catena, el cual puede ser definido como una agrupación de suelos que, según sus características, se clasifican en diferentes grupos pero que están ligados por las condiciones de topografía donde se desarrollan y se repiten cuando las mismas condiciones son encontradas (Milne, 1935, citado por Gerrard, 1981). La aplicación de este concepto es esencial para entender la dinámica de los nutrientes y de la materia orgánica en zonas semiáridas (Schimel, 1985a).

Schimel (1985b) reporta haber encontrado un incremento en los contenidos de carbono, nitrógeno y fósforo en la parte baja de la catena en un estudio llevado a cabo en una estepa en Colorado. Estos resultados son atribuidos a que el movimiento de suelo de la parte superior incrementó la profundidad y el contenido de arcilla en las partes bajas de la catena, además de la disponibilidad de nutrientes y agua.

Posteriormente, Schimel (1985c), evaluó los efectos del cultivo y erosión del suelo comparando toposecuencias de suelos ubicadas en áreas sin disturbio y áreas cultivadas, encontrando que la cantidad de carbono orgánico se incrementó en las partes bajas de la toposecuencia y que los contenidos de carbono y nitrógeno disminuyeron marcadamente en todos los suelos sujetos a cultivo.

Por otra parte, Yonker (1988), no encontró diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico del horizonte superficial entre las diferentes posiciones en la pendiente de nueve unidades fisiográficas en donde se ubicaron transectos de 8 km de longitud. De manera similar se comportó el contenido de carbono dentro de los 100 cm superficiales de suelo, el cual no se incrementó en las partes bajas de la toposecuencia.

## **2.5 Antecedentes edafológicos regionales**

La mayor parte de los estudios edafológicos llevados a cabo en la región de Linares se relacionan con la capacidad de aprovechamiento agropecuario de la misma. Villarreal (1977), realizó un estudio 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.

El municipio de Linares ha representado una área con gran potencial agropecuario dentro del estado de Nuevo León, como lo menciona Rocha (1980), quien llevó a cabo un levantamiento cartográfico del potencial agropecuario y forestal de los suelos de los municipios de Linares y

Hualahuises. Este potencial se lo atribuye a sus condiciones ecológicas naturales. El mismo autor concluyó que el 4% de la superficie del área de estudio eran tierras sin limitaciones de uso agrícola (10,716 ha), 32.2% presentaba limitaciones moderadas, el 2.2% tenía limitaciones severas y el 25.4% eran tierras aptas para la ganadería. Así mismo, menciona que para 1980 la superficie erosionada era de 25,800 ha.

Uno de los estudios edafológicos llevados a cabo en el estado y que relacionan las características climáticas y fisiográficas con las condiciones nutritivas del suelo es el de De la Garza (1986), quien analizó muestras de suelo y subsuelo. De la Garza encontró que las cantidades de materia orgánica y nitrógeno total fueron más altas en los climas más húmedos y en la Provincia Costera del Golfo con respecto a los climas más secos y la Provincia de la Gran Llanura de Norteamérica.

Maldonado (1992), estableció 28 parcelas en Linares y Montemorelos para proponer un modelo de la evaluación cuantitativa de la desertificación. Dicho autor estableció que la materia orgánica del suelo es uno de los indicadores que más reflejan el potencial biológico de las áreas. Sus resultados muestran, de manera general, que las áreas estudiadas presentaban un grado de desertificación incipiente; reportando en áreas bajo uso agrícola un contenido de materia orgánica menor a 5%, mientras que áreas sin disturbio presentaron valores cercanos y por arriba del 10%.

Posteriormente, Gutiérrez (1997), llevó a cabo una investigación para modificar el modelo para evaluar el grado de desertificación propuesto por Maldonado y Pando (1994) en diversos ecosistemas en Linares. Gutiérrez muestreó sitios

que incluían usos de agostadero, pastizales y cultivos. Esta misma autora concluyó que el grado de desertificación fue, en su mayoría, incipiente o moderada y solo pocas áreas presentaron un grado de desertificación grave. Además sugirió que las prácticas de manejo son las que determinan la desertificación en la región de estudio, más que el clima o el tipo de suelo.

Manzano (1997), investigó el efecto de sobrepastoreo por caprinos en un área de matorral que había permanecido sin disturbio durante por lo menos 22 años, no encontrando cambios significativos en los contenidos de materia orgánica antes y después del pastoreo. Probablemente sus resultados están asociados al corto período de observación, el cual fue de un año. En cambio, la densidad aparente del suelo incrementó su valor en un 13% en ese mismo periodo de tiempo. En su estudio, el mencionado autor concluye que el tránsito del ganado ocasionó un aumento significativo en la densidad aparente del suelo y que fue posible detectar etapas tempranas del proceso de desertificación.

### **3. MATERIAL Y MÉTODO**

#### **3.1 Descripción general del área de estudio**

##### **3.1.1 Localización**

El área de estudio consistió en un transecto que une a los municipios de Linares e Iturbide Nuevo León, dicho transecto inicia geográficamente en las coordenadas 24°42'28" LN y 99°51'43" LO, y culmina en las coordenadas 24°52'46" LN y 99°24'29" LO. Este transecto incluye la Subprovincia de la Sierra Plegada, dentro de la Provincia de la Sierra Madre Oriental y la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos, dentro de la Provincia de la Llanura Costera del Golfo Norte (Figura 1).

La Subprovincia de la Sierra Plegada ocupa una área total de 8,808.45 km<sup>2</sup> y se caracteriza por el dominio de capas plegadas de calizas cuyas cumbres sobrepasan los 2,000 msnm. Por su parte, la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos ocupa una superficie de 9,602 km<sup>2</sup> y se encuentra constituida por serranías pequeñas y lomeríos suaves con algunas llanuras de gran extensión, con altitudes entre los 150 y 600 msnm (INEGI, 1986). Una estrecha banda de 15 km de ancho que corre del sureste al noroeste a lo largo de la Sierra Madre Oriental marca la transición entre las dos Subprovincias fisiográficas (Cavazos y Molina, 1992).

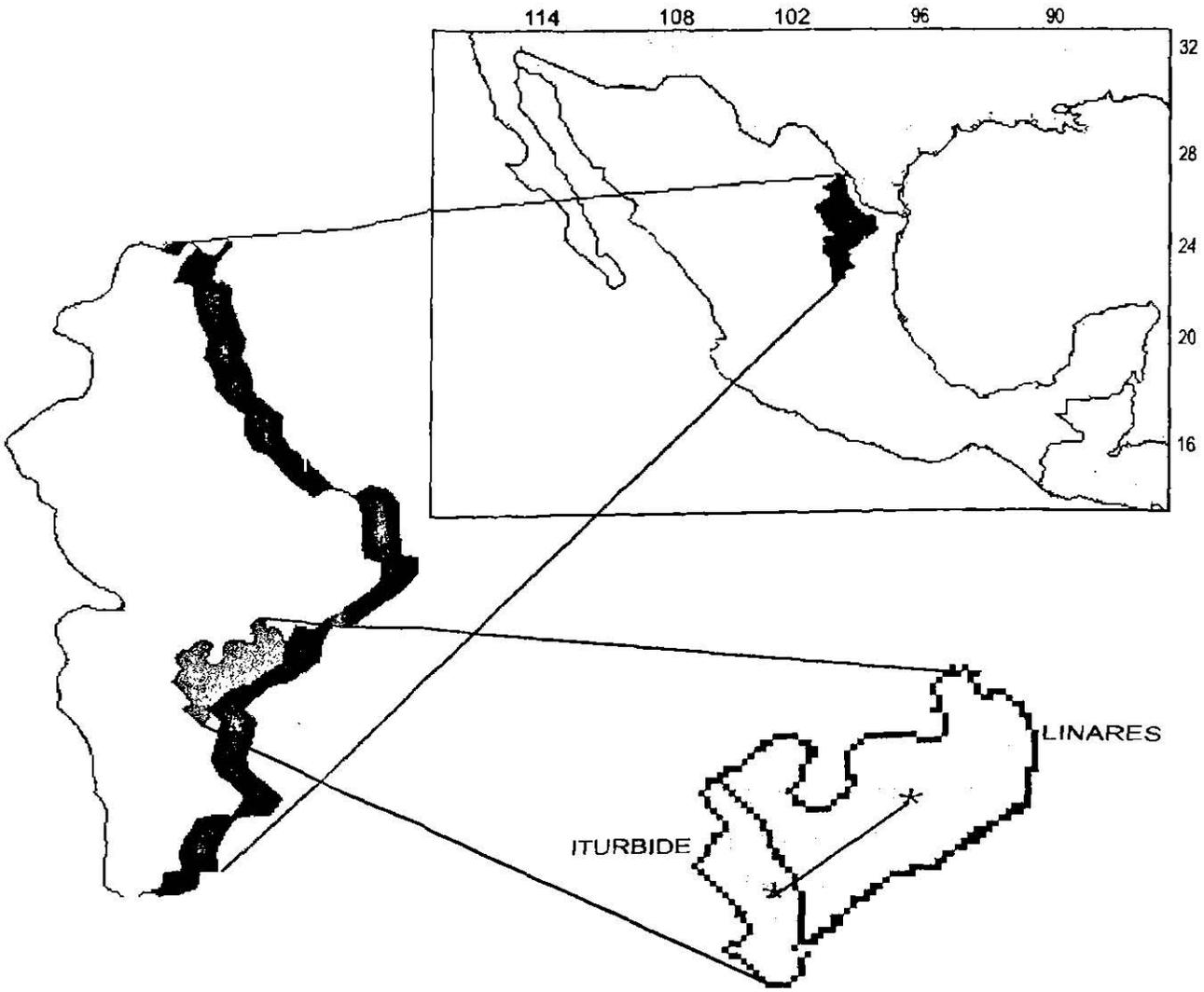


Figura 1. Localización del área de estudio y ubicación aproximada del transecto.

### 3.1.2 Clima

Las diferencias altitudinales y el relieve accidentado ocasionan que la Provincia de la Sierra Madre Oriental presente una distribución de climas muy compleja, pudiéndose encontrar climas secos extremosos, semisecos, templados y semicálidos. Dentro de la Subprovincia de la Sierra Plegada predomina el clima semisecho semicálido con lluvias en verano;  $BS_1hw$ , según la clasificación de Köppen (1936), modificado por García (1981), con una precipitación media anual de 600 mm y temperatura media anual entre 14 y 18°C. Debido a los factores de altitud y exposición, el tipo de clima templado subhúmedo ( $C(W_0)$ ) se presenta principalmente en las partes altas con exposición norte y este, siendo éstas las mas frescas y húmedas (Woerner, 1990).

La diferencia en temperaturas entre la planicie y las montañas, provoca que las lluvias se concentren en la vertiente este de la sierra, "Piedmont" (INEGI, 1986). En esta zona, se presenta el tipo de clima semicálido subhúmedo ( $(A)C(W_2)$ ). La estación meteorológica San Francisco, ubicada en las coordenadas 24°14'39" de LN y 99°40'03" de LO, registra un promedio anual de precipitación de 877 mm y una temperatura media anual de 22.3°C (Cavazos y Molina, 1992).

Dentro de la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos se cuenta con siete diferentes tipos de clima. En el área de Linares predominan los tipos semicálidos subhúmedos, tipo (A)C según Köppen (1936) modificado por García (1981), siendo el tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano,  $(A)C(W_0)$ , el segundo más importante dentro de la Subprovincia cubriendo la parte sur de ésta (Maldonado, 1992). Esta región tiene una precipitación y

temperatura media anual de 761 mm y 23.1°C, respectivamente (Cavazos y Molina, 1992).

### **3.1.3 Geología**

La Subprovincia de la Sierra Plegada se compone de rocas sedimentarias calizas generalmente macizas, del Jurásico y Cretácico, areniscas duras, sedimentos margosos calizos y lutitas limosas. Además, se encuentran depósitos sedimentarios de material fino y gravoso en las zonas bajas de acumulación y conglomerados en los márgenes de la sierra (INEGI, 1986; Woerner, 1990 y 1991).

Por su parte, la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos está constituida por rocas sedimentarias marinas del Cretácico (Formación Méndez). Dichas rocas están formadas principalmente por lutitas y en menor grado por margas, ambas muy susceptibles a la erosión y cubiertas por sedimentos continentales del Terciario y Cuaternario (López, 1980; citado por Garza, 1993 y Woerner, 1991). Estos sedimentos fluviales se componen de gravas redondeadas cementadas por "caliche" y consisten de un sistema de 5 terrazas fluviales antiguas, las cuales deben su origen a procesos de erosión y acumulación ocasionados por cambios en el clima y movimientos tectónicos (Ruiz, 1997).

### 3.1.4 Vegetación

Los tipos de vegetación dentro de la Subprovincia de la Sierra Plegada son variados y dependen de la exposición y altura sobre el nivel del mar. En esta región se encuentran bosques de pino, pino-encino, encino-fresno-cedro y encino. Además, matorrales submontanos, matorrales desérticos abiertos y chaparrales (Woerner, 1990).

Dentro del transecto bajo estudio se presenta el Bosque mediano subperennifolio, distribuyéndose principalmente en las partes más altas de la Sierra (altitudes mayores a los 1,500 msnm) con árboles dominantes de 10 a 15 m (Rojas, 1965). La especie *Pinus pseudostrobus* es representativa en el área, además se presentan otras especies arbóreas como *Juniperus flaccida*, *Arbutus sp.* y *Quercus canbyi* (Synnott y Marroquín, 1987).

En altitudes de entre 800 a 1500 msnm se presenta el tipo de vegetación Bosque mediano subcaducifolo (denominada por Rojas, 1965) o encinar inferior (según Rzedowski, 1956); donde predominan diversas especies de encinos y bosques exhuberantes con *Juglans* y *Carya*.

En la zona de transición entre las subprovincias de la Sierra Plegada y de Llanuras y Lomeríos se encuentra la vegetación del tipo Matorral alto subperennifolio (Matorral submontano según Rzedowski, 1961), con plantas dominantes de entre 4 a 6 m de altura; en su mayoría de hoja pequeña. Algunas especies de matorral que se distribuyen en las partes bajas y que presentan porte exhuberante son *Acacia rigidula*, *Cordia boissieri* y *Havardia pallens*, entre otras. Conforme se asciende encontramos *Helietta parvifolia* y en

las partes mas altas o en lugares protegidos, aparecen diversas especies de *Quercus* (Rojas, 1965).

De acuerdo a la clasificación de la vegetación de Linares y Hualahuises realizada por Villegas (1972), el matorral mediano subinerme predomina en la parte central de la planicie, mientras que hacia el sur y este aparece el matorral alto subinerme. El tipo de vegetación denominado bosque caducifolio espinoso de *Prosopis* se distribuye en la porción oriental de la subprovincia.

### 3.1.5 Suelo

En la zona de estudio se presentan suelos recientes muy someros del grupo de los Leptosoles líticos según la clasificación FAO (1988), encontrándose principalmente en las cumbres escarpadas con exposición sur y sureste. En las exposiciones norte y noroeste y sobre material calizo duro, es posible encontrar suelos desarrollados con enriquecimiento de materia orgánica en la parte superficial. Estos suelos pertenecen al grupo de los Castañozem, cálcicos y lúvicos y del tipo Rendzina. De manera general, todos los suelos del área tienen en común un alto contenido de carbonatos debido al material parental calizo, además, de ser suelos decapitados o estratificados por procesos erosivos (Woerner, 1990).

Conforme el relieve empieza a ondularse, en la unión entre la sierra y la planicie, aparecen suelos del tipo Regosol calcárico y eútrico, los cuales se desarrollan a partir de sedimentos erosionados y acarreados, con pendientes de entre 4 a 12% (Ruiz, 1990).

Los suelos profundos y oscuros, de origen aluvial, predominan en la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos destacando los Vertisoles crómicos y pélicos (INEGI, 1986). Ruiz (1993), reporta para la región de Linares la presencia de suelos del tipo Castañozem y Chernozem dentro de áreas clasificadas como Vertisol en las cartas edafológicas elaboradas por la Secretaría de Programación y Presupuesto (1978). También menciona la presencia de suelos someros del grupo de los Leptosoles, distribuyéndose principalmente en áreas cercanas a la sierra y en lomeríos.

Hacia el este de la Subprovincia aparecen asociaciones de suelos dominadas por Xerosoles háplicos, cálcicos y lúvicos, profundos y claros (INEGI, 1986).

## **3.2 Material**

### **3.2.1 Material y equipo de campo utilizado en el presente estudio**

- a) Cartas topográficas, edafológicas y de uso del suelo Escala 1:50,000 (S.P.P., 1978)
- b) Brújula, Altimetro, Clinómetro y Geoposicionador (GPS)
- c) Herramientas para toma de muestras de suelo y hojarasca: pala recta, barreno metálico recto (2.5 cm de diámetro y 1.0 m de largo), talache, mazo de teflón, cilindros con volúmen aproximado de 100 cm<sup>3</sup>, navaja, charola recolectora, cinta métrica, estacas, bolsas plásticas, marcadores indelebles y libreta de campo
- d) Tablas de color de suelo según Munsell
- e) Formatos para la recopilación de la información acerca de la historia del uso del suelo

### **3.2.2. Material y equipo de laboratorio utilizado en el presente estudio**

- a) Para la determinación del Carbono Orgánico se requirió del uso del siguiente equipo: campana extractora de humos de ácido sulfúrico, bureta automática de 25 ml y agitador magnético
- b) En la determinación de Nitrógeno se empleó un bloque de digestión de alta temperatura de la marca TECATOR modelo 1002 y una unidad de destilación de amonio TECATOR modelo 1015, además, de un agitador magnético y bureta automática
- c) Para el análisis del tamaño de las partículas se utilizó: Hidrómetro Bouyoucos ASTM 152H, probetas de sedimentación de 1,130 ml y tamices metálicos de 0.63, 0.2 y 0.044 mm de abertura para la cuantificación de las arenas
- d) Un potenciómetro de la marca CORNING modelo 220 con electrodo de combinación se usó en la determinación de la reacción del suelo (pH)
- e) La determinación de Fósforo disponible del suelo requirió del uso del Espectrofotómetro UV-visible marca CECIL modelo 202 y de un agitador mecánico
- f) Se empleó la estufa de secado con aire forzado marca HERAEUS modelo UT 5050E para determinar el peso seco de la hojarasca y en la determinación de la densidad aparente del suelo

### **3.3 Método**

#### **3.3.1 Selección y ubicación de las áreas de muestreo**

El transecto presentó una longitud total de 48 km y un gradiente altitudinal de 1,344 m. En dicho transecto, se seleccionaron tres localidades para el muestreo, ubicadas dentro de igual número de tipos de vegetación, marcados por un gradiente altitudinal y climático (Figura 2). En la Figura 3 se presentan los diagramas climáticos de las estaciones climatológicas más cercanas a estas localidades.

Para su ubicación, inicialmente se emplearon las cartas topográficas, de uso del suelo y edafológicas elaboradas por la Secretaría de Programación y Presupuesto (1978). Para cumplir con los objetivos planteados, la ubicación definitiva se llevó a cabo mediante recorridos de campo seleccionando áreas sin disturbio aparente y áreas contiguas bajo manejo. La ubicación específica de las localidades seleccionadas, así como algunas de las características de importancia se presentan en el Cuadro 1.

Las especies vegetales más representativas en las localidades se incluyen en el Anexo 1.

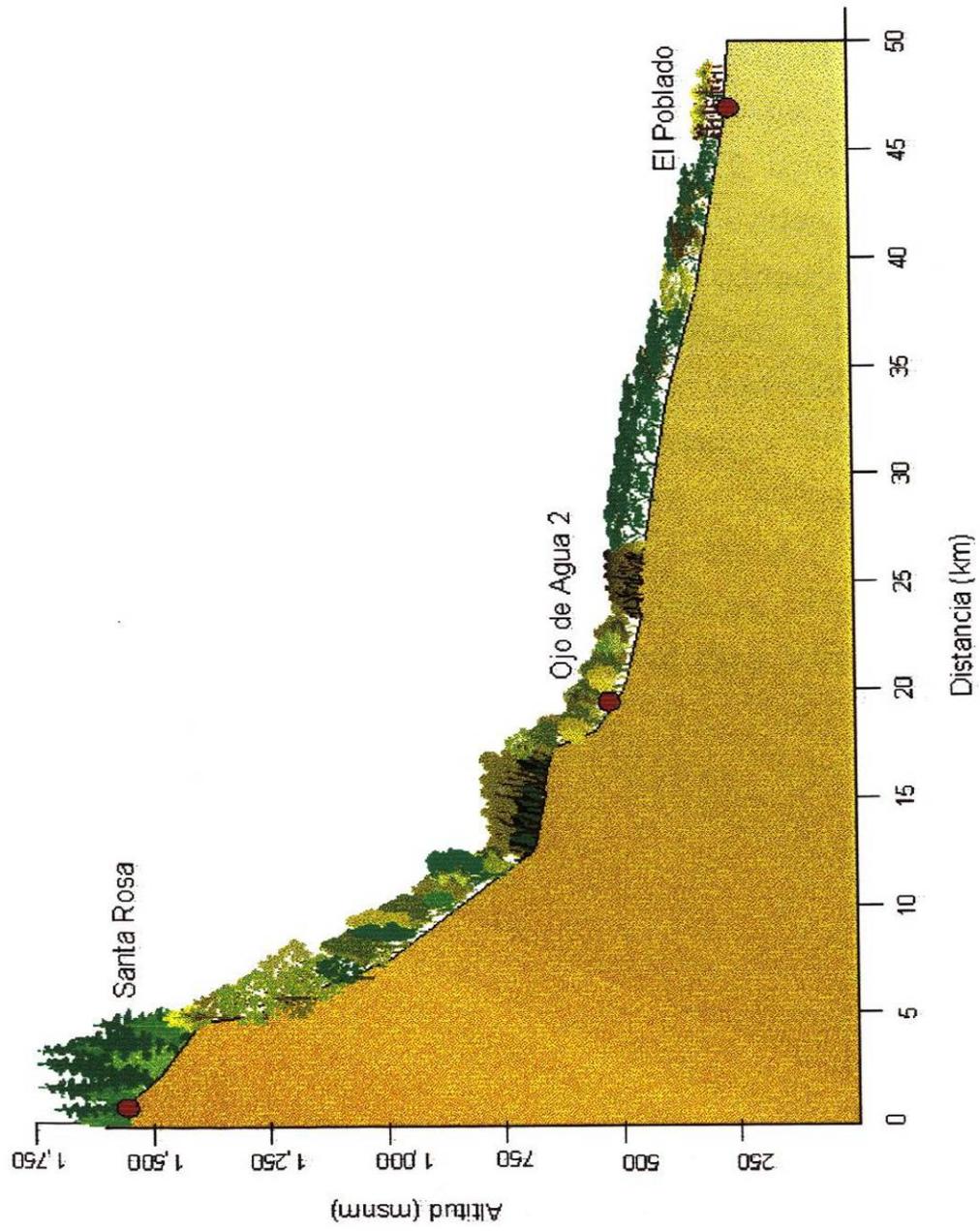


Figura 2. Perfil del transecto con las tres localidades en los municipios de Iturbide y Linares.

Las áreas sin uso (sin disturbio aparente) presentaron las siguientes condiciones al momento en que fue llevado a cabo el muestreo: La localidad 1, Santa Rosa, correspondió a un área dedicada a la investigación y que ha permanecido excluida de la influencia del ganado por lo menos durante 17 años. La localidad 2, dentro del ejido Ojo de Agua 2, correspondió a un área de matorral contigua a una parcela, la cual presentó evidencias de disturbio en el borde pero que ha estado exenta del impacto del ganado durante por lo menos 30 años. Por último, la localidad 3 (ejido El Poblado), fue ciertamente el más difícil de ubicar debido, por un lado, a la fragmentación que el matorral ha sufrido en los últimos años y al alto grado de perturbación que se presentan los fragmentos remanentes. Bajo estas condiciones se seleccionó un fragmento de mezquital donde se apreciaron evidencias de disturbio por ganado y por el hombre (extracción de leña). Estas condiciones ya se habían observado en 1977 cuando se elaboraron las cartas de uso del suelo por la Secretaría de Programación y Presupuesto (1978).

Cuadro 1. Información general de las localidades observadas

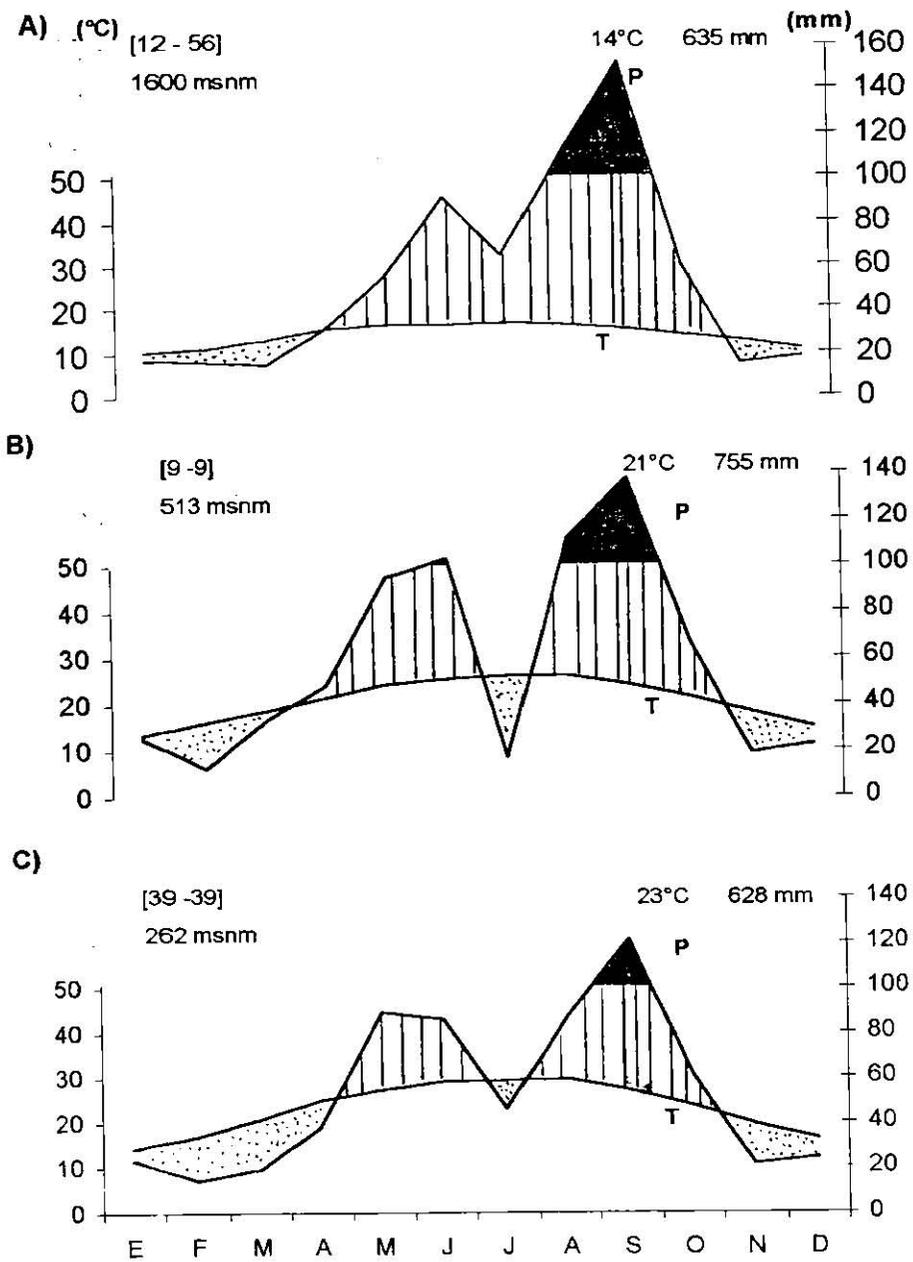
Localidad	Ubicación	Altitud (msnm)	Ubicación Geográfica	Uso Actual del Suelo	Clima <sup>1</sup>	Tipo de Vegetación	Tipos de Suelo (predominante)
1	Ejido Santa Rosa, Iturbide, NL	1,600	24°42'28" N 99°51'43" O	Bosque sin disturbio	C (Wo)	Bosque de pinos <sup>2</sup>	Castañozem y Leptosol
2	Ejido Ojo de Agua 2, Linares, NL	513	24°42'35" N 99°51'17" O	Bosque bajo pastoreo	(A)C(W <sub>2</sub> )	Matorral inalterado	Castañozem y Chemozem
3	Ejido el Poblado y Ejido Guadalupe, Linares, NL	262	24°46'54" N 99°41'52" O	Cultivo agrícola	BS <sub>1</sub> (h')hw	Matorral alto subinerme <sup>3</sup>	Castañozem y Chemozem
			24°52'46" N 99°24'29" O	Fragmento de matorral		Mezquital <sup>4</sup>	Castañozem
			24°52'41" N 99°24'13" O	Cultivo agrícola			

<sup>1</sup> Según Köppen (1936) modificado por García (1981)

<sup>2</sup> Según Synnott y Marroquín (1987)

<sup>3</sup> Según Villegas (1972)

<sup>4</sup> Según SPP (1978)



**Figura 3.** Diagramas climáticos de las estaciones meteorológicas más cercanas a las localidades bajo estudio. A) Santa Rosa, Iturbide NL B) Las Crucitas, Linares, NL C) Cerro Prieto, Linares NL.

### 3.3.2 Muestreo y levantamiento de información

El muestreo de suelo y hojarasca para este trabajo se llevó a cabo durante los meses de mayo a junio de 1998. En cada una de las localidades consideradas, dentro de las áreas con vegetación natural y en las áreas adyacentes bajo manejo, se ubicaron los puntos de muestreo siguiendo el microrelieve del terreno (toposecuencias) colocando generalmente tres o cuatro puntos, denominados según su posición en la pendiente como: parte alta, parte media y parte baja, cada uno con tres repeticiones.

Cada toposecuencia de repetición se ubicó aproximadamente a 20 m una de otra cuando el terreno lo permitía. Para realizar lo anterior, se empleó el barreno haciendo perforaciones de control de manera que las repeticiones se encontraran dentro del mismo tipo de suelo. Lo anterior fue particularmente difícil en la localidad ubicada en la sierra (localidad 1) dadas las condiciones de pendiente del terreno.

Una vez ubicados, se procedió a cavar los pozos y a delimitar los horizontes, tomando muestras de los horizontes superficiales del suelo, 3 a 4 muestras por punto, la descripción de los suelos de algunos de los puntos muestreados en las tres localidades se presentan en los Anexos 4, 5 y 6.

Además, se tomaron muestras inalteradas para la determinación de la densidad aparente en cilindros metálicos de aproximadamente 100 cm<sup>3</sup> (5.5 cm diámetro y 4.3 cm alto).

El muestreo de hojarasca, con 5 repeticiones, se llevó a cabo al azar utilizando un cuadro de 0.25 m<sup>2</sup>. Se recolectó todo el material orgánico superficial hasta llegar al primer horizonte del suelo.

Se utilizó un formato para recabar información sobre la historia del uso del suelo de las áreas con uso mediante entrevistas con los propietarios de las mismas (Anexo 3).

### **3.3.3 Métodos de laboratorio**

Las muestras inalteradas para la determinación de la densidad aparente, así como las muestras de hojarasca, fueron sometidas a secado a 105°C en estufa de aire forzado por un mínimo de 24 horas.

Las muestras de suelo para el análisis químico fueron secadas al aire. Una vez secas se molieron con mazo de madera y se pasaron por un tamiz con abertura de 2 mm para utilizar el suelo fino en las determinaciones de carbono orgánico (materia orgánica), nitrógeno total, fósforo disponible, pH y análisis del tamaño de las partículas (textura). Los métodos para las determinaciones químicas y físicas se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Determinaciones analíticas y métodos utilizados.

Determinación	Método
Densidad aparente	Método del cilindro (Blake, 1986)
Análisis del tamaño de las partículas	Método del Hidrómetro de Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986)
Reacción del suelo (pH)	Potenciométrico, en suspensión suelo-CaCl <sub>2</sub> 0.01 M relación 1:2 (Woerner, 1989)
Materia orgánica	Método de combustión húmeda según Walkley-Black (Woerner, 1989)
Nitrógeno total	Método Semi-micro de Kjeldahl (Woerner, 1989)
Fósforo disponible	Determinación de Pi mediante tiras impregnadas de hidróxido de fierro (Menon, 1988)

### 3.3.4 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado en el presente trabajo fue de bloques al azar con tres repeticiones, con arreglo trifactorial. Siendo los tres factores a considerar como principales fuentes de variación, la localidad, el uso del suelo y la posición en la pendiente. El modelo estadístico correspondiente fue el siguiente (Steel y Torrie, 1980):

$$Y_{ijkl} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta_k + \gamma_l + (\alpha\beta)_{jk} + (\alpha\gamma)_{jl} + (\beta\gamma)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{jkl} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde :

- $Y_{ijkl}$  : la dimensión de la variable analizada
- $\mu$  : la media global del elemento observado
- $\rho_i$  : el efecto del bloque  $i$ ,  $i = 1, 2, 3$
- $\alpha_j$  : el efecto del factor  $\alpha$  (LOCALIDAD) en el nivel  $j$ ;  $j = 1, 2, 3$
- $\beta_k$  : el efecto del factor  $\beta$  (USO) en el nivel  $k$ ;  $k = 1, 2$
- $\gamma_l$  : el efecto del factor  $\gamma$  (POSICIÓN) en el nivel  $l$ ;  $l = 1, 2, 3$
- $(\alpha\beta)_{jk}$  : el efecto de la interacción entre los factores  $\alpha$  y  $\beta$  en el nivel  $jk$
- $(\alpha\gamma)_{jl}$  : el efecto de la interacción entre los factores  $\alpha$  y  $\gamma$  en el nivel  $jl$
- $(\beta\gamma)_{kl}$  : el efecto de la interacción entre los factores  $\beta$  y  $\gamma$  en el nivel  $kl$
- $(\alpha\beta\gamma)_{jkl}$  : el efecto de la interacción de los factores  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  en el nivel  $jkl$
- $\epsilon_{ijkl}$  : el error experimental asociado a la observación  $ijkl$ . Distribuido normalmente, con media 0 y varianza  $\sigma^2$ .

Se utilizó la prueba de Bartlett, 1937 (Mendenhall, 1997), modificada para diferente número de repeticiones para verificar la homogeneidad de varianzas entre las localidades antes de realizar los análisis de varianza (Anexo 3).

El paquete estadístico empleado para llevar a cabo los análisis de varianza (ANOVA) para las variables del contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo fue el Statistical Package for Social Sciences (SPSS) versión 7.5 para Windows, (1996). Para ello, los datos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo fueron ajustados a dos profundidades (0-15 y 15-30 cm) y las unidades empleadas fueron  $\text{kg m}^{-2}$  utilizando el producto de la densidad aparente, el contenido del elemento y el espesor en metros (Bauer et al., 1987).

Se llevó a cabo un análisis de correlación para los datos de las variables anteriormente mencionadas a los cuales se le agregó los valores de porcentaje de arcilla, limo, arena, densidad aparente y pH. Obteniéndose los valores del coeficiente de correlación de Pearson (Freund, 1993) (Anexo 3).

La prueba de comparaciones múltiples que fue empleada para detectar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos que reportaron significancia en el ANOVA fue la Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ) modificada para número desigual de repeticiones (Steel y Torrie, 1980) (Anexo 3).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Análisis estadístico de las variables observadas

Los datos resultantes del análisis químico de las muestras de suelo fueron ajustados a dos profundidades (0 – 15 cm y 15 – 30 cm) para llevar a cabo los análisis de varianza y las comparaciones de medias correspondientes. Las unidades empleadas para la presentación de resultados son  $\text{kg m}^{-2}$  para materia orgánica y nitrógeno, y  $\text{g m}^{-2}$  para fósforo.

Las estadísticas descriptivas generales de la matriz de datos analizada se presenta en el Cuadro 3. En este cuadro se observa que los valores de todas las variables fueron más altos en los primeros 15 cm de suelo que en la profundidad de 15 - 30 cm. Los promedios de cada variable fueron sometidos a una Prueba de *t* (Anexo 3) para confirmar estadísticamente esta superioridad. Los resultados aparecen en el Cuadro 4.

Para materia orgánica del suelo se presenta una diferencia de  $1.91 \text{ kg m}^{-2}$  al comparar ambas profundidades, mientras que para nitrógeno total y fósforo disponible la disminución es de  $0.12 \text{ kg m}^{-2}$  y  $4.28 \text{ g m}^{-2}$ , respectivamente. Estos valores representan reducciones de la profundidad 15 – 30 cm con respecto a los 0 – 15 cm del orden de 24, 25 y 37% para materia orgánica, nitrógeno y fósforo, respectivamente.

**Cuadro 3.** Estadísticas descriptivas de las observaciones de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible, para las dos profundidades evaluadas en las tres localidades de muestreo.

Variable	Profundidad (cm)	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media Aritmética	Error Estándar
Materia orgánica	0 – 15	53	4.66	16.29	7.955	0.3392
	15 – 30	45	3.11	10.57	6.041	0.2755
Nitrógeno	0 – 15	53	0.24	1.02	0.465	0.02037
	15 – 30	44	0.19	0.68	0.363	0.01375
Fósforo	0 – 15	53	2.83	28.78	11.503	0.7684
	15 – 30	44	0.86	18.89	7.216	0.5841

**Cuadro 4.** Resultados de la Prueba de *t* aplicadas a la comparación de los valores promedios de las dos profundidades evaluadas.

Variable	G.L.	Valor de <i>t</i>		<i>P</i> > <i>t</i>
		Calculado	Tabulado	
Materia orgánica	96	4.28	1.662	0.0001
Nitrógeno total	95	3.98	1.662	0.0001
Fósforo disponible	95	4.30	1.662	0.0001

#### 4.1.1 Materia orgánica

Dentro de análisis de la materia orgánica del suelo (MO) para la profundidad 0 – 15 cm solamente el factor Uso presentó diferencias altamente significativas ( $P < F = 0.0001$ ) de entre las principales fuentes de variación consideradas en el estudio Localidad (L), Uso (U) y Posición en la pendiente (P) (Cuadro 5). Las áreas sin uso registraron un promedio de  $9.33 \text{ kg m}^{-2}$  en los primeros 15 cm de suelo mientras que las áreas con uso promediaron  $6.62 \text{ kg m}^{-2}$ , significando una diferencia del 29%.

Aún cuando no existieron diferencias significativas en el factor Localidad ni en la interacción Localidad\*Uso, cabe señalar que dentro de las áreas sin Uso el mayor promedio de materia orgánica del suelo se registró en la localidad 1 (Santa Rosa, Iturbide) bajo vegetación de Bosque de Pino con  $10.54 \text{ kg m}^{-2}$ , mientras que la localidad 3 (El Poblado), con vegetación de mezquital, presentó un promedio de  $8.68 \text{ kg m}^{-2}$ ; siendo éste el valor más bajo encontrado.

Por otro lado, dentro de las áreas con Uso, las localidades 1 y 3 presentaron promedios muy similares  $6.95$  y  $7.00 \text{ kg m}^{-2}$ , respectivamente, mientras que el área de cultivo de la localidad 2 (Ojo de Agua 2) presentó el promedio más bajo,  $5.93 \text{ kg m}^{-2}$ .

**Cuadro5. Resumen del Análisis de Varianza para Materia Orgánica en las dos profundidades evaluadas.**

Fuente de Variación	Materia Orgánica											
	Profundidad 0 – 15 cm					Profundidad 15 – 30 cm						
	G.L.	C.M.	F	P>F	G.L.	C.M.	F	P>F	G.L.	C.M.	F	P>F
Repetición	2	4.307	1.206	0.370NS	2	0.829	0.345	0.690NS	2	0.829	0.345	0.690NS
Localidad (L)	2	6.975	1.661	0.205NS	2	8.110	3.373	<b>0.049*</b>	2	8.110	3.373	<b>0.049*</b>
Posición (P)	2	1.363	0.325	0.725NS	2	2.292	0.953	0.398NS	2	2.292	0.953	0.398NS
Uso	1	96.185	22.903	<b>0.0001****</b>	1	0.721	0.300	0.588NS	1	0.721	0.300	0.588NS
L*P	4	6.205	1.454	0.239NS	4	2.614	1.087	0.383NS	4	2.614	1.087	0.383NS
L*Uso	2	3.708	0.883	0.423NS	2	7.282	3.029	0.065NS	2	7.282	3.029	0.065NS
P*Uso	2	1.939	0.462	0.634NS	2	2.644	1.100	0.347NS	2	2.644	1.100	0.347NS
L*P*Uso	4	4.672	1.112	0.367NS	2	0.244	0.101	0.904NS	2	0.244	0.101	0.904NS
Error	33	4.200			27	2.404			27	2.404		
Total corregido	53				44				44			
C.V. (%)	25.76				25.67				25.67			
R <sup>2</sup>	0.563				0.568				0.568			
Media aritmética	7.9547				6.0406				6.0406			

\*\*\*\*P<0.0001; \*P<0.05; NS= No significativa

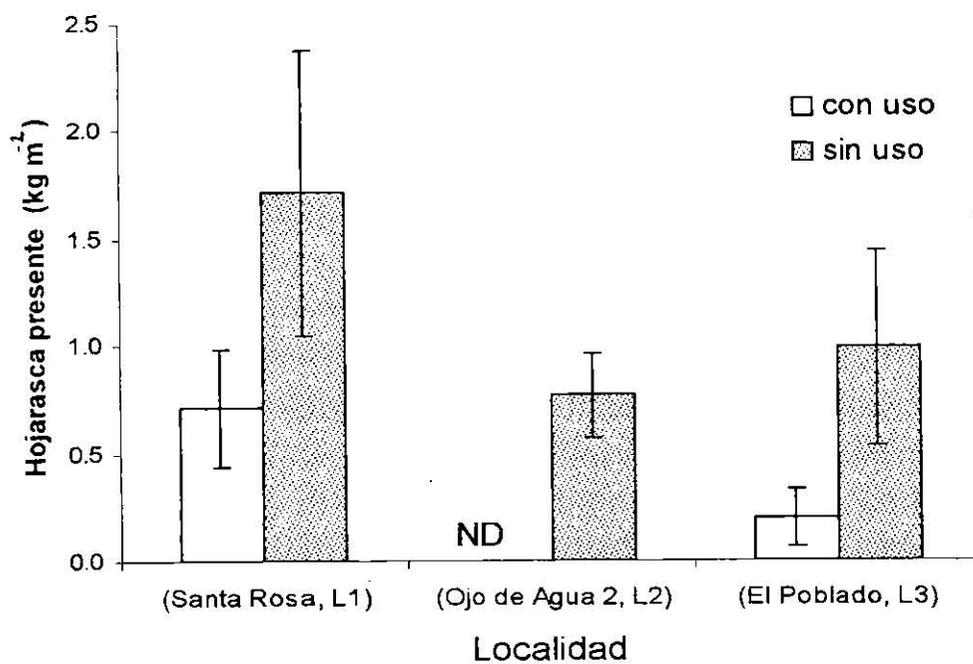
En lo que respecta a la segunda profundidad evaluada (15 – 30 cm), solamente se encontraron diferencias significativas para uno de los tres efectos principales del análisis; en este caso, el factor Localidad influyó de manera significativa ( $P > F = 0.049$ ) en la variable materia orgánica (Cuadro 5). Siendo la localidad 1, ubicada en Santa Rosa, Iturbide, la que presentó el promedio más alto,  $7.17 \text{ kg m}^{-2}$ . La prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) utilizada para comparar los promedios entre las localidades mostró que esta localidad es estadísticamente diferente a las localidades 2 y 3, y que éstos son estadísticamente iguales entre sí (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Comparación de medias para materia orgánica en la profundidad 15 – 30 cm.

Localidad	Tipo de Vegetación	Contenido de MO ( $\text{kg m}^{-2}$ )
1 Santa Rosa	Bosque de Pino	7.17 a
2 Ojo de Agua 2	Matorral alto subinermes	5.34 b
3 El Poblado	Mezquital	5.88 b

<sup>1</sup> En columnas, letras iguales indican medias estadísticamente similares ( $\alpha = 0.05$ ).

Con respecto al aporte de materia orgánica vía hojarasca en los diferentes tipos de vegetación, se encontró que el Bosque de Pino (Localidad 1) dentro del área sin Uso presentó la más alta acumulación de hojarasca con un promedio de  $1.71 \text{ kg m}^{-2}$  mientras que el Bosque de Pino pastoreado registró  $0.71 \text{ kg m}^{-2}$ . Por su parte, el matorral alto (Localidad 2, sin Uso) promedió  $0.77 \text{ kg m}^{-2}$ . Dentro del área de cultivo no se detectó residuos de cosecha. Finalmente, en el mezquital (Localidad 3) se reportaron los valores de  $0.99$  y  $0.20 \text{ kg m}^{-2}$  para el área sin Uso y el área de cultivo, respectivamente (Figura 4).



**Figura 4.** Contenido de hojarasca presente en las tres localidades bajo estudio. Las barras representan los intervalos de confianza para la media con un  $\alpha=0.05$ . ND=No detectado.

La comparación de promedios para los contenidos de hojarasca de las áreas sin uso reportó que la Localidad 1 (Bosque de Pino) presentó la más alta cantidad de hojarasca sobre el suelo, mientras que los tipos de vegetación de la planicie (matorral y mezquital) fueron estadísticamente iguales.

### 4.1.2 Nitrógeno

Al igual que en el caso de la materia orgánica, el análisis de varianza de las observaciones de nitrógeno total (Nt) en las muestras de suelo superficiales (0 – 15 cm) demostró diferencias altamente significativas solamente para el factor Uso ( $P > F = 0.0001$ ) (Cuadro 7). Así, las áreas con Uso presentaron en promedio de  $0.389 \text{ kg m}^{-2}$  mientras que el promedio para las áreas sin Uso fue de  $0.543 \text{ kg m}^{-2}$ , esto representa un 28.4% más nitrógeno total en las áreas sin Uso que en las áreas con Uso.

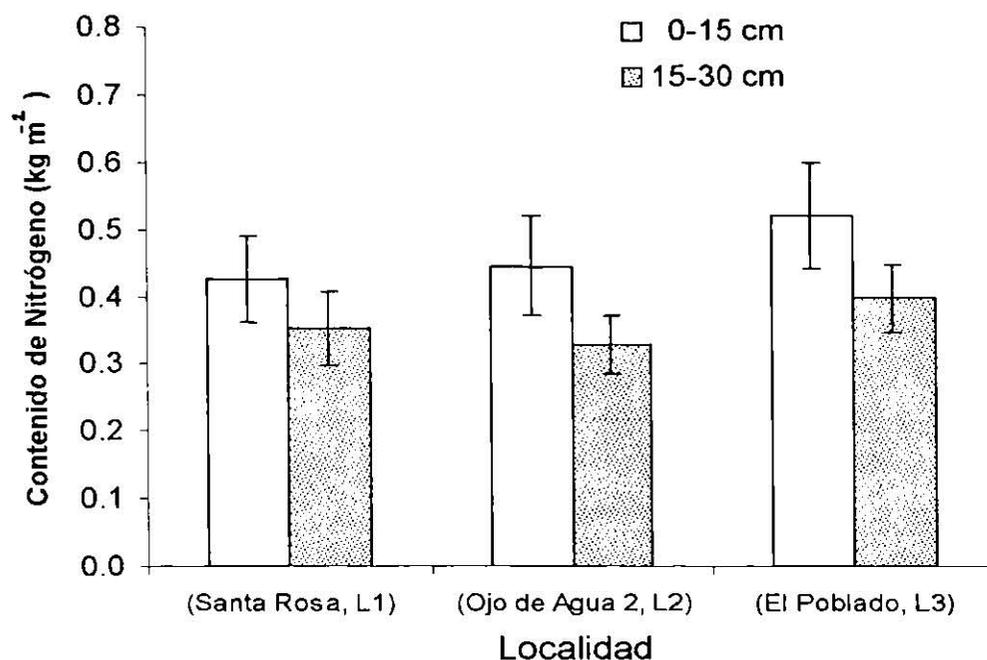
Aún cuando no se presentaron diferencias significativas entre Localidades, ni en la interacción entre éstas y el Uso, cabe mencionar que el más alto contenido de Nt en las áreas sin Uso, para esta profundidad, correspondió al mezquital de la Localidad 3 (ejido El Poblado), donde se obtuvo un promedio de  $0.608 \text{ kg Nt m}^{-2}$ , mientras que el promedio más bajo registrado se encontró en el Bosque de Pino de la Localidad 1 (Santa Rosa). Dentro de las áreas con uso, la Localidad 3 dedicada al cultivo agrícola (El Poblado), reportó el mayor promedio ( $0.432 \text{ kg Nt m}^{-2}$ ) mientras que el área agrícola de la Localidad 2 (ejido Ojo de Agua 2) promedió  $0.331 \text{ kg Nt m}^{-2}$ , siendo éste el valor más bajo observado.

La profundidad 15 – 30 cm no presentó diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación estudiadas (Cuadro 7). No obstante, el comportamiento de los promedios fue el mismo que para la profundidad 0 – 15 cm. La Localidad 3 (Mezquital) presentó los promedios más altos tanto en el área natural como en el área con uso (Figura 5).

**Cuadro 7. Resumen del Análisis de Varianza para Nitrógeno total en las dos profundidades evaluadas.**

Fuente de Variación	Nitrógeno total									
	Profundidad 0 – 15 cm					Profundidad 15 – 30 cm				
	G.L.	C.M.	F	P>F	P>F	G.L.	C.M.	F	P>F	P>F
Repetición	2	0.002338	0.157	0.855NS	0.855NS	2	0.00374	0.523	0.599NS	0.599NS
Localidad (L)	2	0.04251	2.864	0.071NS	0.071NS	2	0.02016	2.816	0.078NS	0.078NS
Posición (P)	2	0.003237	0.218	0.805NS	0.805NS	2	0.00986	1.377	0.270NS	0.270NS
Uso	1	0.298	20.083	<b>0.0001****</b>	<b>0.0001****</b>	1	0.00028	0.039	0.845NS	0.845NS
L*P	4	0.02560	1.725	0.168NS	0.168NS	4	0.00906	1.266	0.308NS	0.308NS
L*Uso	2	0.03729	2.512	0.097NS	0.097NS	2	0.00309	0.431	0.654NS	0.654NS
P*Uso	2	0.002480	0.167	0.847NS	0.847NS	2	0.01060	1.481	0.246NS	0.246NS
L*P*Uso	4	0.01547	1.042	0.400NS	0.400NS	4	0.00255	0.357	0.703NS	0.703NS
Error	33	0.01485				26				
Total corregido	53					43				
C.V. (%)	26.2					23.3				
R <sup>2</sup>	0.572					0.48				
Media aritmética	0.4645					0.3632				

\*\*\*\*P<0.0001; NS= No significativo



**Figura 5.** Contenido de Nitrógeno en las dos profundidades evaluadas dentro de cada una de las tres localidades bajo estudio. Las barras representan los intervalos de confianza para la media con un  $\alpha=0.05$ .

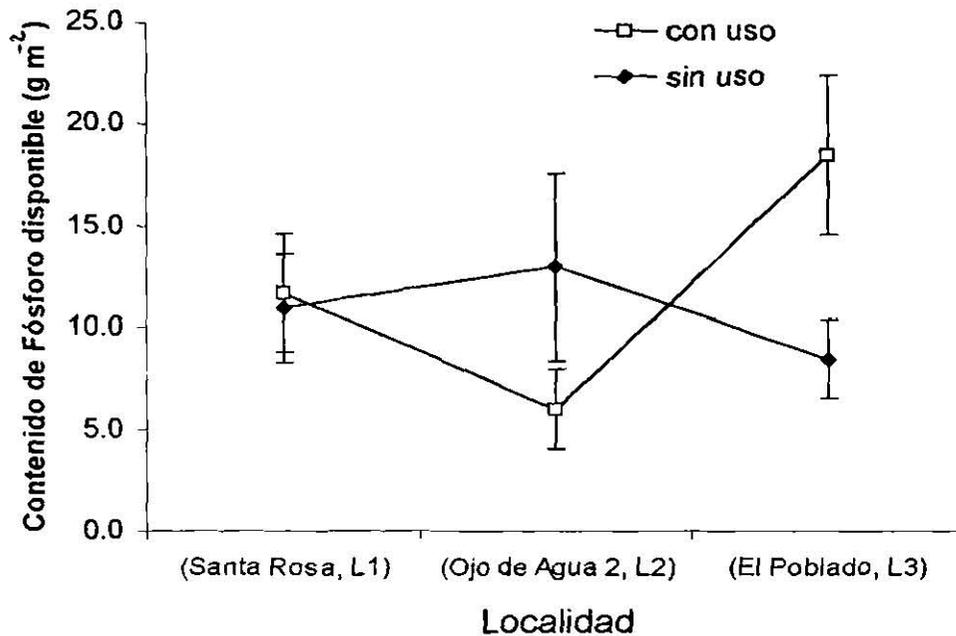
#### 4.1.3 Fósforo

Dentro de las tres fuentes principales de variación, el fósforo disponible ( $P_i$ ) del suelo mostró diferencias significativas para el factor Localidad ( $P > F = 0.017$ ) y para la interacción Localidad\*Uso ( $P > F = 0.0001$ ) en los 15 cm superficiales del suelo (Cuadro 8 y Figura 6).

**Cuadro 8.** Resumen del Análisis de Varianza para Fósforo disponible ( $\text{kg m}^{-2}$ ) en las dos profundidades evaluadas.

Fuente de Variación	Fósforo disponible									
	Profundidad 0 – 15 cm					Profundidad 15 – 30 cm				
	G.L.	C.M.	F	P>F	P>F	G.L.	C.M.	F	P>F	P>F
Repetición	2	2.175E-05	1.394	0.262NS	0.262NS	2	4.355E-06	0.469	0.631NS	0.631NS
Localidad (L)	2	7.247E-05	4.646	<b>0.017*</b>	<b>0.017*</b>	2	7.199E-05	7.750	<b>0.002**</b>	<b>0.002**</b>
Posición (P)	2	6.420E-08	0.004	0.996NS	0.996NS	2	4.967E-06	0.535	0.592NS	0.592NS
Uso	1	2.161E-05	1.385	0.248NS	0.248NS	1	6.229E-05	6.705	<b>0.016*</b>	<b>0.016*</b>
L*P	4	3.244E-05	2.080	0.106NS	0.106NS	4	1.122E-05	1.208	0.331NS	0.331NS
L*Uso	2	3.317E-04	21.262	<b>0.0001****</b>	<b>0.0001****</b>	2	2.595E-05	2.794	0.080NS	0.080NS
P*Uso	2	3.554E-05	2.278	0.118NS	0.118NS	2	9.406E-06	1.013	0.377NS	0.377NS
L*P*Uso	4	8.628E-06	0.553	0.698NS	0.698NS	2	4.819E-06	0.519	0.601NS	0.601NS
Error	33	1.560E-05				26	9.290E-06			
Total corregido	53					43				
C.V. (%)	34.34					42.24				
R <sup>2</sup>	0.684					0.626				
Media aritmética	1.150E-02					7.1257E-03				

\*\*\*\*P<0.0001; \*\*P<0.01; \*P<0.05; NS= No significativo



**Figura 6.** Contenido de Fósforo disponible por Localidad y Uso. Las barras representan los intervalos de confianza,  $\alpha=0.05$ .

Con los resultados de la prueba de comparación de medias para las localidades se generaron los resultados presentados en el Cuadro 9; apreciándose que la localidad 1 (Bosque de Pino) y la localidad 3 (Mezquital) presentaron los promedios mayores y estadísticamente diferentes a la localidad 2 (Matorral Alto). Los contenidos de fósforo disponible para la profundidad 15 – 30 cm, igualmente reportaron diferencias altamente significativas (Cuadro 8), siendo la localidad bajo vegetación de Pino en la que se observó el contenido más alto de este elemento.

**Cuadro 9.** Comparación de medias del contenido de fósforo disponible para las dos profundidades evaluadas en tres localidades.

Profundidad (cm)	Promedio Pi (g m <sup>-2</sup> )		
	Santa Rosa	Ojo de Agua 2	El Poblado
0-15	14.1 a <sup>1</sup>	9.5 b	13.6 a
15-30	9.8 a	4.8 c	7.3 b

<sup>1</sup> En hileras, letras iguales indican medias estadísticamente similares ( $\alpha=0.05$ ).

En el Cuadro 10 aparecen los resultados de la comparación de medias para la interacción Localidad\*Uso. El área de cultivo de la localidad 3 resultó ser estadísticamente diferente y mayor que el resto de los contenidos promedios de las otras localidades sin y con uso. La localidad ubicada en el Bosque de Pino resultó presentar promedios iguales para el área sin uso y el área con uso. Mientras que el área cultivada de la localidad 2 presentó el más bajo contenido de fósforo.

**Cuadro 10.** Comparación de medias del contenido de fósforo disponible para la interacción Localidad\*Uso en la profundidad 0 - 15 cm.

Interacción	Promedio (gr m <sup>-2</sup> )
El Poblado, cultivo	18.60 a <sup>1</sup>
Ojo de Agua 2, matorral	13.07 b
Santa Rosa, bosque pastoreado	11.78 bc
Santa Rosa, bosque inalterado	11.00 bc
El Poblado, mezquital	8.50 cd
Ojo de Agua 2, cultivo	6.02 d

<sup>1</sup> En columnas, letras iguales indican medias estadísticamente similares ( $\alpha=0.05$ ).

## **4.2 La influencia de la topografía en la distribución de los nutrientes del suelo**

La posición en la pendiente no presentó diferencias significativas en los contenidos de materia orgánica, nitrógeno ni fósforo, en ninguna de las dos profundidades estudiadas, como tampoco su interacción con los factores uso y localidad.

No obstante, en la Figura 7 se presenta la tendencia que mostraron estos elementos con respecto a la posición en la pendiente dentro de las toposecuencias. Se observa como la materia orgánica presenta una tendencia a la acumulación en las partes bajas de las toposecuencias ubicadas en las áreas con uso mientras que en las áreas sin uso, permanece constante. El nitrógeno total no presentó tendencia alguna de acumulación ni en el área con uso ni en las áreas naturales. Por su parte, el fósforo disponible si presenta la tendencia a acumularse en las partes bajas en las áreas donde se practica algún uso del suelo mientras que en las áreas naturales, presenta la tendencia contraria encontrándose más altos contenidos en las partes altas de la toposecuencia y disminuyendo en las partes bajas.

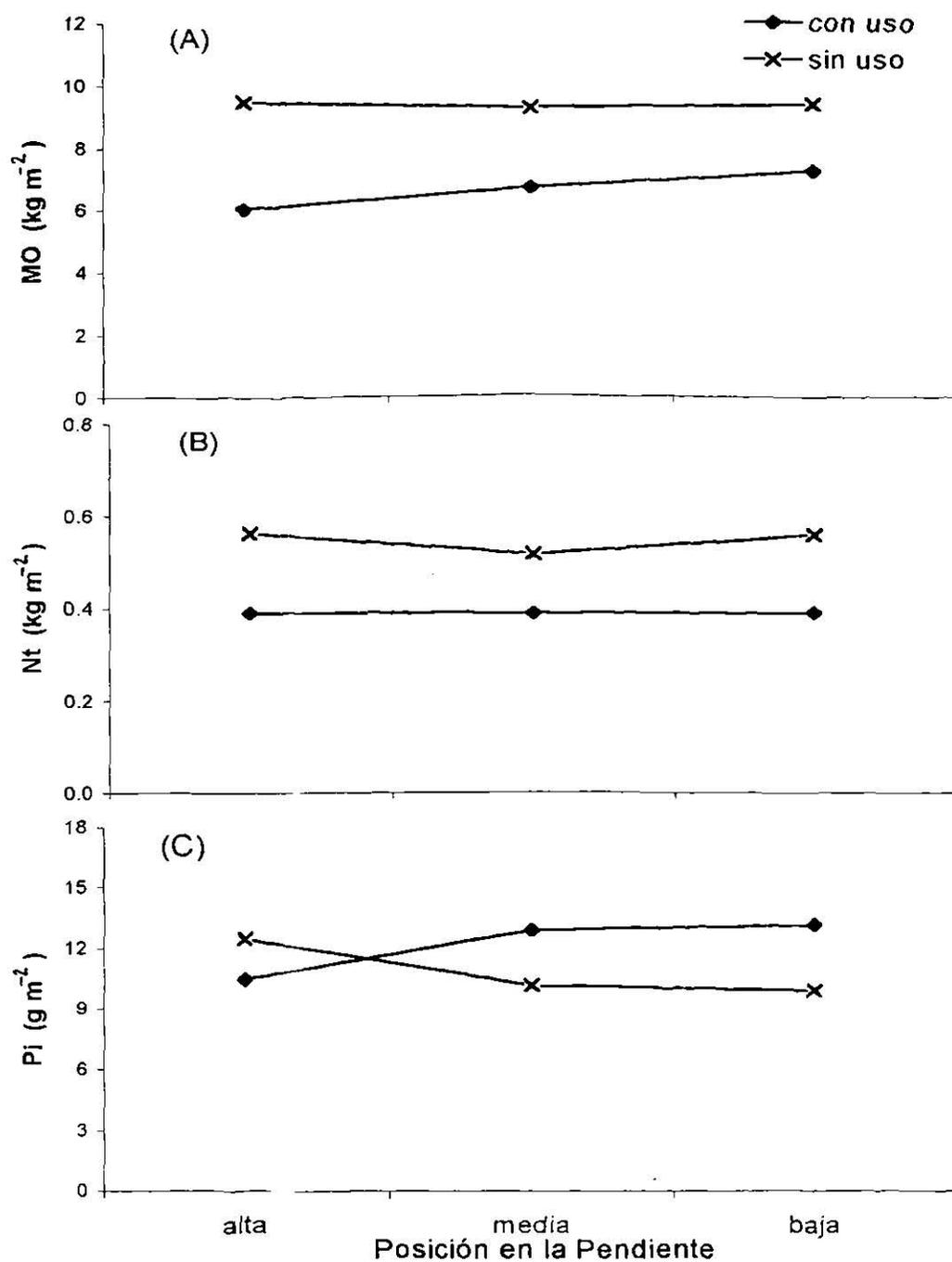


Figura 7. Contenido de Materia orgánica (A), Nitrógeno total (B) y Fósforo disponible (C) según la posición en la pendiente.

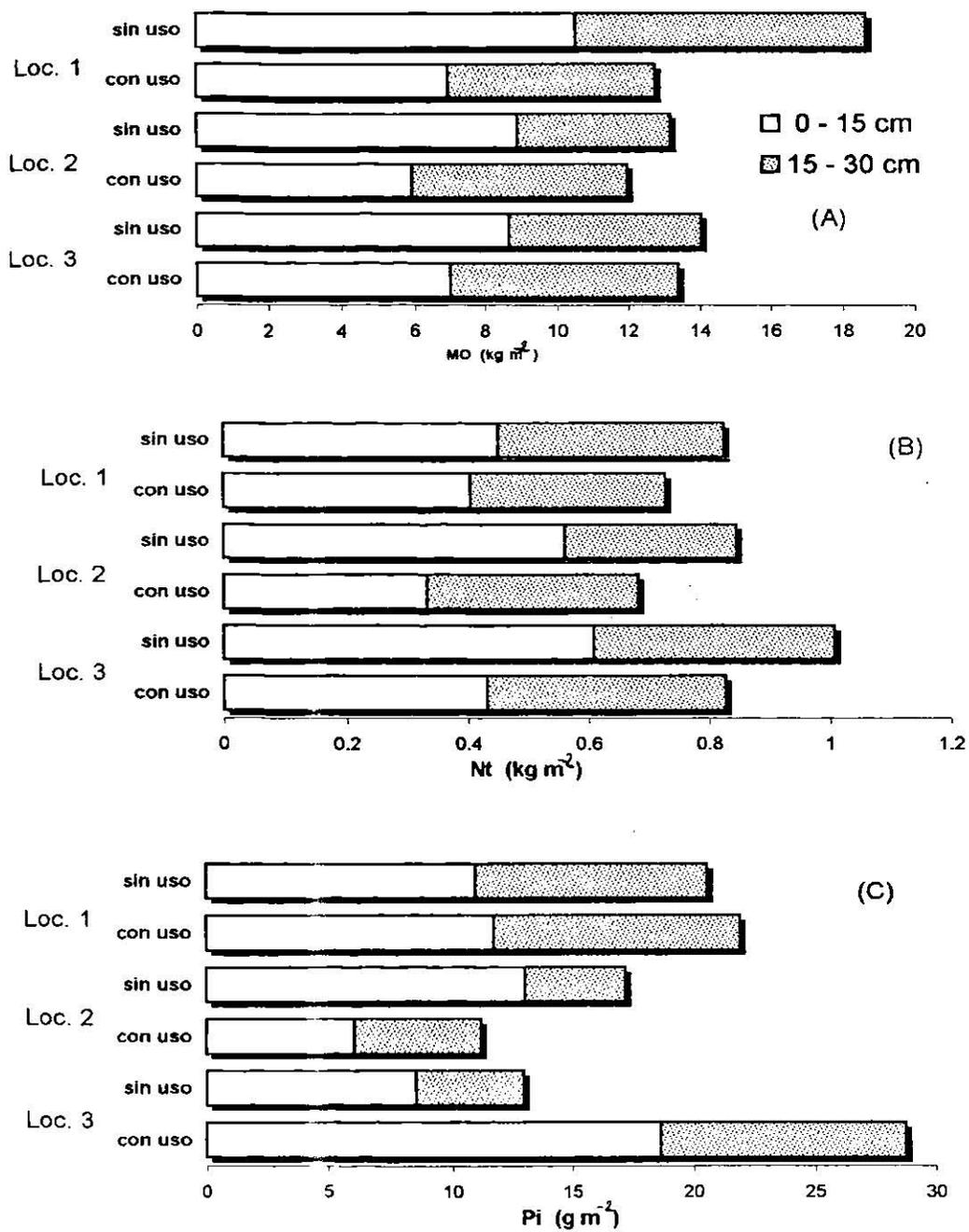
### **4.3 Acumulación y distribución de los nutrimentos evaluados en la profundidad de 0 - 30 cm**

Con los contenidos de los nutrimentos considerados en este estudio hasta una profundidad de 30 cm se generaron las gráficas presentadas en la Figura 8. Estos cálculos se realizaron con el fin de observar, de manera general, su comportamiento a lo largo del gradiente topográfico y climático del transecto, tanto dentro de las áreas con uso como las que no presentan uso alguno.

Se puede ilustrar que dentro de las áreas sin uso, la materia orgánica del suelo (Figura 8A) presenta un mayor contenido en la localidad ubicada en el Bosque de Pino mientras que las localidades de matorral y mezquital, ubicadas en la planicie, presentan contenidos similares. Dentro de las áreas con uso, no se presentan diferencias relevantes entre las tres localidades.

Por su parte, el contenido de nitrógeno total (Figura 8B), dentro de las áreas sin uso, tiende a incrementarse en la planicie, Localidad 3 (El Poblado), mientras que las dos localidades restantes presentan promedios similares. En las áreas con uso, la Localidad 3 presentó el contenido más alto, aunque no difiere grandemente con las otras dos localidades.

Para el fósforo disponible (Figura 8C), la tendencia de las áreas sin uso es a disminuir su contenido en la parte baja (C) del transecto, en un comportamiento similar a la materia orgánica. En contraste, el alto contenido de fósforo en el área con uso de la Localidad 3 pareciera indicar un fuerte incremento en las localidades de la planicie.



**Figura 8.** Contenido de Materia orgánica (A), Nitrógeno total (B) y Fósforo disponible (C) en los 30 cm superficiales de suelo.

#### 4.4 Correlación entre las variables evaluadas

En el Cuadro 11 se presentan los resultados del análisis de correlación practicada a todos los valores de las variables de los horizontes A de los suelos bajo estudio (n=39).

Los resultados muestran una alta correlación positiva entre los tres principales nutrimentos estudiados. La materia orgánica presentó correlaciones positivas y significantes con el contenido de fósforo disponible ( $r=0.857$ ) y nitrógeno total ( $r=0.776$ ). Por otro lado, la materia orgánica presenta una correlación negativa significativa con la densidad aparente del suelo ( $r=-0.704$ ) y con el contenido de arcilla de los suelos ( $r=-0.696$ ).

Para nitrógeno total y fósforo disponible también se observa una correlación negativa significativa con el contenido de arcilla del suelo. Algunas observaciones que cabe destacar son: la correlación positiva significativa que se presentó entre los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible con los contenidos de limo en el suelo y la ausencia de correlación de estas variables con el pH del suelo.

**Cuadro 11.** Matriz de coeficientes de correlación (Pearson) para las variables observadas. Los valores en paréntesis representan el grado de significancia. (n=39)

Variable	MO	Nt	Pi	pH	DA	Arcilla	Limo
Nt	0.767 (3.93E-09)	-					
Pi	0.857 (1.22E-16)	0.776 (1.45-09)	-				
pH	-0.176 (0.291)	-0.118 (0.479)	-0.045 (0.789)	-			
D.A.	-0.704 (8.00E-07)	-0.595 (8.23-05)	-0.514 (0.0009)	0.353 (0.032)	-		
Arcilla	-0.696 (8.75E-07)	-0.660 (4.93E-06)	-0.640 (1.14E-05)	0.547 (0.0003)	0.558 (0.0003)	-	
Limo	0.670 (3.11E-06)	0.585 (9.21E-05)	0.616 (3.04E-05)	-0.475 (0.003)	-0.668 (4.66E-06)	-0.732 (9.37E-08)	-
Arena	0.201 (0.22)	0.250 (0.125)	0.182 (0.268)	-0.209 (0.208)	-0.016 (0.923)	-0.574 (0.0001)	-0.138 (0.401)

## 5. DISCUSIÓN

Aún cuando los resultados del contenido de hojarasca en las tres localidades bajo estudio demostraron que el bosque de pino presentaba la mayor cantidad de ésta en comparación con los otros dos tipos de vegetación estudiados (2.2 veces más alta que el matorral alto subinerme y 1.7 veces más que el mezquital) esto no se reflejó en la cantidad de materia orgánica en los 15 cm superficiales del suelo, donde no se presentaron diferencias significativas entre las tres localidades. Estos resultados pudieran indicar que el contenido de materia orgánica en el suelo no puede ser explicado únicamente a través de la cantidad de hojarasca acumulada en la superficie y que existen otras fuentes importantes de materia orgánica en el suelo, como las raíces finas; habiéndose encontrado similar abundancia de éstas en los tres tipos de vegetación y dentro de los 15 cm. superficiales del suelo (Anexos 4, 5 y 6). King (1994), encontró que las plantaciones de pino (*Pinus patula*) presentaron la mayor deposición de hojarasca de entre 5 tipos diferentes de cobertura, sin embargo, el mayor contenido de carbono orgánico en los 10 cm superficiales del suelo lo encontró en el pastizal. Por otro lado, la composición química de la hojarasca es un factor importante en el grado de descomposición de la misma, en especial el contenido de lignina y la relación carbono:nitrógeno (Theng et al., 1989; Smith y Elliot, 1990; Ugolini y Spaltenstein, 1992). King (1994), también reporta haber encontrado que la hojarasca de pino fue resistente a la descomposición ya que presentaba altos valores en la relación C:N, 59, 52 y 94 en las hojas, tallos y frutos, respectivamente.

De forma similar, el contenido de nitrógeno del suelo no presentó diferencias significativas entre los tipos de vegetación estudiados, no obstante, el promedio más alto se encontró en el mezquital. El hecho de que los principales componentes de este tipo de vegetación sean leguminosas, fijadoras de nitrógeno, pudo haber influido en este comportamiento (Anexo 1).

Los suelos de la región son, en su mayoría, deficientes en fósforo (Woerner, 1991; Foroughbakhch, 1996), por lo que la presencia de altas cantidades de este elemento en el área agrícola ( $13.6 \text{ g m}^{-2}$ ) de la localidad 3 (El Poblado) resulta ser improbable que se haya acumulado de manera natural, aún cuando la persona entrevistada no recordó la fecha ni el último fertilizante químico aplicado al área. Es probable haber encontrado residuos de éste en el campo. El hecho que este predio no se encuentre cercado y que, por tanto, presente evidencia de pastoreo por ganado bovino principalmente, pudo haber tenido alguna influencia en estos resultados. Buckman y Brady (1977), reportan que excretas frescas de este tipo de ganado contiene hasta un 0.15% de ortofosfatos ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Lo anterior pudiera tener cierta relación con los promedios reportados para la localidad 1 (Bosque de Pino), donde el área con pastoreo presentó un contenido estadísticamente igual al bosque sin uso (Cuadro 10). Coincidiendo, además, con haber sido las localidades (Santa Rosa, 1; y El Poblado, 3) que presentaron los promedios más altos estadísticamente (Cuadro 9).

La alta correlación encontrada en este trabajo entre el contenido de la materia orgánica, el nitrógeno total y el fósforo disponible corrobora lo mencionado por Smith y Elliott (1990), quienes mencionan que en las regiones semiáridas el

95% del nitrógeno y el 40% del fósforo del suelo provienen de la materia orgánica.

Por lo que respecta a la influencia del uso del suelo en la distribución y contenidos de las tres variables nutrimentales estudiadas, se encontró que las tres localidades reportaron serias reducciones en sus contenidos, exceptuando el área agrícola de la localidad 3 para fósforo disponible (anteriormente mencionado), aún cuando los usos considerados (pastoreo extensivo y agricultura) presentan técnicas de manejo muy diferentes.

Considerando la capa superficial del suelo (0-15 cm), se presentaron diferencias del orden de 34, 33 y 19% en la materia orgánica del suelo en las localidades de Santa Rosa, Ojo de Agua 2 y el Poblado, respectivamente, entre las áreas con uso y sin uso, mientras que para nitrógeno estas diferencias fueron del orden de 10.6, 40.8 y 29%. Otros estudios no han encontrado reducciones en el contenido de materia orgánica del suelo por el pastoreo (Naeth et al., 1991 y Manzano, 1997), sin embargo, estas investigaciones han sido llevadas a cabo en áreas de pastizal y con suelos profundos. Para el tipo de vegetación donde se llevó a cabo el presente trabajo (Bosque de Pino) si se detectaron diferencias. La pendiente que presenta el área pastoreada pudiera haber influido de forma importante. Ya que el área sin uso presentó una espesa capa de mantillo sobre el suelo y poca evidencia de movimiento de suelo con respecto al área pastoreada, la cual presentó una gran cantidad de suelo desnudo o con una capa somera de mantillo y un contenido alto de material grueso (gravas) dentro de los horizontes superficiales del suelo. Esta evidencia representa el continuo movimiento de material que pudiera ser acelerado por el continuo tránsito del ganado.

Las pérdidas de materia orgánica del suelo ocasionadas por la agricultura han sido ampliamente documentadas, así, algunos de los porcentajes reportados en la literatura van desde un 10 hasta un 50% (Schimel et al., 1985b; Smith y Elliott, 1990; King, 1994; Cerri et al., 1996). Estas pérdidas son propiciadas principalmente por la labranza y la poca cantidad de residuos que son reincorporados al suelo (Smith y Elliott, 1990).

Los principales factores que determinan la cantidad de materia orgánica en el suelo, además de ya mencionado, son la precipitación, la temperatura, el tipo de suelo, la calidad de los residuos reincorporados al suelo (Smith y Elliott, 1990), el periodo de tiempo y la intensidad con los cuales se ha venido practicando un determinado uso. Sin mencionar las interacciones entre ellos. De manera que, el tratar de encontrar una velocidad o tasa de reducción en el contenido de materia orgánica del suelo sería impreciso debido a que las condiciones de los factores antes mencionados a través del tiempo no han sido constantes. Sin embargo, considerando el periodo de tiempo durante el que se ha practicado el uso agrícola en la Localidad 3 (El Poblado), que es de 13 años, éste presenta un mayor decremento en el contenido de materia orgánica dentro del suelo superficial (19%) en comparación con la Localidad 2 (Ojo de Agua 2), el cual presenta una reducción del 33% con una antigüedad de uso de 30 años. Lo anterior podría sugerir que la mayor pérdida de materia orgánica del suelo se presenta en los primeros años después de ocurrido el cambio de uso del suelo. Mann (1986), encontró que los mayores cambios en el contenido de carbono orgánico del suelo se presentaban en los primeros 20 años de su uso agrícola, esto fue observado al analizar 625 pares de suelos (dentro de áreas de cultivo y áreas sin uso) en los Estados Unidos Americanos.

El relieve del terreno, no obstante ser uno de los principales factores que influyen en la distribución de los nutrientes del suelo (Schimel, 1985b y 1985c), no presentó influencia en la distribución y acumulación de la materia orgánica, el nitrógeno total y el fósforo disponible en el presente estudio (>48%). Esto puede ser atribuido a que solo las toposecuencias ubicadas en la Localidad 1 (Santa Rosa) presentaron un gradiente de pendiente pronunciado, sin embargo, en esta localidad no fue posible encontrar un punto donde ésta se hiciera menos pronunciada para ubicar la parte baja de la toposecuencia. Por tanto, estos puntos no representaban ciertamente zonas de acumulación. Por otro lado, la pendiente presentada en las localidades 2 y 3 (Ojo de Agua 2 y El Poblado) no fue tan pronunciada (1 y 2%) como para influir en el movimiento de los nutrientes.

Contrariamente a lo reportado por Schimel (1985b) y Burke et al., (1989), quienes encontraron que el contenido de carbono orgánico se incrementaba con el aumento en el contenido de arcilla del suelo, en la presente investigación se encontró una correlación negativa entre estos dos componentes del suelo, presentándose una alta-correlación positiva con la fracción de limo.

significante

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo e hipótesis planteadas en el presente trabajo de investigación se generaron las siguientes conclusiones:

1. Existen diferencias en el aporte de materia orgánica vía hojarasca entre los tres tipos de vegetación estudiados y comprendidos dentro de un gradiente climático; siendo el Bosque de Pino el que mayor cantidad de ésta presenta.
2. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de materia orgánica del suelo dentro los 15 cm superficiales entre las tres localidades estudiadas. Sin embargo, considerando el contenido de este componente hasta una profundidad de 30 es posible decir que, en condiciones naturales, los suelos bajo el Bosque de Pino tienden a presentar un contenido mayor de materia orgánica en esta capa que los suelos encontrados en la planicie.
3. El contenido de materia orgánica del suelo y de fósforo disponible en una profundidad de 0 – 30 cm decrece con la disminución de la elevación a lo largo del transecto estudiado mientras que el contenido de nitrógeno total presenta un comportamiento opuesto.
4. El relieve del terreno no influyó en la distribución y acumulación de la materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible en los suelos ubicados en las toposecuencias.
5. Las áreas sin uso registraron alrededor de 29% más materia orgánica del suelo y nitrógeno total, en los primeros 15 cm, en comparación con las áreas con uso.
6. El uso del suelo influye de manera determinante en la dinámica de la materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible de los suelos; siendo los suelos de la planicie muy susceptibles a perder su fertilidad en periodos cortos de tiempo en comparación con el pastoreo del bosque.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Bauer A., Cole C.V., Black A.L., (1993). Soil Property Comparisons in Virgin Grasslands Between Grazed and Nongrazed Management Systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:176-182.
- Bohn L.H., McNeal L.B., O'Connor A.G., (1993). Química del Suelo. Primera edición. Limusa. México D.F.. 370 pp.
- Blake R.G. Hartge H.K. (1986) Bulk Density., p. 363-367 in A.Klute (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1. Second Edition. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin
- Buckman O.H., Brady C.N.(1977). Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Montaner y Simon, S.A. Barcelona, España. 590 pp.
- Burke I.C., Yonker C.M., Parton W.J., Cole C.V., Flach K., Schimel D.S.,(1989). Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:800-805.
- Cavazos P.T., Molina G.V. (1992). Registros Climatológicos de la Región Citrícola de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales, Boletín Técnico No. 1. 65 pp.
- Cerri C.C., Bernoux M., Blair G.J., (1996) Carbon Pools and Fluxes in Brazilian Natural and Agricultural Systems and the Implications for the Global CO<sub>2</sub> Balance. Terra 14.
- CONAZA, SEDESOL (1994). Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Secretaría de Desarrollo Social. México. 160 pp.
- Eswaran H. <sup>(1994)</sup> Soil Resilience and Sustainable Land Management in the context of AGENDA 21. In: Greenland D.J. y Szabolcs (Edtors). Soil Resilience and Sustainable Land Use. Chapter 2, 21-32. CAB International. Oxon, U.K. 219 pp.
- Fassbender H.W. (1987). Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Primera edición. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 491 pp.

- Fassbender H.W. (1993). Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Segunda edición. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 491 pp.
- Freund R., Wilson W. (1993). Statistical Methods. Academic Press. San Diego, CA, USA. 644 pp.
- Foroughbakhch R., Reyes G., Hauad L.A., Badii M.H., (1996). Three Methods of Determining Leaf Biomass on Ten Woody Shrub species in Northeastern Mexico. *Agrociencia* 30:259-264.
- García S., Estrada B.J. (1989). Recomendaciones de aplicación de materia orgánica a los suelos del estado de Veracruz, en base a la degradación biológica del suelo. *Memorias del XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Montecillos, Edo. de México. 320 pp.
- Garza J.F.A. (1993). Mapeo Geológico en el área Purísima de Conchos, Linares, Nuevo León y Análisis de Sedimentos fluviales de los ríos Pabillo, Potosí, Anegado y Conchos en la misma área. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra. UANL. Linares, Nuevo León. 84 pp.
- Gee W.G. Bauder W.J. Particle size analysis. p. 396-409 in A.Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1. Second Edition*. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin
- Gerrard A.J. (1981). *Soils and Landforms An Integration of Geomorphology and Pedology*. George Allen & Unwin (Publishers) Ltd, London WC1A 1LU, UK. 219 pp.
- Greenland D.J., Szabolcs I., (1994). *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. Primera edición. CAB Internacional. Oxon, U.K. 561 pp.
- Gutiérrez G. R.M. (1997) Evaluación del Grado de Desertificación en el Municipio de Linares, N.L. México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. Linares, Nuevo León. 44 pp.
- INEGI (1994). Nuevo León, Panorama Agropecuario. VII Censo Agropecuario 1991. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

- INEGI (1986). Síntesis Geográfica de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México
- King J.A., Campbell B.M. (1994). Soil Organic Matter Relations in Five Land Cover types in the Miombo Region (Zimbabwe). *For. Ecol. Manage.*, 67:225-239.
- Maldonado H.A. (1992). Modelo para la Evaluación Cuantitativa de la Desertificación. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L. 83 pp
- Manzano C.M.G.F. (1997). Procesos de Desertificación asociados a Sobrepastoreo por Caprinos en el Matorral Espinoso de Linares, Nuevo León. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias Forestales, UANL. Linares, N.L.. 87 pp.
- Mata S.M.A. (1977). Estudio de las Principales Características Agronómicas del Suelo de Linares y Hualahuises. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. Marín, N.L. México
- Mendenhall W., Sincich T. (1997). Probabilidad y Estadística para la Ingeniería y Ciencias. Cuarta edición. Prentice Hall Hispanoamericana. México, D.F.. 1,182 pp.
- Menon R.G., Hammond L.L., Sissingh A.H. (1989). Determination of Plant-available Phosphorus by the Iron Hydroxid-impregnated filter paper (Pi) Soil Test. *Soil Science Soc. of America J.* 53: 110-115.
- Moreno B.A. (1996). Conservación de Suelos y Desarrollo Sustentable. Utopía o Posibilidad en México ?. *Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Cd. Obregón, Sonora. México. 159 pp.
- Naeth M.A., Bailey A.W., Pluth D.J., Chanasyk D.S., Hardin R.T., (1991). Grazing Impacts on Litter and Soil Organic Matter in Mixed Prairie and fescue Grassland Ecosystems of Alberta. *J. Range Manage.* 44(1):7-12.
- Oldeman L.R. (1994). The Global extent of Soil Degradation. In: Greenland D.J. y Szabolcs (Edtors). *Soil Resilience and Sustainable Land Use.* Chapter 7, 99-118. CAB International. Oxon, U.K. 219 pp.

- Pankhurst C.E. (1994). Biological Indicators of Soil Health and Sustainable Productivity. In: Greenland D.J. y Szabolcs (Edtors). Soil Resilience and Sustainable Land Use. Chapter 20, 331-351. CAB International. Oxon, U.K. 219 pp.
- Rocha R. G. (1980). Levantamiento Cartográfico del Potencial Agropecuario y Forestal de los Suelos de los Municipios de Linares y Hualahuis, N.L. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía, U.A.N.L. Marín, N.L. México
- Rojas M.P. (1965). Generalidades sobre la Vegetación del Estado de Nuevo León, y Datos acerca de la Flora. Tesis Doctoral. UNAM. Facultad de Ciencias, Depto. de Biología. México, D.F.
- Ruiz M.M.A. (1990). Zur Gliederung, Verbreitung und Okologischen Bewertung der Boden in der Region von Linares, N.L., México. Tesis Doctoral. Universidad de Göttingen. Göttingen, Alemania. 184.
- Ruiz M.M.A. (1993). Ordenación Pedo-Geomorgológica del paisaje en la Región de Linares, como Base para el Manejo Forestal. Memorias del I congreso mexicano sobre Recursos Forestales. Saltillo, Coahuila.
- Ruiz M.M.A., Werner J. (1997). Research into the Quaternary Sediments and Climatic Variations in NE México. Quaternary International, Vol. 43/44, 145-151.
- Russell E.J., Russell E.W. (1968). Las Condiciones del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Novena edición. Aguilar. Madrid, España. 801 pp.
- SPP (1978). Cartas Edafológica, Uso del Suelo y Topográfica para Linares, Hualahuis e Iturbide N.L. (G14C57,-58 y 67) Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- Schimel D.S., Kelly E.F., Yonker C., Aguilar R., Heil R.D., (1985a). Effects of Erosion Processes on Nutrient Cycling in Semiarid Landscapes. In: D.E. Caldwell, J.A. Brierley and C.L. Brierley (Editors), Planetary Ecology. Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y.
- Schimel D., Stillwell A.M., Woodmansee G.R. (1985b). Biogeochemistry of C, N and P in a Soil Catena of Shortgrass Steppe. Ecology. 66(1):276-282.

- Schimel D.S., Coleman D.C., Horton K.A. (1985c). Soil Organic Matter Dynamics in Paired Rangeland and Cropland Toposequences in North Dakota. *Geoderma* 36:201-214.
- Smith L.J., Emiott F.L. (1990). Tillage and Residue Management Effects on Soil Organic Matter Dynamics in Semiarid Regions. *Advances in Soil Science*, Vol. 13, Springer-Verlag. New York.
- Solomon A.M., Trabalka J.R., Reichle D.E., Voorhees L.D. (1985). The Global Cycle of Carbon. In: Trabalka J.R. (Ed.). *Atmospheric Carbondioxide and the Global Carbon Cycle*. (DOE/ER-0239), 1-13. U.S. Department of Energy: Washington.
- Steel R.G.D., Torrie J.H. (1980). *Principles and Procedures of Statistics, A Biometrical Approach*. Second edition. McGraw Hill Co. New York, USA. 633 pp.
- Synnott T.J., Marroquín J.S. (1987). *Ecología Forestal del Terreno de Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León*. Reporte Científico No. 6. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, N.L.. 36 pp.
- Trabalka J.R. (Ed.) (1985). *Atmospheric Carbondioxide and the Global Carbon Cycle*. (DOE/ER-0239), 1-13. U.S. Department of Energy: Washington.
- Ugolini F.C., Spaltensin H., (1992). Pedosphere. In: Butcher S.S., Charlson R.J., Orians G.H., Wolfe G.V. (Editors). *Global Biogeochemical Cycles*. Academic Press. London, UK. 379 pp.
- Ventura E., Norton L.D., Ríos B.D., Oropeza J.L., Figueroa B. (1997). *Uso de mejoradores químicos para el control de la erosión en suelos agrícolas* ". Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo; 10 - 14 Nov. 1997, Villahermosa Tabasco. 263 pp.
- Villarreal 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). Nuevo León.México.

- Villegas D.G. (1972). Tipos de Vegetación en los Municipios de Linares y Hualahuises, Nuevo León; sus características, aprovechamiento y condiciones ecológicas en que se desarrollan. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 96 pp.
- Woerner P. M.(1990). Los Suelos del Bosque Escuela de la U.A.N.L. en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, N.L. Reporte Científico No. 20. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N.L. México. 89 pp.
- Woerner P. M.(1990). Los Suelos bajo Vegetación de Matorral del Noreste de México, Descritos a través de Ejemplos en el Campus Universitario de la U.A.N.L. Linares, N.L. Reporte Científico No. 22. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N.L. México. 89 pp.
- 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.
- Yonker C.M., Schimel D.S., Paroussis E., Heil R.D., (1988). Patterns of Organic Carbon Accumulation in a Semiarid Shortgrass Steppe, Colorado. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:478-483.

# ANEXOS

## ANEXO 1

Especies reportadas (Cuadro 1), y observadas para los diferentes tipos de vegetación encontrados dentro de las localidades bajo estudio:

LOCALIDAD	TIPO DE VEGETACIÓN	ESPECIES
1	Bosque de pinos	<i>Pinus pseudostrobus</i> dominante; ralo y abierto en el área con uso; <i>Juniperus flaccida</i> y <i>Quercus sp.</i> También se presentan aunque no en forma abundante: <i>Arbutus xalapensis</i> , <i>Rhus pachyactis</i> . Se reportan también para este tipo de vegetación, aunque no se observaron, varias especies de arbustos y arbolitos como: <i>Acacia rigidula</i> , <i>Amelanchier denticulata</i> , <i>Croton fruticosos</i> , <i>Senecio aschenbornianus</i> y <i>Stevia berlandieri</i> .
2	Matorral alto – subinermé	Se caracteriza por la predominancia de arbustos altos o árboles bajos de 2 a 4 m de altura. Las especies observadas fueron: <i>Casimiroa pringlei</i> , <i>Diospyros palmeri</i> , <i>Forestiera angustifolia</i> , <i>Cordia boissieri</i> , <i>Acacia rigidula</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Acacia berlandieri</i> , <i>Randia rhagocarpa</i> y escasos <i>Quercus sp.</i> Además de herbáceas como <i>Croton torreyanus</i> , <i>Lantana macropoda</i> y gramíneas. Villegas (1972) menciona además algunas especies arbóreas y arbustivas representativas: <i>Helietta parvifolia</i> , <i>Sargentia gregii</i> , <i>Karwinskia humboldtiana</i> , <i>Castela texana</i> , <i>Celtis pallida</i> y <i>Pithecellobium brevifolium</i> .
3	Mezquital	El estrato arbóreo observado (3-5 m) está dominado por: <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Ebenopsis ebano</i> , <i>Cercidium macrum</i> , <i>Acacia berlandieri</i> , <i>Bumelia celastrina</i> y <i>Eysenhardtia polystachya</i> . Las especies arbustivas observadas fueron: <i>Acacia rigidula</i> , <i>Zanthoxylum fagara</i> , <i>Portieria angustifolia</i> , <i>Randia rhagocarpa</i> y <i>Forestiera angustifolia</i> . Se pudieron observar además <i>Karwinskia humboldtiana</i> y <i>Opuntia leptocaulis</i> entre las especies del estrato bajo.

ENCUESTA

## FORMATO PARA RECABAR INFORMACION SOBRE LA HISTORIA DEL USO DEL SUELO

FECHA : \_\_\_\_\_

ENTREVISTADO : \_\_\_\_\_

LOCALIDAD : \_\_\_\_\_

TENENCIA DE LA TIERRA : \_\_\_\_\_

USO ACTUAL DEL SUELO : \_\_\_\_\_

TIEMPO TRANSCURRIDO CON ESTE TIPO DE USO : \_\_\_\_\_

Si se trata de Agricultura :

Desde cuándo se desmontó el sitio para cultivar ? \_\_\_\_\_

Que tipo de cultivos generalmente siembra ?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Desde cuando se cultiva el suelo ? \_\_\_\_\_

Usan alguna maquinaria ? \_\_\_\_\_ De que tipo ? \_\_\_\_\_

Qué tipo de trabajo hacen al suelo (rastra, barbecho etc.) ? \_\_\_\_\_

Cuántos ciclos tienen ? \_\_\_\_\_ Qué cantidad de cosecha obtienen por ciclo ? \_\_\_\_\_

Qué cultivos tienen preferencia en la selección de la siembra ? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Por qué ? \_\_\_\_\_

A notado que se pierde el suelo? \_\_\_\_\_

Nota que esto afecta con la cantidad de cosecha que obtiene al final del ciclo ? \_\_\_\_\_

Utilizan fertilizantes? \_\_\_\_\_

Qué tipos de fertilizantes ? \_\_\_\_\_

Para cuales cultivos? \_\_\_\_\_

Cada cuando fertilizan? \_\_\_\_\_

Incorporan algunos restos de las cosechas al suelo ? \_\_\_\_\_

Tienen riego, si o no? \_\_\_\_\_

Qué a notado en sus cosechas cuando el suelo es "nuevo" o recién desmontado ?  
\_\_\_\_\_

Después de cuanto tiempo se empieza a bajar la cosecha ? \_\_\_\_\_

Qué uso le dá a las áreas de matorral aledañas ? \_\_\_\_\_

Si el uso del suelo es ganadero :

Qué tipo de ganadería ? \_\_\_\_\_

Qué tipo de ganado se maneja ? \_\_\_\_\_

Cuántas cabezas por ha ? \_\_\_\_\_

Desde cuándo se tiene este uso ? \_\_\_\_\_

Qué tipo de uso se le dió al suelo antes de ganadería ? \_\_\_\_\_

Hace cuánto tiempo se desmontó el terreno ? \_\_\_\_\_

### ANEXO 3

#### FORMULARIO EMPLEADO

a) Prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett, modificada para diferente número de observaciones (Mendenhall, 1997):

$$B = \frac{[\sum (n_i - 1)] \ln s^2 - \sum (n_i - 1) \ln s_i^2}{1 + \frac{1}{3(p-1)} \left\{ \sum \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{\sum (n_i - 1)} \right\}}$$

donde :

$n_i$  = tamaño de la muestra  $i$

$s_i^2$  = varianza de la muestra  $i$

$s^2$  = media ponderada de las  $p$  varianzas de la muestra

$$s^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_i^2}{\sum (n_i - 1)}$$

$\ln x$  = logaritmo natural de la cantidad  $x$

d) Diferencia Mínima Significativa modificada para número desigual de repeticiones (Steel y Torrie, 1980)

$$Lsd = t_{\alpha/2} S_{Y_i - Y_{i'}}$$

$$S_{Y_i - Y_{i'}} = \sqrt{\frac{s^2 r_i + r_{i'}}{r_i r_{i'}}}$$

donde :

$t$  = el valor tabulado de  $t$  para el nivel de significancia elegido y los grados de libertad del error

$r_i$  y  $r_{i'}$  = los números de observaciones en las dos medias a ser comparadas

c) Fórmula empleada para el cálculo del valor de  $t$  en las Pruebas de  $t$  para la comparación de dos promedios con varianzas desconocidas y asumidas como iguales (Freund, 1993):

$$t = \frac{(y_1 - y_2)}{\sqrt{S_p^2 (1/n_1 + 1/n_2)}}$$

donde :

$y_1$  y  $y_2$  = los promedios a ser comparados

$S_p^2$  = varianza común estimada

$n_1$  y  $n_2$  = número de observaciones de la muestra 1 y muestra 2

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

$S_1^2$  y  $S_2^2$  = varianzas de las muestras 1 y 2 estimadas a partir de las desviaciones estándar

Los grados de libertad se calculan a partir de  $(n_1 + n_2 - 2)$

## ANEXO 4

En este anexo se presenta la descripción de los suelos encontrados en la localidad 1 (Santa Rosa). Se incluye una toposecuencia de cada una de las áreas (sin uso y con uso).

Tipo de Vegetación: Bosque de pino sin uso.

Grupo de suelos dominante: Castañozem y Leptosol

Pendiente (%): Parte alta → Parte media = -54  
arte media → Parte baja = -43

Longitud total de la toposecuencia: 34.7 m

### Descripción del suelo en la parte alta

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	+6-0	Horizonte orgánico mayormente integrado por acículas de pino en proceso de descomposición.
Ah	0-22	Color café muy oscuro en húmedo (10 YR 3/2, h); arcillo limoso; estructura bloques subangulares gruesos, grado de agregación moderado; consistencia 3, dura; frecuentes raíces finas y muy finas; poros muy finos frecuentes; esqueleto: 10% v/v gravas alargadas de caliza dura, 30% concreciones friables de CaCO <sub>3</sub> finas, peds recubiertos de carbonato pulverulento.
Bk1	22-38	Color amarillo caferoso en húmedo (10 YR 5.5/6); arcilloso; estructura bloques subangulares medianos y finos, grado de agregación moderada, consistencia 3, dura; pocas raíces finas; poros frecuentes muy finos; esqueleto: 10% de concreciones friables finas y medias de CaCO <sub>3</sub> , 10% concreciones duras y alargadas de CaCO <sub>3</sub> .
Bk2	>38	Color amarillo caferoso claro en húmedo (10 YR 5/6); arcillo limoso; estructura bloques subangulares medianos, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura; raíces pocas muy finas; poros muchos muy finos; esqueleto: 60% v/v concreciones medias y finas de CaCO <sub>3</sub> duras y friables.

Horizonte	Profundidad (cm)	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	0-22	7.28	5.09	8.77	0.341	4.83	50.2	42.3	7.5
Bk1	22-38	7.63	1.41	2.42	0.140	1.13	59.3	34.9	5.8
Bk2	>38	7.73	0.85	1.47	0.078	0.67	49.9	40.3	9.8

## Descripción del suelo en la parte media

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	+4.5-0	Horizonte orgánico mayormente integrado por acículas de pino en descomposición; esqueleto: 10% v/v gravas duras calizas alargadas medianas y finas.
Ah	0-10	Color gris muy oscuro en húmedo (10 YR 3/1); franco arcillo limoso; estructura bloques subangulares medianos y finos, grado de agregación firme; consistencia 4, muy dura ; raíces finas y muy finas muchas; poros muy finos frecuentes; esqueleto: 40% v/v. gravas medianas alargadas de caliza dura, 20% concreciones friables y duras de CaCO <sub>3</sub> finas, agregados recubiertos de carbonato pulverulento.
Btck	10-33	Color café en húmedo (10 YR 4.5/3); arcilloso; estructura bloques subangulares finos a medianos, grado de agregación firme, consistencia 4, muy dura ; pocas raíces medias y gruesas; poros frecuentes muy finos; esqueleto: 10% de gravas alargadas medianas , 25-30% concreciones de CaCO <sub>3</sub> muy finas.
BCck	> 33	Color amarillo claro en húmedo (2.5Y 7/2); arcilloso; estructura bloques subangulares finos y medianos, grado de agregación moderado; consistencia 1, blanda ; pocas raíces finas y medianas; muchos poros muy finos; esqueleto: 80% v/v. concreciones de CaCO <sub>3</sub> friables, también en fragmentos de hasta 5 cm de diámetro.

Horizonte	Profundidad	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	0-10	7.54	6.18	10.65	0.412	4.57	36.4	54.6	9
Btck	10-33	7.55	2.75	4.74	0.210	3.27	51.2	37.8	11
BCck	>33	7.64	1.17	2.02	0.104	1.67	ND	ND	ND

ND=No detectado

## Descripción del suelo de la parte baja

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	+5-0	Horizonte orgánico mayormente integrado por acículas de pino en descomposición; esqueleto: 5 % v/v. gravas duras calizas alargadas medianas .
Ah	0-16	Color negro en húmedo (10 YR 2/1), arcilloso; estructura bloques irregulares medianos a gruesos, grado de agregación firme; consistencia 5, extremadamente dura; muchas raíces muy finas y finas; poros frecuentes muy finos; esqueleto: 5 % v/v. gravas finas a medianas alargadas, duras; 10% vol. concreciones de CaCO <sub>3</sub> finas a medianas.
Bk1	16-35	Color café oscuro en húmedo (10 YR 4/3), arcilloso; estructura bloques irregulares medianos a gruesos, grado de agregación firme; consistencia 4, muy dura; frecuentes raíces medias y gruesas; poros frecuentes muy finos; esqueleto: 2% v/v. de gravas alargadas de caliza dura, de finas a medianas; 20% v/v. concreciones de CaCO <sub>3</sub> finas y medianas.
Bk2	> 35	Color amarillo cafésoso en húmedo (10 YR 5.5/6), arcilloso; estructura bloques subangulares finos, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura; raíces pocas finas; poros muchos muy finos; esqueleto: 20% concreciones de CaCO <sub>3</sub> duras y friables de finas a medianas, 10% fragmentos de lutita finos y friables.

Horizonte	Profundidad (cm)	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	0-16	7.43	3.21	5.54	0.246	3.11	58.4	34.4	7.2
Bk1	16-35	7.60	1.39	2.40	0.134	2.15	54.3	37.9	7.8
Bk2	>35	7.74	0.55	0.94	0.069	0.89	55.3	38.1	6.6

Tipo de Vegetación : Bosque de pino con pastoreo  
 Grupo de suelos dominante: Castañozem  
 Pendiente (%): Parte alta → Parte baja = -57  
 Longitud total de la toposecuencia: 30 m

#### Descripción del suelo de la parte alta

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	+2-0	Capa somera de hojarasca de pino poco descompuesta; esqueleto: 20% v/v. gravas alargadas medianas y duras.
Ah	0-15	Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/3), franco arcilloso; estructura bloques subangulares finos y medianos, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura; frecuentes raíces muy finas; poros muchos muy finos; esqueleto: 50% v/v. gravas friables y duras de lutita, finas y medianas; 10% vol. concreciones de CaCO <sub>3</sub> friables finas a medianas.
Btck	15-41	Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/3), arcillo limoso; estructura bloques subangulares medianos a gruesos, grado de agregación firme; consistencia 3, dura; frecuentes raíces medianas y gruesas; poros frecuentes muy finos; esqueleto: 30% v/v de gravas finas a medianas de lutita, friables y duras, incrustadas en los agregados; 20% v/v concreciones de CaCO <sub>3</sub> finas y medianas.
BCck	> 41	Color café amarillento claro en húmedo (10 YR 6/4), franco arcillo limoso; estructura bloques subangulares finos, grado de agregación moderado; consistencia 1, blanda; raíces pocas medianas; poros muchos muy finos y finos; esqueleto: 40% concreciones de CaCO <sub>3</sub> muy friables, finas y muy finas, agregados recubiertos de carbonato pulverulento.

Horizonte	Profundidad (cm)	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	0-15	7.42	2.41	4.15	0.189	2.15	32.4	34.5	33.1
Btck	15-41	7.48	1.89	3.25	0.181	2.15	44.0	40.7	15.3
BCck	>41	7.70	1.02	1.76	0.121	1.52	27.6	54.2	18.2

### Descripción del suelo de la parte media

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	+2-0	Capa somera de hojarasca de pino y encino poco descompuesta; esqueleto: 10% v/v gravas alargadas medianas y duras .
Ah	0-27	Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/3), franco arcilloso; estructura bloques irregulares medianos a gruesos, grado de agregación moderadamente firme; consistencia 2, ligeramente dura; muchas raíces muy finas, frecuentes finas y medianas; poros frecuentes muy finos y finos; esqueleto: 40% v/v gravas medianas de lutita, friables y duras, 20% finas, incrustadas en los agregados; agregados recubiertos por carbonato pulverulento.
C	> 27	Capa de lutita no intemperizada formando una capa maciza.

Horizonte	Profundidad	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	0-27	6.99	2.72	4.69	0.240	3.82	39.9	35.3	24.8
C	>27	7.11	3.33	5.75	0.233	5.52	40.8	33.6	25.6

## Descripción del suelo de la parte baja

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
O	+4-0	Horizonte orgánico mayormente integrado por acículas de pino y hojarasca de encino poco descompuesta.
Ah	4-7	Color café a café amarillento oscuro en húmedo (10 YR 4/3.5), franco arcilloso; estructura bloques subangulares medianos a gruesos, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura; muchas raíces muy finas y finas; poros frecuentes muy finos y finos; esqueleto: 35% v/v gravas finas a medianas de lutita, friables y duras; 5% v/v concreciones de CaCO <sub>3</sub> medianas, friables.
Bt1	7-36	Color café amarillento oscuro en húmedo (10 YR 3/6), arcilloso; estructura bloques subangulares medianos a gruesos, grado de agregación firme; consistencia 3, dura; pocas raíces medianas; poros frecuentes muy finos; esqueleto: 15% v/v. de gravas alargadas de caliza dura.
Bt2	>36	Color café amarillento oscuro en húmedo (10 YR3/4), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares medianos y gruesos, grado de agregación moderado; consistencia 3, dura; raíces pocas finas; poros frecuentes muy finos; esqueleto: 10% gravas de lutita medianos y finos, escasas gravas finas recubiertas de carbonato.

Horizonte	Profundidad	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	4-7	6.98	2.86	4.93	0.218	4.33	39.0	37.0	24.0
Bt1	7-36	6.86	1.01	1.73	0.105	1.90	56.8	34.8	8.4
Bt2	>36	6.88	0.81	1.40	ND	1.90	52.5	39.4	8.1

ND=No detectado

## ANEXO 5

En este anexo se presenta la descripción de los suelos encontrados en la localidad 2 (Ojo de Agua 2). Se incluye una toposecuencia de cada una de las áreas (sin uso y con uso).

Tipo de Vegetación: Matorral alto subinmerme.

Grupo de suelos dominante: Castañozem y Chernozem

Pendiente (%): Parte alta → Parte media = -2  
 Parte media → Parte baja = -1

Longitud total de la toposecuencia: 80 m

Descripción del suelo de la parte alta

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ah1	0-3	Horizonte muy húmico integrado por alrededor de 50% materia orgánica en descomposición y 50% suelo mineral con estructura granular fina.
Ah2	3-16	Color café amarillento oscuro en húmedo (10 YR 3/4), franco-arcillo-limoso; estructura bloques subangulares finos y medianos, grado de agregación moderado; consistencia 3, dura; muchas raíces muy finas y finas; poros muchos muy finos y finos; esqueleto: 40% v/v gravas friables y duras de lutita, finas y medianas.
C	> 16	Capa formada por lutita poco intemperizada, algunos fragmentos quebradizos; pocas raíces muy finas y medianas penetrando entre las fracturas.

Horizonte	Profundidad	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah1	0-3	-	12.96	22.35	1.322	28.47	23.8	51.0	25.2
Ah2	3-16	5.70	2.17	3.73	0.248	2.08	33.4	54.6	12.0
C	>16	5.42	1.54	2.66	0.217	3.05	ND	ND-	ND-

ND=No detectado



## Descripción del suelo de la parte baja

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah1	0-2	Color negro en húmedo (5 Y 2.5/1), franco-arcillo-limoso; grumos muy pequeños y pequeños, grado de agregación moderada; consistencia dura; muchas raíces muy finas; poros muchos finos; esqueleto: horizonte sin gravas ni concreciones.
Ah2	2-15	Color negro en húmedo (5 Y 2.5/1), arcillo limoso; estructura bloques subangulares medianos y gruesos, grado de agregación firme; consistencia 4, muy dura; muchas raíces finas y medias ; poros frecuentes muy finos y finos; grietas de 1 a 2 cm ancho y que se continúan en el perfil; esqueleto : < 5 % vol. fragmentos muy finos de lutita incrustados en agregados.
Bt1	15-40	Color negro brillante en húmedo (5 Y 2.5/1), arcilloso; estructura bloques subangulares a angulares gruesos y muy gruesos, grado de agregación firme; consistencia 5, extremadamente dura; pocas raíces muy finas y medias ;poros frecuentes muy finos; grietas de hasta 3 cm de ancho que atraviesan todo el horizonte; esqueleto : horizonte muy homogéneo sin concreciones ni gravas apreciables.
Bt2	> 40	Horizonte muy parecido al anterior pero con estructura prismática gruesa y con esqueleto de 5 % gravas calizas finas y escasas concreciones muy finas de CaCO <sub>3</sub> .

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah1	0-2	6.57	6.15	10.60	0.718	17.20	33.8	61.1	5.1
Ah2	2-15	6.01	2.54	4.38	0.308	3.91	45.0	48.8	6.2
Bt1	15-40	6.31	1.12	1.94	0.121	1.74	57.7	38.5	3.8
Bt2	>40	6.82	1.08	1.86	0.099	1.29	57.3	39.5	3.2

Tipo de uso: cultivo agrícola

Grupo de suelos dominante: Castañozem y Chernozem

Pendiente (%): Parte alta → Parte baja = -3

Longitud total de la toposecuencia: 87 m

### Descripción del suelo de la parte alta

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-8	Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/3), arcilloso; estructura granular muy fina a bloques subangulares muy finos y finos, grado de agregación débil; consistencia 2, ligeramente dura ; pocas raíces finas y medias; muchos poros finos y medios; esqueleto : 5 % vol. de concreciones de carbonato finas y duras.
Ap2	8-29	Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/3), arcilloso; estructura bloques subangulares medianos y gruesos, grado de agregación moderado a firme; consistencia 3, dura ; raíces frecuentes muy finas y finas; poros muchos muy finos, pocos finos; esqueleto : 5 % vol. concreciones muy finas y finas de CaCO <sub>3</sub> duras, 5% fragmentos muy finos de lutita.
Au	29-50	Color café olivo en húmedo (2.5 Y 4/4), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares gruesos, grado de agregación firme; consistencia 2, ligeramente dura ; pocas raíces finas; muchos poros muy finos; grietas de hasta 1 cm de ancho y de 15 a 20 cm largo; esqueleto: 15 vol. fragmentos medianos de lutita, duros y friables, 5 % muy finos incrustados en los agregados.
ACck	> 50	Horizonte parecido al anterior pero con un aumento en el contenido de concreciones de CaCO <sub>3</sub> , 20 %, y 20 % vol. fragmentos medianos y finos de lutita; aparecen motas balnquecinas en el corte del perfil.

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ap1	0-8	7.46	2.03	3.51	0.221	1.67	61.2	32.8	6.0
Ap2	8-29	7.50	2.07	3.56	0.224	1.67	62.0	31.5	6.5
Au	29-50	7.54	1.19	2.06	0.123	1.04	44.7	46.6	8.7
ACck	>50	7.67	0.93	1.61	0.089	1.20	46.0	40.8	13.2

## Descripción del suelo de la parte media

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-11	Color negro en húmedo (10 YR 2/1), arcilloso; estructura bloques subangulares muy finos; grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura ; raíces frecuentes muy finas ; muchos poros muy finos; esqueleto: 5 % vol. gravas calizas duras, medianas y finas, 5 % concreciones de CaCO <sub>3</sub> friables muy finas.
Ap2	11-22	Color negro en húmedo (10 YR 2/1), arcilloso; estructura bloques subangulares finos y medianos , grado de agregación firme; consistencia 4, muy dura; raíces frecuentes muy finas y finas; poros muchos muy finos ; grietas de 1 cm. de ancho y 50 cm. largo; esqueleto : 30 % vol. fragmentos muy finos de lutita, 10 % vol. concreciones de CaCO <sub>3</sub> muy finas y duras.
AC	22-75	Color negro en húmedo (5 Y 2.5/1) , arcilloso; estructura bloques subangulares gruesos y muy gruesos, grado de agregación firme; consistencia 4, muy dura; pocas raíces muy finas; poros pocos muy finos ; esqueleto : 30 % vol. de fragmentos de lutita muy finos y friables incrustados en los agregados, no gravas ni concreciones.

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ap1	0-11	7.48	1.96	3.38	0.183	1.995	54.2	36.9	8.9
Ap2	11-22	7.40	1.81	3.13	0.175	1.674	56.8	34.2	9.0
AC	22-75	7.13	2.00	2.07	0.115	1.356	56.7	35.3	8.0

## Descripción del suelo de la parte media

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-11	Color negro en húmedo (10 YR 2/1), arcilloso; estructura bloques subangulares muy finos; grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura ; raíces frecuentes muy finas ; muchos poros muy finos; esqueleto: 5 % vol. gravas calizas duras, medianas y finas, 5 % concreciones de CaCO <sub>3</sub> friables muy finas.
Ap2	11-22	Color negro en húmedo (10 YR 2/1), arcilloso; estructura bloques subangulares finos y medianos , grado de agregación firme; consistencia 4, muy dura; raíces frecuentes muy finas y finas; poros muchos muy finos ; grietas de 1 cm. de ancho y 50 cm. largo; esqueleto : 30 % vol. fragmentos muy finos de lutita, 10 % vol. concreciones de CaCO <sub>3</sub> muy finas y duras.
AC	22-75	Color negro en húmedo (5 Y 2.5/1) , arcilloso; estructura bloques subangulares gruesos y muy gruesos, grado de agregación firme; consistencia 4, muy dura; pocas raíces muy finas; poros pocos muy finos ; esqueleto : 30 % vol. de fragmentos de lutita muy finos y friables incrustados en los agregados, no gravas ni concreciones.

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ap1	0-11	7.48	1.96	3.38	0.183	1.995	54.2	36.9	8.9
Ap2	11-22	7.40	1.81	3.13	0.175	1.674	56.8	34.2	9.0
AC	22-75	7.13	2.00	2.07	0.115	1.356	56.7	35.3	8.0

## Descripción del suelo de la parte baja

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap1	0-12	Color negro en húmedo (5 Y 2.5/1), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares finos y medios, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura ; raíces frecuentes muy finas y finas; poros muchos muy finos; esqueleto: <15 % de gravas medianas duras con cantos redondeados cubiertas de CaCO <sub>3</sub> , muy escasas concreciones de carbonato muy finas.
Ap2	12-28	Color negro en húmedo (5 Y 2.5/1), arcillo limoso; estructura bloques subangulares gruesos, grado de agregación firme; consistencia 5, extremadamente dura; raíces frecuentes muy finas; poros frecuentes muy finos y finos; grietas de aprox. 1 cm ancho y que se continúan en el perfil (más de 50 cm. largo); esqueleto : < 5 % vol. concreciones de CaCO <sub>3</sub> finas y muy escasos fragmentos muy finos de lutita incrustados en los agregados.
Au	28-56	Color negro brillante en húmedo (5 Y 2.5/1), arcillo-limoso; estructura prismática gruesa, grado de agregación firme; consistencia 5, extremadamente dura ; de pocas a ausentes raíces muy finas y finas ;poros pocos muy finos; esqueleto : 5% de fragmentos medianos y muy finos de lutita incrustados en los agregados.
AC	> 56	Horizonte muy parecido al anterior pero esqueleto de 5 % gravas medianas calizas duras y 5% fragmentos de lutita muy fina.

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ap1	0-12	6.9	2.44	4.20	0.200	2.65	47.5	45.9	6.6
Ap2	12-28	7.06	2.02	3.48	0.179	1.67	51.5	42.7	5.8
Au	28-56	7.46	1.53	2.63	0.141	0.86	49.5	43.5	7.0
AC	>56	7.44	1.54	2.66	0.121	0.70	49.0	41.7	9.3

## ANEXO 6

En este anexo se presenta la descripción de los suelos encontrados en la localidad 3 (El Poblado y Ejido Guadalupe). Se incluye una toposecuencia de cada una de las áreas (sin uso y con uso).

Tipo de Vegetación : Mezquital.

Grupo de suelos dominante: Castañozem

Pendiente (%): Parte alta → Parte baja = -1

Longitud total de la toposecuencia : 85 m

### Parte alta

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah1	0-7	Color café oscuro en húmedo (10 YR 3/3), arcillo-limoso; estructura grumosa pequeña a granular fina; grado de agregación débil; consistencia 0, suelta ; muchas raíces muy finas ; muchos poros muy finos; esqueleto: 20 % vol. de restos de caracol.
Au1	7-35	Color café olivo en húmedo (2.5 Y 4/4), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares muy finos y finos , grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura ; raíces pocas gruesas, frecuentes medianas y muchas muy finas; poros frecuentes muy finos; esqueleto : 5% vol. gravas finas redondeadas duras y 10 % de fragmentos de caracoles.
Au2	35-70	Color café amarillento en húmedo (10 YR 5/4) , arcilloso; bloques subangulares medianos y finos, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura ; frecuentes raíces medianas, pocas gruesas; poros muchos muy finos y frecuentes finos; esqueleto : 5 % vol. gravas finas redondeadas cubiertas de CaCO <sub>3</sub> ; acumulación de carbonato pulverulento cubriendo los agregados y con apariencia de micelio a través de los poros.
Bck	>70	Color café claro en húmedo (2.5 Y 5/4), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares finos y medianos, grado de agregación moderado; consistencia 3, dura; raíces pocas gruesas; poros frecuentes finos y muchos muy finos; esqueleto : 10 % vol. de gravas finas cubiertas por CaCO <sub>3</sub> , muy fuerte acumulación de carbonato de calcio pulverulento lo que ocasiona la presencia de manchas blancas en un 30 % del corte del horizonte, de aprox. 1 cm. de diámetro.

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah1	0-7	7.32	8.36	14.41	0.980	10.91	42.1	48.7	9.0
Au1	7-35	7.63	1.78	3.08	0.231	1.33	55.7	40.4	3.9
Au2	35-70	7.81	0.85	1.46	0.130	1.16	56.5	40.6	2.9
Bck	>70	7.81	0.52	0.90	0.087	2.01	54.7	42.6	2.7

### Parte media

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-7	Color café olivo en húmedo (2.5 Y 4/4), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares muy finos; grado de agregación moderado; consistencia 1, blando; raíces frecuentes muy finas; poros muchos muy finos y finos; esqueleto: 20 % fragmentos de caracoles.
Au1	7-32	Color café olivo claro en húmedo (2.5 Y 5/3), arcilloso; estructura bloques subangulares medianos y gruesos, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura ; muchas raíces finas y muy finas, pocas medianas ; poros muchos muy finos y frecuentes finos; esqueleto : 20 % vol. fragmentos de caracoles incrustados en los agregados.
Au2	32-50	Color café olivo claro en húmedo (2.5 Y 5/4), arcilloso; estructura bloques subangulares finos y medianos, grado de agregación moderado; consistencia 2, ligeramente dura ; raíces muy finas frecuentes y pocas medianas y gruesas ; muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos; esqueleto : 5 % vol. gravas finas redondeadas, 3% concreciones muy finas de CaCO <sub>3</sub> y 10 % fragmentos de caracol.
Bck	50-79	Horizonte muy parecido al anterior pero de consistencia 3, dura; con pocas raíces gruesas; con acumulación de CaCO <sub>3</sub> pulverulento recubriendo los agregados. Con manchas en el corte por el carbonato.

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	0-7	7.42	4.51	7.77	0.513	4.26	40.7	51.3	8.0
Au1	7-32	7.63	1.24	2.14	0.174	1.16	55.9	40.4	3.7
Au2	32-50	7.78	0.78	1.34	0.123	0.33	57.0	40.1	2.9
Bck	50-79	7.79	0.58	1.01	0.096	0.66	54.8	41.7	3.5

## Parte baja

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0-9	Color café oscuro en húmedo (10YR 3/3), franco-arcillo-limoso; estructura de granular fina a bloques subangulares muy finos; grado de agregación débil; consistencia 0, suelta ; raíces muchas muy finas; poros muchos finos; esqueleto: 15 % fragmentos de caracoles.
Au1	9-21	Color café amarillento oscuro en húmedo (10 YR3/4), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares muy finos y finos, grado de agregación moderado; consistencia 1, blanda ; muchas raíces finas y muy finas, frecuentes medias y gruesas ; muchos poros muy finos y pocos medianos; esqueleto : 15 % vol. fragmentos de caracoles 5 % vol. concreciones muy finas de CaCO <sub>3</sub> .
Au2	21-35	Color café en húmedo (10 YR 4/3), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares medianos y gruesos, grado de agregación firme; consistencia 3, dura; raíces finas frecuentes ; muchos poros muy finos y finos, pocos medianos; esqueleto :< 5 % fragmentos muy finos de carbón, 10 % fragmentos de caracol.
AB	35-60	Horizonte con manchas blanquecinas de CaCO <sub>3</sub> dispersas en el corte, color café olivo en húmedo (2.5 Y 4/4);esqueleto 5 % vol. gravas finas redondeadas y 20 % fragmentos de caracoles.
Bck	>60	Color café amarillento en húmedo (10 YR 5/6), arcillo-limoso; estructura bloques subangulares finos y medianos; grado de agregación moderado; consistencia 3, dura ; raíces pocas gruesas; poros muchos muy finos, pocos medianos y gruesos; esqueleto: 5 % vol. concreciones de CaCO <sub>3</sub> , duras. Agregados recubiertos de CaCO <sub>3</sub> pulverulento.

Horiz.	Prof.	pH	C.O. %	M.O. %	Nt %	Pi Ppm	Arcilla %	Limo %	Arena %
Ah	0-9	7.33	6.79	11.70	0.826	12.70	35.5	55.8	8.7
Au1	9-21	7.46	3.46	5.96	0.409	3.37	52.0	43.9	4.1
Au2	21-35	7.54	1.82	3.14	0.206	1.28	54.0	42.7	3.3
AB	35-60	7.74	1.06	1.83	0.137	0.65	54.9	41.0	4.1
Bck	>60	7.75	0.81	1.40	0.116	0.81	54.8	41.0	4.2

