

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**  
**“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS QUE  
PARTICIPAN EN LA COMPACTACIÓN  
DE LOS SUELOS**

**TESIS  
QUE PRESENTA**

**GABINO CASTILLO SANTILLÁN**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE  
ING. AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

# **ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS QUE PARTICIPAN EN LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS**

001525

TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TITULO DE:

ING. AGRÓNOMO  
ESPECIALIDAD EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

  
MC. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

ASESOR PRINCIPAL

  
DR. JUAN ESTRADA AVALOS

ASESOR

  
MC. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

  
MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUEIRO



COORDINACION DE LA DIVISION  
DE CARRERAS AGRONOMICAS  
UAAAN - ULA

**TESIS QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL**

**TITULO DE:**

**ING. AGRÓNOMO**

**ESPECIALIDAD DE IRRIGACIÓN**

**APROBADA POR:**

**PRESIDENTE :**

  
\_\_\_\_\_  
**MC. CARLOS EFRÉN RAMÍREZ CONTRERAS**

**VOCAL:**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. JUAN ESTRADA AVALOS**


**VOCAL:**

  
\_\_\_\_\_  
**MC. FEDERICO VEGA SOTELO**

**VOCAL SUPLENTE:**

  
\_\_\_\_\_  
**MC. JOSÉ GPE. GONZÁLEZ QUIRINO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

  
\_\_\_\_\_  
**MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO**



**COORDINACION DE LA DIVISION  
DE CARRERAS AGRONOMICAS  
UAAAN UL**

# DEDICATORIAS

## **A Dios:**

Por darme las fuerzas y el  
deseo de seguir viviendo

## **A mis Padres:**

Gabino Castillo y Emma Santillán por  
darme la vida y brindarme su apoyo en  
el transcurso de toda mi formación  
profesional.

## **A mis Hermanos:**

Ana Suzzet, Lid Cooynda y Humberto  
Castillo por el apoyo que siempre me  
han brindado durante mi carrera  
universitaria.

## AGRADECIMIENTOS

A MI **ALMA TERRA MATER** POR BRINDARME LOS ESPACIOS Y EL PERSONAL NECESARIO DE DONDE OBTUVE LOS CONOCIMIENTOS QUE HOY PERMITEN REALIZAR ESTE TRABAJO.

AL **MC. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS** POR BRINDARME SU APOYO Y CONOCIMIENTOS EN EL TRANSCURSO DE MI CARRERA UNIVERSITARIA Y PARA REALIZAR EL PRESENTE TRABAJO.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS GERARDO, RENE, JESÚS MANUEL Y MOISÉS, QUE ME BRINDARON SU APOYO INCONDICIONAL DURANTE TODA LA CARRERA, EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS.

AL DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE POR ACEPTARME Y SER PARTE DE EL.

AL **MC. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES** POR SU VALIOSA PARTICIPACION EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

AL **MC. FEDERICO VEGA SOTELO** POR SU VALIOSA PARTICIPACION EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE DE ALGUNA FORMA INFLUYERON PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE DOCUMENTO.

# INDICE

	PAG.
DEDICATORIAS .....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
ÍNDICE DE CUADROS .....	V
ÍNDICE DE GRAFICAS .....	V
RESUMEN .....	VI
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
III. METAS .....	3
IV. HIPÓTESIS .....	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
5.1. COMPACTACIÓN .....	5
5.2. DENSIDAD APARENTE .....	9
5.3. MATERIA ORGÁNICA .....	10
5.4. INFILTRACIÓN .....	13
5.5. TEXTURA DEL SUELO .....	15
5.6. ESTADOS DE SUPERFICIE .....	16
5.6.1. Costra .....	16
5.6.2. Cobertura Vegetal (Pasto) .....	16
5.6.3. Pedregosidad superficial .....	17
VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
6.1. MATERIALES .....	18
6.1.1. Localización .....	18
6.1.2. Ubicación Geográfica .....	18
6.1.3. Clima .....	18
6.1.4. Altitud .....	18
6.1.5. Litología .....	21
6.1.6. Tipo de Suelo .....	21

6.1.7 Vegetación ..... 23

6.1.8 Características de la Cuenca Carboneras ..... 25

6.1.9. Aparatos de Medición ..... 25

6.1.10. Herramientas Utilizadas ..... 25

6.1.11. Computadora ..... 26

6.2. METODOLOGÍA ..... 26

6.2.1. Lecturas y Muestreos ..... 26

6.2.2. Análisis de Laboratorio ..... 27

6.2.3. Paquetes Computacionales ..... 27

6.2.4. Análisis Estadístico ..... 28

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 29

7.1. Sitios Experimentales ..... 29

VIII. CONCLUSIONES ..... 36

IX. BIBLIOGRAFIA ..... 37



## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PAG.
1	Compactación promedio por sitio y estados de superficie de la cuenca vertiente carboneras (Kg/cm <sup>2</sup> ) .....	29
2	Parámetros físicos de los seis sitios representativos del estado de superficie costra con la punta de 45° de ángulo .....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS		PAG.
1	Localización del rancho compañía ganadera Atotonilco .....	19
2	Ubicación de los sitios experimentales en la cuenca vertiente carboneras .....	20
3	Unidades cartograficas de los suelos de la cuenca vertiente carboneras .....	22
4	Formaciones vegetales de la cuenca vertiente carboneras .....	24
5	Comportamiento de la compactación en seis sitios y estados de superficie en la cuenca vertiente carboneras .....	30
6	Comportamiento de la compactación en los diferentes estados de superficie con la punta de 45° de ángulo .....	31
7	Comportamiento del escurrimiento con respecto a la compactación presente .....	31
8	Resultados del comportamiento de las variables que influyen en la compactación superficial del suelo .....	32
9	Relación compactación-contenido de arcilla, con sus bandas de confianza con la punta de 45° de ángulo .....	34
10	Relación compactación-contenido de arcilla, con sus bandas de confianza con la punta de 30° de ángulo .....	35

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó en el Rancho Compañía Ganadera Atotonilco, contando este con una superficie de 450 km<sup>2</sup>, el cual se encuentra ubicado en el Municipio de Peñón Blanco del estado de Durango, perteneciente a la parte media de la Región Hidrológica 36. En este rancho se estudio una cuenca llamada "Carboneras", la cual es aprovechada para agostadero.

En esta cuenca se obtuvieron datos de compactación, con el objetivo de identificar los parámetros que influyen en la compactación superficial de los suelos.

De acuerdo a lo observado, la compactación es un factor muy importante el cual influye directamente en la infiltración y el escurrimiento superficial. El contenido de arcilla incrementa la compactación del suelo. La presencia de CaCO<sub>3</sub> favorece la infiltración y disminuye la compactación. La compactación en suelos desnudos es mayor por el sobrepastoreo que se realiza en el.

## I. INTRODUCCIÓN

En las zonas áridas y semiáridas del norte de México, las bajas precipitaciones, la alta evaporación y el tipo de roca madre han dado origen a ciertos tipos de suelos donde predominan el *Xerosol*, *Yermosol*, *Rendzina* y *Feozem* (según clasificación FAO – UNESCO, Bazaldua, 1998).

En estas zonas, el pastoreo es una actividad que se realiza sobre todo en lugares montañosos, concentrándose los animales en los sitios donde se produce más vegetación. En el rancho Atotonilco, ubicado en el municipio de Peñón Blanco, Durango, se realizó el presente trabajo de Tesis en el marco de un acuerdo con el IRD<sup>1</sup> (ex-ORSTOM), el CENID-RASPA<sup>2</sup> (INIFAP)<sup>3</sup> y la UAAAN-UL. El sitio seleccionado puede ser considerado representativo de los sistemas de producción de ganado para carne, característicos en estas regiones del Norte de México. Dicho predio tiene un índice de agostadero de 0.1 a 0.11 cabezas por ha. Sin embargo, este índice puede resultar erróneo, dado que incluye la diferente naturaleza de la formación de suelos. Es decir que en las partes altas de los cerros, la capa de suelo es por lo general escasa o nula, provocando una baja producción vegetal. Por el contrario, en las partes medias e inferiores se presentan suelos más profundos con mayor cobertura vegetal, lo que permite la concentración de los animales en dichas superficies.

El que se concentren los animales en una superficie determinada, ha traído como consecuencia que los suelos se vean afectados en su estructura natural ocasionando su compactación, pudiendo llegar a ser severa en algunos casos. La compactación o resistencia a la penetración esta

---

<sup>1</sup> Institut de Recherche pour le Développement.

<sup>2</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria.

íntimamente relacionada con la densidad aparente y la porosidad, es decir a mayor compactación, se incrementa la densidad aparente y disminuye la porosidad. Esto puede influir en la baja infiltración y por consecuencia en un mayor escurrimiento superficial.

En la zona de estudio, durante mas de 70 años se ha realizado como única actividad la producción ganadera. (Estrada A., 1999). Sin embargo, el no tener un conocimiento de la degradación estructural estos suelos por efecto del pastoreo ha generado la iniciativa del presente trabajo, para que sirva de base a posteriores actividades culturales que permitan evitar dicha degradación. Así, en este trabajo se plantean los siguientes objetivos.

## **II. OBJETIVOS**

### **Objetivo Principal**

Obtener una metodología que, basada en parámetros físicos, permitan evaluar la degradación de los diferentes tipos de suelos, tomando a la cuenca hidrológica como la unidad básica de estudio donde se lleva acabo el pastoreo.

### **Objetivos Secundarios**

- Obtener y determinar los valores máximos de la compactación o resistencia a la penetración en diferentes tipos de suelos, presentes en una cuenca vertiente Carboneras, donde se ha mantenido el manejo del ganado en forma similar durante los últimos 70 años.
- Caracterizar, en la cuenca de estudio, los parámetros físicos (compactación, densidad aparente, textura e infiltración) de la superficie del suelo, evaluando la compactación en función de la densidad aparente y la velocidad de infiltración en zonas de agostadero.

### **III. METAS**

En una cuenca vertiente (Carboneras), en un lapso de seis meses se obtendrán aquellos parámetros físicos que pueden identificar la degradación estructural de la superficie del suelo, en cuencas donde se practica el pastoreo.

### **IV. HIPÓTESIS**

Mediante el conocimiento de los parámetros físicos de la superficie del suelo, es posible obtener una metodología para conocer la degradación estructural de la superficie del suelo.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

La física de suelos es una de las ramas de la ciencia del suelo que tiene mayor potencial de la aplicación práctica en apoyo a la producción agrícola y, sin embargo, es una disciplina poco entendida y manejada en la agricultura, por lo que se encuentra una gran diversidad de problemas físicos que limitan fuertemente la productividad agrícola en la mayor parte del territorio nacional (Narro, 1990).

Al comportamiento mecánico de la masa total del suelo se le conoce con el nombre de *Características y Propiedades Físicas de los Suelos*; las características son aquellas cualidades de un suelo que no cambian apreciablemente en un período corto de tiempo: color, textura, densidad.

Las propiedades son aquellas que varían constantemente y son las que manifiestan la acción de los seres vivos y los elementos; la estructura, la resistencia, la densidad aparente, la resistencia a la penetración o compactación, el espacio poroso total (CENAMAR 1981).

*La estructura y la Compactación*, son funciones de tiempos en cambios constantes; hay cambios estacionales y permanentes, como consecuencia de las prácticas de laboreo del suelo, crecimiento de las plantas, irrigación,, lluvia, practicas de manejo y otras (Gavande, 1979).

La *estructura*, desde el punto de vista morfológico, se puede definir como el arreglo de las partículas primarias (arena, limo y arcilla), formando terrones o agregados de diferentes tamaños y formas. La *estabilidad* de esta estructura es la resistencia que los agregados del suelo oponen a la influencia de la desintegración del agua y manipulación mecánica, además tiene influencia directa sobre todos los factores del crecimiento vegetal (CENAMAR, 1981).

## 5.1. COMPACTACIÓN

La *compactación* es el aumento de la densidad de un suelo como resultado de cargas aplicadas o de presión. Esto implica que el suelo tiene cierta densidad o estado de compactación antes de la aplicación de la fuerza. En otras palabras, "la compactación del suelo es un comportamiento dinámico del suelo por el cual el estado de compactación aumenta". Aunque el secado y la contracción pueden causar la compactación en ciertos tipos de suelos arcillosos.

La labranza constante disminuye la estabilidad estructural y aumenta la compactación que se origina por la aplicación de fuerzas de compresión y cortado de un suelo cohesivo, disminuyendo la relación de vacíos (porosidad) y aumentando el peso de sólidos por unidad de volumen o densidad aparente (Da).

La importancia de medir la resistencia a la penetración o compactación de un suelo con un instrumento de sondeo, es la de integrar un índice de compactación, para un mismo contenido de humedad, de la textura, tipo de mineral de arcilla, densidad aparente, cantidad y tipo de materiales orgánicos así como el contenido de cationes. En otras palabras, es un índice de la condición de medición, que implica la consistencia y la estructura del mismo. La cantidad de penetración por unidad de fuerza aplicada a un punto en particular, varía con la forma y tipo de instrumento de medición. A mediada que se penetra en el suelo, se integra la resistencia a la compactación mediante la resistencia del suelo al esfuerzo cortante, que implica la fricción interna y la cohesión manifestada en la punta del instrumento donde existen las fallas (Baver *et al*, 1980).

Existen diferentes métodos para medir la resistencia a la penetración ( $R_p$ ) o compactación del suelo, la cual se realiza principalmente con un instrumento denominado penetrómetro (Godoy, 1982).

La resistencia a la penetración es la fuerza que el suelo opone a un instrumento de prueba, siendo su valor un índice integrado de la compactación, contenido de humedad, textura, tipo de mineral de arcilla presente, del contenido de materia orgánica y de la estructura del suelo.

El penetrómetro es un instrumento útil para obtener información sobre la resistencia y la compactación del suelo si se toma en cuenta la naturaleza mixta de los efectos medidos. Davidson (1965) ha descrito diversos tipos de penetrómetros que han dado resultados satisfactorios en los estudios sobre suelo.

Existen varios tipos de penetrómetros y penetrógrafos, los cuales deben ser cuidadosamente calibrados. El tipo utilizado afecta la cantidad de penetración por unidad de fuerza aplicada, debido a la resistencia del suelo, a la compactación, a la fricción del instrumento con las partículas del suelo y a la resistencia de éste al esfuerzo cortante (Narro, 1994).

Se considera que este instrumento puede medir la resistencia a la penetración del suelo *in situ*, existiendo varios tipos, formas y tamaños, siendo los principales el penetrómetro de impacto y el penetrómetro estático (Forsythe, 1975).

El penetrómetro de impacto mide el número de caídas de un martillo de cierta distancia, para introducir el cono o pistón hasta una determinada profundidad en el suelo, con lo que se puede calcular la energía gastada en esta operación.

El penetrómetro estático mide la fuerza por unidad de área seccional (esfuerzo), necesaria para introducir el cono lentamente hasta cierta profundidad en el suelo (Forsythe, 1975).



Los principales factores que se relacionan más estrechamente a la resistencia de penetración son los siguientes:

*Humedad del Suelo:* Existe un efecto notable en la que este factor aparece como dominante en las lecturas del penetrómetro, aunque no existe una relación sencilla entre las lecturas y la cantidad de agua del suelo, debido a que las zonas de compactación se mueven hacia la superficie a medida que el número de operación de labranza aumenta en terrenos de cultivo. La influencia de la humedad del suelo, cuando ésta disminuye, aumenta la resistencia a la penetración ya que las partículas se acercan a otras durante el proceso de desecación del suelo (Baver, *et al*, 1980).

*Profundidad:* Es una propiedad que generalmente sufre cambios muy pequeños en condiciones naturales. Sin embargo, los procesos de erosión severa o depósitos de materiales pueden representar una excepción a lo expuesto, ya que en ocasiones la formación de estos suelos pueden ser aprovechados por el hombre (Narro, 1994).

La resistencia a la penetración aumenta proporcionalmente a la profundidad del suelo. Así, por ejemplo, en un suelo margo-arcillosos con el 16% de arcilla que ha sido compactado en estado húmedo, la resistencia a la penetración aumenta rápidamente con la profundidad en pocos centímetros y luego permanece constante (Baver, *et al*, 1980).

*Densidad Aparente:* Esta característica está íntimamente relacionada a la compactación cuando sus valores son altos; sin embargo, depende de la densidad de sólidos, variante que está en función al tipo de suelo (Forsythe, 1975).

Los trabajos realizados de compactación son hechos generalmente en zonas agrícolas donde se cuenta con agua de río (proveniente de presas) o agua de bombeo (proveniente del subsuelo).

Los trabajos que a continuación se mencionan, están mas dirigidos al estudio de la compactación o resistencia a la penetración del suelo en zonas agrícolas, donde se tiene agua disponible (ya sea de río o de rebombeo), maquinaria agrícola y pendientes no muy accidentadas (terrenos planos), con enfoque al rendimiento y producción.

El trabajo que aquí se presenta, se realizó en una zona de agostadero donde la única agua disponible es la de la precipitación pluvial. Con un ciclo estival, Mayo a Octubre, en esta zona se precipitan 423 mm de lluvia al año (Estrada A., 1999).

- ♣ La compactación inducida del suelo es una práctica útil para aumentar la productividad del agua por el cultivo (Arévalo *et al*, 1991).
- ♣ Evaluaron el efecto de la compactación en el rendimiento de grano y consumo hídrico de frijol crecido en suelos compactados, encontrando que la demanda hídrica por las plantas desarrolladas en suelos sin compactación es mayor. Además, la compactación afectó negativamente el rendimiento del grano y el efecto de incrementó a medida que decrece el potencial hídrico del agua en el suelo (Arreola *et al*, 1990).
- ♣ En un estudio preliminar de compactación en huertas de nogal pecanero en la comarca lagunera, mencionan que la profundidad del suelo con el valor mas elevado de compactación se presentó de los 30 - 60 cm el cual tiene un efecto negativo en el crecimiento de la raíz, disminuye la difusión y transporte de gases, reduce la retención de humedad del suelo, y además señalaron que existe una relación directa entre la compactación y edad de la huerta (Arreola y Lagarda 1990).

- ♣ Los valores de resistencia a la penetración 10-20 Kg/cm<sup>2</sup>, tomados a dos metros del tronco y una profundidad de 40-80 cm en el cultivo, del manzano, fueron superiores considerándose limitantes en el crecimiento radicular (Medina, 1984).
- ♣ El efecto de la compactación en el crecimiento de raíz en el cultivo del ciruelo, la resistencia a la penetración del suelo encontrada fue de 16.3 Kg/cm<sup>2</sup> medida a capacidad de campo y afirmaban que fue suficiente para disminuir la densidad de la raíz en un 50% (Grimes *et al*, 1982).

## 5.2. DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente se define como la relación que existe entre el peso por unidad de volumen de un suelo seco a 110° C al que se le ha alterado lo menos posible su estructura original. El conocimiento de su valor numérico permite el cálculo del espacio poroso total del suelo, el cálculo de la lámina de riego, etc.

Una densidad aparente máxima del suelo sobre la cual las raíces no penetran, no es la misma para todos los suelos sino que varía alrededor de 1.75 gr./cc en suelos arenosos y para suelos arcillosos es de 1.46 gr./cc (Vehimeyer y Hendrickson, 1948). La relación entre la densidad aparente y la compactación del suelo es estrecha y directa; esta última se desarrolla como producto de una serie de procesos interactivos como apelmazamiento, encostramiento, pérdida de la estructura y reducción de la porosidad. Esta alternativa física del suelo puede cambiar la morfología y función del sistema radical de las plantas por un número de mecanismos biológicos, químicos y físicos (Taylor y Brar, 1991).

### 5.3. MATERIA ORGÁNICA

Casi desde el inicio de la agricultura, como una actividad organizada por el hombre, en el manejo de suelos con fines agrícolas se utilizaban diversos abonos orgánicos los cuales al mismo tiempo que proporcionaban nutrimentos vegetales al suelo, mantenían una buena condición física de los suelos (Narro, 1990).

Alrededor de la mitad del siglo XIX, con la aplicación de los fertilizantes minerales de origen industrial, poco a poco se desplomó el uso de los fertilizantes orgánicos antes utilizados como abonos, pero a pesar de que durante muchos años se tuvieron los rendimientos de los cultivos mostraron incrementos importantes en respuesta a los fertilizantes minerales, el suelo se fue empobreciendo físicamente poco a poco y en la actualidad en muchos lugares este problema llega a constituir el principal limitante para la obtención de rendimientos más atractivos y rentables a pesar de la alta calidad de insumos que se aplican y de las labores de cultivo que se realizan (Narro, 1990).

La materia orgánica del suelo se encuentra estrechamente relacionada con la productividad agrícola. Las mejores condiciones físicas, químicas y biológicas para los cultivos se encuentra preferentemente en los suelos con alto contenido de materia orgánica (Narro, 1994).

La materia orgánica influye en las propiedades físicas y químicas de los suelos desproporcionadamente para las pequeñas cantidades presentes, principalmente en suelos de zonas áridas y semiáridas. Generalmente se considera que por lo menos la mitad de la capacidad de intercambio catiónico es la responsable de la estabilidad de los agregados del suelo, además de proveer los constituyentes energéticos a los microorganismos (Buckman y Brady, 1977).

La mayor concentración de la materia orgánica se encuentra generalmente en la superficie del suelo, debido a que en esta parte del suelo crece la mayoría de las raíces, además de que las condiciones de humedad, fertilidad, aireación y temperatura son más adecuadas para los seres vivos.

Parte de la materia orgánica más resistente a la descomposición rápida por microorganismos del suelo es el *humus*, el cual está compuesto principalmente por lignina, aminoácidos, celulosa, hemicelulosa, grasas, ceras, resinas y otros compuestos. Aproximadamente el 56% de humus es carbón; el 35% oxígeno, el 3.5% hidrógeno, y tiene una relación C/N 10/1, su relación C/P y C/S es 100/1. (Narro, 1994).

La función del humus en el suelo tiene un papel muy importante en la regulación de los procesos químicos que allí ocurren, influye directamente sobre las características y propiedades físicas y según un gran número de investigadores, es el centro de casi todas las actividades biológicas de este. (Dovala, 1983). Los principales efectos del humus del suelo son: favorece la formación de agregados y la estructuración del suelo, mejora la estabilidad estructural, disminuye el valor de la densidad aparente, incrementa la porosidad total del suelo, favorece el transporte y difusión de gases, mayor retención de humedad, cambios en la velocidad de infiltración del agua y en la conductividad hidráulica, disminuye la conductividad térmica del suelo, disminuye la resistencia del suelo a la penetración de raíces y aumenta la facilidad de laboreo. En la superficie del suelo reduce la formación de "costra", reduce las pérdidas de agua por evaporación y amortigua el impacto de las gotas de lluvia y del viento, aumenta la resistencia a la erosión y oscurece al suelo generando una mayor absorción de la energía radiante del sol.

La materia orgánica puede incluir gran cantidad de compuestos químicos, entre los que destacan los carbohidratos, celulosa y hemicelulosa, proteínas, aminoácidos, ceras, grasa, aceites, resinas, alcoholes, ácidos

orgánicos, lignina, pigmentos minerales, fenoles y alcaloides. Estos pueden ser descompuestos dependiendo de: su naturaleza, composición y tamaño de las partículas, tamaño de la población microbiana del suelo y tipo de microorganismos presentes, contenido de humedad y disponibilidad de la misma, temperatura, disponibilidad de nutrientes y fuente de carbón, pH del suelo y contenido de aire en el suelo (Narro, 1994).

Por otra parte, el mejoramiento de la resistencia a la penetración de raíz por el suelo o bien horizontes o capas compactas, se ha enfocado principalmente a estudiar el efecto de la materia orgánica. Uno de los primeros trabajos en que se estudió el efecto de la materia orgánica sobre el mejoramiento de la resistencia a la penetración del suelo es el de la aplicación de estiércol (Rossel *et al*, 1962), en donde señala una reducción en esta propiedad física del suelo, lo cual fue atribuido al proporcionar una mejor estructura o estabilidad de agregados y un mayor contenido de humedad por los tratamientos; sin embargo, algunos autores mencionan que para observar cambios inmediatos en las condiciones de suelo se requiere de dosis elevadas o bien, un número de años de aplicación sostenida de estiércol; lo anterior es sostenido en base a que el estiércol es fuente de materia orgánica que contiene propiedades coloidales (humus), al igual que las partículas de arcilla del suelo, jugando un papel importante en la estabilidad estructural del suelo, los cuales son más estables al agua (Castellanos, 1985).

Además de mejorar la porosidad al incrementar la aireación del suelo, incrementa la retención del agua disponible y también tiene alta capacidad de intercambio catiónico y participación tanto de aniones y cationes junto con la arcilla (Gavande, 1979).

## 5.4. INFILTRACIÓN

La fase líquida de los componentes de los suelos es el agua que llena parte de los poros que quedan entre sus partículas sólidas. El agua afecta las relaciones químicas, el comportamiento físico así como la biología del suelo (CENAMAR, 1981); es importante la relación del agua con el suelo dado que a partir de ella se van a satisfacer las necesidades de las plantas. Además, el agua debe ser asimilable cuando las plantas la necesitan y la mayor parte de ella proviene del suelo. En segundo lugar, el agua actúa como disolvente y junto con los nutrientes disueltos, constituye la solución del suelo. Asimismo, la humedad del suelo interviene en el control de dos componentes importantes, tan esenciales para el crecimiento vegetal normal: el aire del suelo y la temperatura (Buckman y Brady, 1977).

La infiltración es la entrada vertical de agua en el perfil del suelo. El conocer la infiltración del suelo es importante para seleccionar y diseñar el sistema de riego adecuado, permitiendo evaluar la lluvia efectiva infiltrada y el escurrimiento causado por la misma así como el tiempo de estancamiento del agua sobre la superficie del suelo (Forsythe, 1975).

Hay dos métodos para determinar la infiltración; el primero es la lluvia artificial, método por el cual se simula la distribución del tamaño de gotas y la velocidad terminal de la lluvia natural. El otro método, es el de la aplicación por inundación. Así, se selecciona una área representativa del suelo para inundarla durante la prueba de infiltración. Esta prueba se realiza por lo general con el método de Muntz, el cual consiste en utilizar dos cilindros concéntricos incluido uno dentro del otro con una relación de áreas de 7 a 1 (Forsythe, 1975).

Independientemente del método de riego que se elija, (superficial, aspersión, goteo) deberá considerarse el comportamiento físico del suelo en el que va a ser aplicado para poder lograr los mejores resultados. Es

importante evaluar dos cualidades del suelo que son básicas para el manejo del agua: La capacidad de retención de humedad del suelo (porcentaje de saturación, capacidad de campo y punto de marchites permanente), y el movimiento del agua del suelo (velocidad de infiltración y capilaridad), (CENAMAR, 1981). Dentro de las propiedades físicas que mayor influencia tiene en la infiltración se pueden mencionar las siguientes: textura, estabilidad, contenido de materia orgánica y la compactación.

Asimismo, la capacidad de infiltración depende de cuatro factores principales (Woren, *et al*, 1980):

1. *La estructura o porosidad del suelo de la superficie.*- En suelos arcillosos o limosos de textura fina, tienen que estar bien granulados o agregados, para una rápida absorción del agua. Si la superficie del suelo se colmata cuando llueve, puede ser debido a la falta de incorporación de la materia orgánica, o bien, a un trabajo excesivo del terreno como consecuencia de las labores periódicas del terreno.
2. *La cantidad de agua presente en el suelo.*- Un suelo saturado no permite la infiltración de más agua, hasta no ser drenada una parte de la que ya contiene.
3. *La permeabilidad del subsuelo.*- Si el subsuelo está muy compacto, impide que el agua se infiltre, provocando que se sature la capa superficial.
4. *El grado en que se dilatan los coloides del suelo al humedecerse.*- No hay manera de influir en este factor, esto depende del tipo de arcilla que se tenga en el suelo.



Un trabajo que realizó Miyamoto (1993), en nogal pecanero, menciona que la lenta infiltración en las huertas de nogal se debe principalmente a la compactación del suelo, siendo afectada severamente por el tipo de textura y alta cantidad de sodio en el suelo; además, comenta que el uso de tractores, vehículos de carga y equipo de cosecha causan e incrementan la compactación de la superficie del estrato del suelo, la rastra puede ayudar para evitar la resistencia a la penetración, pero ésta puede compactar debajo de la superficie. Los efectos de la compactación mecánica es generalmente más fuerte en suelos arcillosos que en suelos arenosos. Además de mejorar la porosidad del suelo al incrementar su aireación y la retención de humedad disponible así como mejorar la capacidad de intercambio catiónico y la participación de los aniones, cationes y arcillas (Gavande, 1972).

## 5.5. TEXTURA DEL SUELO

La textura es una característica del suelo muy importante, debido a que tiene relación estrecha con las demás propiedades físicas del suelo. Por lo general, se ha observado que un suelo de textura gruesa tiene baja capacidad de retención de agua y una elevada permeabilidad. Por el contrario, un suelo de textura fina presenta una alta capacidad de retención de humedad y baja permeabilidad. La presencia de un 50% o más de limos son causa frecuentemente de que los suelos tengan una baja permeabilidad (Gavande, 1976).

Las propiedades físicas de los suelos están determinadas, en gran parte, por su textura. Las partículas que tienen diámetros comprendidos entre 0.02 y 0.002 mm se denominan limos. Aquellas que van de 0.02 en adelante, a medida que aumenta su tamaño se denominan arenas finas, arenas gruesas y gravas. Las partículas con diámetros de 0.002 mm y menores, se denominan Arcillas (Firman, 1969).

Las palabras Arena, Limo y Arcilla, cuando se emplean para designar clases de suelos tales como arenosos, franco-limosos, y franco arcillosos se refieren al tamaño de partículas que predominan en esos suelos. Un suelo franco arenoso, por ejemplo, se refiere a que tiene del 45 a 85 por ciento de arena, menos del 50 por ciento de limo y menos del 20 % de arcilla (Firman, 1969).

Los suelos que contienen mas del 30 o 35 por ciento de arcilla son, por lo general, coherentes y forman agregados estables del suelo, los cuales son resistentes al impacto de las gotas de lluvia y a la erosión por dispersión. Las arcillas a menudo son suelos con terrones y sus superficies ásperas almacenan mucha agua y son resistentes a la erosión laminar y por arroyuelos.

## **5.6. ESTADOS DE SUPERFICIE**

**5.6.1. Costra.-** La costra es mucho menos permeable que el suelo subyacente y las tasas de transmisión del agua puede ser entre 200 y 2000 veces menor par los estratos compactos y los lavados en relación a las capas mas profundas (McIntyre, 1958). Sin embargo, Tackett y Pearson (1965) notaron diferencias mucho menores. La infiltración de la precipitación pluvial en los suelos con costra es muy baja. Así, se forman charcos de agua permanentes y por coalescencia se da principio al escurrimiento superficial (Kirkby, *et al.* 1984).

**5.6.2. Cobertura vegetal (Pasto).** – La presencia de cobertura vegetal favorece la infiltración y disminuye la compactación de los suelos, Los escurrimientos son bajos debido a que las tasas de infiltración del agua a través de la superficie cubiertas de vegetación son altas en comparación con los suelos desnudos (costra), ya que los suelos cubiertos de vegetación con

frecuencia tienen mejor estructura y agregados más estables. El sobrepastoreo de las tierras conduce al debilitamiento de la cubierta de césped y la exposición del suelo desnudo.

**5.6.3. Pedregosidad superficial.-** Los suelos pedregosos son menos susceptibles a la erosión y compactación, incrementado la que la infiltración a medida que al agua fluye dentro del suelo alrededor de los bordes de las piedras.

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. MATERIALES.**

#### **6.1.1. Localización**

El área de estudio está ubicada en la Región Hidrológica 36, en el rancho compañía ganadera Atotonilco, municipio de Peñón Blanco, Durango (figura 1). En la zona se establecieron seis sitios de muestreo representativos de una *cuenca vertiente Carboneras* (figura 2).

#### **6.1.2. Ubicación Geográfica**

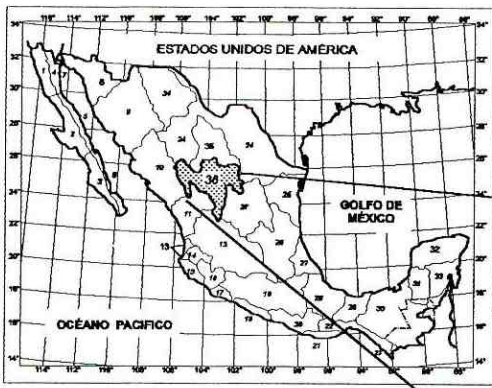
El rancho esta ubicado geográficamente entre los parámetros 24°33'37" y 24°51'19" de latitud norte y a los 103°46'40" y 103°34'00" de longitud al oeste del meridiano de Greenwich.

#### **6.1.3. Clima**

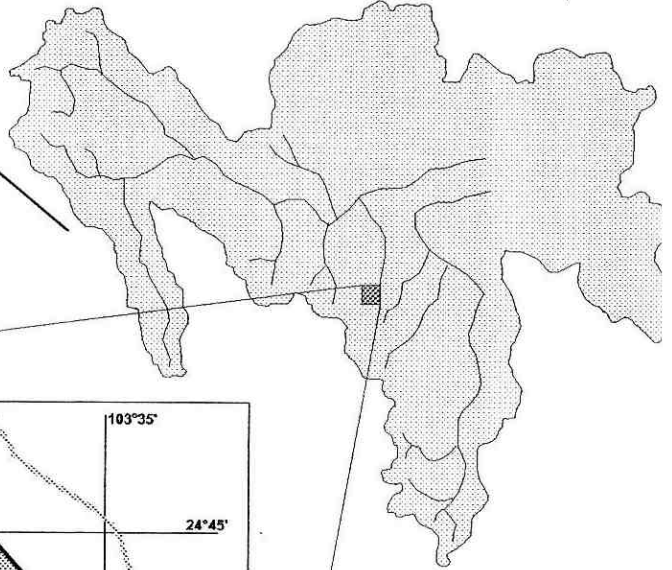
El comportamiento del clima en esta cuenca es semiárido con estaciones muy marcadas, una seca y otra de lluvias, siendo la mayor precipitación en el los meses de Mayo - Septiembre y presentan aproximadamente un 80 al 90% de la precipitación total anual. Existen lluvias ligeras en el invierno, representando del 10 al 15%.

#### **6.1.4. Altitud**

La cuenca Carboneras se encuentra a una altura de 2070 msnm en la parte baja de la misma (presón), y a una altura de 2220 msnm en la parte alta (figura 2).



## Región Hidrológica N° 36



## Rancho Atotonilco

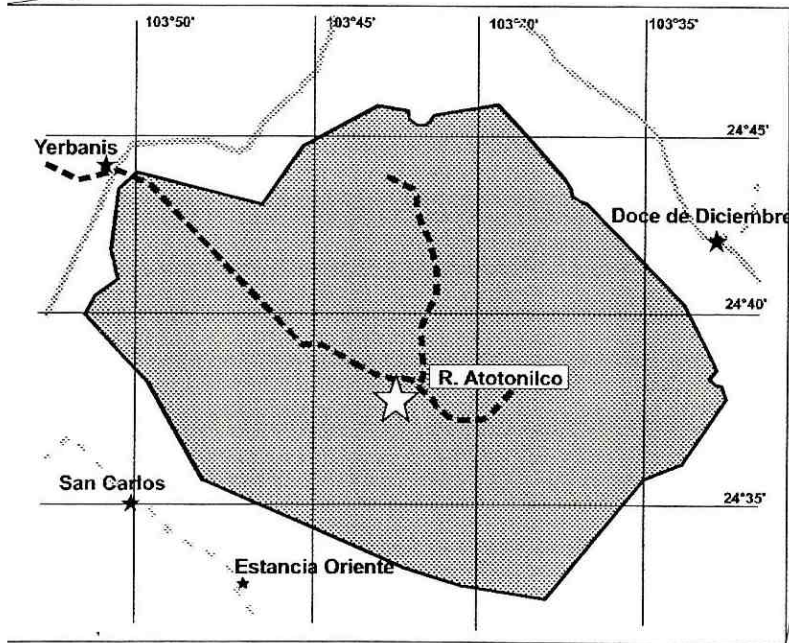
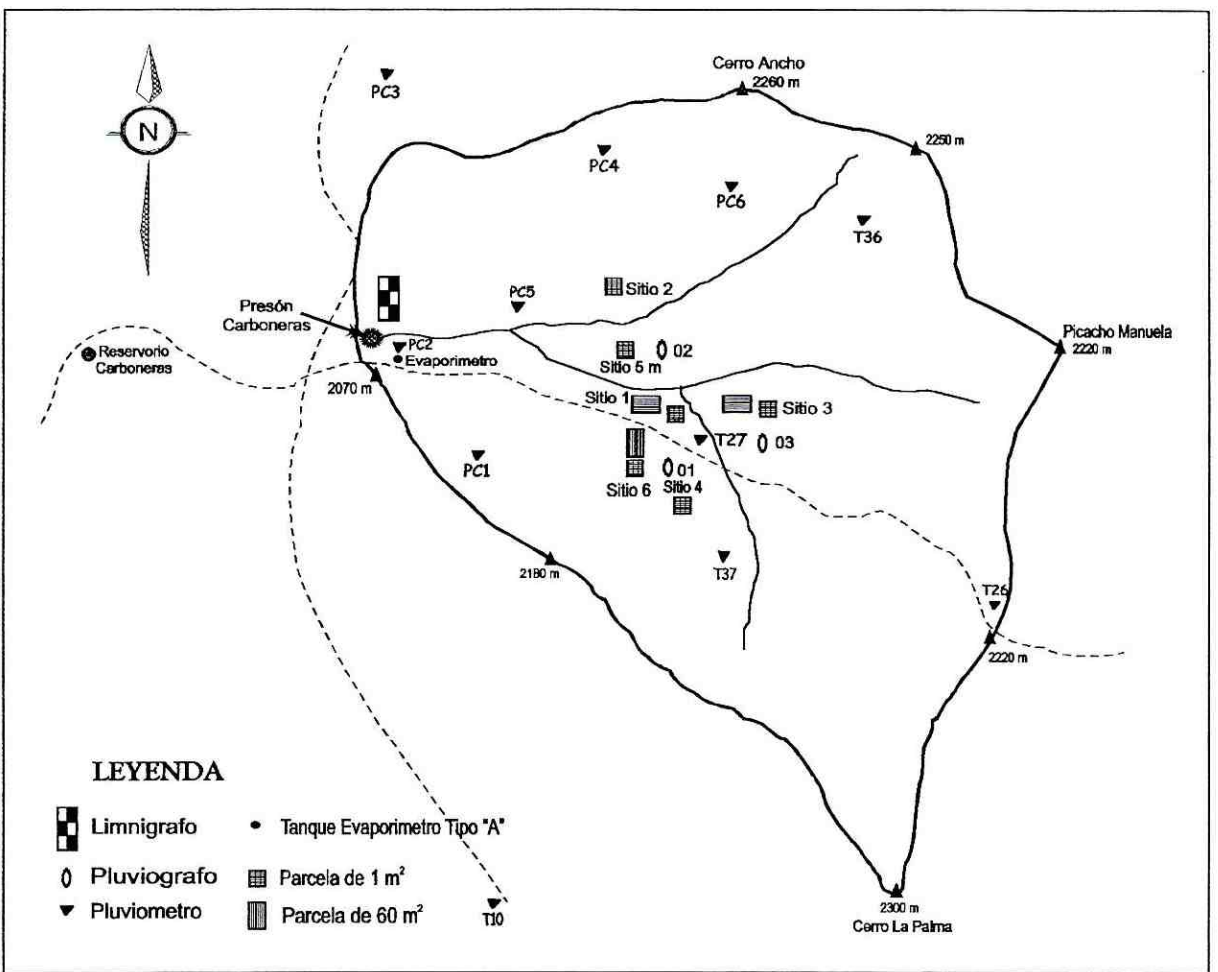


Figura 1. Localización del rancho compañía ganadera Atotonilco



Situación de dispositivos experimentales en la “cuenca vertiente Carboneras”

- SITIO 1. Suelo de bajada inferior, profundo, textura gruesa, manifestaciones sueltas de hidromorfia en profundidad.
- SITIO 2. Suelo superficial, en vertiente sedimentaria, sobre caliche endurecido.
- SITIO 3. Suelo sobre bajada superior, profundo, textura franca, con manifestaciones sueltas de hidromorfia, en profundidad.
- SITIO 4. Suelo superficial de vertiente eruptiva desarrollado sobre arena diorítica y diorita.
- SITIO 5. Suelo sobre parte baja de la vertiente, semi-profundo, desarrollado sobre caliche suelto (blando).
- SITIO 6. Suelo superficial, vertiente con caliche discontinuo sobre diorita.

**Figura 2. Ubicación de los sitios experimentales en la “cuenca vertiente carboneras”**

### 6.1.5. Litología

Desde el punto de vista litológico, la zona de estudio es representativa de la parte media de la cuenca del Nazas en donde existe contacto entre las rocas y materiales eruptivos y sedimentarios, en particular en la subcuenca Agustín Melgar., En referencia del libro de *Estudios de los Factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la región hidrológica 36*, (Loyer, J. Y. et al. 1993), la cuenca Carboneras está representada por dos vertientes de litología diferentes.

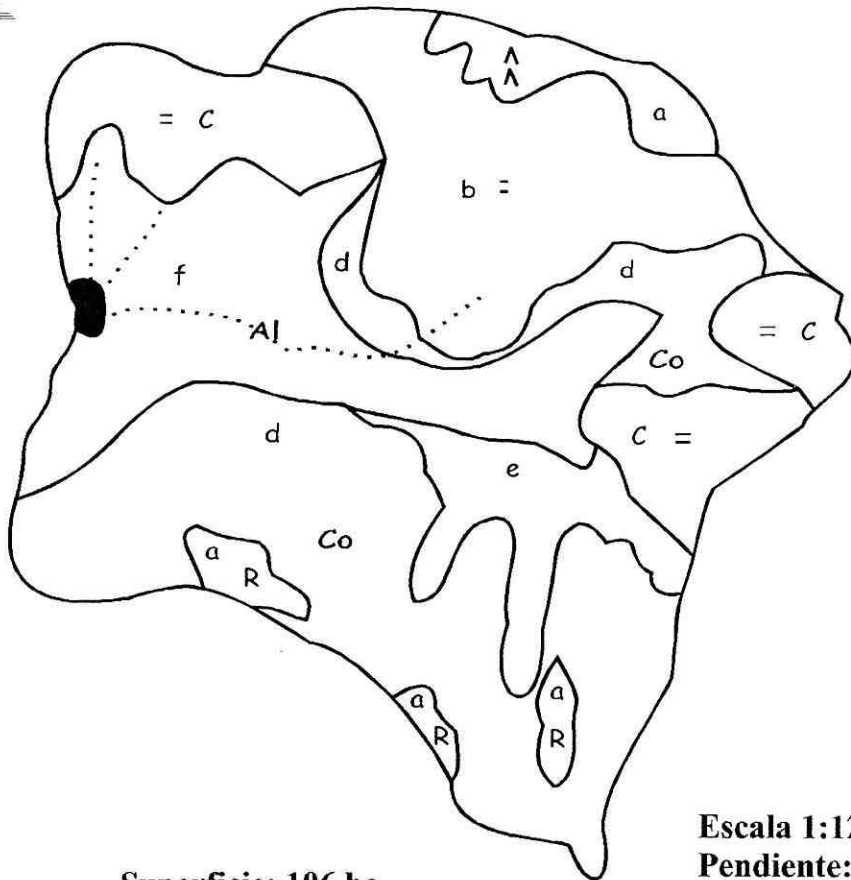
- La vertiente de la margen derecha esta compuesta por un relieve de caliza del cretácico en el periodo cuaternario, durante el cual se formó una costra de carbonato de calcio endurecido (caliche).
- La vertiente de la margen izquierda esta compuesta por roca diorítica con bancos mas cristalizados de quartzita.
- En la parte media de la cuenca se desarrollaron coluviones, provenientes de las dos vertientes, y en la parte baja de la cuenca se desarrollaron aluviones, esto debido al arroyo formado por los escurrimientos los cuales son conducidos hasta el bordo de retención.

### 6.1.6. Tipo de Suelo

La cuenca Carboneras se encuentra conformada por dos vertientes: Una de materiales sedimentarios hacia la margen derecha del arroyo, y la otra de materiales eruptivos hacia la margen izquierda (figura 3).

Sus pendientes son irregulares y se encuentran distribuidas en tres tipos de unidades principales (Viramontes *et al*, 1999):

- 1) Las Unidades de Suelos Superficiales (*Unidades a, b y c*). Situados sobre rocas y materiales endurecidos de calizas o caliche. Su capacidad de reserva de agua está limitada por su baja profundidad. Las pendientes pronunciadas y la presencia de un material endurecido sub-superficial favorece los escurrimientos y los lavados oblicuos.



Superficie: 106 ha

Escala 1:12,500  
 Pendiente: 25 %  
 Profundidad de Suelos: 55 cm  
 (Medias ponderadas)

UNIDAD CARTOGRÁFICA	SUPERFICIE HA	PROFUNDIDAD CM	FASE FÍSICA DEL SUELO	MATERIAL
a	9,26	<10	Lítica	Caliza: Diorita: R
b	18	10 a 20	Petrocálcica	Caliche: =
c	14,53	40	Petrocálcica	Caliche =
d	36,09	50	Pedregosa	Coluviones: Co
e	6,25	80	Sin Fase	Coluviones: Co
f	21,88	120	Sin Fase	Aluviones: Al

Figura 3. Unidades cartográficas de los suelos de la "cuenca vertiente carboneras"



- 2) Los Suelos de Profundidad Media (*Unidad d*). Esencialmente ligados a los coluviones de materiales eruptivos, presentan una potencialidad de reserva en agua más elevada que las unidades anteriores.
- 3) Los Suelos Profundos (*Unidades e y f*). Se localizan en las partes bajas y terrazas recortadas; presentan muy pocas piedras. Su capacidad de reserva de agua está limitada por la textura ligera, en particular en los horizontes superiores que son pobres en arcilla y limo, y relativamente enriquecidos en arena (*unidad f*).

### 6.1.7. Vegetación

Dentro de la cuenca de estudio (figura 4), se registraron ocho formaciones vegetales y tres tipos de geformas (cerros o vertiente, bajada inferior y llanuras aluviales o arroyos). Las formaciones más representativas son *pastizal-matorral*, *pastizal* y *matorral pastizal*, con un porcentaje de ocupación del 29, 17 y 14.9 respectivamente. A nivel general, en esta cuenca se registró una producción de 158 Kg. de biomasa herbácea por hectárea por año (Anaya, 1998).

- ◆ Pastizal-matorral. Las especies que más contribuyen al aumento en la cobertura herbácea son *Bouteloua (B.) gracilis*, *B. curipendula*, *B. hirsuta*, *B. filiformes*, *Lucuris phleoides*, *Heterotropogon contortus* y *Sanvitalia procumbens* entre otras.
- ◆ Pastizal. Esta unidad se presenta en lomas suaves y en cauces aluviales. Está constituida por especies muy apetecidas por el ganado bovino y de alto valor forrajero. Al final de la época de lluvia (Octubre), la tasa de cobertura del estrato herbáceo se incrementa 20 por ciento debido al incremento del follaje de las gramíneas perennes; *B. gracilis* y *Sporobolus wrightii*, *Andropogon myosuroides* y la aparición de anuales totales como *Sanvitalia procumbens*, *Solanum eleagnifolium* y *Pectis augustifolia* entre otras.

◆ Matorral-pastizal. El estrato herbáceo está constituido por pastizales, en los que dominan *Bouteloua gracilis*, *Enneapogon desvauxii* y *Lycurus phleoides*, así como por especies anuales (gramíneas y compuestas), que crecen como individuos aislados después de las primeras lluvias. Se presentan en todas las geoformas y por ende, la tasa de cobertura que se registra en esta formación es muy variable de acuerdo a la topografía. Por lo general, se presenta un incremento de la tasa cobertura del 25 % entre el inicio y el final de la época de lluvia.

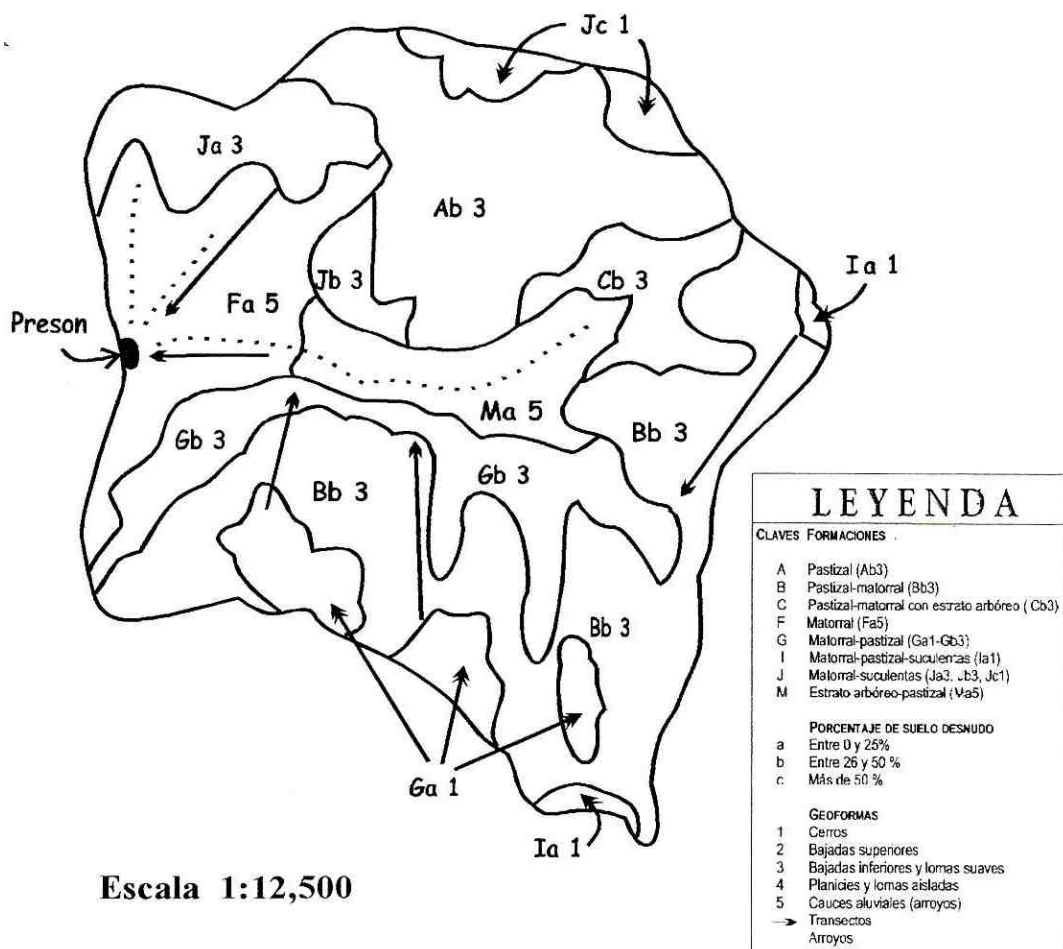


Figura 4. Formaciones vegetales de la "cuenca vertiente carboneras"

### **6.1.8. Características del la Cuenca Carboneras**

Se establecieron seis sitios representativos, los cuales están orientados en sentido de la pendiente natural del terreno. En estos se establecieron 3 parcelas de 1 m<sup>2</sup> en cada uno de los seis sitios y en tres de ellos (Sitio 1, 3 y 6) parcelas de 60 m<sup>2</sup>.

### **6.1.9. Aparatos de Medición.**

Penetrómetro. Sirve para estimar el grado de compactación que tiene un suelo. Existen diversos tipos de penetrómetros como es el de impacto, y el penetrómetro estático. En el presente trabajo se utilizaron dos penetrómetros de tipo estático.

El penetrómetro WF-24950 (de bolsillo) tiene una capacidad de medición máxima de 5 Kg/cm<sup>2</sup>, contando este con una punta de 180° de ángulo.

El DICKEY-John, cuenta con una capacidad de medición máxima de 19.1 Kg/cm<sup>2</sup>. Para el uso de este penetrómetro se usaron dos puntas, de 30° y 45° de ángulo.

TRIMS (Triple Ring Infiltrometer at Multiple Suctions). El Trims sirve para determinar la infiltración del suelo. El principio de este infiltrómetro se basa en hacer más robusta la medición de K (conductividad hidráulica del suelo), permitiendo al mismo tiempo, conocer la sorbilidad del suelo.

### **6.1.10. Herramientas Utilizadas.**

Se uso martillo, una pala con una graduación de 10 cm, navaja, llave de tuercas de 5/8", cronómetro, madera, recipientes de aluminio y frascos, báscula digital, arena tamizada a 50 micras, estufa, cinta y pie de rey.

### **6.1.11. Computadora**

Actualmente la computadora es una herramienta de trabajo indispensable que facilita los cálculos y operaciones mediante paquetes o programas específicos. En este trabajo fue necesaria su utilización.

## **6.2. METODOLOGÍA.**

En la cuenca Carboneras, la vertiente eruptiva esta representada por sitios los 4 y 6, la vertiente sedimentaria por los sitios 2 y 5, y la parte media de la cuenca por los sitios 1 y 3 donde se instalaron tres parcelas de 1 m<sup>2</sup>.

### **6.2.1. Lecturas y Muestreos**

a) Penetrometría. Las lecturas con los penetrómetros se realizaron en un radio de 5 metros, con respecto a las parcelas representativas, donde se tomaron un total de 30 repeticiones en tres estados de superficie (costra, pasto y debajo de las piedras).

- ♣ DICKY-Jonh. Con este penetrómetro se usaron dos puntas, uno de 30° y el otro de 45° de ángulo. Teniendo una presión máxima de 300 Lb/in<sup>2</sup> (21.09 Kg/cm<sup>2</sup>).

- ♣ WF24950 (de bolsillo). Este penetrómetro como tiene una capacidad de medición de 5 Kg/cm<sup>2</sup>, no fue posible obtener lecturas en algunos sitios, tomándose solo en aquellos lugares donde no rebasó la medición.

b) Densidad Aparente. Para determinación de la densidad aparente existen varios métodos como son: el método de la parafina, de la probeta, de la piscina y el del cilindro, por mencionar algunos.

En esta investigación se usó el método del cilindro. Para la determinación de la densidad aparente, se utilizaron cilindros con un diámetro de 4 cm X 1.5 a 2.5 cm de alto, con un total de 15 cilindros.

c) Infiltración Básica. La infiltración se determinó con el Trims, el cual consta de un reservorio y un vaso de Mariotte, este instrumento es fácil y práctico de usar, ya que no requiere mucha agua para su funcionamiento. Para el uso de este infiltrómetro, se tiene que poner una plataforma de arena tamizada (50 micras), con el terreno nivelado. Esta plataforma sirve para que el Trims quede sentado correctamente y que la tela no se rompa, (la tela rota provoca error en las lecturas). Se realiza la medición con un cronómetro, resultando altura y tiempo.

### **6.2.2. Análisis de Laboratorio.**

Una vez obtenidas las muestras de suelo, se analizaron en el laboratorio del CENID-RASPA, donde, se realizaron las siguientes determinaciones:

- 1) El contenido de humedad del suelo (método gravimétrico)
- 2) La textura del suelo por el método de Bouyoucos.
- 3) El contenido de carbón total y materia orgánica por el método de *Warkley-Black*.
- 4) El contenido de carbonatos totales por el principio del calcímetro.
- 5) La curva de retención de humedad del suelo, usando las ollas de presión

Esta última determinación se realizó en el laboratorio de Riego y Drenaje de la UAAAN-UL.

### **6.2.3. Paquetes Computacionales**

- 1) Word. Su utilización es para el escrito de este trabajo de investigación.
- 2) Power Point. Este programa es utilizado para la presentación de este trabajo, ante el jurado del mismo.

- 3) Excel. Su utilización es para graficar y comparar los datos obtenidos en campo, así como para verificar la relación entre las variables, y el análisis de regresión que determinan los modelos.
- 4) Statistica. Se utilizó para realizar análisis de componentes principales (ACP), con el propósito de obtener las variables independientes (MO., CaCO<sub>3</sub>, arcilla, escurrimiento, densidad aparente y pendiente), de mayor importancia con respecto a las variables dependientes (Compactación-infiltración).

#### 6.2.4. Análisis Estadístico.

Para la generación e interpretación de los diferentes resultados fue necesario la utilización de análisis estadísticos como los que a continuación se describen:

- *Análisis de Componentes Principales (ACP)*. Es uno de los análisis estadísticos multivariados y su objetivo principal consiste en reducir un gran número de variables a un número menor. Los componentes principales (ejes) son combinaciones de las  $n$  número de variables iniciales. Para la realización de este tipo análisis se usó el paquete computacional "Statistica (Yamame, 1979).
- *Análisis de regresión Lineal Múltiple (ARLM)*. Una regresión lineal simple es donde existe una variable independiente y otra dependiente. Sin embargo, en muchos casos prácticos existe más de una variable independiente, (MO., textura, CaCO<sub>3</sub>, etc). La técnica estadística de la regresión lineal múltiple consiste en extender la regresión lineal simple, para poder incluir dos o más variables independientes, haciendo posible el tratamiento de fenómenos en los que intervienen una gran cantidad de variables (en algunos casos hasta 15), (Yamame, 1979). Para conocer si se tiene un buen resultado de los análisis, se precisan diversos parámetros como es el coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1.- Sitios Experimentales.

Se presentan en el cuadro 1 los resultados promedios de compactación en los seis sitios representativos con 2 diferentes penetrómetros y 3 puntas de diferente ángulo en 3 estado de superficie de la cuenca vertiente Carboneras.

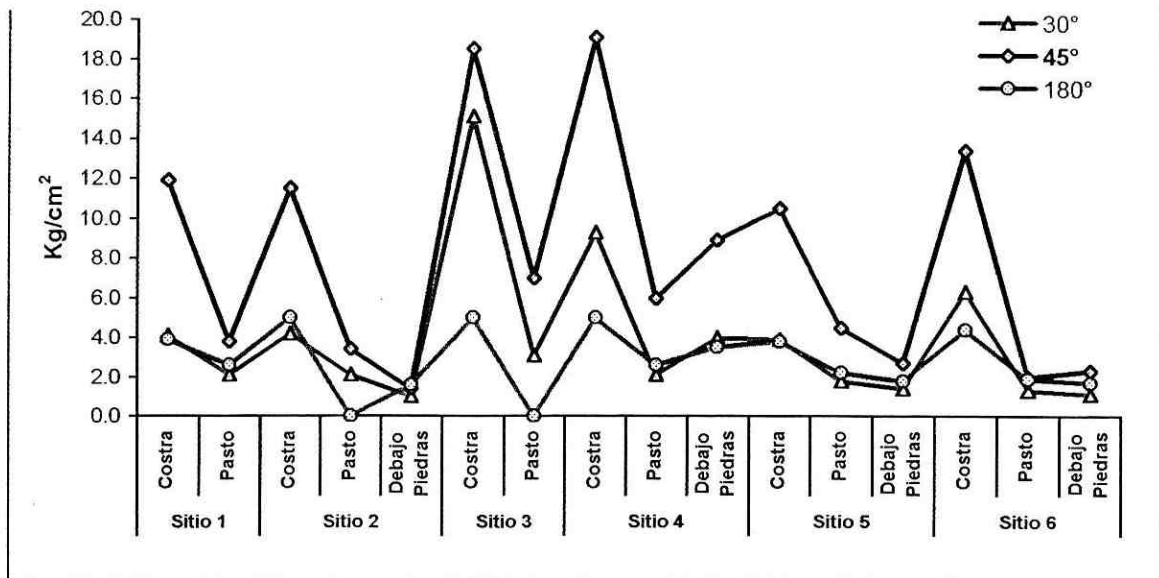
El penetrómetro DICKEY-Jonh, el cual se trabajó con dos puntas de 30° y 45° de ángulo, presentó una resistencia mínima de 1 Kg/cm<sup>2</sup> y una máxima 19.1Kg/cm<sup>2</sup>. El penetrómetro WF-24950, con punta de 180° dio una lectura mínima de 1.7 Kg/cm<sup>2</sup> y 5 Kg/cm<sup>2</sup> como máxima.

**Cuadro 1.- Compactación promedio por sitio y estados de superficie de la cuenca vertiente carboneras (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	Sitio 1		Sitio 2			Sitio 3		Sitio 4			Sitio 5			Sitio 6		
Punta	C	P	C	P	DP	C	P	C	P	DP	C	P	DP	C	P	DP
30°	4.1	2.1	4.2	2.1	1.0	15.1	3.1	9.3	2.1	4.0	3.9	1.8	1.4	6.3	1.3	1.1
45°	11.9	3.8	11.5	3.4	1.45	18.5	7.0	19.1	6.0	8.9	10.5	4.5	2.7	13.4	2.0	2.3
180°	3.9	2.6	N/P	N/R	1.6	N/P	N/R	N/P	2.6	3.5	3.8	2.2	1.8	4.4	1.9	1.7

C = Costra  
P = Pasto  
DP = Debajo de piedras  
N/P = No Penetro  
N/R = No registro lectura

Al realizar una comparación de los datos obtenidos con los penetrómetros, se observó que la punta que cuenta con 45° de ángulo, obtuvo una mayor resistencia a la penetración en el estado de superficie de costra. (figura 5).



**Figura 5. Comportamiento de la compactación en seis sitios y estados de superficie en la cuenca vertiente carboneras**

Asimismo comparando las lecturas tomadas y observando los estados de superficie muestreados, se observó que la punta de 45° de ángulo, presentó una mayor resistencia a la penetración. Las otras dos puntas presentaron valores de compactación no muy altos.

Al analizar más detenidamente los valores obtenidos con la punta de 45° de ángulo, se observó que el estado de superficie costra presenta mayor compactación con respecto a los estados de superficie pasto y debajo de las piedras (Figura 6).

Como se puede observar en la figura 6, el estado de superficie costra, presenta mayor compactación en los sitios 3 y 4. En el caso del sitio 4, esta compactación puede ser explicada por ser el sitio más representativo de la vertiente eruptiva, puesto que este sitio no contiene carbonato de calcio.

En las lecturas tomadas en el estado de superficie pasto y debajo de las piedras, se observó una baja compactación lo que favorece la infiltración,



una mayor retención de materia orgánica y por consecuencia la sustentabilidad del recurso pastizal.

Por el contrario, el sobre pastoreo favorece la formación de costra en los suelos desnudos. En estos estados de superficie, se favorece el escurrimiento disminuyendo la infiltración dado así orientar la desertificación del medio.

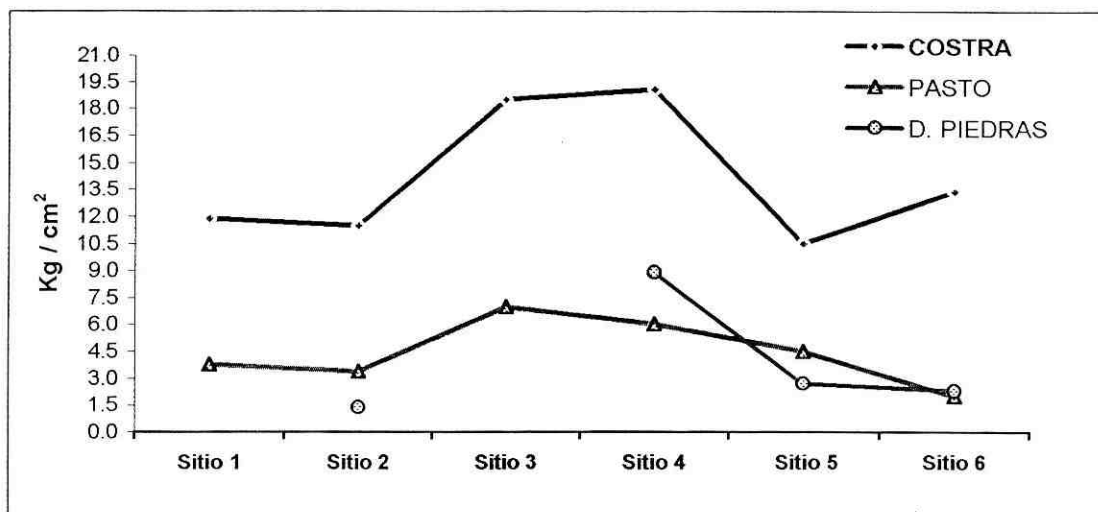


Figura 6.- Comportamiento de la compactación en los diferentes estados de superficie con la punta de 45° de ángulo.

Esto se puede observar en la figura 7, a mayor compactación mayor el escurrimiento superficial.

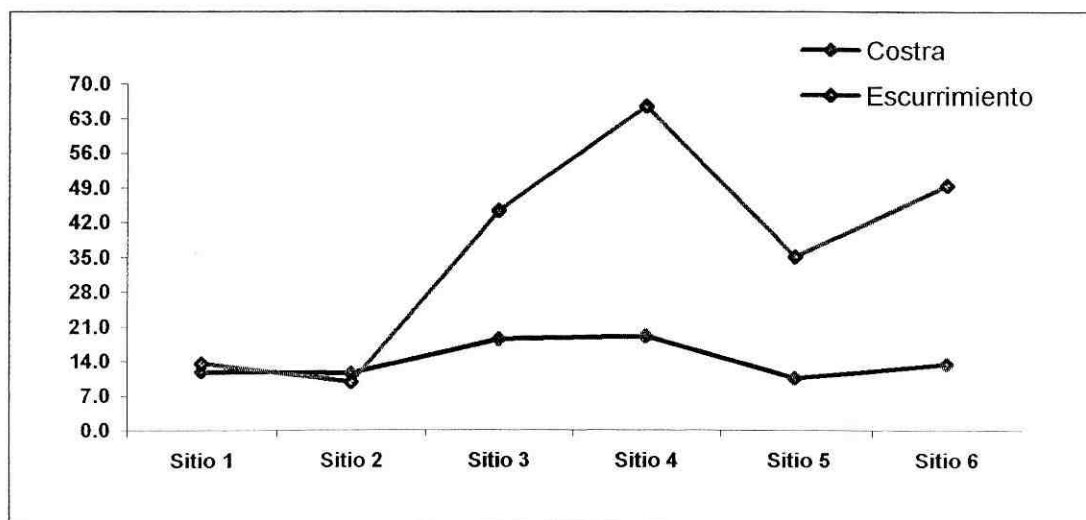


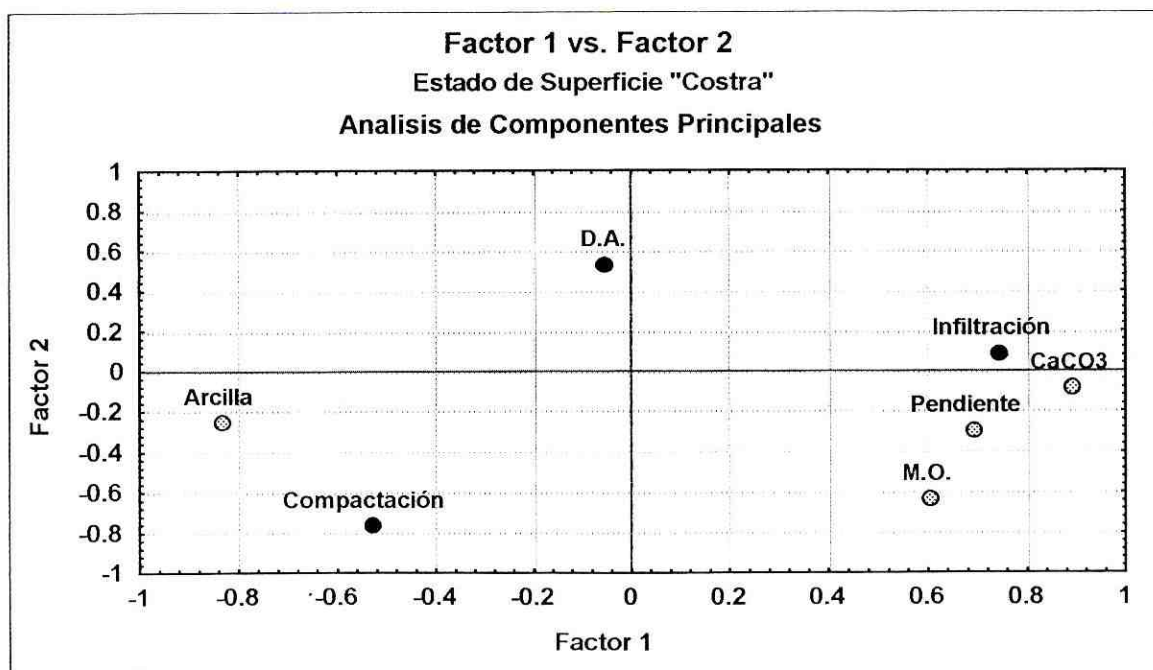
Figura 7.- Comportamiento del escurrimiento con respecto a la compactación presente.

A continuación se presentan los parámetros observados en la cuenca vertiente Carboneras, para la punta de 45° de ángulo, en los seis sitios representativos para las parcelas de 1 m<sup>2</sup> con el objetivo de establecer las diferentes variables observadas, estos parámetros fueron analizados en *componentes principales* (ACP), mostrándose los resultados en la figura 8.

**Cuadro 2. Parámetros físicos de los 6 sitios representativos del estado de superficie costra con la punta de 45° de ángulo.**

Características	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Sitio 6
Profundidad del suelo =	S. Prof.	S. Sup.	S. Prof.	S. Sup.	S. Med.	S. Sup.
Pendiente (%) =	6.7	17.7	7.4	15.8	9.3	16.6
Escurrimiento (mm) =	13.6	9.7	44.3	65.3	35.1	49.5
IB Trims (mm/hr) =	22.5	255	50	135	270	330
% Arcilla =	13.3	9.3	17.5	11.3	9.3	13.6
% Materia Orgánica =	2.5	5.1	3.5	3.8	3.0	2.5
% Carbonatos Totales =	0.0	4.4	0.0	0.2	2.0	0.2
Densidad Aparente (gr/cm <sup>2</sup> ) =	1.5	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4

S Sup. = Suelo Superficial  
 S Med. = Suelo Medianamente profundo  
 S Prof. = Suelo Profundo  
 IB Trims = Infiltración Básica tipo Trims



**Figura 8.- Resultados del comportamiento de las variables que influyen en la compactación superficial del suelo.**

Existe una relación importante entre la compactación y el contenido de arcilla (figura 8). Como puede observarse, para el estado de superficie de costra con la punta de 45° de ángulo. Se observó que a mayor contenido de arcilla mayor es la compactación, provocando una baja infiltración.

La relación existente entre la infiltración (infiltr), contenido de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), pendiente (Pend) y materia orgánica (MO) en la figura 8 puede ser explicada de la siguiente manera:

- Aunque físicamente puede suponerse que a mayor pendiente menor infiltración, en el caso de la cuenca carboneras quedo demostrado que la pendiente se encuentra asociada con una mayor pedregosidad. Así, esta favorece la infiltración a través del material no consolidado en el suelo, resultando esta variable mas importante que la pendiente en este caso.
- Por otra parte, la formación geológica de la cuenca presenta un mayor contenido de calcio hacia las partes altas, estando asociada de igual forma con la pendiente.
- El contenido de materia orgánica es la resultante, por otra parte, de la primera condición al tenerse mayor infiltración y, por otra, al ser desarrollada mas fácilmente la vegetación en el suelo y no ser consumida por el ganado debido al difícil acceso a dichos terrenos.

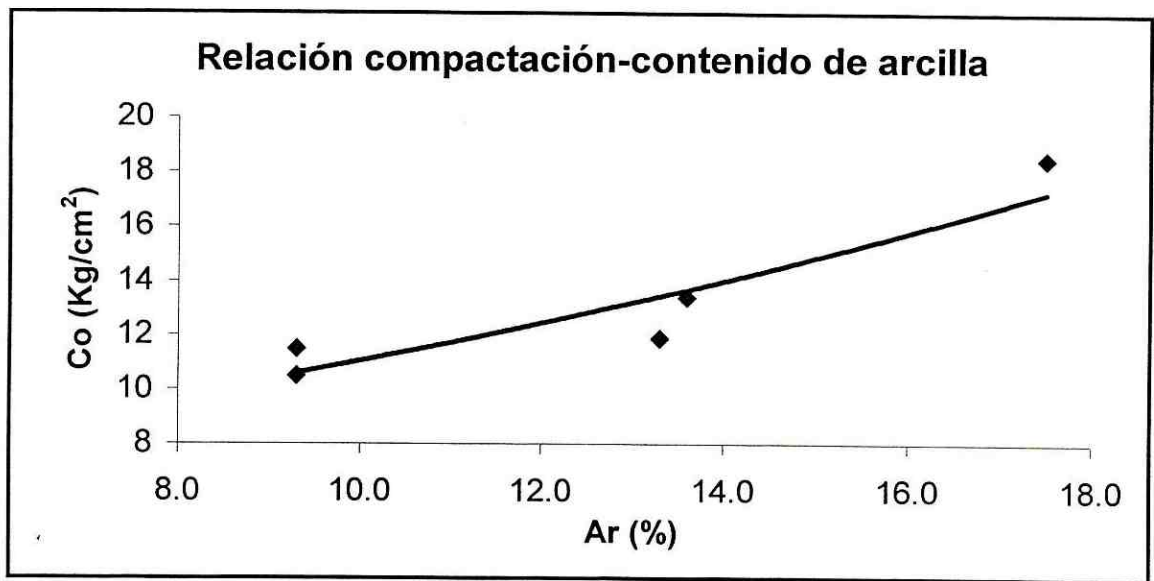


Figura 9.- Relación compactación-contenido de arcilla, con la punta de 45° de ángulo

Cómo se observó en la figura 9, existe una relación importante entre la compactación y el contenido de arcilla, se graficó esta relación, para el estado de superficie de costra, con la punta de 45° de ángulo, encontrándose que la compactación puede ser explicada con la siguiente ecuación:

$$Co = 6.1025 e^{(0.0594) (Ar)} \quad (1)$$

Donde:

Co = Compactación (Kg/cm<sup>2</sup>)  
Ar = Contenido de Arcilla (%)

Esta relación presenta un buen *coeficiente de Correlación* de 0.85, siendo estos datos confiables.

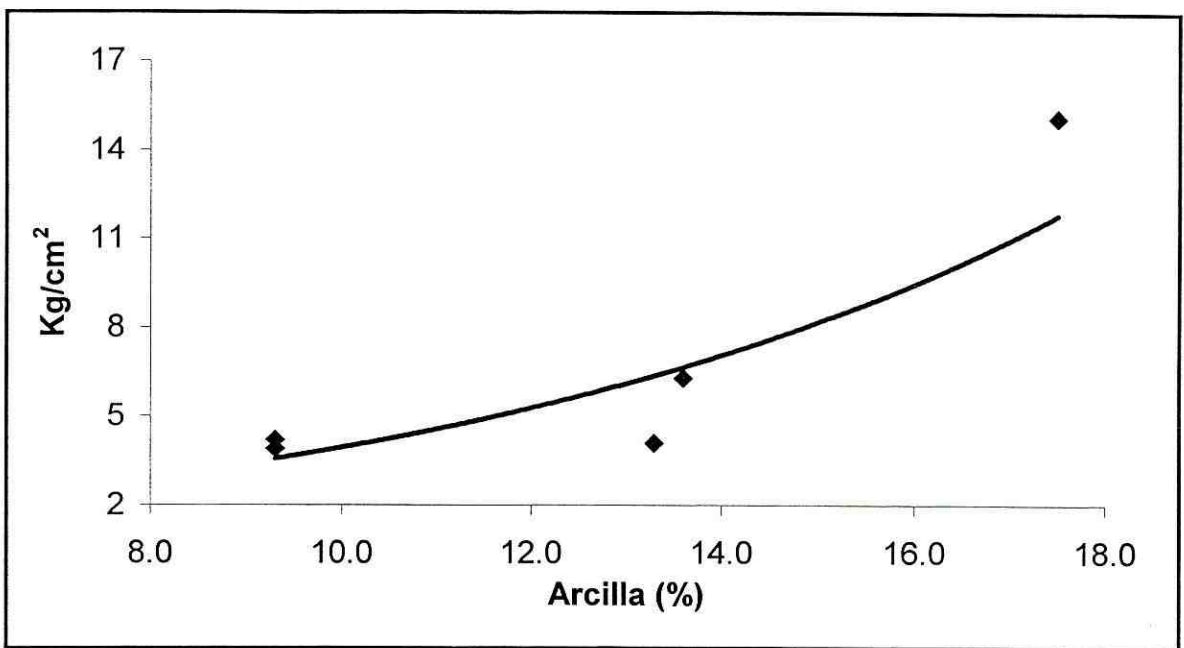


Figura 10.- Relación compactación-contenido de arcilla, con una punta de 30° de ángulo

Asimismo, se graficó esta relación (figura 10), para el estado de superficie de costra, con la punta de 30° de ángulo, encontrándose que la compactación puede ser explicada con la siguiente ecuación:

$$Co = 0.9165 e^{0.146 Ar} \quad (2)$$

Esta relación presenta un *coeficiente de Correlación* del 0.77, siendo estos datos aceptables.

## VIII. CONCLUSIONES

La compactación del suelos fue observada mediante dos tipos de penetrómetros: el DICKEY-John, con puntas de 45° y 30° y, el WF-24950 con punta de 180°. En el primer caso, la capacidad de medición del penetrómetro es de 21.09 Kg/cm<sup>2</sup> (300 PSI), en tanto que el WF-24950 solo es capaz de registrar hasta 5 Kg/cm<sup>2</sup>.

En ambos casos, la compactación debajo de las piedras no se realizó en los sitios 1 y 3. Asimismo, con el penetrómetro WF-24950 no fue posible registrar la compactación en la costra de los sitios 2, 3 y 4 así como en el pasto de los sitios 2 y 3, por presentar una resistencia por encima de los 5 Kg/cm<sup>2</sup> o bien por no registrar lectura.

Por presentar técnicas diferentes en la medición de la compactación, ambos tipos de penetrómetros no pueden ser comparados. En tanto que el penetrómetro tipo WF-24950 mide la compactación en los primeros 5 mm de la superficie, el DICKEY-John lo hace en los primeros 10 mm de profundidad.

Así la compactación en los primeros 5 mm del suelo vario de 1.7 a 4.4 Kg/cm<sup>2</sup> en los sitios observando en tanto que la compactación en los primeros 0.7 cm de profundidad osciló entre 1 y 15.1 Kg/cm<sup>2</sup> con la punta de 30° y entre 2 y 19.1 Kg/cm<sup>2</sup> con punta de 45°.

En todos los sitios, el estado de superficie de costra presentó los mas elevados valores de compactación, tanto en los primeros 5 mm como a una mayor profundidad del suelo.

Por lo general, el sobrepastoreo en las zonas semiáridas, favorece la presencia de suelos desnudos lo que desencadena el proceso de formaciones

de costra. La acumulación de sedimentos arcillosos en estas áreas de suelos provoca con el paso de tiempo, una importante disminución de la infiltración favoreciendo el escurrimiento.

Esta presencia de arcillas se ve reflejada en la compactación del suelo, caso contrario en presencia de pastos y debajo de las piedras. Aunque es un proceso lento que depende de varios factores, el continuo sobre pastoreo en las zonas semiáridas provoca invariablemente la desertificación de grandes áreas.

En forma particular, la vertiente calcárea de la cuenca presenta mayor compactación que la vertiente eruptiva. Esta compactación también se ve reflejada en los coeficientes de escurrimientos observados durante 1999.

Así, los sitios 3 y 4 con altos valores de compactación y representación de la vertiente eruptiva, presentaron baja infiltración, poca presencia de carbonatos de calcio y altos coeficientes de escurrimientos parecen ser mas susceptibles al sobrepastoreo, en relación a los sitios 2 y 5, con menos compactación, representativos de la vertiente calcárea con altos contenidos de carbonatos de calcio, mayor infiltración, alto contenido de materia orgánica, bajos escurrimientos y contenido de arcillas.

De la forma, puede suponerse que la vertiente eruptiva de la cuenca carboneras es mas susceptible al sobre pastoreo que la vertiente sedimentaria dados las condiciones naturales de ambas vertientes.

## IX. LITERATURA CITADA

- Anaya Nevares, Eva (1998)*. Caracterización y Evaluación de la Cobertura Vegetal en la Cuenca del Arrollo de Ocuila, Folleto Científico N° 10, INIFAP – ORSTOM, Impreso y hecho en México en CENID-RASPA, Gómez Palacio Durango.
- Arevalo M. I. (1991)*. Enfoque de la Compactación en el Suelo Franco Arenosos a Tres Contenidos de Humedad. SOMCS, XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Pachuca Hidalgo, México.
- Arreola A. J. Y Lagarda M. A. (1990)*. Estudio Preliminar de la Compactación del suelo en Huertas de Nogal Pecanero en la Comarca Lagunera, SOMCS, XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Torreón Coahuila, México.
- Arreola T. J., Tijerina CH. L., Oleschenko K. Y FERNÁNDEZ R. (1990)* Efecto de la Compactación Edáfica en el Rendimiento de Grano y Consumo Hídrico del Fríjol. SOMCS. XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Torreón Coahuila, México.
- Baver, I. d., Walter h. Gardner, Wilford r. Gardner. (1980)*. Física de Suelos. editorial UTEHA 1ª edición.
- Bazaldúa Zurita, Luis Ángel (1999)*, Apuntes de la Materia de Agrología de la Carrera de Ingeniero Agrónomo En Irrigación. UAAAN-UL Torreón Coahuila, México.
- Bucman, Harry o. y Nyle c. Brady (1993)*. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. editorial UTEHA 5ª reimpresión.
- Castellanos, R. J. (1985)*. El Medio Ambiente Físico del Suelos y su Modificación Mediante la Aplicación de Materia Orgánica. Serie temas dictados. SOMCS. Publicación N° 2.
- Castillo S. G., Yves L. Y. y Ramírez C. E. (2000)*, Datos Edafológicos 1999 de la Cuenca Vertiente Carboneras, Publicación N°1 IRD, CENID-RASPA CENTRO NACIONAL DE MÉTODOS AVANZADOS DE RIEGO (CENAMAR). (1981). Memorias del Curso sobre Métodos de Riego. Gómez Palacio Durango.
- Cepeda Dovala, J. Manuel (1983)*. Química de Suelos. Departamento de Suelos. UAAAN, Buenavista Coahuila, México.



- Cepeda Dovala, J. Manuel (1983)*. Química de Suelos. Departamento de Suelos. UAAAN, Buenavista Coahuila, México.
- E. Bear Firman, (1969)*. Los Suelos en Relación con el Crecimiento de los Cultivos. Editores OMEGA. S.A. Primera edición.
- Forsythe, Warren (1975)*. Física de Suelos, Manual de laboratorio, editorial IICA, 1ª impresión.
- Gavande Sampat A. (1979)*. Física de Suelo, Principios y aplicaciones, editorial LIMUSA. Tercera reimpresión.
- Godoy, W. (1982)*. Curso Practico de Física de Suelos. Departamento de Suelos, Sección física UACH, Chapíngo, México.
- Grimes D. W., Wiley L. P. and A. B. Carton, (1982)*, Plum Root Growth in a Variable. Strengthfield Soil Amer. Soc. Hunt. Sci 107(6).
- Kirkby M. J. y R. P. C. Morgan (1984)*. Erosión de Suelos. Editorial LIMUSA. Primera edición.
- Loyer, Jean Yves, J. Estrada A., R. Jasso y., I. Moreno D. (1993)*, Estudio de los Factores que Influencian los Escurrimientos y el Uso del Agua en la Región Hidrológica 36, Taller gráfico del CENID-RASPA., Capitulo "Rocas y Materiales Geológicos, Pp.143-160.
- Millar C. E., L. M. Turk, H. D. Foth. (1981)*. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. editorial CONTINENTAL, (CECSA). Quinta Impresión.
- Miyamoto, S. (1993)* Causas y Soluciones de la Infiltración Lenta en los suelos de las Huertas. XII Conferencia Internacional Sobre el Cultivo del Nogal, San Carlos Nuevo Guaymas Sonora, México.
- Narro Farias, Eduardo (1990)*, La Física de los Suelos en la Producción Agrícola, SOMCS. XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Torreón Coahuila, México.
- Narro Farias, Eduardo (1994)*, Física de Suelo con enfoque agrícola, editorial TRILLAS 1ª edición.
- Olenecassagne, Alain, Ernesto Romero Fierro y Consuelo López Borrego (1997)*, Manual de Laboratorio N° 1, impreso y hecho en México en CENID-RASPA, Gómez Palacio Durango.

*Palacios Vélez, Ing. Enrique.* Cuando, Cuanto y Como Regar. Subsecretaria de Agricultura y Operación (Dirección general de distritos y unidades de riego) SARH (Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos) Reimpresión memorándum técnico N° 195.

*Perroux, K. M., and White, Y. (1988).* Y disc permeameters. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1205-1215.

*Taylor M. H. and Brar G. S. (1991),* Effect of Soil Compactation on Root Development. Soil and Tillage Research. Volumen 19.

*Viramontes Pereida, David, Jean Yves Loyer y Alain Plenecassagne (1999),* Cuencas Experimentales en la Zona Semiárida de la Región Hidrológica 36, Estudio de los suelos (Rancho Atotonilco), folleto científico N° 11, INIFAP-ORSTOM, Impreso y hecho en México en CENID-RASPA, Gómez Palacio Durango.