

GENESIS DE HORIZONTES CALCICOS Y  
PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS EN SUELOS  
DEL MUNICIPIO DE MARIN, NUEVO LEON

ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN SUELOS



BIBLIOTECA  
EGIDIO G. REBONATO  
BANCO DE TESIS  
U.A.A.A.N.



**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro**

**PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenavista. Saltillo, Coah.**

**DICIEMBRE DE 1998**

10096

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

GENESIS DE HORIZONTES CALCICOS Y PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS EN  
SUELOS DEL MUNICIPIO DE MARIN, NUEVO LEON

TESIS

POR

ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como  
requisito parcial para optar al grado de:

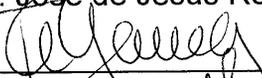
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN SUELOS

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:

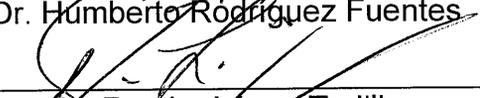
  
M.C. Ing. José de Jesús Rodríguez Sahagún

Asesor:

  
Dr. Arturo Gallegos del Tejo

Asesor:

  
Dr. Humberto Rodríguez Fuentes

  
Dr. Ramiro López Trujillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila Diciembre de 1998

## AGRADECIMIENTOS

**A DIOS:** Por permitirme alcanzar una meta más en mi vida.

**A MIS ASESORES:** Con gratitud, por su apoyo en la realización de este trabajo y por su amistad.

M.C. Ing. Rubén López Cervantes

M.C. Ing. José de Jesús Rodríguez Sahagún

Dr. Arturo Gallegos del Tejo

Dr. Humberto Rodríguez Fuentes

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Departamento de Suelos de la U.A.A. “Antonio Narro”.

A todas aquellas personas que de una u otra forma participaron en la ejecución del presente trabajo

## **DEDICATORIAS**

A la memoria de los que me dieron la vida y me formaron como persona.

### ***A MIS PADRES***

Asunción Carranza Mata

Ignacia de la Rosa Alfaro

### ***A mi familia, por su apoyo y confianza:***

A mi esposa, por su paciencia

Idalia Reboloso Vargas

A mis hijos, con todo mi cariño

Erik Alejandro

Jazmin Aranzut

Roberto

A mis hermanos, con todo el respeto y aprecio

José Luis

Ernesto

Asunción

Arturo

# COMPENDIO

GENESIS DE HORIZONTES CALCICOS Y PROPIEDADES FISICO-QUIMICO  
EN SUELOS DEL MUNICIPIO DE MARIN, NUEVO LEON

POR

ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA

MAESTRIA

SUELOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO COAHUILA, DICIEMBRE 1998

M.C. ING. JOSE DE JESUS RODRIGUEZ SAHAGUN

Palabras Claves: Horizonte, Cálculos, Textura, Precipitación, Evapotranspiración

En el Municipio de Marín existen condiciones semiáridas y por lo tanto sus actividades agropecuarias están condicionadas, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo definir las concentraciones de carbonatos que dan origen al desarrollo de horizontes “cálculos”.

Se utilizó la técnica de fotointerpretación para la definición de diversos relieves que por definición fisiográfica cada relieve fue diferente con respecto a

los demás. Los relieves definidos fueron: Pie de monte, pendiente de colina, valle, pendiente de ladera, ladera, terraza aluvial, meseta, ladera suave de depósito y ladera erosionada, estos relieves definieron los 13 sitios de los perfiles patrón utilizados para la prospección morfológica, práctica necesaria para la definición de horizontes cálcicos y caracterización de los perfiles por sus propiedades físico-químico. Esta labor se logró con trabajo de campo para obtener las muestras de suelo de cada horizonte identificado que posteriormente se les efectuó su análisis físico-químico las variables consideradas fueron: Materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, pH, carbonatos totales, conductividad eléctrica y textura como análisis mecánico.

Los resultados señalan que de los 42 horizontes definidos taxonómicamente solamente 10 se clasificaron como horizontes cálcicos. La moderada formación de horizontes cálcicos en la zona de estudio se debe principalmente al déficit de precipitación contra evapotranspiración.

La evaluación de resultados determinó que el contenido de materia orgánica y nitrógeno presentan una reducción en el contenido porcentual en los estratos inferiores debido a la baja aportación vegetativa al suelo y a la lenta descomposición por falta de humedad y apoyada por la protección que le proporcionan los carbonatos a la materia orgánica.

El contenido de fósforo y potasio presentan una tendencia a reducir su concentración a mayor profundidad en un 70 por ciento de los perfiles.

La zona de estudio presenta características propias como: pH alcalinos que van desde suelos ligeramente alcalinos a medianamente alcalinos; el 100 por ciento de los perfiles presentan un incremento en el contenido de carbonatos a mayor profundidad, y todos los perfiles se clasificaron como no salinos.

## ABSTRACT

GENESIS OF CALCAREOUS HORIZONS AND PHYSICAL AND CHEMICAL  
PROPERTIES IN SOILS OF MARIN MUNICIPALITY, NUEVO LEON.

BY

ROBERTO CARRANZA DE LA ROSA

MASTER OF SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO COAHUILA, DECEMBER 1998

M.C. ING. JOSE DE JESUS RODRIGUEZ SAHAGUN

Key words: Horizon, Calcareous, Texture, Rainfall, Evapotranspiration

In Marin municipality there are semiarid conditions and consequently the farm and husbandry activities are limited, the objective of this project of researching is to define the concentrations of carbonate, the origin of the calcareous horizons, in the Marin soils.

The techniques of photointerpretation were used in order to know the different characteristics of the terrain by physiographic inference of each site moreover they are different in relation to others.

The scraps are : "pie de monte", slopes of hill, valley, hilly slope, hill, alluvial terraces, plateau, deposit soft slope, eroded slope, these reliefs defined the thirteen sites of pattern profiles used for morphological prospecting, useful practice in order to define the calcareous horizons of soils and characterization of the profiles by their physical and chemical properties. It was achieved with field works to get soil samples of each identified horizon and each one anphysical and chemical analysis was determined. The variables considered were: organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, pH, total carbonates, electric conductivity, and texture, last one as mechanical analysis.

The results shown that from 42 defined horizons only 10 are classified as calcareous horizons, the moderate development of calcareous horizon in the study area is due mainly to the deficit of rainfall against transpiration. The results evaluation determined that the organic matter nitrogen contents presented an reduction on the percentage content in the lower layers due to the vegetative low supply to the soil and the delayed descomposition and the protection of the carbonates to the descomposition.

The phosphorus and potassium contents presented an tendency to reduce the concentration at greater deep in 70 percentage of the soil profiles. Finally the study area presents own characteristics as pH alcalines, increase of carbonates contents at greater deep, 100 percentage of the profiles were classified as clay soils and non saline.

## INDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
INDICE DE CUADROS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCION.....	1
Hipótesis.....	2
REVISION DE LITERATURA.....	3
Condiciones de la Región.....	3
Génesis de Suelos Calcáreos.....	13
Geoquímica de Suelos Calcáreos.....	23
Manejo de Suelos Calcáreos.....	38
MATERIALES Y METODOS.....	40
Generalidades del Area de Estudio.....	40
Materiales.....	43
Metodología.....	44
RESULTADOS.....	47
Morfología y Variables Evaluadas.....	47
DISCUSION.....	82
CONCLUSIONES.....	85
RESUMEN.....	89
LITERATURA CITADA.....	91

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
4.1	Variables evaluadas Perfil I.....	48
4.2	Variables evaluadas Perfil III.....	52
4.3	Variables evaluadas Perfil IV.....	55
4.4	Variables evaluadas Perfil V.....	58
4.5	Variables evaluadas Perfil VI.....	61
4.6	Variables evaluadas Perfil VII.....	64
4.7	Variables evaluadas Perfil VIII.....	67
4.8	Variables evaluadas Perfil IX.....	70
4.9	Variables evaluadas Perfil X.....	73
4.10	Variables evaluadas Perfil XI.....	76
4.11	Variables evaluadas Perfil XIII.....	79

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
2.1	Marco general de referencia en estudios genéticos de suelos.....	20
3.1.	Temperaturas máximas, extremas y promedio, medias, mínimas extremas y promedio .....	41
3.2	Valores promedio de precipitación vs evaporación.....	42
4.1	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil I.....	49
4.2	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil III.....	53
4.3	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil IV.....	56
4.4	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil V.....	59
4.5	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil VI.....	62
4.6	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil VII.....	65
4.7	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil VIII.....	68

		<b>Página</b>
4.8	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil IX.....	71
4.9	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil X.....	74
4.10	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil XI.....	77
4.11	Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil XIII.....	80

## INTRODUCCION

El continuo aumento de población y el alto déficit de alimentos en nuestro país nos obliga a dirigir la atención en la producción agropecuaria. La sustentación, conservación y mejoramiento, del recurso suelo, implica analizar el relieve, con la finalidad de comprender, la naturaleza y distribución del recurso. Un aspecto importante de los suelos de regiones semiáridas es su contenido de materiales calcáreos, los cuales sirven para clasificarlos con relación aptitud agrícola y poder definir su uso y manejo adecuado.

El Municipio de Marín, Nuevo León está ubicado en una región de características climáticas semiáridas y por lo tanto sus actividades agropecuarias están condicionadas por la escasez de agua, que probablemente sea una de las causas que traen como consecuencia la presencia de carbonatos.

Los objetivos son determinar y definir la concentración de carbonatos de calcio que dan origen al enriquecimiento calcáreo dentro del suelo y establecer su significancia para un correcto ordenamiento de uso.

## **Hipótesis**

El origen del material carbonatado de los suelos del municipio de Marín, N. L. México es geológico sedimentario, por bajas precipitaciones y elevada evapotranspiración.

## **REVISION DE LITERATURA**

### **Condiciones de la Región**

El clima de la región según la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973), es de dos subtipos climáticos; el BS<sub>1</sub> y BS<sub>0</sub>, los cuales corresponden al grupo de los climas secos o esteparios.

El subtipo climático BS<sub>0</sub>, más seco que el BS<sub>1</sub>, se caracteriza por presentarse en un 60 por ciento de la superficie del municipio de Marín, N.L., correspondiendo su área de influencia a la parte poniente de la sierra de "Picachos", donde al presentarse el efecto de sombra orográfica, tiende a producir una aridez mayor que se refleja en la vegetación. Las temperaturas medias anuales son de 22 °C, donde los meses más fríos son diciembre y enero con temperaturas medias inferiores a 18 °C, y en ocasiones extremosas. Los meses más calientes son junio, julio y agosto, con temperaturas medias superiores a los 28 °C. Con precipitaciones de 59.60, 38.52 y 71.11 y evaporaciones de 243.71, 256.34 y 231.27 que denotan un marcado déficit en contenidos de humedad.

La precipitación pluvial promedio anual es de 500 mm, con una máxima de 600 mm y una mínima de 200 mm. Los meses mas lluviosos son mayo, agosto y septiembre (Garza y Araujo, 1984).

En el área de estudio encontramos material geológico diverso, por ejemplo: sedimentario consolidado en un sistema de montaña, en relieves de pie de monte, en material coluvial y aluvial.

Dentro del sistema de montaña existen materiales sedimentarios como la caliza y lutita que presentan determinadas características: en el caso de las calizas, se formaron por sedimentación y consolidación de las sales y materiales finos en un ambiente de tipo lacustre. Las calizas cuando presentan estratificación gruesa proporcionan condiciones excelentes al servir para presas o cimentaciones de cualquier tipo. Las de estratificación delgada presentan problemas de cimentación y ofrecen condiciones desfavorables a la resistencia al esfuerzo cortante y a la contención de agua. La caliza es la materia prima básica para la fabricación de cal y cemento, los cuales se utilizan como material de construcción o bien como piedra de ornato.

La lutita es otro de los materiales presentes, la cual se caracteriza por ser muy arcillosa, laminada, con buena resistencia a la compresión y es baja al esfuerzo cortante. Estas pueden ser duras y no laminada o bien laminada y suaves. Las lutitas formadas por compactación constituyen lodos cuando se

sujetan a procesos de saturación y deshidratación; bien cementadas son muy resistentes, ya que proporcionan buenas condiciones para la construcción de presas.

El tipo de material coluvial es el conglomerado formado por gravas redondeadas cementadas y con aspecto resistente y masivo. Al romper esta roca la fractura corta indistintamente a los fragmentos.

En material aluvial, encontramos el aluvión conformado principalmente por acarreo y depositación, en este último están actuando el proceso de cementación y en gran parte el de formación de suelo productivo, es el travertino otro material encontrado el cual es una caliza impura depositada por aguas incrustantes; su depósito forma grandes masas o cubre con una costra el suelo por donde escurre. La masa de la roca está surcada en todas direcciones por pequeños canales. Cuando esta roca presenta el menor número de poros y un grano cerrado, es explotable y se usa en la manufactura de planchas o láminas, que puliéndose son utilizadas en el cubrimiento de fachadas y muros interiores. Esta roca en el Estado de Nuevo León es llamado "sillar de agua" y se usa en la construcción (Mejía, 1980, de la Parra, 1970).

En lo que concierne a los suelos, el área presenta una gran diversidad, de estos como son: Xerosoles, Feozem, Castañozem, Vertisoles, Regosoles, Litosoles, Rendzina y Fluvisoles.

**Xerosoles.-** Se encuentran principalmente en las zonas bajas tienen una capa superficial de color claro y muy pobre en humus. Muchas veces presentan a cierta profundidad manchas, polvo o aglomeraciones de cal cristales de yeso o caliche muy duro. En ocasiones salinos.

En casi toda la porción sur del municipio se observan suelos arcillosos, migajón arcilloso, con mal drenaje y duros. Cuando se secan en ocasiones algunos presentan problemas solamente en la capa superficial, caracterizados por la presencia de gravas.

Su utilización agrícola está restringida la mayor parte de las ocasiones a las zonas con agua de riego.

El uso pecuario es muy importante en estos suelos, principalmente en el norte, en donde se cría ganado bovino y caprino con rendimientos variables en función de la vegetación.

Los Xerosoles son suelos con baja susceptibilidad a la erosión, excepto cuando están en pendientes y sobre carbonato de calcio.

**Feozem.-** Su característica principal es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Se encuentran en varias condiciones climáticas, desde zonas semiáridas, hasta templadas o tropicales

muy lluviosas, así como en diversos tipos de terrenos desde planos hasta montañosos.

Muchos feozems profundos y situados en terrenos planos se utilizan en agricultura de riego o temporal.

Una porción de los suelos de Marín, N. L. está dentro de esta unidad ya que tienen carbonato de calcio en varios de sus horizontes. Y se pueden encontrar en la ribera del río Marín, mezclados con regosol calcárico y de textura migajón arcilloso, con una fase gravosa en su mayor parte e impidiendo así el uso de implementos agrícolas.

Otro de los suelos predominante es el **Castañozem**. Esta unidad está en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos. En condiciones naturales tiene vegetación de pastizal, con algunas áreas de matorral. Tienen una capa superior de color pardo o rojizo oscuros, rica en materia orgánica y nutrientes, acumulación de carbonato de calcio suelto o ligeramente cementado en el subsuelo. Se usa para ganadería extensiva, mediante el pastoreo.

A esta unidad de suelo la podemos encontrar en el municipio principalmente en zonas planas y algunos lomeríos de relieve somero.

**Litsoles.-** Están en lomeríos, barrancas y terrenos planos del área de estudio. Presentan una profundidad menor de 10 cm hasta la roca, tepetate o caliche duro. Tiene características muy variables, en función del material que los heredó. Pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a erosionarse depende de la zona en donde se encuentran, de la topografía y del mismo suelo. El uso depende de la vegetación que los cubre, en aquellos que presentan pastizales o matorrales se puede llevar a cabo algún pastoreo más o menos limitado.

**Rendzina.-** Poseen una capa superficial delgada, rica en humus que descansa sobre roca caliza o algún material rico en carbonato de calcio, generalmente muy arcillosos y poco profundos.

Cuando se desmonta se puede usar para cultivar forrajes y pastos, con rendimientos de bajos a moderados para el ganado, pero con peligro de erosión en laderas y lomas.

El área de esta unidad de suelo encontrada dentro del municipio es pequeña, y una mezcla de Rendzina con Litsoles, de textura media, con capas de roca dura que limita la profundidad del suelo e impide la penetración de las raíces o el arado.

Otras unidades de suelos encontradas en menos proporción son: Vertisoles, Regosoles, Litosoles, Rendzina y Fluvisoles. Se menciona cada una de ellas para relacionarlos con las que están presentes dentro del área de estudio.

**Vertisoles.-** Se caracterizan por las grietas anchas y profundas que aparecen en ellos en la época de sequía. Son suelos muy arcillosos, de color café-rojizos en esta zona. Son pegajosos cuando están húmedos y muy duros cuando secos. En ocasiones salinos. La vegetación natural de estos suelos va desde las selvas bajas hasta los pastizales y matorrales de los climas semisecos. Su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva. Son suelos casi siempre muy fértiles, pero presentan ciertos problemas para su manejo ya que su dureza dificulta la labranza. En el área de estudio se encuentran en la porción centro del municipio rodeadas por Xerosoles.

**Regosoles.-** Caracterizados por no presentar capas distintas, son claros en su mayoría; se pueden encontrar en playas, dunas, lomeríos y sierras, acompañados de litosoles y roca o tepetate que afloran. De fertilidad variable y su uso agrícola está condicionado a su profundidad y pedregosidad. En el municipio predominan los Regosoles calcáricos mezclados con Litosoles con textura media (migajón arcilloso) en su mayor parte. Presentan una capa de roca dura y continua en taludes de cerros y sierras.

**Fluvisoles.-** Suelo formado por materiales de acarreo por agua, por ejemplo: arenas, arcillas o gravas. Suelos muy poco desarrollados. Su fertilidad está en función del tipo de materiales que lo formen. Se encuentran en lagos, lechos de ríos y arroyos. La vegetación varía desde selvas hasta matorrales y pastizales. Se observan fluvisoles calcáricos en los cauces de los arroyos y lechos de ríos que se encuentran rodeando el municipio. Estos suelos se usan generalmente para el pastoreo (Silva,1978, Detenal,1979, INEGI, 1991).

Los diferentes tipos de vegetación localizados en el área de estudio se encuentran distribuidos y ubicados de acuerdo a influencias topográficas, climatológicas y edafológicas del medio sobre el cual se desarrollan.

El tipo de vegetación predominante es el de matorral submontano, matorral generalmente inerme, con altura de dos a cinco m y en algunas áreas denso, más o menos perennifolio que se desarrolla sobre suelos someros de laderas de cerros. Las dominantes varían de una región a otra, pero las más frecuentes son:

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
<u>Cordia boissieri</u>	Anacahuita
<u>Acacia amentacea</u>	Chaparro prieto
<u>Acacia farnesiana</u>	Huizache
<u>Parkinsonia aculeata</u>	Retama
<u>Opuntia leptocaulis</u>	Tasajillo
<u>Castela texana</u>	Chaparro amargoso
<u>Chilopsis linearis</u>	Mimbres

En toda la porción centro del municipio principalmente en las zonas planas se puede observar una comunidad vegetal de asociaciones con pastizal natural y pastizal halófito con algunos arbustos como:

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
<u>Cordia boissieri</u>	Anacahuita
<u>Acacia farnesiana</u>	Huizache
<u>Jatropha dioica</u>	Sangre de drago
<u>Leucophyllum texanum</u>	Cenizo
<u>Karwinskia humboldtiana</u>	Coyotillo
<u>Gochnatia hypoleuea</u>	Ocotillo
<u>Nicotiana glauca</u>	Tabaquillo
<u>Porlieria angustifolia</u>	Guayacan

Algunos arbustos mencionados son utilizados para extracción de madera, utilizada para la construcción, postes para cercas y algunos implementos agrícolas. Otros en cambio, son medicinales como el chaparro amargoso, sangre de drago, guayacán etc.; algunas tóxicas para el hombre y ganado, como el coyotillo, tabaquillo, etc.

Otro tipo de vegetación encontrado es el mezquital o bosque espinoso, característico de terrenos planos o poco inclinados; aunque se le puede observar en lomeríos y porciones inferiores de cerros. Esta comunidad vegetal tiene como dominantes:

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
<u>Prosopis glandulosa</u>	Mezquite
<u>Bumelia celestrina</u>	Coma
<u>Pithecellobium flexicaule</u>	Ebano
<u>Ziziphus obtusifolia</u>	Junco
<u>Jatropha dioica</u>	Sangre de drago

Rodríguez et al. (1988).

## **Génesis de Suelos Calcáreos**

Malagon y Cortez (1984), consideran la génesis del suelo como el resultado de las relaciones entre factores geológicos y los procesos pedológicos, éstos obran conjuntamente, pero su intensidad o grado de actuación varía de acuerdo con el clima.

El factor geológico participa generalmente en lugares o niveles más altos y la acción de la gravedad y las pendientes favorecen su exposición al ataque de los fenómenos erosivos.

Los procesos pedológicos o internos, de la formación del suelo son más fuertes en su acción química y en las transformaciones de la materia orgánica, que en el aspecto de la erosión, ya que las plantas cultivadas y la vegetación protegen al suelo y su colocación en planicies y áreas bajas no favorecen su arrastre.

El movimiento del agua en el suelo y su lixiviación de coloides y su depósito en diferentes niveles del perfil del suelo, dan lugar a la formación de los horizontes del suelo.

La presencia o ausencia de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) en los suelos esencialmente es por efecto de la edad, duración de la pedogénesis y la

naturaleza del material parental, igualmente tienen relación con el clima y principalmente con la precipitación. Esta relación es más evidente cuando se analiza en función de la profundidad a la cual se localiza la máxima concentración de carbonato de calcio. En los suelos bien desarrollados de las regiones secas y áridas los rasgos morfológicos más comunes son la presencia de acumulaciones de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$  o de horizontes de enriquecimiento secundario de  $\text{CaCO}_3$  (horizontes cálcicos o petrocálcico). En suelos bien desarrollados y de zonas húmedas estos rasgos están ausentes a menos que sean suelos derivados de materiales calcáreos (Mejía, 1981).

Jenny (1941), investigó la relación entre la profundidad de los horizontes de acumulación y la precipitación. La relación ha sido representada mediante la expresión:

$$D = 2.5 ( P - 12 ) \dots\dots\dots(1)$$

en la cual D representa la profundidad a la cual se encuentra el horizonte de acumulación de carbonatos y P representa la precipitación media anual.

El efecto de la temperatura sobre los iones solubles (cationes alcalinos y alcalinotérreos) es que son lixiviados con mayor facilidad a medida que la temperatura aumenta. El efecto de la temperatura en la disolución y translocación de las calizas y carbonatos es una reacción importante en los suelos, donde la solubilidad de estos depende fundamentalmente de la presión

parcial del  $\text{CO}_2$  y de la concentración del ión  $\text{H}^+$  (pH). La relación inversa que existe entre la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en el agua y temperatura supone, que la solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  debe ser mayor en las zonas frías que en las zonas cálidas, la validez del concepto, de la solución del  $\text{CaCO}_3$  están implicados otros factores, investigados a partir de las reacciones de equilibrio involucrados en la disolución de las calizas bajo condiciones de temperatura y presión constante, bajo estas condiciones se pueden afirmar que hay siete variables implicadas en el proceso: presión parcial del  $\text{CO}_2$ , la concentración de seis diferentes iones ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ). También es importante el flujo y turbulencia del agua que ocasiona disolución en la interfase sólido-líquido, la litología, porosidad del material calcáreo. Cualquier variable no le resta importancia al efecto de la temperatura en la disolución de los carbonatos (Mejía,1981).

En la República de Irán en el Basin Sarvestan la génesis del suelo calcáreo es afectado por topografía y tiempo. Se consideraron variaciones de textura del suelo y salinidad. Suelos de poca salinidad y de textura poco desarrollada o no bien definida, ocurrieron en altas elevaciones, suelos con textura finas y salinidad alta ocurrieron en elevaciones bajas, en base a su posición estos dos suelos se clasificaron como Inceptisoles y Aridisoles. Suelos que contenían una cronosecuencia fueron diferentes principalmente en la redistribución y acumulación de carbonatos, a los que presentaban horizontes petrocálcicos.

Paisajes y Suelos. El Basin Sarvestan es intramontañoso cerrado, formado por tectonismo y materiales lacustres de relleno, cubiertos por abanicos aluvial-coluvial, como resultado a estos echados deposicionales se definen unidades fisiográficas en base a su posición relativa de salinidad como:

El subsuelo y el plano aluvial con salinidad severas es influenciada por condiciones lacustres, el pie de monte aluvial con poca salinidad es influenciada por condiciones semi-lacustres y abanico aluvial, abanico aluvial coluvial, la meseta y el abanico erocional remanente no tiene problemas de salinidad en sus márgenes (Soil Survey Staff, 1975).

La vegetación nativa del área tiene una distribución zonal determinada principalmente por la profundidad y salinidad.

Todos los perfiles en unidades fisiográficas fuera del basin exhiben poca salinidad en cualquier nivel de desarrollo. En el centro del basin el agua es muy salada y el depósito lacustrino salado forman el substrato, donde todos los suelos exhiben un grado de salinidad. Los carbonatos se disuelven y se lavan en la parte alta del perfil, durante el invierno lluvioso y se precipitan bajo el suelo durante el verano seco caluroso (Abtahi, 1979).

Las rocas caliza y dolomita por definición poseen mas del 50 por ciento de carbonato de calcio y/o magnesio y además otros componentes como arcilla, limo, cuarzo, hierro, materia orgánica y otros.

La intensidad de la meteorización de esta rocas dependen de las características de las calizas, siendo el proceso de solución el que más contribuye a ello. En las variedades densas, masivas o de muy baja porosidad, la solución tiende a concentrarse a lo largo de los planos de unión. Este tipo de calizas son las que más contribuyen al desarrollo del paisaje Kárstico.

Las características de los suelos desarrollados a partir de calizas dependen de la proporción y tipo de impurezas. Si la caliza posee una alta proporción de arcilla dará origen a suelos de texturas arcillosas, bastante impermeables, poco lixiviados y por consiguiente pH alto y alta saturación de bases intercambiables. En esta condición la composición de la fracción arcilla serán dominantes los minerales de tipo 2:1.

Calizas con altas proporciones de arena tenderán a formar suelos de texturas ligeras y bien drenadas y altamente susceptibles a una lixiviación intensa, por ser menos coherentes y más inestables que las calizas arcillosas, pueden convertirse con el tiempo en suelos ácidos y muy bajos en bases.

Calizas ricas en minerales de hierro como la hematita, suele formar suelos rojos ácidos, el poder aglutinante de los óxidos de hierro juegan un papel importante en la estabilidad frente a la erosión, particularmente en posiciones inestables (Mejía 1980).

El horizonte cálcico es un horizonte de acumulación de carbonato de calcio o de carbonato de calcio y magnesio. La acumulación puede estar en el horizonte C o en otros epipedones como el mólico, argílico, nátrico o en un duripan.

El horizonte cálcico tiene dos formas, en una de ellas los materiales subyacentes tienen menos carbonatos que el horizonte cálcico. Esta forma incluye horizontes enriquecidos con carbonatos secundarios que tienen 15 cm o más de espesor, y un contenido de carbonato equivalente mayor o igual al 15 por ciento de  $\text{CaCO}_3$  y tiene un  $\text{CaCO}_3$  equivalente de al menos cinco por ciento o más en volumen de carbonatos secundarios identificables sobre guijarros en concreciones o acumulaciones pulvulentas.

Si la clase de tamaño de partículas es arenosa, esqueleto-arenosa, franco gruesa o esqueleto-francosa con menos del 18 por ciento de arcilla, el requisito del 15 por ciento de  $\text{CaCO}_3$  equivalente no es considerado. Pero para calificarlo como un horizonte cálcico, el horizonte deberá tener al menos cinco por ciento en volumen o mas de acumulaciones pulvulentas de  $\text{CaCO}_3$

secundarios que el horizonte subyacente y el horizonte cálcico deberá tener al menos 15 cm de espesor.

Si un horizonte enriquecido con carbonato secundario está cementado a tal grado que no se desmorona en agua, es considerado como un horizonte petrocálcico, o horizonte cálcico continuo cementado por carbonato de calcio o en algunas partes por carbonato de calcio y algo de magnesio, a tal grado que los fragmentos secos no se desmorone en agua y no pueda ser penetrados por pala o la barrena cuando están secos. Es masivo o laminar, muy duro, firme cuando húmedo, es una barrera para las raíces y su conductividad hidráulica es muy lenta (Arnold, 1990).

La diferenciación del suelo es resultado de fenómenos, procesos y acciones que tuvieron lugar desde los principios del tiempo. El proceso genético y evolutivo del suelo debe enmarcarse en estados, límites, condiciones de tiempo y espacio y está sujeto a condiciones peculiares donde se verifiquen cambios morfológicos, químicos y físicos en condiciones biológicas definidas.

La morfología del perfil (Pedón - Polipedón) es el resultado actual, pero temporal de todos los procesos formativos que se han sucedido en este cuerpo, como mecanismo se ajuste a las condiciones ecológicas. La descripción e interpretación del perfil y su entorno ecológico constituyen el punto de partida para cualquier estudio sobre génesis y evolución.

La génesis de los suelos y su posterior evolución constituyen las etapas lógicas de las interacciones de los factores formadores con el material de origen sea orgánico o mineral. El mecanismo de ajuste o los factores externos son fenómenos denominados procesos de formación del suelo, los cuales causan y definen la diferenciación dentro del material original y dejan impresa su marca en forma de horizontes del suelo. En la Figura 2.1 se muestra la génesis de los suelos, su evolución e importancia.

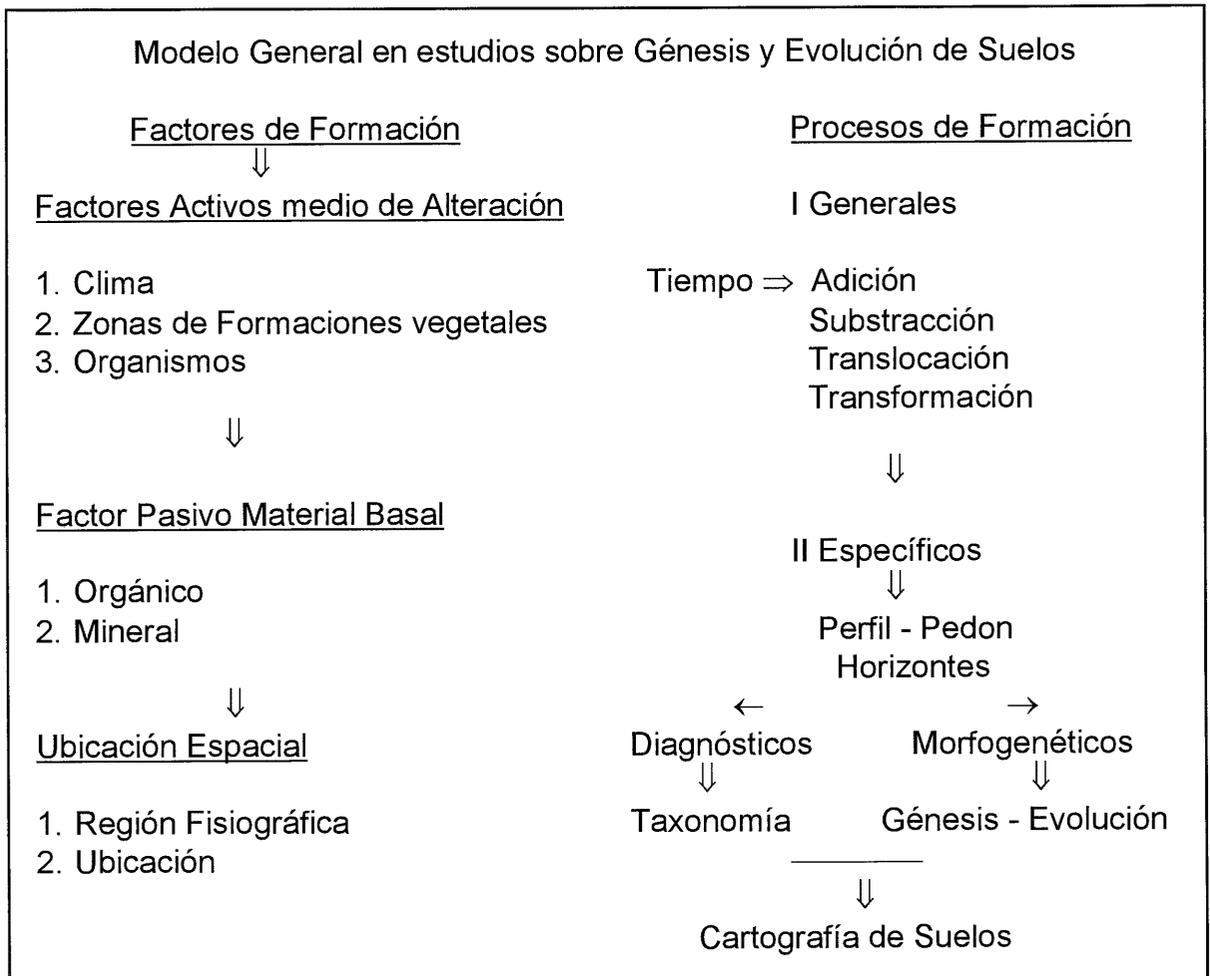


Figura 2.1 Marco general de referencia en estudios genéticos de suelos.

Los factores formadores de suelos se refieren a los ajustes, fuerzas o condiciones que influyen, sobre el material del suelo con la potencialidad de cambiarlo, aunado con las condiciones ambientales externas del suelo y su relación con el clima, los organismos y el tiempo, los cuales actúan sobre el factor pasivo (material de origen o parentales ubicado espacialmente en el paisaje, conducen a su diferenciación morfológica, física, bioquímica y mineralógica).

- ◆ Los procesos formadores del suelo pueden agruparse en dos categorías: globales y específicos; los primeros sirven para entender los mecanismos dominantes de evolución, los segundos para definirla más detalladamente.
  
- ◆ Procesos formadores globales:
  - Adiciones o ganancias: Enriquecimiento de materiales minerales y orgánicos.
  - Pérdidas o substracción de materia, elementos compuestos ya sea por acción de lavado o erosión.
  - Translocaciones de materiales, compuestos o elementos dentro del cuerpo del suelo.
  - Transformaciones de materiales orgánicos o inorgánicos.

Los procesos formadores específicos se basan en la evolución de las translocaciones, la dinámica y tipos de transformaciones, en la química del complejo absorbente asociado a los mecanismos de pérdidas.

En Mull carbonatado, la descomposición de la hojarasca es un poco menos rápida; el horizonte A, es oscuro y con bastante espesor, que indica una mineralización secundaria más lenta; la caliza activa, se puede reconocer con ácido clorhídrico por el grado de efervescencia.

Los Mull cálcicos se caracterizan porque la biodegradación de la materia orgánica es más lenta; tanto la mineralización del carbono, como la del nitrógeno, incluso los ácidos flúvicos, cuando son precipitados en las superficies de las arcillas por el calcio, resisten a la biodegradación: la particular abundancia de estos compuestos en las rendzinas es una demostración de su estabilidad. La estabilización de los compuestos húmicos por el calcio aumenta por la acción protectora del  $\text{CaCO}_3$  alrededor de los fragmentos; esta protección en forma de película retarda el proceso de humificación.

La vegetación solo ejerce una acción secundaria sobre la humificación, pudiendo únicamente atenuar, reforzar la acción de la composición química del material con carbonato cálcico activo. Bajo una vegetación natural no perturbada se forma un Mull carbonatado en el que predominan compuestos

poco transformados (materia orgánica fresca, ácidos fúlvicos y humina heredada) que se estabilizan siempre y que exista una estación particular y se conserve la caliza activa en el perfil (Duchaufour, 1984).

### **Geoquímica de Suelos Calcáreos**

Los horizontes calcáricos son horizontes de acumulación de  $\text{CaCO}_3$  proveniente de lo alto del perfil o de la parte alta de la toposecuencia pedológica o de la napa freática subyacente, su precipitación favorece la formación de volúmenes muy ricos en carbonato de calcio que son discontinuos o continuos.

Para diagnosticarlos se basan en las siguientes características:

- ◆ Que la cantidad total de carbonato de calcio en volumen sea mayor que el horizonte situado encima con un 10 - 20 por ciento, igualmente más fuerte que el horizonte situado inmediatamente abajo.
- ◆ Presencia macro y microscópica de minerales de calcita y estructuras de acumulaciones de carbonato de calcio.

A continuación se describen los principales tipos de horizontes calcáricos por su morfología.

A. Se caracterizan por la presencia de estructuras de acumulación donde el carbonato de calcio es dominante.

Principales tipos de ensamblajes elementales calcáreos:

- ◆ Distribuciones difusas. Son partículas finas de carbonato de calcio de dimensiones iguales o inferiores a 1 mm. Es un primer estado, poco asentado y es difícil a la vista del ojo humano microscópicamente y puede corresponder a una forma dispersa o también a microcristales de calcita, actuando como revestimientos o pequeños nódulos.
- ◆ El carbonato de calcio es visible al ojo humano cuando es concentrado, individualizado unos de los otros, con distribución difusa y discontinuas como:
  - Pseudomicelios: Son revestimientos y concentraciones en los poros de origen radicular.
  - Revestimientos: Impregnan la superficie de un agregado, de un vacío, o de una grava.
  - Acumulaciones débiles: Son concentraciones no consolidadas que van de  $1 \text{ mm}^3$  a  $1 \text{ cm}^3$ , donde sus límites son evidentes.
  - Nódulos: Son acumulaciones duras en estado seco y no se quiebran con la presión de los dedos.

- Filones: Son concentraciones que se desarrollan a partir de fisuras y diaclasas, el horizonte toma forma de parrilla de concentración continua.
  
- ◆ Concentraciones continuas: Encostramientos. Son concentraciones de carbonato de calcio ya sea difusa, en acumulaciones, en nódulos y filones que hace desaparecer la estructura litológica.
  
- ◆ Encostramientos no hojosos:
  - Masivos: Estructura masiva.
  - Modulares: Estructura modular y dureza fuerte.
  
- ◆ Encostramientos hojosos:
  - Las costras: Constituidas por la superposición de hojas individualizadas de mm a cm son de color blanco a crema.
  - Dalas compactas: Constituidas por una o muchas hojas extremadamente duras de color gris o más frecuentemente a salmón de 10 a 20 cm de espesor, petrificadas y continuas, no quebradizas.
  
- ◆ Encostramientos en forma de banda: Formaciones muy duras y muy calcáreas, claramente estratificadas, constituidas por la superposición de láminas finas.

B. La geoquímica de suelos distingue los caracteres que permiten reconocer lo que es el medio de acumulación litológico antes de la acumulación de carbonato de calcio y evaluar las transformaciones presentadas en el medio, durante la acumulación del carbonato de calcio. Para caracterizar los medios de acumulación, los datos significativos a utilizar son:

- Presencia o no de estructuras litológicas.
- Morfología de agregados.
- Colores.
- Presencia o ausencia de contenidos de  $\text{CaCO}_3$ .
- pH del agua.
- Mineralogía de arcillas.
- Trazos de redistribución de arcilla.

Utilizando estos caracteres se pueden describir y distinguir los medios de acumulación litológica en función de lo que eran antes de la acumulación de  $\text{CaCO}_3$  y en función de las transformaciones que se han presentado durante la acumulación de carbonatos de calcio (Ruellan, 1990).

En la organización vertical de un perfil de suelo, el horizonte calcárico puede ser único, lo frecuente es que existan dos o más superpuestos donde se pueden distinguir tres tipos.

- ◆ Suelos con perfil calcáreo poco diferenciado, la definición de los límites inferior y superior son difusos.
- ◆ Suelos con perfil medianamente diferenciado el horizonte calcáreo tiene formas de revestimiento, acumulaciones débiles, nódulos o filones, los límites del horizonte son difusos.
- ◆ Suelos con perfil calcáreo muy diferenciado el horizonte calcáreo es múltiple, uno o varios horizontes con concentraciones en forma de encostramientos, el límite superior es claro, en la base existe un paraje progresivo con concentraciones discontinuas (Ruellan,1990).

La acumulación de  $\text{CaCO}_3$  en los suelos depende de los procesos formadores y de la lixiviación en el perfil. Cuando la fuente principal de  $\text{Ca}^{2+}$  son los productos de meteorización, la formación de  $\text{CaCO}_3$  dependerá de la tasa de meteorización de los minerales portadores del catión. Cuando el  $\text{CaCO}_3$  está en el material parental, la producción de cal secundaria dependerá de la velocidad con la cual los carbonatos sean traslocados en solución. En caso, de que el  $\text{CaCO}_3$  sea de origen eólico, su acumulación dependerá de la magnitud de la deposición, como de la tasa de translocación (Birkeland,1974).

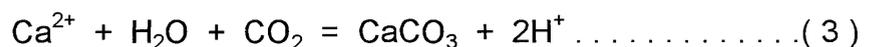
La presencia o ausencia de  $\text{CaCO}_3$  en los suelos es efecto de la edad y naturaleza del material parental, que guardan una estrecha relación con el clima y la precipitación. En suelos desarrollados de regiones áridas la presencia de acumulaciones de carbonatos de calcio y magnesio son más

comunes. La disolución de las calizas y carbonatos es importante en el modelado de los paisajes Kársticos, la disolución sigue la reacción.



(Jenny, 1941).

En las regiones de lluvias escasas, los carbonatos se acumulan en los suelos donde la evapotranspiración y el flujo a través del perfil es suficiente solo para remover los productos más solubles como las sales de sodio. Las lluvias intermitentes pueden arrastrar las sales solubles aun cuando el agua percolante sea del uno por ciento o menos de las lluvias totales y los compuestos menos solubles se acumulan debido al flujo limitado de agua. Se entiende que el  $\text{Ca}^{2+}$  permanece como catión intercambiable y se precipita como calcita y aragonita, también se pueden acumular a partir de las aguas subterráneas, cuando la acción capilar desplaza las aguas ricas en  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{CO}_2$  hacia la superficie del suelo. Las pérdidas de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y la evapotranspiración del agua, llevan a la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ . El contenido de  $\text{CO}_2$  del aire del suelo varía con la actividad de raíces, microorganismos y con la difusión del  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera, esto se puede representar como:



Las entradas de  $\text{Ca}^{2+}$  por la intemperización y el  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable mantienen concentraciones altas y solubles de  $\text{Ca}^{2+}$ .

Las condiciones alcalinas favorecen la acumulación de  $\text{CaCO}_3$  al consumir  $\text{H}^+$  y el incremento de la  $P_{\text{CO}_2}$  (presión parcial del  $\text{CO}_2$ , considerar como la presión atmosférica) origina que el  $\text{CaCO}_3$  reaccione más.



De tal manera que el  $\text{CaCO}_3$  se disuelve al incrementar la concentración de  $\text{CO}_2$  en la fase gaseosa y exista mayor disponibilidad de  $\text{Ca}^{2+}$ .

Cuando la masa de  $\text{CaCO}_3$  excede determinado porcentaje controla el pH del suelo debido a la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  presente en la solución del suelo (Bohn et al., 1993).

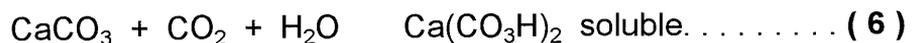
Las rocas sedimentarias denominadas como calizas y dolomitas poseen más del 50 por ciento de carbonatos de Ca y Mg, y son posiblemente las de más alta solubilidad, proceso que más contribuye a su meteorización. En los suelos de poca porosidad la solución tiende a concentrarse a lo largo de los planos de unión. En las de alta porosidad el agua penetra a grandes profundidades, sobre su superficie suele formarse capas de carbonatos secundarios que se endurecen y dan origen a capas de materiales calcáreos (Ollier, 1975).

La lixiviación es la emigración de sales solubles, proceso que afecta a los cationes más móviles y que son susceptibles de formar sales solubles al pH del suelo.



La pérdida de cationes por lixiviación no solo afecta la parte superior del perfil, horizonte A, a menudo afecta al perfil en conjunto puede producirse la reabsorción en horizonte B de los cationes arrastrados. En climas húmedos especialmente las emigraciones en forma de sales solubles, son generalmente muy móviles más que la redistribución entre los horizontes A y B, favorecen los procesos de sustracción del conjunto del perfil (pérdidas por drenaje profundo) aspecto fundamental de la lixiviación.

En los suelos que tienen carbonatos de calcio se lleva a cabo el proceso particular de lixiviación, la descarbonatación que tiene lugar por la acción de  $\text{CO}_2$  disuelto.



La norma general en climas húmedos son las pérdidas por drenaje profundo, sin embargo en climas secos, con una fuerte evapotranspiración potencial (ETP) la precipitación de bicarbonato calcio se produce en profundidad, formando un horizonte iluvial (horizonte cálcico) en regiones con

mayor aridez la pérdida de calcio se produce en forma de yeso ( $\text{CaSO}_4 \bullet 2\text{H}_2\text{O}$ ) formándose un horizonte gípsico a cierta profundidad.

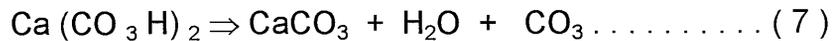
Para una condición climática de mayor aridez existen procesos ascendentes compensadores que vuelven a llevar hacia los horizontes de superficie, una parte al menos de los elementos arrastrados. Estos procesos son de naturaleza físico-químico en forma ocasional y en la mayoría de los casos son de origen biológico.

El proceso físico-químico se produce como consecuencia de la emigración ascendente de sales en disolución, por ascenso capilar, a partir de la zona saturada, apoyado por una fuerte evaporación superficial, se establece una corriente capilar ascendente que va acompañada de una precipitación superficial de las sales disueltas, como los cationes que existen en estado soluble:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ . Los procesos ascendentes son de origen biológico y raramente se produce por acción mecánica, aunque es importante citar el ascenso de arcillas por lombrices que provocan una verdadera mezcla de horizontes. En general, se trata de la acción directa de la vegetación que por su acción radicular extrae nutrientes de estratos profundos y los devuelve a la superficie por medio de la hojarasca; ésta es la movilización biológica, estos elementos depositados se reincorporan al suelo por humificación cuando se trata de iones alcalinotérreos ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) este proceso da lugar a una

resaturación progresiva del complejo absorbente de los horizontes de superficie (Duchauford, 1984).

La formación de los horizontes cálcicos se establece en forma general, en un clima seco con fuerte (ETP), de modo estacional, la reprecipitación del calcio arrastrado da lugar a la formación, a profundidad de un horizonte cálcico. En el proceso de reprecipitación pueden intervenir dos causas, una biológica y otra física.

La causa biológica: Cuando el  $\text{CO}_2$  juega el papel principal en el arrastre, cualquier descenso de la presión de  $\text{CO}_2$  que se produzca en profundidad, provoca la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .



Este proceso interviene, sobre todo bajo pradera o césped y da lugar a una acumulación de carbonatos, de forma difusa y no endurecida en el horizonte cálcico tendrá un aspecto de harina espolvoreada, de manchas pulvulentas y vetas blancas, dentro de una red de fisuras (Pseudomicelios).

La causa física: Se debe a la concentración de las soluciones o a la desecación completa del horizonte por el período seco, en este caso, la caliza precipita en forma cristalina, cristales de calcita que invade progresivamente

los poros, obturándulas y así se produce la concentración y a veces el endurecimiento del horizonte que forma una costra caliza denominada a veces horizonte petrocálcico.

En climas de alta aridez la caliza sustituye a otros minerales, que se solubilizan, lo que explica que algunas costras que aparecen sobre material silicatado pueden contener hasta un 90 por ciento de  $\text{CaCO}_3$ . Esta precipitación de calcio, en climas áridos o semiáridos, con frecuencia deja el ion  $\text{Mg}^{2+}$  en disolución, lo que eleva el pH hasta valores de 9.0 (Duchauford, 1984).

Gutiérrez y Ortiz (1992), mencionan que la naturaleza y distribución de los nódulos de formación carbonatada en los materiales del suelo son rasgos importantes en los estudios pedogenéticos de las regiones áridas y semiáridas. Los granos detríticos de la caliza y los carbonatos pedogenéticos, dan evidencia de procesos de intemperismo y descalcificación de la caliza, iluviación y precipitación del  $\text{CaCO}_3$  en forma de nódulos.

La génesis, de los materiales carbonatados y su acumulación se presentan principalmente en suelos de regiones áridas, semiáridas o subhúmedas y menos frecuente en zonas húmedas. La principal fuente de acumulación de estos carbonatos suelen ser los materiales parentales calcáreos, la deposición de sedimentos eólicos calcáreos o la formación de carbonatos in-situ.

En zonas áridas y semiáridas, presentan horizontes cálcicos desarrollados a partir de materiales parentales calcáreos y bajo precipitaciones bajas, insuficientes para remover los carbonatos del perfil y aun de las capas superficiales, pero suficientes para formar carbonatos pedogénicos.

En zonas semiáridas el material carbonatado y horizonte cálcico puede presentarse encima o asociado a un horizonte argílico. Se asume que el horizonte argílico se forma bajo un clima más húmedo que el actual y que el horizonte cálcico se formó o se encuentra en vía de formación a partir de sedimentos eólicos calcáreos que están siendo depositados en el suelo.

Se da el caso de suelos que poseen un nivel freático muy cercano con alta proporción de bicarbonato de calcio en solución. El ascenso capilar y la evapotranspiración pueden determinar la precipitación de carbonatos secundarios, con la consiguiente formación de horizontes cálcicos a profundidades variables de la superficie.

En suelos bien drenados los carbonatos se acumulan a una profundidad a la cual el perfil alcanza a humedecerse con frecuencia y en las partes del perfil más accesibles para las aguas que percolan a través del perfil.

En primer término los  $\text{CaCO}_3$  precipitan sobre las superficies de los peds y de los fragmentos gruesos o sobre las paredes de los canales formados por

las raíces o por la fauna. También pueden acumularse dentro de la matriz de los pedos en forma de partículas del tamaño de arcillas en el cual los  $\text{CaCO}_3$  de un horizonte cálcico aparecen finamente dispersos en la matriz del horizonte en forma de partículas de calcita, igualmente los delgados revestimientos que se depositan sobre las paredes de los pedos, se presentan en forma de filamentos y suelen teñir en forma continua los canales dejados por las raíces. Al incrementarse la acumulación de  $\text{CaCO}_3$  se forman núcleos o zonas donde se concentran los carbonatos en forma de glóbulos (nódulos, concreciones) blandas o duras y de tamaño variable.

Otra modalidad de los materiales carbonatados son los horizontes petrocálcicos endurecidos en forma continua en toda su masa como resultado de la cementación con carbonatos de Ca y/o Mg y con contribución de algo de sílice, esta cementación es de tal magnitud que una vez seco el suelo no puede ser penetrado ni con espátula, ni con barreno y sus fragmentos secos al aire no se desintegran cuando se agitan en el agua. Es masivo o muy duro o extremadamente duro en seco y muy firme a extremadamente firme en húmedo. La conductividad hidráulica es lenta, su espesor es mayor de 10 cm.

El horizonte petrocálcico indica una evolución más avanzada que el horizonte cálcico. El origen de su cementación se manifiesta por un incremento en la dureza de las concentraciones de carbonatos, por un incremento en la

densidad del horizonte cálcico. Esta cementación es evidente en los horizontes arcillosos, donde los nódulos se presentan fuertemente cementados.

En los horizontes de texturas gruesas el crecimiento de los nódulos es menos restringido, por la infiltración rápida de los materiales a los sitios donde se inicia la acumulación de carbonatos, estos nódulos no acusan una cementación marcada en la etapa inicial de su desarrollo. A medida que aumenta la acumulación de carbonatos su distribución se hace más continua y uniforme en el horizonte, crecen y emergen los nódulos con lo cual se restringe la conductividad hidráulica al penetrar la solución saturada de carbonatos en las partes del horizonte que al principio no estaban cementadas. Llegando a el desarrollo de un horizonte muy duro denso, continuo y casi impermeable.

En horizontes gravillosos las gravas controlan los conductos por los que circulan el agua y los sitios de acumulación de carbonatos. Los carbonatos precipitan en forma de delgados filamentos y de delgados revestimientos sobre las gravas. A medida que aumenta la acumulación de carbonatos, los revestimientos aumentan de espesor y se forman puentes entre las gravas.

Algunas zonas de gravas están más cementadas que otras, según sea la facilidad que ofrezcan los conductos del horizonte para el flujo de la solución, estas zonas se caracterizan por la presencia de núcleos de gravillas cementadas por carbonatos, separadas por gravas no cementadas que con el

tiempo la cementación se extiende a otras zonas a medida que la acumulación de carbonatos afecte también a las zonas permeables.

Debido a la proporción baja de porosidad, los horizontes petrocálcicos se forman con mayor rapidez en los horizontes muy gravillosos que en los no gravillosos.

Al ser bloqueados y rellenados los poros con  $\text{CaCO}_3$  el movimiento vertical de la solución del suelo y agua, tienden a moverse lateralmente sobre la superficie del horizonte. Cuando se remueve el agua por evapotranspiración, sobre el horizonte ocluido, se forma una delgada lámina de carbonatos y por la repetición de este proceso se forma un horizonte laminar extremadamente duro, denso y fuertemente cementado en la parte superior, que es justamente el que le da el carácter al horizonte petrocálcico.

Ciertos autores consideran que la cantidad de carbonatos requeridos para que se produzca la cementación continua del horizonte petrocálcico depende en parte la cantidad de arcillo-silicatos presentes en el horizonte calcico. Cuando la proporción de minerales de arcilla es alta se requiere una cantidad relativamente de carbonatos para ligar entre si las partículas de arcilla. Por el contrario cuando hay poca arcilla, la cementación se alcanza con una cantidad menor de carbonatos (Mejía, 1985).

## **Manejo de Suelos Calcáreos**

Fertimex (1987). En la región lagunera del estado de Coahuila se efectuaron experimentos con aplicación de urea ácida y productos convencionales, se reportaron incrementos donde se aplicó urea ácida en el cultivo de algodón de 350 a 800 kg/ha de fibra, en melón se incrementó en un 10 por ciento, con sandía no se obtuvieron diferencias.

Los resultados de los análisis del suelo indican que se presentó una disminución en el pH del suelo de 0.4 de unidad, al efectuar una aplicación de 600 kg por ha de urea ácida. Se observó una mayor agregación superficial del suelo, mejorando con ello la penetración del agua de riego, contribuyendo gradualmente a que disminuyeran las consecuencias adversas que ocasionan los carbonatos como son, las enfermedades fungosas que prosperan en pH alcalinos.

Olivares y Sánchez (1995). Reportaron que los suelos calcáreos con un pH superior a 7.5 afectan la disponibilidad de algunos nutrientes, como fósforo, hierro, manganeso y zinc por lo que es necesario aplicar correctivos acidificantes al suelo para lograr bajar el pH a valores menores.

Las unidades experimentales fueron macetas de 1.5 kg de suelo; los tratamientos evaluados fueron:

Azufre agrícola, Azufre agrícola con Biolicor (*Thiobacillus* spp), Quait T - 65 (regulador del pH), Sulfato de amonio, Zeolita activada con ácido sulfúrico 2 N y Testigo.

Estos tratamientos fueron estudiados debido a que el azufre y el ácido sulfúrico son los acidificantes más comunes, el biolicor es un subproducto del proceso de oxidación que contiene bacterias, del género *Thiobacillus*, las cuales realizan la oxidación del azufre o sulfato entre otros. El Quait T-65 es un regulador del pH. El sulfato de amonio es el fertilizante nitrogenado con mayor reacción ácida y la zeolita que es un aluminio silicato hidratado de cationes con estructura cristalina tridimensional. La dosis aplicada fue el equivalente a 240 kg/ha para todos los tratamientos a excepción del Biolicor, que se aplicó en dosis de 3 ml por maceta de 1.5 kg de suelo.

Los tratamientos que resultaron con el menor pH fueron el sulfato de amonio con una reducción del pH de 8.19 hasta 7.64 reduciendo un .55 y el segundo con mejor respuesta fue el tratamiento de azufre agrícola más biolicor reduciendo el pH de 8.19 a 7.73 reduciendo un .46 de pH. Los resultados indican que ciertos productos acidificantes pueden ser usados para disminuir el pH en suelos calcáreos. El azufre agrícola más biolicor resultó un buen acidificante, pues arrojó un pH menor que el azufre agrícola sin biolicor, que redujo .04 el pH del suelo esto se puede deber a la falta de bacterias en el suelo, necesarias para la oxidación del azufre.

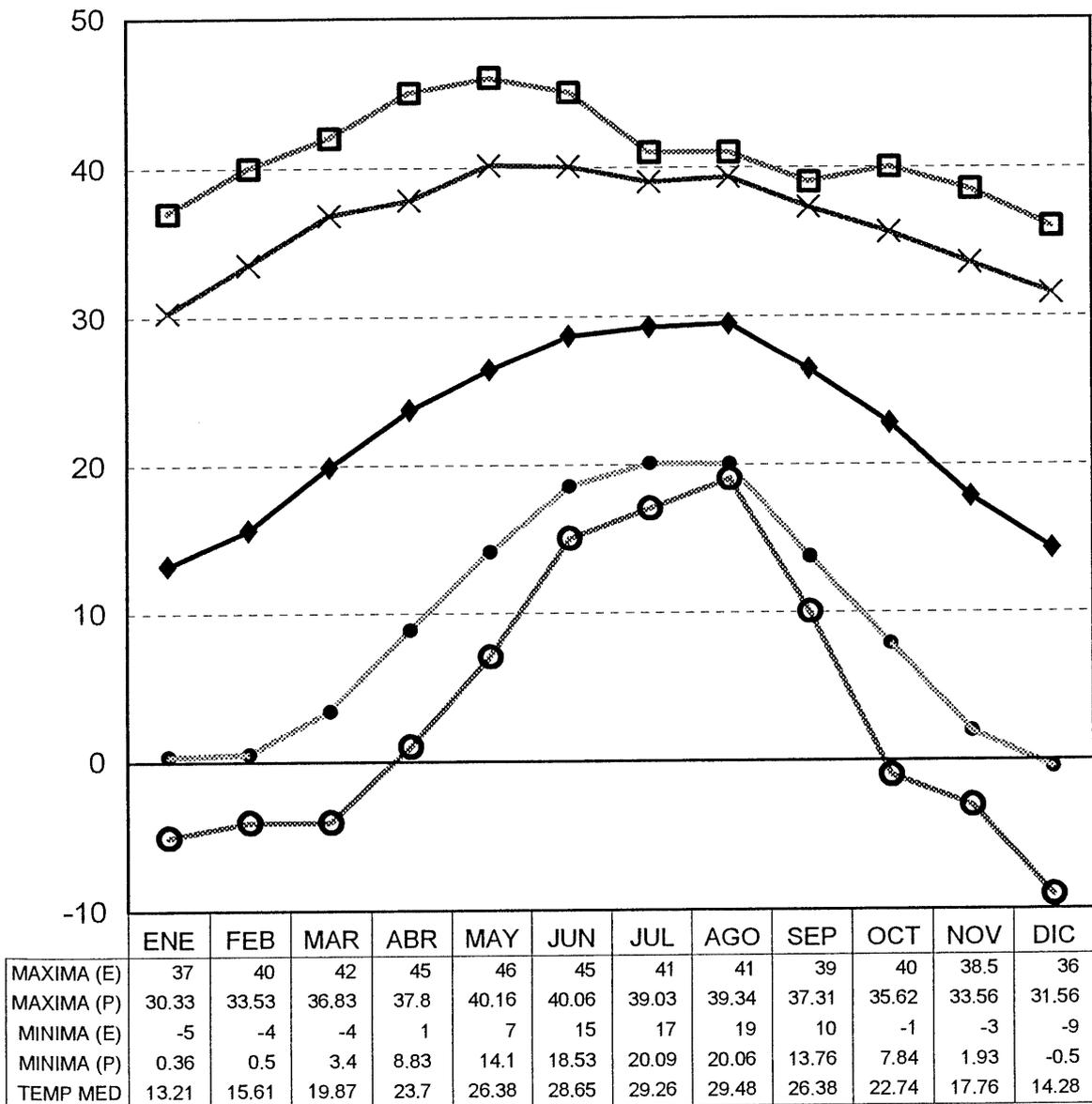
## **MATERIALES Y METODOS**

### **Generalidades del Area de Estudio**

El presente trabajo se realizó en el municipio de Marín, N. L. que comprende una superficie de 244 km<sup>2</sup>. Area de influencia de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Está limitada al Norte con el municipio de Higuera, al Este con el municipio de Dr. González, al Sur con el municipio de Pesquería y al Oeste con el municipio de General Zuazua. Su ubicación geográfica corresponde a los 25°53' Latitud Norte y 100°03' Longitud Oeste del Meridiano de Greengwich, teniendo una altura de 373 m sobre el nivel del mar.

El clima es seco, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen con una temperatura media anual de 22°C, con temperaturas extremas de menos cinco y 46°C. En la Figura 3.1 se muestran las temperaturas medias, máximas y mínimas extremas y promedio. La precipitación anual es de 500 - 600 mm siendo los meses más lluviosos mayo, junio, agosto y septiembre y con una elevada evaporación media mensual de 165 mm. En la Figura 3.2 se muestran los valores promedio referentes a, precipitación y evaporación, que ponen en evidencia un déficit de la precipitación con respecto a la evaporación.

## TEMPERATURA



■ MAXIMA (E)    ✕ MAXIMA (P)    ○ MINIMA (E)    ● MINIMA (P)  
 ◆ TEMP MED

FIGURA 3.1 Temperaturas máximas, extremas y promedio, medias, mínimas extremas y promedio.

<b>MES</b>	<b>PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO (m.m)</b>	<b>EVAPORACION PROMEDIO MENSUAL (m.m.)</b>
ENERO	34.91	72.75
FEBRERO	14.43	104.30
MARZO	15.85	174.98
ABRIL	25.40	197.27
MAYO	61.82	209.26
JUNIO	59.60	243.71
JULIO	38.52	256.34
AGOSTO	71.11	231.27
SEPTIEMBRE	107.62	170.17
OCTUBRE	39.69	140.56
NOVIEMBRE	13.88	104.50
DICIEMBRE	23.17	80.91

Figura 3.2 Valores promedio en precipitación Vs evaporación.

## **Materiales**

La finalidad fue determinar la concentración de carbonato de calcio y para tal fin se efectuó un análisis del relieve.

### **Materiales utilizados:**

- ◆ Equipo fotogramétrico como es el estereoscopio de espejos utilizado para el análisis y revisión de fotografías aéreas. Binoculares de aumento visual, material complementario del estereoscopio de espejos, utilizado para definir con más detalle la caracterización del relieve impreso en las fotografías aéreas.
- ◆ Fotografías aéreas centrales escala 1:75,000.
- ◆ Cartografía temática como: carta Topográfica, Geológica y Edafológica, información básica del área de estudio.
- ◆ Equipo de campo como: cartografía básica, fotografías aéreas, herramienta, cinta métrica, reactivos y tabla de colores Munsell.
- ◆ La determinación de datos cuantitativos de las muestras de suelo se efectuaron en laboratorio.

## Metodología

La metodología de gabinete se basó en la técnica de fotointerpretación para la definición de unidades homogéneas o tipos de relieve, se delimitaron con cierto grado de precisión en las fotografías aéreas. Cada relieve tiene una definición fisiográfica con respecto a los demás.

Se definieron un total de 13 perfiles patrón, de los cuales en 11 fue posible realizar su descripción morfológica, el resto no fue posible describirlos por ser superficies eriales.

Los relieves definidos fueron: Pie de monte, Pendiente de colina, Valle, Pendiente de ladera, Ladera, Terraza aluvial, Meseta, Ladera suave de depósito y Ladera erosionada.

Los relieves definieron prácticamente los sitios de los perfiles patrón. La profundidad de prospección morfológica estuvo limitada por material parental y profundidad deseada.

Con la metodología de campo se caracterizaron los 13 perfiles patrón localizados en el área de estudio que comprende al municipio de Marín, N. L., en base a sus horizontes de diagnóstico, definidos por: Desarrollo estructural de las unidades del suelo, dureza, color, reacción al ácido clorhídrico y textura al tacto.

- ◆ Desarrollo estructural.- Se definió por el grado de agregación y cohesión de los agregados, densidad de raíces, poros y actividad biótica.
- ◆ Dureza.- Define los límites y nitidez entre horizontes; esta variabilidad permite llegar a una clasificación taxonómica probable de cada horizonte.
- ◆ Color.- Aspecto de utilidad para predecir los tipos de reacciones del suelo, que se pueden llevar a efecto, tipo de minerales presentes y la posible génesis evolutiva del suelo a partir del material parental. Para su definición se utiliza la libreta de Colores Munssell.
- ◆ Reacción del suelo al ácido clorhídrico.- Se utiliza para predecir la magnitud de concentración de carbonatos por horizonte taxonómico definido y concentración general en todo el perfil. La variabilidad de concentración de carbonatos nos ayuda a definir la frecuencia y velocidad probable del movimiento de la humedad interna dentro del perfil.
- ◆ Textura al Tacto.- Propiedad mecánica de los suelos, de importancia, que nos define muchas variables del suelo como; fertilidad, manejo, taxonomía, modo de formación y productividad de los suelos.

Con las variables utilizadas en la definición y morfología de horizontes es posible diferenciar los horizontes bióticos, de mayor actividad biológica u horizontes superiores, horizontes de acumulación y horizontes inferiores.

La caracterización efectuada en campo son de utilidad, para relacionar los resultados obtenidos en el laboratorio.

## **RESULTADOS**

### **Morfología y Variables Evaluadas**

Se caracterizaron los perfiles con taxonomía de horizontes y análisis de muestras en el laboratorio, las determinaciones realizadas fueron: contenidos de materia orgánica, carbonatos totales y textura del suelo, donde se presentan con valores porcentuales. Los elementos minerales como el nitrógeno, fósforo y potasio se determinaron en unidades de kg/ha. El pH del suelo se presenta en unidades de pH y la conductividad eléctrica se presentan en unidades de milimhos/cm a 25°C.

Los 13 perfiles patrón se definieron en base a la diversidad de relieves, la muestra de resultados de cada perfil se observan en el cuadro y figura correspondiente, en los cuales se presenta el comportamiento de los resultados analíticos de cada horizonte

El perfil I se ubicó en un relieve de pie de monte, en el Cuadro 4.1 se muestran los resultados de las variables en la Figura 4.1 se observa el comportamiento de los valores analíticos del perfil correspondiente.

Cuadro 4.1. Variables evaluadas en el perfil I.

HORIZONTE	A3		AB		B1 <sub>t</sub>		B2 <sub>t</sub>	
PROFUNDIDAD cm	0-23 cm	DICTAMEN	23-38 cm	DICTAMEN	38-56 cm	DICTAMEN	56 - 91 cm	DICTAMEN
Materia Orgánica %	1.36	Mediano	1.8	Mediano	1.4	Mediano	1.0	Mediano
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	32.6	Mediano	43.2	Mediano	33.6	*Med.mente Pobre	25.0	*Med.mente Pobre
Fósforo Aprovechable kg/ha	15.7	Pobre	14.8	Pobre	35.5	Mediano	42.8	Mediano
Potasio Intercambiable kg/ha	151.7	**Ext.mente Pobre	35.5	**Ext.mente Pobre	141.5	*Med.mente Pobre	115.0	Pobre
Reacción pH 2:1	7.7	***Lig.mente Alcalino	7.6	***Lig.mente Alcalino	7.6	***Lig.mente Alcalino	7.2	Neutro
Carbonatos Totales %	53.0	Muy Alto	55.0	Muy Alto	50.0	Alto	55.5	Muy Alto
C.E. milimhos/cm	0.50	No Salino	0.90	No Salino	1.0	No Salino	1.4	No Salino
ANALISIS MECANICO								
Arena %	37.2		23.2		22.8		24.8	
Limo %	22.4		22.4		20.4		20.4	
Arcilla %	40.4	Arcilla	54.4	Arcilla	56.8	Arcilla	54.8	Arcilla

\*Med.mente.- Medianamente

\*\*Ext.mente.- Extremadamente

\*\*\*Lig.mente.- Ligeramente

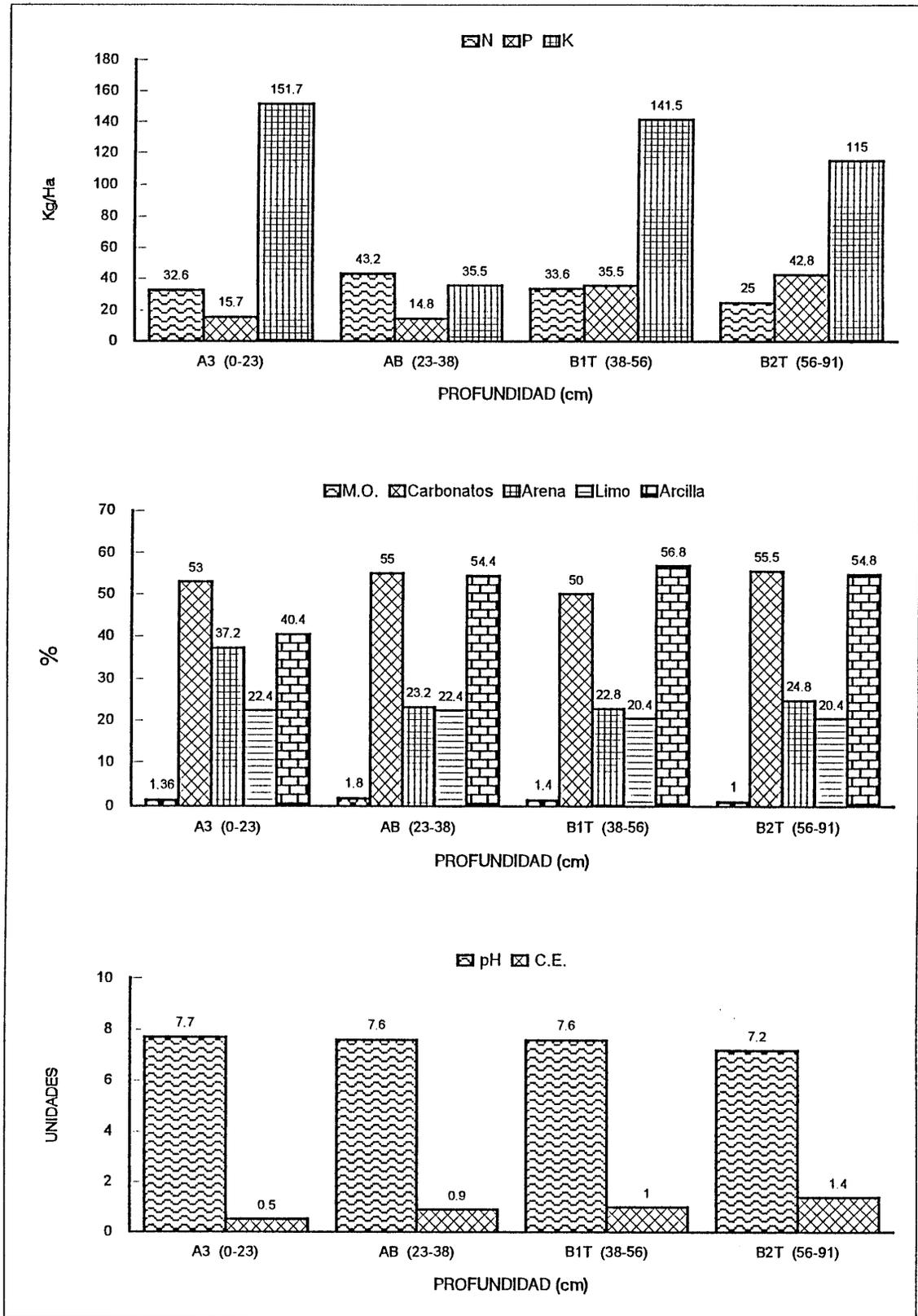


FIGURA 4.1 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil I

Los valores porcentuales de la materia orgánica indican que a mayor profundidad, las concentraciones son más bajas, y oscilan en valores que van del 1.36 - 1.0 por ciento.

Los carbonatos se observan en todo el perfil de un modo pulvurulento y discontinuo, se definieron como muy altos hasta con un 56 por ciento, se presentaron valores muy uniformes en los diversos horizontes, limitando las condiciones que definan un horizonte cálcico por concentración.

El resultado de las altas concentraciones son primeramente por su posición en el relieve, ubicado entre el límite de mayor a menor pendiente a casi plano y por estar irrigado por un drenaje superficial de alta incidencia y por el aporte constante de  $\text{CaCO}_3$  en solución. El resultado del análisis mecánicos del perfil lo clasifica texturalmente como arcilloso. La tendencia de los elementos minerales, como el nitrógeno es a disminuir su concentración a mayor profundidad, por el contrario el fósforo y potasio se incrementan.

La determinación del pH del suelo y conductividad eléctrica definen al perfil como ligeramente alcalino con valores de 7.4 a 7.8, y no salino con respecto a los valores de conductividad eléctrica. La tendencia del nitrógeno es a la baja. El nitrógeno va a la baja y el fósforo y potasio se incrementan a mayor profundidad

El perfil II se ubicó en un relieve de pie de monte, que presenta exposición total del material parental, condición que limita al extremo la posibilidad de efectuar cualquier evaluación de suelo.

El perfil III se le ubicó en un relieve de pie de monte, en el Cuadro 4.2 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.2 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales de la materia orgánica indican que la tendencia del contenido es a mayor profundidad, el contenido disminuye y van del 1.1 al 0.8 por ciento. La concentración de carbonatos es muy alta y en promedio los valores son del 58 por ciento, esta condición es uniforme en todos los horizontes y se presentan con una estructura débil y discontinua, imposibilitando las condiciones que definan, un horizonte cálcico por incremento en su concentración. La textura en todo el perfil es arcillosa.

Los elementos minerales como nitrógeno y fósforo presentan valores ligeramente bajos a mayor profundidad, contrario al potasio el cual se incrementa .

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como ligeramente alcalino y no salino.

Cuadro 4.2. Variables evaluadas en el perfil III.

HORIZONTE	A1		A2		B1 <sub>t</sub>		B2 <sub>t</sub>		B3 <sub>t</sub>	
PROFUNDIDAD cm.	0-32	DICTAMEN	32-48	DICTAMEN	48-64	DICTAMEN	64-78	DICTAMEN	78-99	DICTAMEN
Materia Orgánica %	1.1	Mediano	1.2	Mediano	1.0	Mediano	0.8	*Med.mente Pobre	0.98	*Med.mente Pobre
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	26.4	*Med.mente Pobre	31.0	*Med.mente Pobre	25.0	*Med.mente Pobre	19.2	Pobre	23.5	*Med.mente Pobre
Fósforo Aprovechable kg/ha	27.4	*Med.mente Pobre	27.9	*Med.mente Pobre	14.3	Pobre	56.3	Mediano	21.2	*Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable kg/ha	60.5	**Ext.mente Pobre	211.7	Mediano	48.0	**Ext.mente Pobre	147.8	*Med.mente Pobre	82.3	Pobre
Reacción pH 2:1	7.6	***Lig.mente Alcalino	7.5	***Lig.mente Alcalino	7.7	***Lig.mente Alcalino	7.6	***Lig.ment e Alcalino	7.8	*Med.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	54.5	Muy Alto	55.5	Muy Alto	57.5	Muy Alto	56.5	Muy Alto	56.0	Muy Alto
C.E. milimhos/cm	0.35	No Salino	0.70	No Salino	0.45	No Salino	0.50	No Salino	1.6	No Salino
ANALISIS MECANICO										
Arena %	22.8		28.8		26.8		20.8		21.2	
Limo %	22.4		22.4		14.8		22.4		26.4	
Arcilla %	54.8	Arcilla	48.8	Arcilla	58.4	Arcilla	56.8	Arcilla	52.4	Arcilla

\* Med.mente. - Medianamente.

\*\* Ext.mente. - Extremadamente

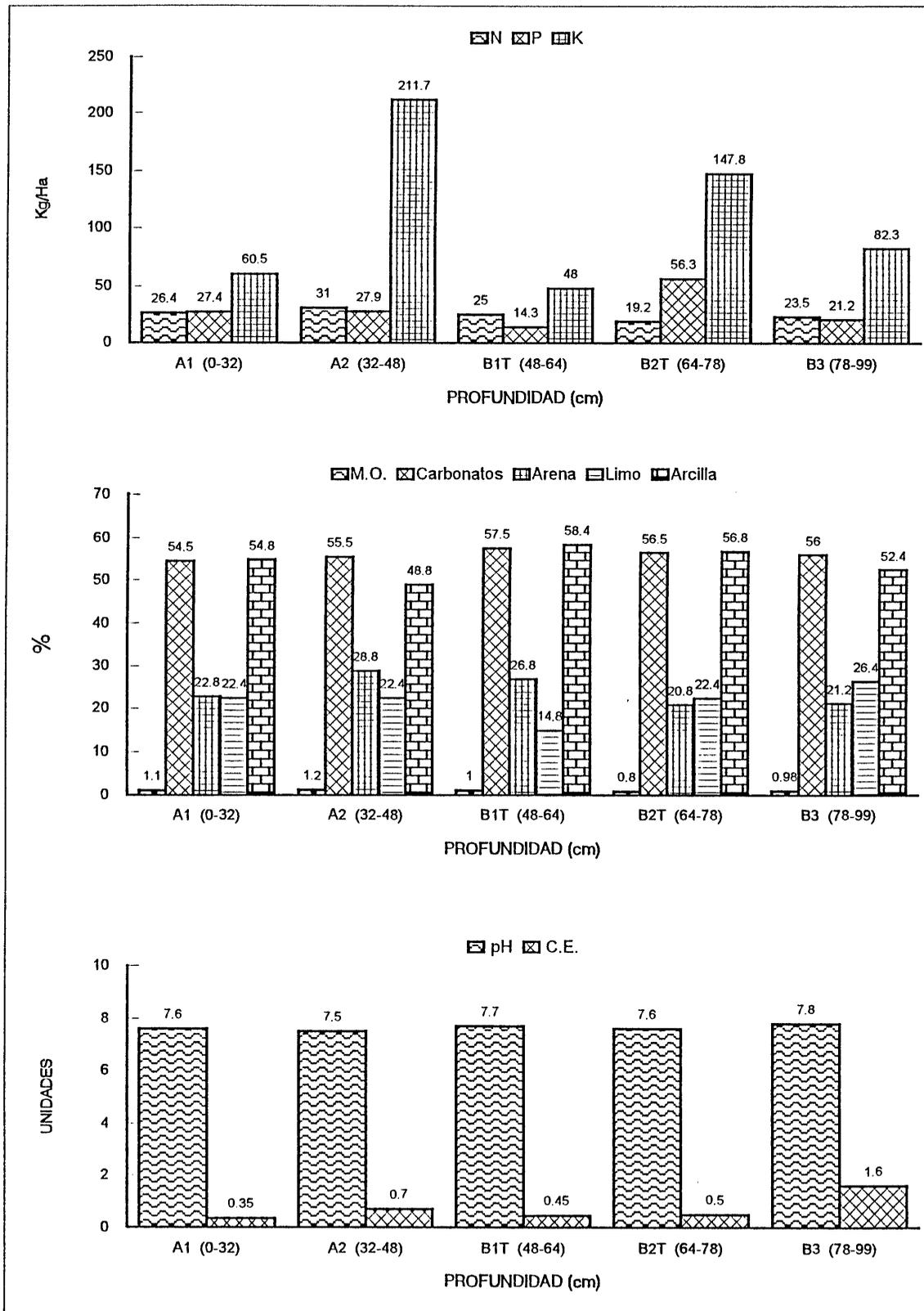


FIGURA 4.2 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil III

El perfil IV se le ubicó en un relieve de pendiente de colina, en el Cuadro 4.3 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.3 se observa en comportamiento de los valores analíticos.

La tendencia de los valores porcentuales de materia orgánica es que los valores más bajos se presentan a mayor profundidad del 2.6 al 1.0 por ciento. La concentración de carbonatos es baja, con valores de hasta el 20 por ciento en el horizonte inferior, que descansa sobre material parental, el perfil no presenta horizontes cálcicos por no cubrir los requerimientos de espesor, los carbonatos se presentan rellenando los huecos dejados por raíces. Su textura es arcillosa en los horizontes inferiores, variando en el horizonte inferior con una textura de migajón arcillo arenosa.

Los elementos minerales como nitrógeno, fósforo y potasio presentan valores más bajos a mayor profundidad.

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como ligeramente alcalino y no salino.

Cuadro 4.3. Variables evaluadas en el perfil IV.

HORIZONTE	A1		A2		B2t		CR	
PROFUNDIDAD cm	0-21 cm	DICTAMEN	21-30 cm	DICTAMEN	30-42 cm	DICTAMEN	42- X	DICTAMEN
Materia Orgánica %	2.6	*Med.mente Rico	2.4	*Med.mente Rico	1.7	Mediano	1.0	Mediano
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	64.5	Rico	58.47	Rico	41.76	Mediano	25.0	Mediano
Fósforo Aprovechable kg/ha	35.1	Mediano	22.9	*Med.mente Pobre	15.7	*Med.mente Pobre	42.9	*Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable kg/ha	48.0	**Ext.mente Pobre	93.2	Pobre	87.5	Pobre	36.3	*Med.mente Pobre
Reacción pH 2:1	7.5	***Lig.mente Alcalino	7.6	***Lig.mente Alcalino	7.5	***Lig.mente Alcalino	7.6	***Lig.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	11.0	Bajo	14.5	Bajo	17.0	Bajo	20.0	Bajo
C.E. milimhos/cm	0.45	No Salino	0.71	No Salino	0.70	No Salino	0.70	No Salino
ANALISIS MECANICO								
Arena %	17.2		47.2		23.2		47.2	
Limo %	32.4		20.0		22.4		20.0	
Arcilla %	50.4	Arcilla	32.8	Arcilla Arenosa	54.4	Arcilla	32.8	Migajon Arcillo Arenoso

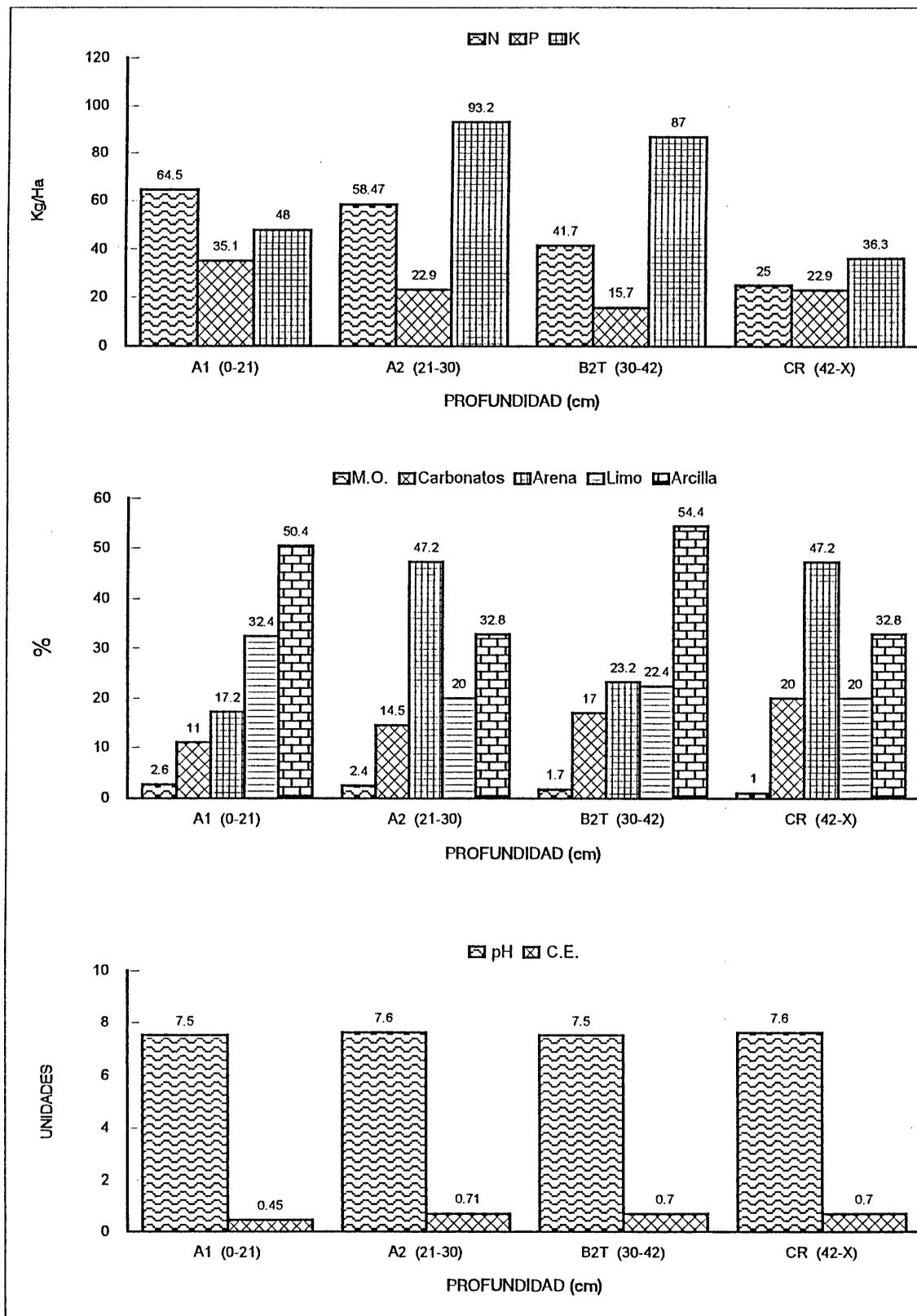


FIGURA 4.3 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil IV

El perfil V se le ubicó en un relieve de valle, en el Cuadro 4.4 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.4 se observa en comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales de la materia orgánica indican que la tendencia es a la baja a mayor profundidad con valores que van del 3.2 a 1.1 por ciento. La concentración de carbonatos se definen como muy altos, incrementándose a mayor profundidad, que da paso a la formación de un horizonte cálcico B1<sub>ca</sub>, al cubrir los requerimientos de concentración y espesor. La textura es arcilloso en todo el perfil.

Los elementos minerales como el nitrógeno y el potasio presentan valores más bajos a mayor profundidad y el fósforo se incrementa.

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como medianamente alcalino en el horizonte superior y como ligeramente alcalino en el resto y la clasificación es no salino.

Cuadro 4.4. Variables evaluadas en el perfil V.

HORIZONTE	Ap		B1tca		B2t	
PROFUNDIDAD cm	0-46 cm	DICTAMEN	46-73 cm	DICTAMEN	73-X cm	DICTAMEN
Materia Orgánica %	3.2	Muy Rico	1.0	Mediano	1.1	Mediano
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	81.2	Rico	25.0	*Med.mente Pobre	26.4	*Med.mente Pobre
Fósforo Aprovechable kg/ha	27.0	*Med.mente Pobre	42.8	Mediano	56.3	Mediano
Potasio Intercambiable kg/ha	561.0	**Ext.mente Rico	164.9	*Med.mente Pobre	221.1	Mediano
Reacción pH 2:1	7.8	*Med.mente Alcalino	7.2	Neutro	7.4	***Lig.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	43.0	Alto	54.5	Muy Alto	53.0	Muy Alto
C.E. milimhos/cm	0.70	No Salino	2.0	No Salino	1.6	No Salino
ANALISIS MECANICO						
Arena %	21.2		24.8		28.8	
Limo %	32.4		20.4		24.4	
Arcilla %	46.4	Arcilla	54.8	Arcilla	46.8	Arcilla

\*Med.mente.- Medianamente

\*\*Ext.mente.- Extremadamente

\*\*\*Lig.mente.- Ligeramente

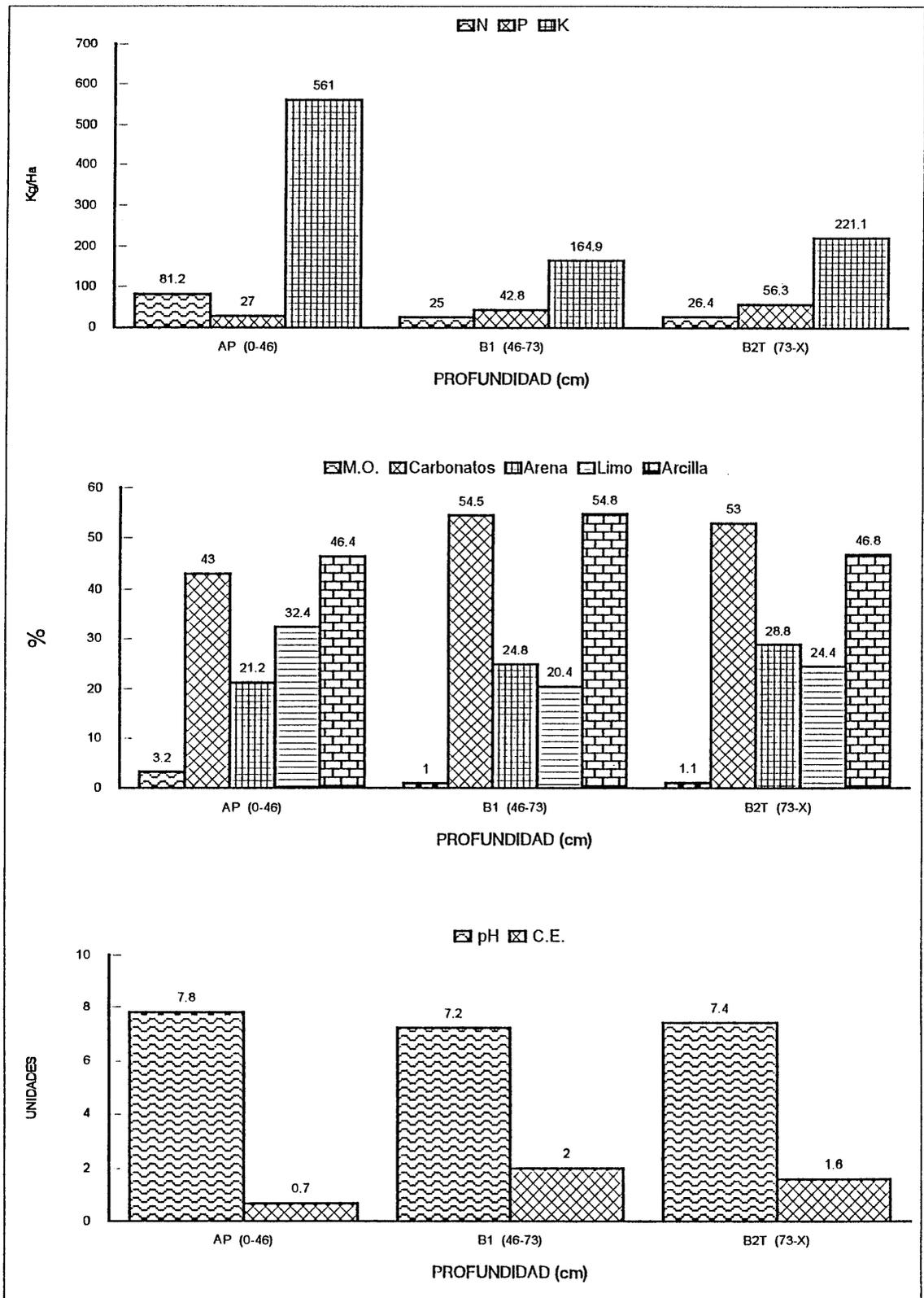


FIGURA 4.4 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil V

El perfil VI se ubicó en un relieve de pendiente de ladera; en el Cuadro 4.5 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.5 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales de la materia orgánica indican que la tendencia es a tener valores más bajos a mayor profundidad, con valores que van del 1.3 al 0.6 por ciento. La concentración de carbonatos va de 14 por ciento que se define como bajo, hasta el 20 por ciento definido como medio, presentando alternancia en la concentración de carbonatos y una discontinuidad litológica que limita la formación de horizontes cálcicos, por la variabilidad de materiales de depositación dentro del perfil. La textura del perfil se define como arcilla.

Los elementos minerales como el nitrógeno y el potasio presentan valores más bajos a mayor profundidad y el fósforo se incrementa.

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como ligeramente alcalino y no salino.

Cuadro 4.5. Variables evaluadas en el perfil VI.

HORIZONTE	A2		*Discon. Litológica cálcica		A3		CRca	
PROFUNDIDAD cm	0-18 cm	DICTAMEN	18-26 cm	DICTAMEN	26-42 cm	DICTAMEN	42-55 cm	DICTAMEN
Materia Orgánica %	1.36	Mediano	1.2	Mediano	1.17	Mediano	0.6	**Med.mente Pobre
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	32.6	**Med.mente Pobre	31.0	**Med.mente Pobre	28.1	**Med.mente Pobre	14.4	Pobre
Fósforo Aprovechable kg/ha	4.3	***Ext.mente Pobre	20.3	**Med.mente Pobre	15.7	**Med.mente Pobre	27.4	**Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable kg/ha	51.7	***Ext.mente Pobre	69.8	***Ext.mente Pobre	32.4	***Ext.mente Pobre	71.4	Pobre
Reacción pH 2:1	7.7	****Lig.mente Alcalino	7.8	**Med.mente Alcalino	7.7	****Lig.mente Alcalino	7.6	****Lig.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	14.0	Bajo	20.0	Medio	16.	Bajo	20.0	Medio
C.E. milimhos/cm	0.30	No Salino	0.55	No Salino	0.45	No Salino	1.2	No Salino
ANALISIS MECANICO								
Arena %	27.2		29.2		33.2		24.8	
Limo %	20.0		22.4		22.4		26.4	
Arcilla %	52.8	Arcilla	48.4	Arcilla	44.4	Arcilla	48.8	Arcilla

\* Discontinuidad Litológica

\*\* Med.mente.- Medianamente

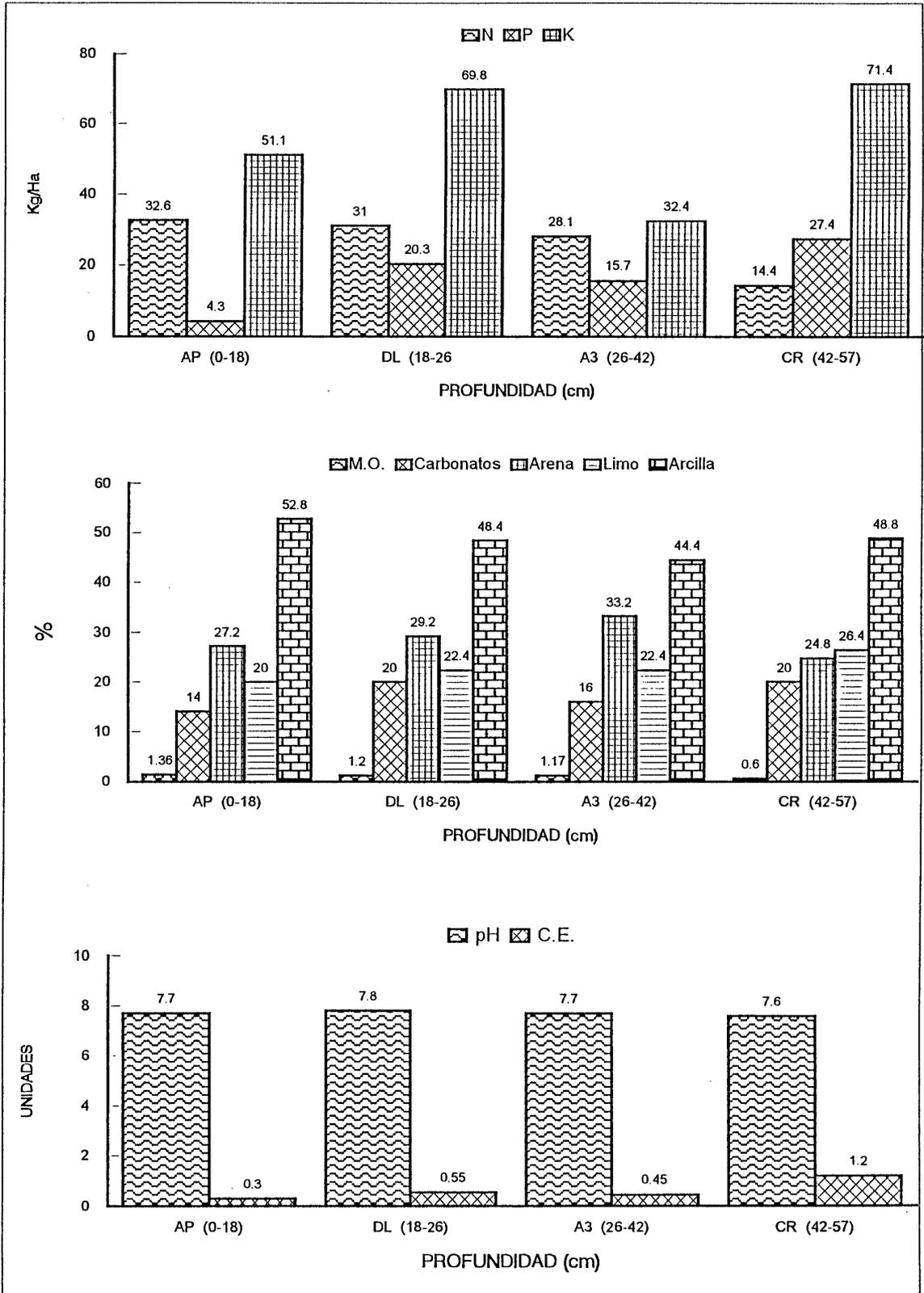


FIGURA 4.5 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil VI

El perfil VII se ubicó en un relieve de ladera; en el Cuadro 4.6 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.6 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales en el contenido de la materia orgánica indican que la tendencia del contenido es a valores más bajos a mayor profundidad, que van del 1.9 al 0.53 por ciento. La concentración de carbonatos es alto, presentándose la conformación de un horizonte cálcico B1t<sub>ca</sub> en la zona de acumulación al cubrir los requerimientos de concentración y espesor. Su textura es arcillosa en todo el perfil.

Los elementos minerales como el nitrógeno, fósforo y potasio presentan valores más bajos a mayor profundidad.

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica se definen como medianamente alcalino y no salino.

Cuadro 4.6. Variables evaluadas en el perfil VII.

HORIZONTE	A2		A3		B1tca		B2t	
PROFUNDIDAD cm	0 - 18 cm	DICTAMEN	18 - 31 cm	DICTAMEN	31 - 98 m	DICTAMEN	98 - X	DICTAMEN
Materia Orgánica %	1.9	Mediano	1.5	Mediano	0.79	Mediano	0.53	*Med.mente Pobre
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	45.6	Mediano	36.0	Mediano	19.0	*Med.mente Pobre	12.9	Pobre
Fósforo Aprovechable kg/ha	42.8	Mediano	18.5	*Med.mente Pobre	15.7	Pobre	22.5	*Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable kg/ha	136.9	Pobre	41.7	**Ext.mente Pobre	55.8	**Ext.mente Pobre	146.2	*Med.mente Pobre
Reacción pH 2:1	7.5	***Lig.mente Alcalino	7.9	*Med.mente Alcalino	7.9	*Med.mente Alcalino	7.8	*Med.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	39.5	Alto	38.5	Alto	42.0	Alto	31.0	Medio
C.E. milimhos/cm	0.70	No Salino	0.42	No Salino	0.35	No Salino	0.60	No Salino
ANALISIS MECANICO								
Arena %	22.8		18.8		17.2		20.8	
Limo %	21.4		20.4		22.4		23.4	
Arcilla %	55.8	Arcilla	60.8	Arcilla	60.4	Arcilla	55.8	Arcilla

\* Med.mente.- Medianamente

\*\*Ext.mente.- Extremadamente

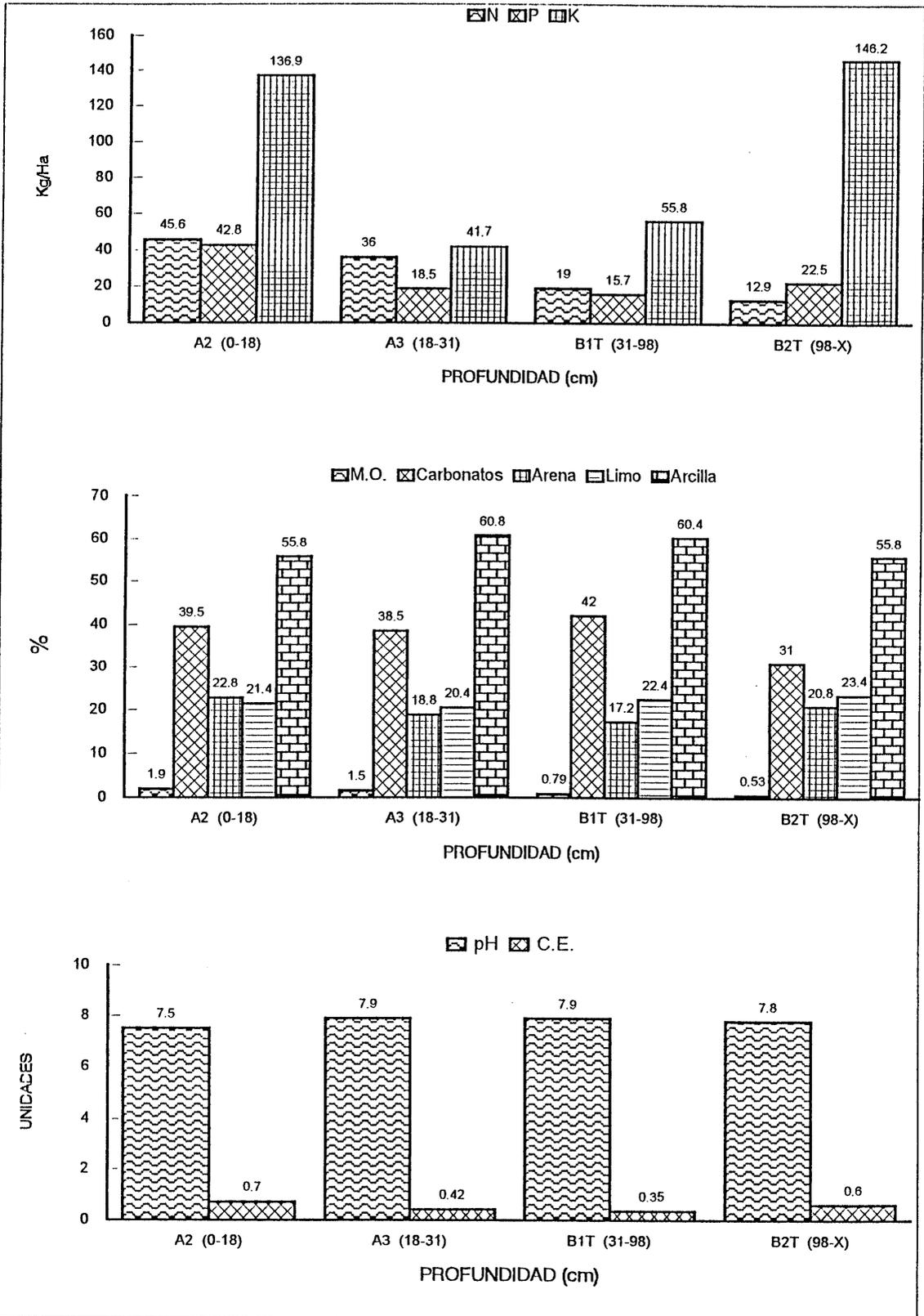


FIGURA 4.6 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil VII

El perfil VIII está ubicado en un relieve de terraza; en el Cuadro 4.7 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.7 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales de la materia orgánica presentan una tendencia a tener valores más bajos a mayor profundidad que van del 2.6 al 0.91 por ciento. La concentración de carbonatos es alto, incrementándose a mayor profundidad, logrando la formación de un horizonte cálcico B3t<sub>ca</sub> en la zona de acumulación, al cubrir las especificaciones tanto de concentración como de espesor. La textura es arcillosa en todo el perfil.

Los elementos minerales como el nitrógeno, fósforo y potasio presentan valores más bajos a mayor profundidad.

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como medianamente alcalino y no salino.

Cuadro 4.7. Variables evaluadas en el perfil VIII.

HORIZONTE	AP		B1t		B2t		B3tca		BC	
PROFUNDIDAD cm.	0 - 28	DICTAMEN	28 - 44	DICTAMEN	44 - 90	DICTAMEN	90 - 130	DICTAMEN	130 - X	DICTAMEN
Materia Orgánica %	2.6	*Med.mente Rico	2.5	*Med.mente Rico	1.6	Mediano	0.34	Pobre	0.91	*Med.mente Pobre
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	63.0	Rico	60.0	Rico	38.4	Mediano	8.3	**Ext.mente Pobre	22.0	Pobre
Fósforo Aprovechable kg/ha	30.6	Mediano	39.6	Mediano	41.0	Mediano	30.6	Mediano	21.2	*Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable kg/ha	554.8	**Ext.mente Rico	313.1	*Med.mente Rico	51.1	**Ext.mente Pobre	160.2	*Med.mente Pobre	141.5	*Med.mente Pobre
Reacción pH 2:1	7.9	*Med.mente Alcalino	7.8	*Med.mente Alcalino	7.8	*Med.mente Alcalino	8.0	*Med.mente Alcalino	8.0	*Med.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	32.0	Medio	35.0	Alto	39.5	Alto	46.0	Alto	48.0	Alto
C.E. milimhos/cm	0.60	No Salino	0.90	No Salino	0.85	No Salino	1.1	No Salino	1.0	No Salino
ANALISIS MECANICO										
Arena %	11.2		14.8		16.8		17.2		11.6	
Limo %	26.4		26.4		22.4		28.4		26.0	
Arcilla %	62.4	Arcilla	58.8	Arcilla	60.8	Arcilla	54.4	Arcilla	62.4	Arcilla

\* Med.mente.- Medianamente

\*\* Ext.mente.- Extremadamente

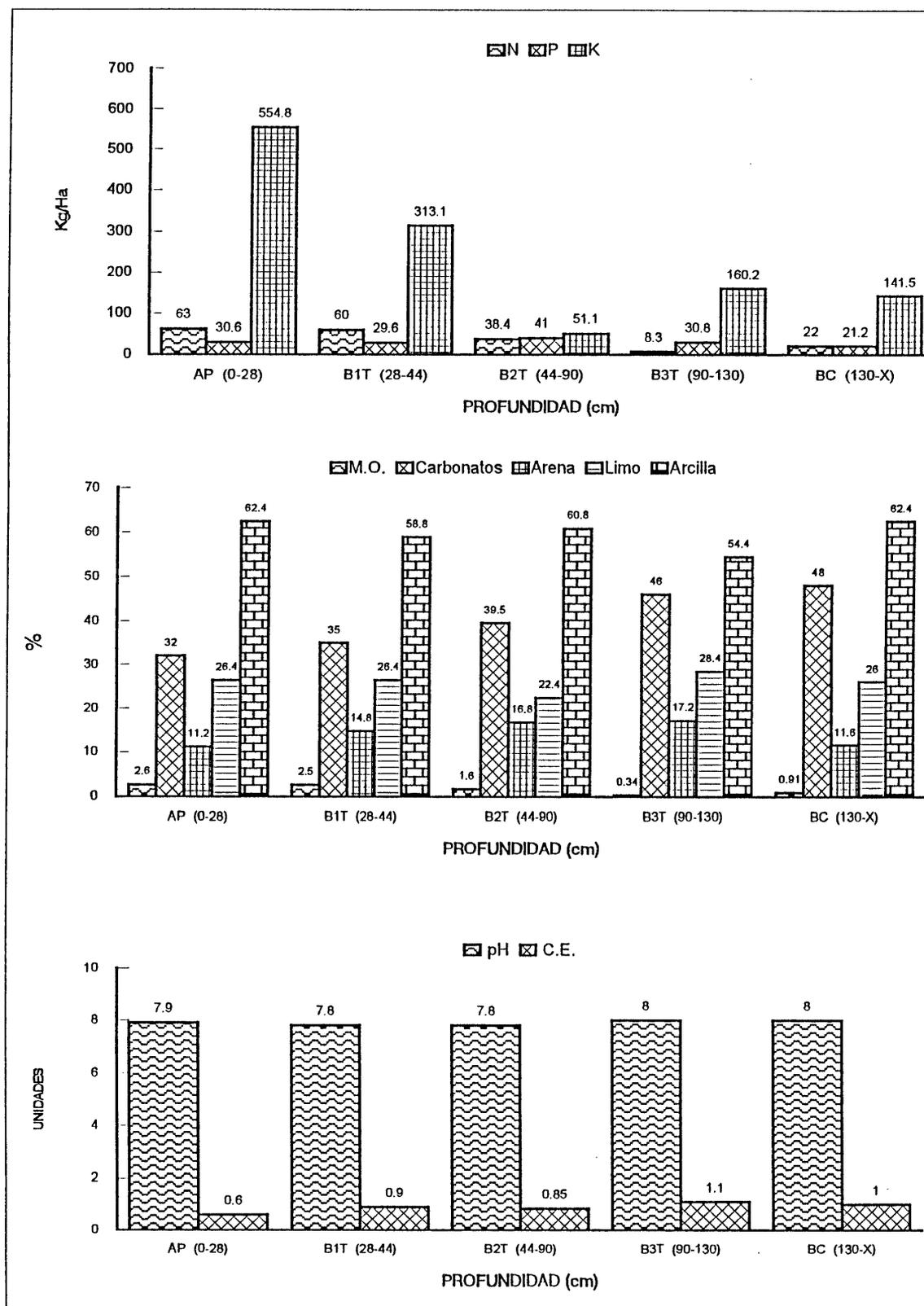


FIGURA 4.7 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil VIII

El perfil IX está ubicado en un relieve de valle; en el Cuadro 4.8 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.8 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales de la materia orgánica muestran una tendencia a valores más bajos a mayor profundidad que van de 2.7 al 0.53 por ciento. La concentración de carbonatos se incrementa a mayor profundidad definiéndose de altos a muy altos, generando de esta forma el desarrollo de horizontes cálcicos como son el B2t<sub>ca</sub> y CR<sub>ca</sub> que cubren las especificaciones de concentración y espesor para designarse como horizontes cálcicos. La textura del perfil en su totalidad es arcillosa.

Los elementos minerales del perfil como nitrógeno y potasio presentan valores más bajos a mayor profundidad, diferente al fósforo que permanece con valores uniformes en todo el perfil.

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como ligeramente alcalino y no salino.

Cuadro 4.8 Variables evaluadas en el perfil IX

HORIZONTE	Ap		B1t		B2tca		CRca	
PROFUNDIDAD cm	0 - 15	DICTAMEN	15 - 65	DICTAMEN	65 - 140	DICTAMEN	140 - 175	DICTAMEN
Materia Orgánica %	2.7	*Med.mente Rico	1.74	Mediano	0.79	*Med.mente Pobre	0.53	*Med.mente Pobre
Nitrógeno Aprovechable kg/ha	66.0	Rico	41.7	Mediano	19.0	Pobre	12.9	Pobre
Fósforo Aprovechable kg/ha	22.9	*Med.mente Pobre	20.3	*Med.mente. Pobre	22.5	*Med.mente Pobre	22.5	*Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable kg/ha	444.0	**Ext.mente Rico	43.3	**Ext.mente Pobre	79.5	Pobre	83.8	Pobre
Reacción pH 2:1	7.5	***Lig.mente Alcalino	7.4	***Lig.mente Alcalino	7.7	***Lig.mente Alcalino	7.6	***Lig.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	40.0	Alto	41.5	Alto	51.0	Muy Alto	59.0	Muy Alto
C.E. milimhos/cm	2.8	No Salino	2.0	No Salino	1.3	No Salino	1.0	No Salino
ANALISIS MECANICO								
Arena %	17.2		19.2		11.2		21.2	
Limo %	30.0		22.4		26.4		28.4	
Arcilla %	52.8	Arcilla	58.4	Arcilla	62.4	Arcilla	50.4	Arcilla

\* Med.mente.- Medianamente  
 \*\*Ext.mente.- Extremadamente  
 \*\*\*Lig.mente.- Ligeramente

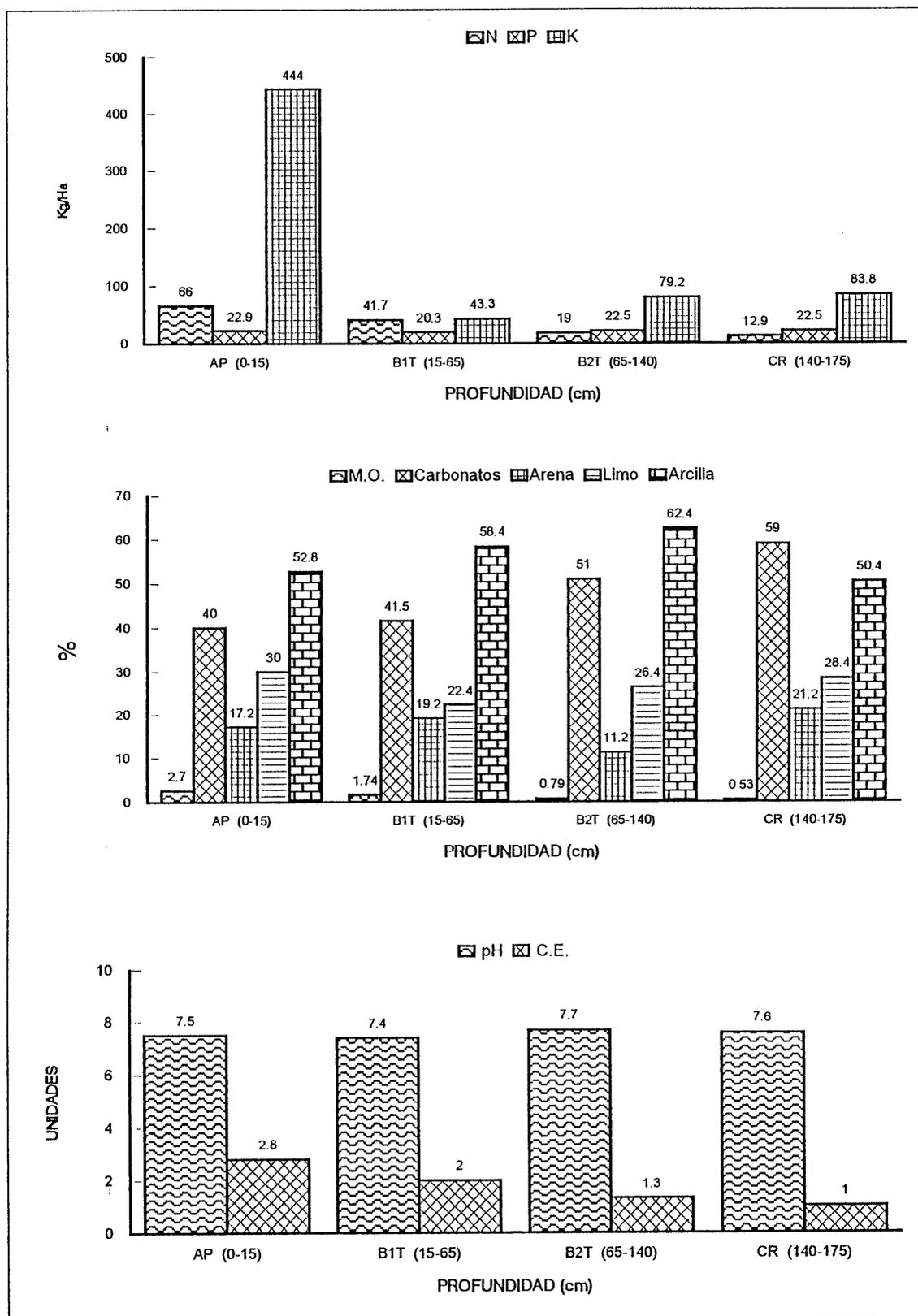


FIGURA 4.8 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil IX

El perfil X está ubicado en un relieve de meseta; en el Cuadro 4.9 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.9 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales de la materia orgánica muestran una tendencia a valores más bajos a mayor profundidad que van del 1.97 al 0.6 por ciento. La concentración de carbonatos es de alto a muy alto, incrementándose a mayor profundidad, generando de esta forma el desarrollo de horizontes cálcicos como son el B2t<sub>ca</sub> y B3t<sub>ca</sub> que cubren las especificaciones de concentración y espesor para designarse como horizontes cálcicos. La textura predominante es arcillosa, en segundo término se presenta la de migajón arcillosa.

Los elementos minerales del perfil como el nitrógeno presenta valores más bajos a mayor profundidad, el fósforo y el potasio presentan una tendencia al incrementarse a mayor profundidad.

Los valores de pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como ligeramente alcalino y no salino.

Cuadro 4.9 Variables evaluadas en el perfil X

HORIZONTE	AP		A3		B2tca		B3tca		CR	
PROFUNDIDAD cm.	0 - 25	DICTAMEN	25 - 46	DICTAMEN	46 - 83	DICTAMEN	83 - 108	DICTAMEN	108 - X	DICTAMEN
Materia Orgánica %	1.97	Mediano	2.24	*Med.mente Rico	1.49	Mediano	0.74	*Med.mente Pobre	0.6	*Med.mente Pobre
Nitrógeno Aprovechable Kg/Ha	46.9	*Med.mente Rico	53.99	*Med.mente Rico	36.25	Mediano	16.51	Pobre	14.4	Pobre
Fósforo Aprovechable Kg/Ha	18.96	*Med.mente Pobre	8.07	Muy Pobre	16.43	*Med.mente Pobre	28.26	Mediano	23.21	*Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable Kg/Ha	3.0	**Ext.mente Pobre	77.97	Muy Pobre	8.8	**Ext.mente Pobre	35.61	**Ext.mente Pobre	31.00	**Ext.mente Pobre
Reacción pH 2:1	7.7	***Lig.mente Alcalino	7.7	***Lig.mente Alcalino	7.4	***Lig.mente Alcalino	7.4	***Lig.mente Alcalino	7.4	***Lig.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	42.6	Alto	38.31	Alto	49.19	Alto	57.89	Muy Alto	11.23	Bajo
C.E milimhos/cm	0.50	No Salino	0.79	No Salino	1.65	No Salino	2.0	No Salino	1.03	No Salino
ANALISIS MECANICO										
Arena %	20.45		22.95		25.45		22.95		30.45	
Limo %	37.05		44.55		32.05		32.05		32.05	
Arcilla %	42.50	Arcilla	32.50	Migajon Arcilloso	42.50	Arcilla	45.00	Arcilla	37.50	Migajon Arcilloso

\*Med.mente.- Medianamente

\*\*Ext.mente.- Extremadamente

\*\*\*Lig.mente.- Ligeramente

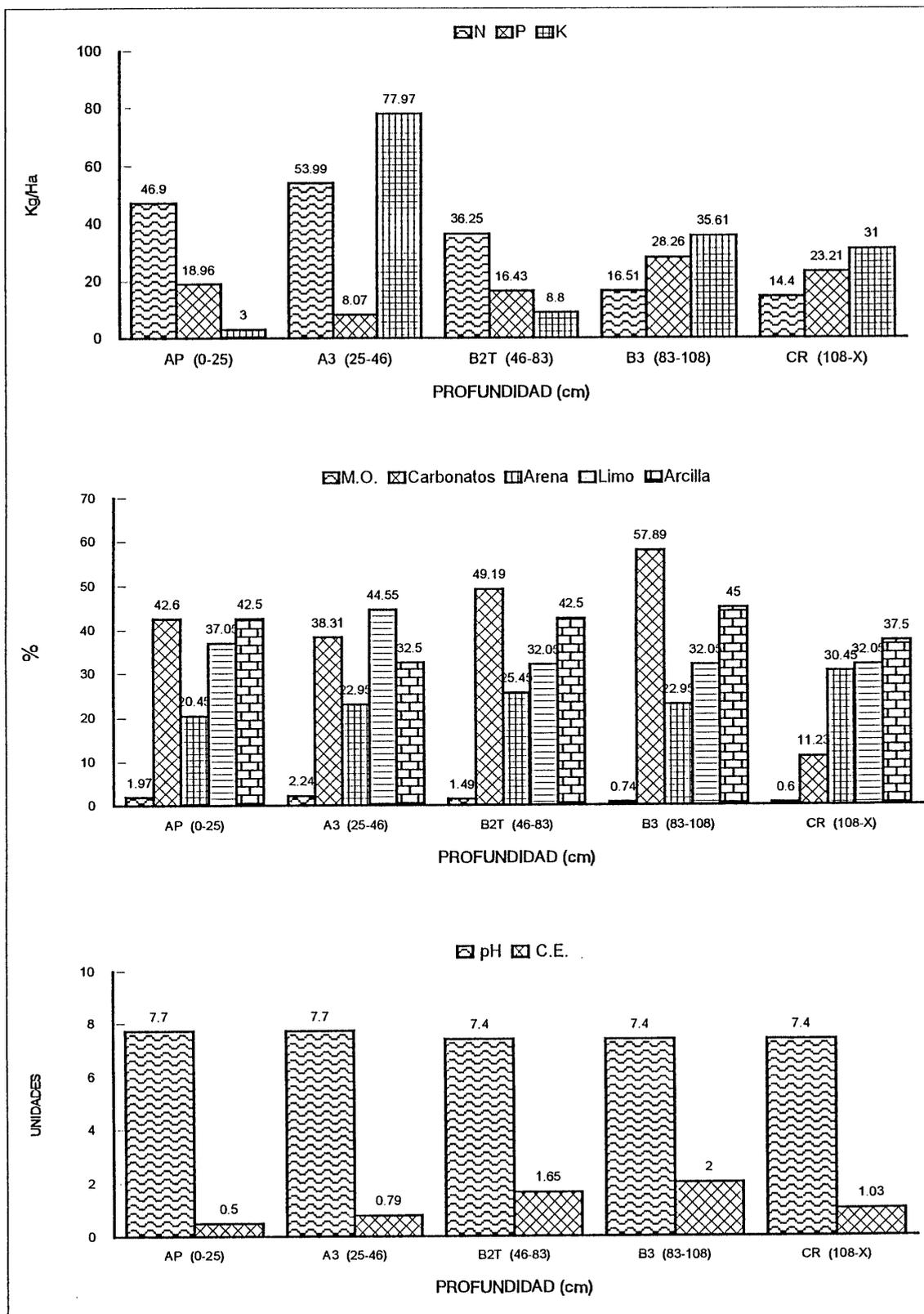


FIGURA 4.9 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil X

El perfil XI se ubicó en un relieve de ladera de pendiente suave, de depósito, en el Cuadro 4.10 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.10 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales de la materia orgánica nos indican que la tendencia del contenido de materia orgánica es a tener valores más altos a mayor profundidad que van del 0.40 al 2.10 por ciento. La concentración de carbonatos es alta incrementándose a mayor profundidad, generando de esta forma el desarrollo de horizontes cálcicos como son el B1t<sub>ca</sub> que cumple con los requisitos de espesor y concentración. La textura se clasifica como arcillosa en todo el perfil.

Los elementos minerales como el nitrógeno se incremento a mayor profundidad debido principalmente a la aportación de la materia orgánica constante en el relieve de depositación, el fósforo y el potasio reducen su concentración a mayor profundidad.

Los valores del pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como medianamente alcalino y no salino.

Cuadro 4.10 Variables evaluadas en el perfil XI

HORIZONTE	A2		B1tca		2Bt	
PROFUNDIDAD cm	0 - 30 cm	DICTAMEN	30 - 56 cm	DICTAMEN	56 - 110 cm	DICTAMEN
Materia Orgánica %	0.40	Muy Pobre	2.10	*Med.mente Rico	1.7	Mediano
Nitrógeno Aprovechable Kg/Ha	8.92	**Ext.mente Pobre	48.87	*Med.mente Rico	41.7	Mediano
Fósforo Aprovechable Kg/Ha	17.27	*Med.mente Pobre	13.89	Muy Pobre	9.36	Muy Pobre
Potasio Intercambiable Kg/Ha	378.20	Muy Rico	60.62	**Ext.mente Pobre	49.05	**Ext.mente Pobre
Reacción pH 2:1	7.7	***Lig.mente Alcalino	7.8	*Med.mente Alcalino	7.8	*Med.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	27.44	Medio	36.27	Alto	35.27	Alto
C.E. milimhos/cm	1.0	No Salino	0.47	No Salino	0.34	No Salino
ANALISIS MECANICO						
Arena %	20.45		9.55		10.45	
Limo %	29.55		32.95		27.05	
Arcilla %	50.00	Arcilla	57.50	Arcilla	62.50	Arcilla

\*Med.mente.- Medianamente

\*\*Ext.mente.- Extremadamente

\*\*\*Lig.mente.- Ligeramente

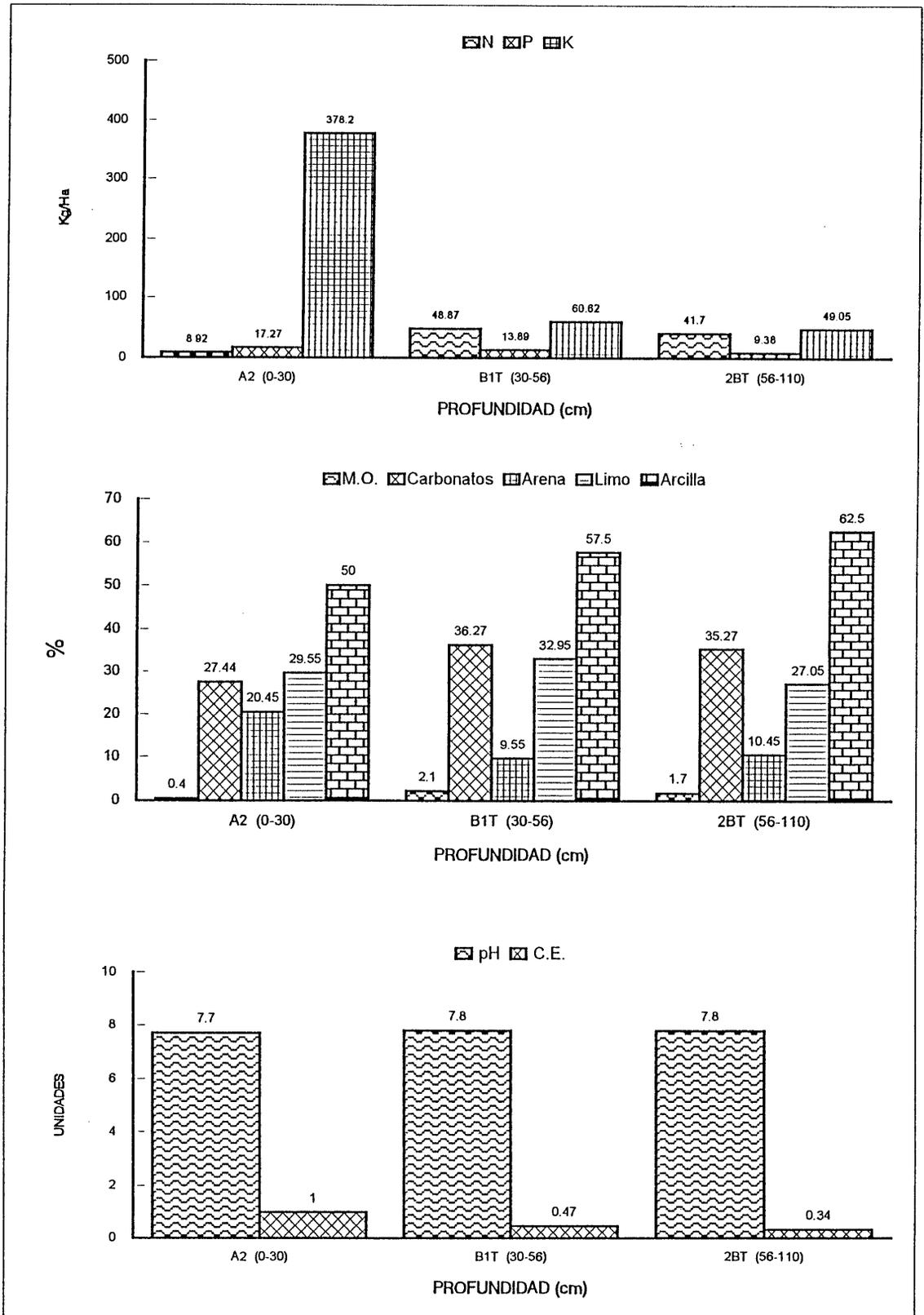


FIGURA 4.10 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil XI

El perfil XII se ubicó en un relieve de ladera erosionada o erial, que presenta una exposición total del material parental, condición que limita para llevar efecto una evaluación morfogenética de suelos.

En el perfil XIII se ubicó en un relieve de valle, en el Cuadro 4.11 se muestran los resultados de las variables, en la Figura 4.11 se observa el comportamiento de los valores analíticos.

Los valores porcentuales indican que la tendencia del contenido de la materia orgánica es a tener valores más altos a mayor profundidad que van del 1.56 al 3.46 por ciento. La concentración de carbonatos se clasifica como baja y uniforme imposibilitando el desarrollo de un horizonte cálcico. La textura se clasifica como arcillo arenoso en el estrato superior y en el inferior como migajón - arcillo - limoso.

Los elementos minerales como el nitrógeno, se incrementa a mayor profundidad por influencia en el contenido de la materia orgánica en el subsuelo, el fósforo y potasio se incrementan a mayor profundidad.

Los valores de pH del suelo y su conductividad eléctrica definen al perfil como medianamente alcalino y no salino.

Cuadro 4.11 Variables evaluadas en el perfil XIII

HORIZONTE	A3		AC	
PROFUNDIDAD	0 - 55 cm	DICTAMEN	55 - 101	DICTAMEN
Materia Orgánica %	1.56	Mediano	3.46	Muy Rico
Nitrógeno Aprovechable Kg/Ha	36.82	Mediano	77.23	Rico
Fósforo Aprovechable Kg/Ha	23.19	*Med.mente Pobre	25.38	*Med.mente Pobre
Potasio Intercambiable Kg/Ha	8.55	**Ext.mente Pobre	330.0	*Med.mente Rico
Reacción pH 2:1	8.0	*Med.mente Alcalino	7.85	*Med.mente Alcalino
Carbonatos Totales %	13.52	Bajo	12.65	Bajo
C.E. milimhos/cm	0.5	No Salino	1.0	No Salino
ANALISIS MECANICO				
Arena %	14.55		15.45	
Limo %	42.95		52.05	
Arcilla %	42.50	Arcillo-Arenoso	32.50	Migajon-Arcillo-Limoso

\*Med.mente.- Medianamente

\*\*Ext.mente.- Extremadamente

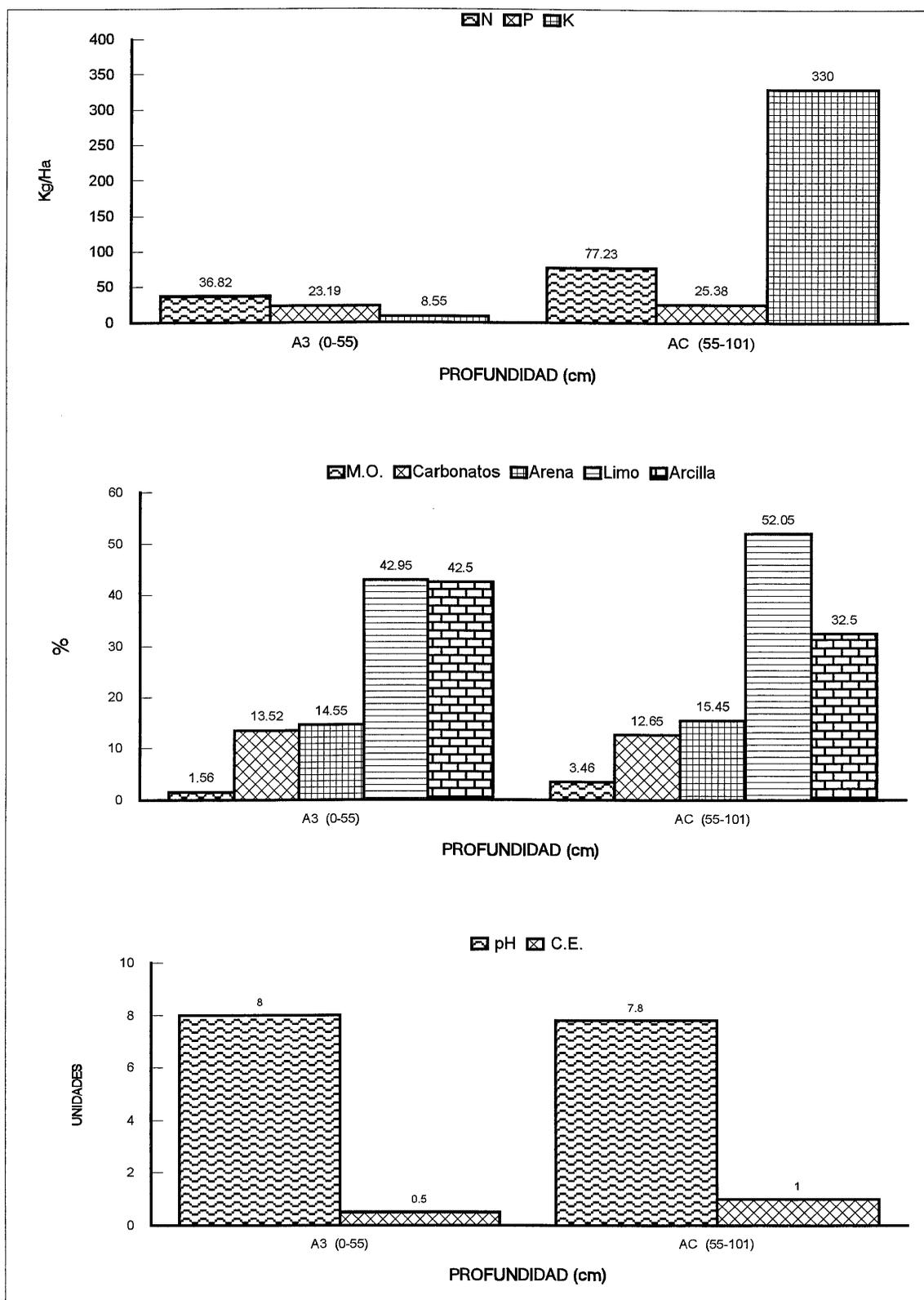


FIGURA 4.11 Comportamiento de las variables analizadas correspondientes al perfil XIII

## Resumen de Resultados

El 90 por ciento de los perfiles presentan un incremento en la concentración de carbonatos a mayores profundidades, con concentraciones hasta del 50 por ciento.

La evaluación de resultados arrojó que de los 42 horizontes definidos taxonómicamente solo 10 se caracterizaron como horizontes cálcicos ubicados principalmente en la zona de acumulación de los perfiles.

Todos los perfiles en forma general presentaron una definición textural arcillosa en todo su espesor, causada primordialmente por su origen geológico. Con respecto al pH todos los perfiles son alcalinos y con ligeras variaciones.

Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno presentaron una reducción porcentual a mayor profundidad o en los estratos inferiores en 10 perfiles. El contenido de fósforo se redujo a mayor profundidad en un 63 por ciento de perfiles. El contenido de potasio se redujo en un 72 por ciento, el resto de ambos presentan tendencia al incremento.

El 100 por ciento de los perfiles se clasificaron como suelos no salinos porque sus rangos fluctúan de 0.30 y 2.0 milimhos.

## DISCUSION

La fracción mineral de los suelos del área de estudio procede de la transformación de la roca madre, el agente activo encargado de la intemperización o degradación del material original es la abundancia de agua y en segundo término el  $\text{CO}_2$ , traen como consecuencia: degradación física y mecánica de las rocas, alteración química que da lugar a minerales secundarios como la arcilla y a productos solubles como carbonatos y bicarbonatos resultantes de una alteración del material calizo predominante de las regiones con climas áridos.

Los procesos de alteración de la zona de estudio son la disolución de las rocas calizas, la hidrólisis proceso fundamental de alteración del material primario que conforman las rocas, favoreciendo su descomposición y aflojamiento, procesos que adquieren importancia cuando actúan sobre material sedimentario rico en calizas, su acción varía y se puede considerar neutro en los medios alcalinos y ricos en bases, características presentes en el área de estudio. El agua rica en  $\text{CO}_2$ , disuelve el carbonato cálcico que puede traer como consecuencia un proceso de descarbonatación, poco viable en el área de estudio por su condición desfavorable en la presencia de precipitaciones

La descarbonatación se presenta en climas húmedos y sobre materiales filtrantes, condiciones opuestas al área de estudio. La velocidad de descarbonatación de un material calizo es aproximadamente proporcional a la cantidad de materia orgánica en el perfil. Los estratos vegetales favorecen una descarbonatación un poco más rápida que la que produce el cultivo acompañado del laboreo del suelo. En climas con períodos prolongados secos manifiesta, que el ascenso capilar de las disoluciones ricas en calcio que tienen lugar en verano frenan el proceso de descarbonatación.

Por el tipo de clima la alteración del material litológico primordialmente sedimentario en el estudio realizado es ligera, se puede deducir que la evolución genética y la caracterización de horizontes en el perfil es poco perceptible.

Los valores porcentuales de materia orgánica y nitrógeno son más altos en los horizontes superficiales que los del subsuelo, por que la fracción orgánica del suelo se descompone en la superficie, donde su velocidad de degradación y aportación de nitrógeno depende de gran medida de la precipitación pluvial, de la humedad del suelo y de la temperatura, que traen como consecuencia un nivel de actividad biológica que mineraliza la materia orgánica; e incrementa la velocidad de las reacciones químicas responsables

de la descomposición de la materia orgánica que se incorpora a la superficie del suelo.

Los valores del pH del suelo, son uniformes con tendencia a ser alcalinos debido a la fuerte evapotranspiración la cual rebasa mas del 80 por ciento la precipitación, a consecuencia de esto el  $\text{CO}_2$  se traslada a la atmósfera originando incrementos del pH del suelo y la precipitación del carbonato de calcio.

La definición cuantitativa de suelos no salinos, está determinada por las altas concentraciones de calcio con rangos que van de 15 a 22.3 meq/100 g y magnesio de 2.1 a 3.7 meq/100 g que se encuentran en el complejo catiónico de los suelos de las regiones áridas. Se refuerza su caracterización de suelo no salino por la reducida concentración de sodio de 0.1 a 0.2 meq/100 g y con cierta seguridad la causa principal es la escasa precipitación pluvial al limitar el proceso de los compuestos de calcio y magnesio y evita el aumento de las proporciones de sodio (Birkeland 1974).

La textura arcillosa del área de estudio es el resultado de una transportación y deposición constante de material calizo de tamaño coloidal y por el material predominante como son las lutitas y el aluvión, ricos en carbonatos y arcillas.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se presentan las siguientes conclusiones:

- Los horizontes calcáricos del área de estudio por su morfología se caracterizan por ser concentrados, individualizados, con una distribución en forma dispersa o como microcristales de calcita responsables en parte de la distribución del material calcáreo.

- La presencia de carbonatos de calcio en el suelo, es el resultado de una evapotranspiración que rebasa a la precipitación, a consecuencia de esto las aguas ricas en calcio y  $\text{CO}_2$  se trasladan por capilaridad a las partes superiores del perfil. Cuando el lavado es moderado.

- El calcio permanece como catión intercambiable cuando el flujo de agua a través del perfil es suficiente para remover los productos más solubles como el sodio, y los productos menos solubles como el calcio se acumulen por precipitación.

- De los 10 horizontes cálcicos, ocho se establecen en la zona de acumulación, por lo que se acepta la hipótesis de que un escaso y lento flujo de agua en todo el espesor de los perfiles, incrementa la posibilidad de formación de horizontes cálcicos en los horizontes de acumulación.

- La génesis y distribución de los materiales carbonatados, se forman principalmente en suelos de climas áridos. Donde las fuentes principales de carbonatos son los materiales parentales enriquecidos por carbonatos, la deposición de sedimentos calcáreos y la formación de carbonatos "in-situ".

- La formación de horizontes cálcicos se establece en forma de reprecipitación del calcio, al presentarse cualquier descenso de la presión de  $\text{CO}_2$ , el horizonte de acumulación tendrá aspecto de harina, de manchas y vetas blancas en las fisuras, formas comunes de presentarse el calcio precipitado en forma de carbonatos en el área de estudio.

- La evolución del material carbonatado del área de estudio, define al pH como alcalino motivado por procesos de alteración como es la hidrólisis sobre el material parental conformado por calizas y lutitas, ricos en carbonatos y potasio, enriqueciendo al suelo con material carbonatado por erosión geoquímica. Se puede deducir que la caracterización de horizontes en el perfil es poco perceptible, por ser el resultado de una evolución in-situ en determinados relieves, por la lenta evolución de los procesos formativos en la

morfología de los suelos a causa de la baja aportación orgánica y por la baja incidencia de precipitación local, y limitar en gran parte la intemperización geoquímica del material inorgánico.

- El color blanco de los suelos de la región es por el alto contenido de carbonatos del agua subterránea, clasificada como agua cálcica - magnésica, bicarbonatada - clorurada, estos suelos se presentan en la dirección del echado de los aflotamientos de calcita, responsable en gran parte de la distribución del material calcáreo.

- No existe el proceso de descarbonatación en el área de estudio, por que la mayor parte de los perfiles presentan uniformidad en sus contenidos de carbonatos, por el movimiento de capilaridad de la solución del suelo que vuelve a traslocar los carbonatos del subsuelo a los estratos superficiales del suelo.

- La velocidad de descarbonatación de un material calizo es aproximadamente proporcional a la cantidad de materia orgánica en el perfil.

- La característica arcillosa de los suelos se debe a que el material calizo de origen posee una alta proporción de arcilla o impurezas que originan suelos impermeables, pH altos y alta saturación de bases.

- La materia orgánica presente en los perfiles descritos se cuantificaron cuantitativamente como medianos en forma general, por que la evolución orgánica depende de la velocidad de su división mecánica que es lenta o por la posibilidad de ser enterrada en los horizontes minerales, por la actividad animal que es escasa a profundidades mayores o por el ataque de bacterias y hongos que la desaparecen en forma rápida.

- La escasa disolución del material parental como son las calizas y lutitas reducen la proporción de acumulación de carbonatos dentro del perfil, limitando las reglas taxonómicas para definir un horizonte cálcico. Se refuerza esta aseveración por la uniformidad en los contenidos de carbonatos en el perfil.

## RESUMEN

El municipio de Marín, Nuevo León está ubicado en una región de clima semiárido con temperaturas medias de 22°C y una precipitación media de 500 mm. El material geológico predominante es de calizas y lutitas que dan como resultado suelos ricos en carbonatos y fósforo, que originan suelos de color claro a rojizo y de textura arcillosa. Los tipos vegetativos predominantes es el de matorral más o menos perennifolio. con altura de 2-5 m y en menor proporción existe el bosque espinoso.

El área de estudio se caracterizó, con el análisis físico-químico de los perfiles patrón, diferenciados por variabilidad de relieves; se les definió su morfología de horizontes.

Como punto significativo del estudio, es de que más del 80 por ciento de los perfiles presentan concentraciones altas de carbonatos; y un aspecto relevante es que la distribución de carbonatos en los perfiles es bastante uniforme en todo su espesor. Este aspecto nos deja evidente la influencia de la precipitación y evapotranspiración en la distribución y formación de

horizontes cálcicos. Todos los perfiles descritos tienen en pH alcalino a consecuencia de los carbonatos; y a las texturas arcillosas predominantes.

Los elementos nutritivos que definen la fertilidad de los suelos de la región, como son el nitrógeno, fósforo y potasio se ven reducidos en sus porcentajes a mayor profundidad, fortaleciendo la hipótesis de que el área de estudio presenta una baja incidencia de disolución del material parental, que sería la fuente primordial de estos elementos.

En el aspecto productivo y de conservación de suelos es necesario efectuar prácticas de remediación.

## LITERATURA CITADA

- Abtahi, A. 1990. Soil genesis as affected by topography and time in highly calcareous parent materials under semiarid conditions in Iran. Soil Science Societ, and American Iran.
- Arnold, R.W. 1990. Soil Survey Division Soil Conservation Service. Washington, D.C. U.S.A.
- Birkeland, P.W. 1974. Pedology, weathering and geomorphological research. Oxford University Press, New York. U.S.A.
- Bohn, H.L. Meneal, B.L. y O'conuor, G.A. 1993. Química del Suelos. Pp. 111 - 113. Tucson Arizona. U.S.A.
- Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL) 1979. Dr. González Carta Topográfica, Geológica y Edafologica G14 - C17, Escala 1:50,000 México.
- Duchaufour, P. 1984. Pedologie, Pedogenese et Classification Editorial Masson. Barcelona, España. Pp. 53.
- Fertimex, 1987. Fertilizantes Mexicanos. Pp. 5. Torreón, Coahuila. México.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. U.N.A.M. México.
- Garza, R.J. y H.J.M. Araujo. 1984. Estudio Agrológico detallado del Campo Experimental de la F.A.U.A.N.L. Tesis de Licenciatura F.A.U.A.N.L., Marín, N.L. México. Pp. 8 - 20.
- Gutiérrez, C. Ma.y C. Ortiz. 1992. XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Pp. 3. Noviembre 1992.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (INEGI) 1991. Apodaca Carta Topográfica, Geológica y Edafológica G14 - C16, Escala 1:50,000 México.

- Jenny, H. 1941. Calcium in the soil III Pedologic relations Soil Science. Societ. and American Proceeding. U.S.A.
- Malagón, C.D. y Cortez, L.A. 1984. Los Levantamientos Agrológicos y sus Aplicaciones Múltiples. Editorial Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. Colombia. Pp. 26 - 44, 138 - 147, 195 - 205.
- Mejía, C.L. 1980. Conceptos básicos comunes a la pedología y geomorfología. Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF). Bogotá, Colombia. Pp. 18-37, 92-114, 136-137.
- Mejía, C.L. 1981. Influencia del clima en la formación y características de los suelos. Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF). Bogotá, Colombia. Pp. 8-11, 14-17, 18-19.
- Mejía, C.L. 1985. Horizontes y características diagnósticas de la taxonomía de suelos. Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF). Bogotá, Colombia. Pp. 116-121, 156-180.
- Olivares, S.E. y C.R. Sánchez. 1995. Evaluación de Acidificantes para bajar el pH en el suelo calcáreo del Norte de Tamaulipas México. Pp.1 -2.
- Ollier, C.D. 1975. Eathering. Longman, London. Pp. 304.
- Parra, P.J.B. 1970. Geología aplicada a la Ingeniería Civil y Fotointerpretación. División del Doctorado de la Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Editorial Lito Juventud México, D.F. Pp. 84-111.
- Rodríguez, T.S. González, F.M. y Martínez, G.J.A. 1988. Arboles y Arbustos del Municipio de Marín, Nuevo León México. Pp. 20-32.
- Ruellan, A. 1990. Referentiel pedologique Francais afes. Abril 1990. INRA, Plaisir, Francia.
- Russell, E.W. 1990. Soil Survey División Soil Conservation Service. U.S.A
- Silva, M.C. 1978. Unidades del suelo. Interpretadas para su uso en Ingeniería Civil y aprovechadas por el campesino en usos agropecuarios. Editorial CECSA. México. Pp. 8 - 23.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Soil conservación Service, U.S. Dept. Agr., Handfook 436, Washington, D.C.