

29 101



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**ALGUNOS ASPECTOS DE LA DEGRADACION FISICA
DE LOS SUBLOS EN EL MUNICIPIO DE
SALAMANCA, GTO. MEXICO**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
DANIEL ALFONSO HERNANDEZ SANTIAGO

MEXICO, D. F.

1989

PALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Página
INDICE	
1. INTRODUCCION	1
1.1 Hipótesis de trabajo	
1.2 Objetivos	
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	6
2.1 Propiedades dinámicas de los suelos	
2.1.1 Consistencia	
2.1.1.1 En suelos secos	
2.1.1.2 En suelos húmedos	
2.1.2 Resistencia de los suelos al esfuerzo cortante	
2.1.3 Compactación	
2.2 Degradación de los suelos	
2.2.1 Importancia	
2.2.2 Métodos para obtener información	
2.2.3 Esquema general de evaluación	
2.2.4 Tipos de degradación	
2.3 Antecedentes sobre estudios de degradación física	
2.4 Análisis discriminante	
3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO	30
3.1 Localización	
3.2 Fisiografía	
3.3 Geología	
3.4 Suelos	
3.5 Hidrología	
3.6 Clima	
3.7 Vegetación	
3.8 Agricultura	

4.	MATERIALES Y METODOS	36
4.1	Trabajo de campo	
4.2	Trabajo de laboratorio	
4.3	Trabajo de gabinete	
4.4	Manejo estadístico de los resultados	
5.	RESULTADOS	40
6.	DISCUSION	43
7.	CONCLUSIONES	47
8.	BIBLIOGRAFIA	49
9.	ANEXO	54

1. INTRODUCCION

Para satisfacer las necesidades básicas del hombre, éste debe aprovechar adecuada y racionalmente los recursos naturales.

Algunos autores han mencionado que, a lo largo de la historia de la humanidad, diferentes culturas se desarrollaron teniendo como base la explotación de sus recursos naturales. Muchas de éstas sucumbieron por diversas causas y una de ellas fue el desequilibrio que entre el hombre y los recursos de la tierra (31).

Desde el pasado, la explotación o extracción de recursos no renovables ha tenido una continuidad ascendente, de tal manera que se han desarrollado máquinas y herramientas posibilitando la explotación a escalas antes no imaginables.

A través de la historia, los suelos han sido objeto de explotación, básicamente para alimentar a cada generación. Además, esta actividad ha sido acompañada por el constante cambio en los instrumentos de labranza, en la mejora de semillas y en el uso de fertilizantes, con la meta de elevar la productividad. Sin embargo, no siempre se ha trabajado adecuadamente; reflejándose esto en una disminución en la productividad, principalmente por causa del deterioro en el recurso, inducido por el hombre.

La erosión es uno de los principales fenómenos destructores provocados por el hombre, algunos investigadores mencionan que este problema ya era conocido en las culturas griegas y romanas; pero fue hasta mediados del siglo XIX que se efectuaron las primeras investigaciones en torno a éste (31). Hasta ahora se conoce, de manera general, que los efectos de la erosión dependen del clima (lluvia), de la topografía, de la cubierta vegetal y de la estructura del suelo; el conocimiento de estos factores ha permitido el diseño de estrategias para disminuir su efecto negativo en la

productividad.

Otros factores que pueden limitar la productividad, están determinados por las plagas y enfermedades a que están expuestos los cultivos y, a la zona en que se encuentren los mismos.

La relación de los factores antes mencionados permiten la caracterización de los sistemas agrícolas, al respecto Loomis (37) menciona que el tipo de explotación agrícola que se implementa en cada región es, en parte, resultado de los factores ecológicos (interrelación espacial de clima y suelo) y en parte, resultado de los factores económicos y culturales que caracterizan a la población de esa región. Actualmente en muchos países desarrollados, la explotación del suelo está respaldada por un análisis de los sistemas agrícolas, así como por factores sociales y económicos. Esto ha permitido una agricultura con altos rendimientos, principalmente en vegetales o especies que satisfacen las necesidades nutritivas del hombre.

Otras sociedades en vías de desarrollo mejoran sus sistemas agrícolas, mediante la transferencia de tecnología que está orientada al control de enfermedades, plagas, a optimizar la calidad genética de plantas, a desarrollar una agricultura mecanizada y una infraestructura para la producción de fertilizantes químicos (54).

Paralelamente a esta modernización de los sistemas agrícolas surgió una problemática a nivel mundial que contempla, la rapidez del aumento de áreas de suelos no productivos o estériles; por esta razón especialistas de suelos organizados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO) iniciaron el proyecto de organizar una metodología para evaluar la calidad de los suelos con el objeto de conocer la gravedad del problema (18,19).

De forma general esta metodología propone el uso de los datos existentes en cada región a estudiar, y estos deben estar relacionados con factores ambientales como clima, topografía, vegetación, características edáficas y tipo de aprovechamiento de la tierra. Además proponen un nuevo concepto para identificar la problemática y la denominan "degradación de suelos" (18,19,20).

En el caso de México, el proceso de modernización agrícola empezó a partir de 1945 (52), teniendo un auge en la producción de alimentos entre 1950 - 1970; durante este periodo se elevó la producción de trigo, maíz, frijol y sorgo. Este desarrollo estuvo respaldado por procesos económicos, políticos y sociales, no obstante, el principal se dio por la combinación de tres condiciones de carácter técnico:

-Desarrollo de nuevas variedades de plantas de alto rendimiento, muy adaptables.

-Desarrollo de un conjunto de prácticas agrícolas perfeccionadas, entre las que incluyen un mejor aprovechamiento de los suelos, una aplicación adecuada de los abonos y fertilizantes y además, un control efectivo de las malas hierbas.

-Ganancias redituables para el agricultor, con respecto a la inversión en los factores de producción.

Sin embargo, a partir de los años setentas, la producción agrícola se estancó y la tasa de crecimiento poblacional empezó a superar la del crecimiento agrícola. Esto trajo como consecuencia la importación, principalmente de cereales (52).

La producción agrícola ha tenido éxito entre los agricultores integrados a la agricultura comercial, debido a que pueden costearse todos los factores de producción y las nuevas tecnologías están arraigadas sólidamente en zonas donde los riesgos de pérdida de producción son menores. Hasta 1976 solo el 7.1 % de las áreas agrícolas se consideraban modernas; es decir, era una agricultura con fines comerciales, con aplicación de técnicas avanzadas; el 40.5 % se consideraban explotaciones tradicionales semi-comerciales, donde las prácticas agrícolas recomendadas tenían poco uso; el 52.4 % restante se consideraban explotaciones en régimen de subsistencia (52); estas diferencias se hicieron más evidentes, en cuanto a que algunas de estas zonas se trabajaban bajo sistemas de riego y las otras de temporal.

Actualmente en la República Mexicana los suelos con sistemas de riego abarcan aproximadamente 8.71 millones de hectáreas y los suelos de temporal comprenden 20.1 millones (42) y dentro de los primeros se encuentra el Bajío Guanajuatense siendo el municipio de Salamanca un área representativa.

En el municipio antes mencionado las características topo-

gráficas, geológicas, climáticas y edafológicas permiten una agricultura altamente productiva, con altos rendimientos por hectárea con la ayuda de uso intensivo de fertilizantes y de tecnología agrícola, no obstante que el 80 % de su porción sur está constituido por áreas aptas, moderadamente aptas y marginalmente aptas para los cultivos principales (11), presentándose además deficiencias en algunos nutrimentos (22).

Tomando en consideración lo anterior y conociendo que la metodología propuesta por FAD para la degradación de suelos representa una herramienta relativamente nueva para estudiar la calidad de los mismos, se eligió esta área para conocer como ha influido el tráfico agrícola en las propiedades físicas del suelo.

1.1 HIPOTESIS DE TRABAJO

Considerando que en el área de riego del municipio de Salamanca existe una amplia y evidente utilización de maquinaria agrícola, entonces, esta actividad repercutirá en las propiedades del suelo.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general:

Continuar la secuencia de estudios en el municipio de Salamanca, Gto. enfocados principalmente al aspecto físico del suelo utilizando algunos criterios de la metodología propuesta por FAD.

Objetivos específicos:

Determinar que aspectos físicos del suelo están siendo modificados debido al continuo tráfico de maquinaria, necesarias en las labores agrícolas.

Determinar si estas modificaciones influyen en las propie

dades del suelo, y si la compactación se manifiesta como comportamiento característico.

Con la información obtenida, tratar de pronosticar que riesgos de cambios se pueden presentar en el suelo en el área de estudio.

Comprobar la aplicabilidad de la metodología propuesta por la FAO para la evaluación de los suelos, específicamente en la degradación física.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 PROPIEDADES DINAMICAS DE LOS SUELOS

El suelo es un sistema natural complejo, heterogéneo, disperso y trifásico, debido a que está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida constituye la matriz del suelo e incluye partículas de naturaleza orgánica y mineral que varían en su composición, forma, tamaño y orientación; la fase líquida es el agua del suelo y es el medio de dispersión de los sólidos, puede ocupar total o parcialmente los espacios vacíos que existen entre partículas; su distribución y/o cantidad en el suelo varían en el tiempo y espacio; la atmósfera del suelo varía en composición química en intervalos de tiempo cortos, además ocupa los espacios libres de agua (1,30).

El conocimiento de las propiedades físicas del suelo tiene como objetivo, el entendimiento de los mecanismos que gobiernan la conducta de los suelos y su papel en fenómenos tales como adsorción de agua, adhesión, contracción, dispersión y floculación, capilaridad, intercambio de iones, aireación y calor del suelo.

La consistencia y la plasticidad, la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante, la compactación y la resistencia a la penetración, son propiedades del suelo que manifiestan un comportamiento característico frente a una fuerza aplicada externamente, por ejemplo, el paso de instrumentos de labranza; sin embargo, el comportamiento del suelo está principalmente en función, de la cantidad y distribución de la fase líquida en la fase sólida.

La presencia de la fase líquida en el suelo, provoca la formación de fuerzas internas, mismas que a la vez imponen ciertas características al sistema agua-suelo-atmósfera; estas fuerzas in-

ternas son la cohesión y la adhesión.

Cohesión. La cohesión en los suelos se ha definido como la unión entre partículas debida a las fuerzas de atracción mutua que surgen de mecanismos fisicoquímicos, tales como 1) fuerzas de Van der Waals; 2) atracción electrostática entre superficies de arcillas; 3) unión mediante puentes catiónicos; 4) efecto cementante de la materia orgánica, óxidos, carbonatos y otras sustancias y 5) tensión superficial de los meniscos de las interfases aire-agua, que existen en una arcilla no saturada (1).

La teoría para explicar la cohesión, tiene como base la fuerza de tensión superficial, y es definida como "la fuerza necesaria por unidad de longitud para rasgar por tracción la superficie de un líquido". Además se ha propuesto que la fuerza de cohesión está en función del radio de partícula, contenido de humedad y del contenido de arcilla en el suelo (1).

La cohesión en los suelos secos depende de 1) la cantidad de contactos superficiales por unidad de volumen de la masa de suelo y 2) de la magnitud de la fuerza de atracción entre partículas sólidas. A medida que el suelo se humedece la cohesión aumenta hasta alcanzar un máximo y luego disminuye, este decremento representa la pérdida de cohesión que resulta del aumento de películas de agua entre las partículas.

Adhesión. La adhesión en los suelos, se refiere a la atracción de la fase líquida sobre la superficie de la fase sólida; es una fuerza interna entre suelo y agua, que actúa en contra de la fuerza de atracción de la gravedad y permite la retención de la humedad; por consiguiente en ausencia de esta fuerza de adhesión, el agua cede ante la fuerza de gravedad y es eliminada por drenaje.

Una gota de agua puesta sobre las partículas de suelo tiene la tendencia a formar una esfera, pero debido a la fuerza de adhesión, el agua es distribuida en forma de una delgada película sobre las partículas de suelo.

Esta fuerza de adhesión, permite también la atracción de cuerpos extraños al suelo; esto ocurre con contenidos de humedad mayores del correspondiente a cohesión máxima. Con esta mayor humedad, el agua es retenida débilmente entre las partículas y es atraída hacia la superficie del cuerpo extraño para formar pelicu-

las de unión entre éste y el suelo; la adhesión del suelo al objeto se realiza por medio de estas películas de agua.

La adhesión es directamente proporcional a la tensión superficial del líquido de dispersión; es decir, depende del área pe-licular y de la tensión de humedad en la película. De esta manera, la fuerza de adhesión del suelo al metal dependen del contenido de arcilla, el cual determina el número de películas y la cantidad de agua que regula el espesor de éstas.

2.1.1 Consistencia.

La consistencia es definida como "las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión que obran dentro del suelo a diferentes contenidos de humedad" (1). Este término describe la respuesta del suelo a fuerzas externas tendientes a deformarlo; la naturaleza y la extensión de la deformación dependen de la clase del suelo, de su condición física, del contenido de humedad, de la magnitud de la fuerza aplicada y de como se aplica la fuerza (23). Considerando que el contenido de humedad es factor que caracteriza la consistencia, se ha deducido que con bajo contenido de humedad el suelo es duro y muy coherente por el efecto cementante entre partículas secas. Al aumentar el contenido de humedad, las moléculas de agua son adsorbidas sobre las partículas, debilitan la coherencia y comunican friabilidad sobre la masa del suelo. Con un mayor aumento de la cantidad de agua, la cohesión de las películas de agua alrededor de las partículas hace que el suelo se aglutine y se vuelva plástico, algunos suelos se enfiagan con este contenido de humedad; es decir, muestran glutinosidad en el grado plástico. Con base en la secuencia anterior se distinguen cuatro tipos de consistencia (24):

- consistencia bronca, que presenta fuertes caracteres de dureza.
- consistencia mollar, caracterizada por friabilidad.
- consistencia plástica o capacidad para el moldeo unida a la firmeza en la conservación de la forma.
- consistencia pegajosa o glutinosidad, que es la propiedad de adherirse a diversos objetos.

Por consiguiente la consistencia de los suelos pueden je-

rarquizarse en: a) consistencia en suelos secos y b) consistencia en suelos húmedos.

2.1.1.1 Consistencia en suelos secos.

Contracción.

Es un estado de consistencia de una fase semisólida del suelo, caracterizado por el acercamiento mutuo de las partículas, causada por la eliminación de agua en el suelo; debido a esto, la contracción es proporcional al volumen de agua eliminada (principalmente por evaporación). La fuerza que produce la contracción surge de las tensiones formadas en las interfases aire-agua sobre la superficie del sistema suelo-agua; por consiguiente, estas fuerzas provocan la aparición de grietas en el terreno.

Módulo de ruptura o resistencia a la ruptura.

Es el grado de cohesión de un suelo seco y se determina midiendo la resistencia a la ruptura de briquetas desecadas. Este módulo de ruptura también se emplea como índice de encostramiento del suelo, empleo que se basa dos suposiciones: 1) las propiedades físicas de las briquetas simulan las de las costras naturales del suelo y 2) el módulo de ruptura representa la fuerza que las plántulas deben ejercer para romper estas costras.

2.1.1.2 Consistencia en suelos húmedos.

Friabilidad

Este término se aplica cuando el contenido de humedad de un suelo permite su desmenuzamiento; en un suelo friable existe humedad suficiente entre las partículas para minimizar el efecto cementante; por otra parte, no hay agua suficiente para la formación de películas en los contactos entre las partículas para producir cohesión, que es característico del estado plástico. Las partículas coloidales en este contenido de humedad, están ordenadas al azar, lo que contribuye a la friabilidad con bajo contenido de humedad en algunos suelos. No obstante, la adición de materia orgánica a los suelos, extiende la friabilidad a contenidos de humedad bastante altos (1,24).

Plasticidad

Se le ha llamado así, a la propiedad que permite el cambio de forma de masa de un suelo, por medio de una fuerza deformante, sin llegar al rompimiento (24). La plasticidad depende de la composición mecánica (contenido de arcilla), mineralógica (naturaleza de los minerales de arcilla) y química (naturaleza de las bases de intercambio y contenidos de materia orgánica) del suelo, que se manifiestan dentro de un intervalo de humedad determinado (34). Como el suelo en estado seco o en estado excesivamente húmedo no posee plasticidad, entonces ésta es el resultado de las fuerzas aplicadas; el grado de deformación está determinado por la distancia a que pueden moverse las partículas sin perder la cohesión (24,34).

Hay dos condiciones importantes para que se presente la plasticidad en el suelo: primero, debe añadirse agua suficiente para la formación de capas rígidas de agua en las superficies coloidales adyacentes; segundo, debe existir suficiente agua complementaria que sirva como lubricante entre las capas rígidas de agua cuando el sistema se somete a pequeños esfuerzos de deformación. De esta manera hay diferentes estados del sistema suelo - agua que marcan límites o intervalos de humedad en la cual la plasticidad se manifiesta; estos estados son conocidos como los Límites de Atterberg (27).

Límite plástico; es el contenido de humedad límite para que se de un cambio de consistencia friable a consistencia plástica. Representa la cantidad mínima de agua necesaria para que el suelo pueda moldearse; la humedad equivale a un pF de 2.8 a 3.3 (600 a 2000 cm de altura de una columna de agua) (27).

Límite líquido; está caracterizado por el contenido de agua en un suelo en el momento en que empieza a comportarse como un fluido y deja de comportarse como masa sólida. En este límite las películas de agua se hacen tan gruesas que la cohesión decrece y la masa del suelo fluye bajo la acción de fuerzas externas al sistema. La tensión del agua en este límite está en la vecindad de un pF de 0.5 (3.2 cm de altura de una columna de agua) (27).

Índice de plasticidad; es la diferencia entre límite líquido y límite plástico, es una medida indirecta de la fuerza necesaria para moldear el suelo (27).

Límite de pegajosidad o glutinosidad; es el contenido de

agua en el cual el suelo pierde su propiedad adhesiva y cesa de pegarse a otros objetos tales como las manos o la superficie metálica pulida de la hoja de una espátula (34). El porcentaje de humedad del punto pegajoso corresponde al contenido de humedad en que el poder de atracción del suelo para el agua está satisfecho, estado que se debe a la existencia de una película de agua entre la superficie del cuerpo extraño y el suelo. Esta película está unida al resto del agua del suelo mediante la misma tensión que existe a través de todo el suelo.

2.1.2 Resistencia de los suelos al esfuerzo cortante.

Es la resistencia de un suelo a la cortadura, específicamente, es la resistencia interna máxima del suelo al movimiento de sus partículas; es decir, la resistencia al deslizamiento de un suelo sobre el suelo (1).

Las fuerzas que resisten el esfuerzo cortante son las de fricción y cohesión internas o intergranulares y están expresadas mediante la siguiente ecuación:

$$S = C + \tan \phi P \quad \text{donde:}$$

S = es la resistencia a la cortadura

C = cohesión

P = presión

$\tan \phi$ = coeficiente de presión efectiva normal
al plano de corte

ϕ = ángulo de fricción

La cohesión y la fricción se expresan por una combinación de factores físicos y fisicoquímicos. Los factores físicos que afectan la fricción son: la resistencia al deslizamiento de una partícula sobre otra y la trabazón de las mismas; los factores fisicoquímicos son los que caracterizan las fuerzas de cohesión.

La resistencia al corte tiene importancia en los suelos plásticos, ya que existe una relación entre la resistencia al esfuerzo y el contenido de humedad. Así se ha encontrado que la cortadura es función de la cohesión de las películas de humedad

cerca del límite plástico; además, hay algunas expresiones matemáticas, que utilizan los límites plásticos para caracterizar la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante en términos de fuerzas aplicadas y del contenido de humedad del suelo (1).

2.1.3. Compactación

La compactación es el aumento en la densidad aparente de un suelo como resultado de las cargas aplicadas o presión (1,30); para alguna cantidad de presión aplicada, la densidad aparente resultante es una función de la humedad del suelo.

Típicamente, algunas áreas de la ingeniería, tienen como objetivo la obtención de altas densidades aparentes del suelo, ya sea para minimizar el futuro hundimiento y reducir la percolación; es decir, se busca el mayor grado de compactación. Sin embargo, en el contexto agronómico, la compactación es un estado dinámico del suelo que tiene influencia negativa en un cultivo y las manifestaciones inmediatas a la compactación son: reducción de la porosidad total, restricción de la aireación, apretamiento del suelo, impedimento a la penetración de las raíces, deficiencia del drenaje y dificultad para el laboreo del suelo.

La compactación natural puede darse por a) la formación de costras superficiales bajo la acción del golpateo y dispersión de las gotas de lluvia y el subsecuente secado de la capa de suelo y b) la contracción del suelo en seco.

En ocasiones, una causa inducida, es el pisoteo de ganado, Hillel (30) menciona que Tanner y Mamaril reportan que el pastoreo de animales puede causar incremento en la densidad aparente del suelo superficial de 1.22 a 1.43 g/cm³. Sin embargo, la causa más común es la compactación originada por maquinaria y paso de vehículos en diversas actividades, principalmente en suelos agrícolas.

Si bien la fuerza aplicada, induce la compactación, también es importante considerar que es una consecuencia de la composición textural y del contenido de humedad del suelo. Un suelo relativamente seco resiste la compactación, a causa de una matriz rígida y con alto grado de enlace de partícula a partícula, así como de su ensamblaje y/o resistencia fraccional a la deformación, cuando la humedad del suelo se incrementa. Por otro lado, la pe-

licula de agua debilita los enlaces entre partículas, causa hinchazón y parece reducir la fricción interna de las partículas, así el suelo se hace más trabajable y compactable.

A valores altos de humedad; es decir, ya en saturación, se evita el estrecho empaquetamiento de la matriz del suelo y hay poco incremento en la densidad aparente; así un mayor incremento en la humedad del suelo reduce la compactación. De esta manera se han obtenido las siguientes relaciones: la fuerza necesaria para compactar un suelo de una densidad constante decrece exponencialmente al aumentar el contenido de humedad. La densidad de un suelo con un determinado contenido de humedad aumenta exponencialmente al aumentar la fuerza aplicada (1).

La dependencia de la densidad aparente sobre la humedad del suelo no constituye una curva característica para un suelo dado, sino una familia de curvas para cada nivel de fuerza compactadora. De este modo el valor de humedad, en el cual la densidad aparente toma el máximo valor para un suelo dado, se denomina "humedad óptima" de compactación, a partir de este contenido la densidad aparente decrece.

Este comportamiento del suelo, en relación a la humedad-densidad se explica por la formación de la capa doble difusa y la orientación de las partículas; en un suelo con poca agua, el suelo está floculado y las partículas están distribuidas al azar; con mayor aumento de humedad hay aumento de las películas de agua y la densidad disminuye a causa del efecto de dilución del agua sobre concentración de las partículas por unidad de volumen, acompañada de algún desplazamiento de aire. Las mayores densidades obtenidas por el aumento del esfuerzo de compactación se deben a la mayor orientación de las partículas bajo fuerzas más intensas (1).

El uso de maquinaria y vehículos en las labores agrícolas entraña la aplicación de presiones sobre el suelo; la magnitud de estas presiones depende de un modo combinado, de las características del suelo, zona de superficie y de llantas y veredas involucradas. La manera en el cual estas presiones son distribuidas en el suelo y las deformaciones que ellas causan dependen, en realidad, de los patrones de las presiones superficiales, así como también de las características mecánicas del suelo en profundidad.

Para estimar la presión que actúa sobre algún plano hori-

zonal debajo de la superficie, se debe sumar superficialmente la contribución de presiones debidas a las fuerzas que actúan sobre cada elemento superficial; esto predice que sobre cualquier plano en alguna profundidad, la presión es máxima directamente bajo el centro sobre el área superficial cargada y decrece hacia los lados.

Las presiones son aplicables al suelo no solamente por el paso de vehículos sobre la superficie, sino también por herramientas para varios propósitos con operación de labores debajo de la superficie y debido a que estas herramientas generalmente son clavadas en y a través del suelo, pueden ocurrir diferentes efectos simultáneamente en el momento en que el suelo es cortado, comprimido, levantado, desplazado y mezclado. Inevitablemente algo del suelo es empujado hacia adelante por el movimiento de la herramienta en contra del cuerpo del suelo estático y así, es compactado (30).

De este modo, se ha observado que casi todos los instrumentos agrícolas forman algún tipo de piso en los suelos húmedos tales como: pisos de arado, influenciada principalmente por las ruedas del tractor; pisos de arado de subsuelo producida por la pala o pie de pato del arado; pisos de rastra de discos, generados por las mismas fuerzas que causan la penetración del disco y pisos de tránsito producidos por vehículos para la siembra y el deshierbe.

Las consecuencias de la compactación en el suelo son varias, Soane (op. cit. 30) ha indicado que parte del 90% de la superficie del suelo puede ser recorrida por la llanta del tractor durante la preparación tradicional del terreno, seguida por un pisoteo cercano a un 25% durante la recolección combinada y como un 60% donde es la empacada y acarreada de productos. La compactación causada por todo este tráfico, particularmente durante las operaciones de sembrado, puede incrementar la densidad aparente a una profundidad de al menos 30 cm y puede permanecer durante la vida del cultivo. Especialmente perjudicial es la práctica de cultivo en suelos arcillosos con equipo pesado cuando el suelo está húmedo.

Además, se ha reportado (30) que las raíces en las zonas compactadas crecen a través del suelo desplazando partículas para

ensanchar los poros, ejerciendo una presión más grande que el esfuerzo mecánico del suelo. Así las restricciones resultantes debido a la deficiente aireación y drenaje exponen a las raíces a diversas tensiones provocando una capacidad para penetrar, agrandar y agrietar; no obstante, desde el punto de vista agrícola, hay interés en minimizar la resistencia del suelo a la elongación de la raíz.

La compactación del suelo, la retención de humedad, la aireación, textura y crecimiento de raíces, han sido relacionados por medio de la resistencia del suelo a la penetración de un instrumento de sondeo, denominado penetrómetro (1,30). La magnitud de la penetración por unidad de fuerza aplicada a un suelo varía con la forma y tipo de instrumento empleado y por la fricción entre el suelo y el metal y la resistencia del suelo al esfuerzo cortante; sin embargo, el modelo o patrón de resistencia a la penetración no se ve afectado por el tipo de instrumento y así se ha detectado un rápido aumento a la resistencia con la creciente disminución de la humedad o que las zonas de compactación se mueven hacia la superficie a medida que el número de operaciones de labranza aumentan.

Las determinaciones con el penetrómetro proveen de información sobre la resistencia y la compactación del suelo si se toma en cuenta la naturaleza mixta de los efectos medidos (1).

2.2. DEGRADACION DE LOS SUELOS

2.2.1. Importancia.

La degradación de los suelos se define como: "un proceso que rebaja la capacidad actual y/o potencial del suelo para producir cuantitativamente bienes o servicios" (19).

Este proceso implica una disminución de la capacidad productiva de los suelos; no es necesariamente continuo y puede producirse entre diversos periodos de estabilidad o equilibrio ecológicos; produce alteración en el equilibrio dinámico entre partículas del suelo, materia orgánica y organismos vivos; modifica características tales como profundidad, densidad aparente, permeabilidad, estabilidad estructural, pH y capacidad de intercambio de cationes; los efectos de estas modificaciones repercuten en las cualidades del suelo, tales como retención de agua, disponibilidad de oxígeno

geno y de nutrimentos y facilidad de labranza (20).

Los fenómenos degradativos que contribuyen a la pérdida de la capacidad productiva se han dividido en dos categorías:

- i) erosión y remoción real, debidas al viento y al agua.
- ii) pérdida de fertilidad, a causa de cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo (20); en esta categoría, algunos países han incluido el efecto negativo de la contaminación con metales pesados (8).

Un impacto de la degradación de los suelos, es el deterioro económico del valor del suelo; Vander Pluym, citado por Coote (8) menciona que algunos pastizales en buenas condiciones con un valor en el mercado de 1500 dls/ha, se vieron devaluados a 200 dls/ha después de haber sido afectados por la salinización; de manera general en el oeste del Canadá, la devaluación de terrenos pudo haber sido de alrededor de 3000 millones de dólares en 1981. Esta información permite considerar la importancia de la degradación desde el punto de vista mercantil; sin embargo, es necesario tomar en cuenta otros factores para una valoración en términos del aprovechamiento del recurso.

Otro impacto de la degradación, es el costo para mantener la productividad del suelo; para la optimización de la producción es necesario el uso de fertilizantes, pesticidas, semillas mejoradas, riego, etc., buscando siempre los costos adecuados. Cuando un suelo está deteriorado por algún proceso degradativo, el gasto de inversión aumenta y muchas veces es necesario invertir más para conservar el suelo productivo y evitar que el deterioro se extienda a otras áreas no afectadas.

2.2.2 Métodos para obtener información.

Los datos que pueden contribuir al estudio de la degradación de los suelos mencionados por FAO (18,19), pueden provenir de:

- a) Observaciones directas; mediante la inspección directa de campo se pueden obtener criterios visuales de deterioro de los suelos, estos criterios son valorizados cualitativamente y su confiabilidad depende de la experiencia del observador. La información debe ser recabada en lapsos de tiempo sucesivos y necesariamente estas evaluaciones deben ser vaciadas en cuadros y mapas, usando signos o leyendas convencionales; FAO (1980) proporciona

criterios sencillos de uso común para la identificación de los diferentes procesos de degradación que propone. Las observaciones directas proporcionan, en ocasiones, la comprobación de resultados obtenidos por otros métodos, principalmente la teledetección.

b) Observaciones mediante teledetección; el uso de imágenes transmitidas por satélite constituye un medio rápido para obtener información. A escalas grandes ciertos fenómenos de degradación se miden con notable precisión; sin embargo, a pequeñas escalas algunos datos pueden no ser tan claros.

La imagen, repetida en el tiempo de una misma zona es una ventaja técnica, ya que permite el seguimiento de los procesos en un periodo determinado. El alto costo y la inexperiencia en la interpretación de las imágenes son algunos de los inconvenientes del método.

c) Modelos matemáticos; no existe modelo matemático operativo ampliamente ensayado para predecir la degradación de los suelos; estos modelos deben simular la situación real en condiciones sencillas y favorables, en lo que se podría llamar en general "condiciones de laboratorio". Esto permitiría desarrollar una observación y experimentación más eficiente y sistemática que a su vez permitan desarrollar nuevos conceptos y relaciones (38).

d) Modelos paramétricos; se refieren a métodos de medición cuantitativos de los diferentes procesos involucrados en análisis o evaluación de un fenómeno determinado; en estos métodos se asignan valores a las variables, dependiendo de una previa jerarquización adecuada. Los modelos generalmente son considerados hasta cierto punto matemáticos, ya que tratan con datos cuantitativos o semicuantitativos, dando como resultado una aproximación a la realidad y las fórmulas pueden expresarse de manera un tanto generalizada; las expresiones numéricas manifiestan un nivel o calificación dependiendo del grado de desarrollo del proceso que se está analizando.

La principal ventaja del método paramétrico es que, una vez que se ha establecido una tabla de conversión, que es la jerarquización en diferentes niveles de las variables involucradas en la clasificación, se obtienen resultados consistentes (28).

Se han desarrollado diferentes sistemas para evaluación de tierras por métodos paramétricos, Hernández (28) menciona a

Blanck (1931), Clark (1951), Nelson (1963), Sys y Frankart (1971), Borden y Warken (1974) y Riquier et al (1970).

En 1932, se publicó el Índice de Storie (49) para calificar el valor agrícola de los suelos; es una expresión numérica del grado en que un suelo presenta condiciones favorables para el desarrollo de las plantas y producción de cosechas, en buenas condiciones ambientales. Para llegar a la calificación relativa con el Índice de Storie se consideran cuatro factores: A) grado de desarrollo del perfil del suelo; B) textura del suelo; C) la pendiente del terreno y D) factores modificantes, como drenaje, salinidad, acidez, erosión, fertilidad y microrrelieve (49). Este índice se utilizó en el sur de California, pero es adaptable a muchas regiones áridas y semiáridas (15).

Otra ecuación paramétrica muy utilizada, es la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo, cuya fórmula es:

$$A = R.K.L.S.C.P.$$

donde A = Pérdida del suelo, kg/ha/año
B = Factor de erosividad por precipitación pluvial.
K = Factor de erodabilidad del suelo.
L = Factor de longitud de pendiente.
S = Factor de gradiente de pendiente.
C = Factor de manejo de suelo, y
P = Factor del método de control de erosión.

Esta ecuación se utiliza para predecir la pérdida promedio anual del suelo debido a la erosión hídrica y, con los valores obtenidos, permite determinar las alternativas de cultivo y de manejo para reducir la pérdida de suelo (35).

FAD emplea una fórmula paramétrica en su metodología para la evaluación de la degradación y a partir de ésta se desarrollan otras semejantes para cada proceso de degradación; los factores de terminados para cada proceso tienen valores aproximados y por consiguiente el resultado final es una indicación de la probable magnitud del proceso de degradación de que se trate, además debe servir de guía para definir las áreas que están afectadas y aquellas que están en peligro de ser alcanzadas por procesos degradativos, con el objetivo principal de desarrollar prácticas culturales e i-

dear y aplicar medidas de conservación que garanticen el uso menos riesgoso de la tierra (18,19).

2.2.3 Esquema general de evaluación.

Para aplicar el sistema de evaluación, es necesario conocer los principios en que se basa la metodología, estos son:

- el equilibrio de la agresividad climática y la resistencia natural del suelo a ella, y la influencia del hombre en la alteración de este equilibrio.

- a partir de evaluaciones finales, determinar que riesgos entrañan usos alternativos de la tierra.

Por lo tanto la evaluación se base en la recopilación de datos existentes y en la interpretación de los siguientes factores ambientales: clima, vegetación, características edáficas, ordenación de los suelos, topografía, y el tipo de aprovechamiento de la tierra. Los factores anteriores están relacionados por medio de la fórmula general:

$$D = f (C,S,T,V,L,M)$$

donde D = Degradación del suelo.
C = Factor agresividad climática.
S = Factor suelo.
T = Factor topográfico.
V = Factor vegetación natural.
L = Factor uso de la tierra.
M = Factor explotación.

Los valores asignados a cada factor, deben ser escogidos de tal manera que expresen un resultado apropiado al tipo de degradación que se esté considerando; por consiguiente, las unidades del valor resultante deben dar idea de la manera en que un proceso degradativo se desarrolla. FAO (19) propone las siguientes unidades para cada proceso:

erosión hídrica y eólica:
salinización:

pérdida del suelo en t/ha/año.
aumento de la conductividad eléctrica de una pasta saturada a 25°C, en

sodificación:	mmohs/cm/año. aumento de sodio intercambiable en por ciento por año.
acidificación:	disminución de la saturación de bases en % / año.
toxicidad:	aumento de los elementos tóxicos, en ppm/año.
degradación físicas:	aumento en la densidad aparente, en g/cm ³ /año. disminución de la permeabilidad, en cm/h/año.
degradación biológicas:	disminución del humus, en por ciento/año.

Con las expresiones resultantes anteriores, se pueden considerar dos tipos de evaluación:

1) Degradación actual; se refiere a la degradación que actúa en el momento presente, en este apartado se considera la integridad del proceso (velocidad anual) y debe complementarse con información relativa al estado actual del suelo, con el fin de determinar cuanta degradación puede soportar el suelo (tolerancia a la degradación). En este tipo de evaluación hay que considerar aquellas propiedades adecuadas al proceso de que se trate.

2) Riesgo de degradación; es el riesgo de que ocurra degradación en ciertas condiciones adversas definidas; para este tipo de evaluación es necesario especificar las condiciones de los factores que pueden sufrir alteraciones en lapsos de tiempos cortos, tales como el factor vegetación, factor uso de la tierra y factor explotación y elegir las peores condiciones posibles. Esta elección de condiciones estandar es necesaria para crear una base para:

- la comparación entre Áreas diferentes.
- que la evaluación de riesgos sea dinámica y esté acorde al cambio eventual en el uso de la tierra o la explotación.

A partir de esta evaluación se puede predecir el riesgo que amenaza bajo diferentes sistemas de uso y explotación de la tierra sustituyendo los valores de las condiciones estandar, por los valores de los factores vegetación-uso y explotación de la

tierra del caso particular.

Como ya se indicó esta metodología considera diversas fuentes de datos para la evaluación de los factores en cada tipo degradativo de suelos. Estas fuentes de datos, deben estar acordes con una escala o nivel de evaluación previamente determinada, y por lo tanto, se ha establecido la siguiente jerarquía de escalas:

- 1) Evaluación a nivel general (1:1 000 000), corresponde a la clase "área" de degradación de los suelos.
- 2) Evaluación a nivel regional (1:100 000 - 1:1 000 000), corresponde a la clase "región" de degradación de suelos.
- 3) Evaluación a nivel detallado (1:20 000 - 1:100 000), corresponde a la clase "grupo" de degradación de suelos.
- 4) Evaluación a nivel muy detallado (< 1:20 000), se le asigna la clase "unidad" de degradación de los suelos.

2.2.4 Tipos de degradación.

Los procesos de degradación son los fenómenos que causan una disminución en la calidad de los suelos. Estos procesos muchas veces están relacionados entre sí, FAO (19) los clasifica en las siguientes categorías:

Erosión hídrica. - Incluye procesos como la erosión por salpicamiento, la erosión laminar, la erosión en cárcavas y diversos tipos de movimiento de masas; por ejemplo, corrimiento de tierras, corrientes de fango. Su importancia radica principalmente en la cantidad de lluvia que cae a diferentes intensidades, así como la región en que está actuando.

Erosión eólica. - Abarca tanto la remoción y el depósito de partículas de suelo por la acción del viento, como los efectos abrasivos de las partículas móviles cuando éstas son transportadas. Este tipo de erosión se da donde las lluvias son poco intensas y variables; además, donde la cubierta vegetal es escasa. Otro aspecto que contribuye a su desarrollo es la abundancia de limo fino o arcilla y si la topografía se presenta plana o undulada.

Exceso de sales.- En esta categoría se comprende la salinización y la sodificación; la salinidad es un problema que se ha acrecentado a través del tiempo en los suelos, es una amenaza constante de gran importancia para la continuidad de la agricultura bajo riego y se caracteriza por una concentración elevada de sales en la solución del suelo. Algunos suelos son salinos por naturaleza, pero el aumento de la salinidad procede comunmente de la evaporación del agua en la superficie del terreno y el consiguiente depósito de sales.

Algunos aspectos relacionados con la salinización son: condiciones de drenaje deficiente, altos índices de evaporación, adición de agua de riego con grandes cantidades de sales solubles, y formación de sales durante el intemperismo de los minerales (33).

Degradación química.- Incluye procesos tales como la lixiviación de bases y el desarrollo de toxicidades por acumulación de sustancias diferentes a las sales.

Este tipo de degradación es importante en lugares donde las precipitaciones son fuertes, los suelos son arenosos y los declives de los terrenos son poco pronunciados; debido a esto se desarrolla un drenaje eficiente. En estas condiciones se presenta el fenómeno de lixiviación de bases y por consiguiente, hay un aumento progresivo de la acidez de los suelos que, en ocasiones resulta con efectos tóxicos por acumulación excesiva de elementos como el aluminio, hierro y manganeso.

Degradación física.- Se refiere a los cambios adversos en las características físicas del suelo tal como la disminución de la permeabilidad, aumento en la densidad aparente, disminución de la porosidad y disminución de la materia orgánica; esto trae como consecuencia alteración en la estabilidad estructural y en un sentido más estricto provoca la compactación de los suelos.

La compactación es perjudicial por las siguientes razones: 1) origina condiciones adversas para el crecimiento de la raíz ya que ésta no puede penetrar hasta los horizontes profundos del suelo, en los que la humedad y nutrimentos resultan más aprovechables, así las plantas se ven sometidas a grandes esfuerzos

durante la sequía; 2) reduce la porción de agua que se mueve hacia adentro y a través del suelo; 3) incrementa la energía necesaria para el laboreo, requiriendo de grandes tractores o maquinaria eficiente y generando grandes costos de combustible y tiempo.

La compactación se asocia generalmente a prácticas de laboreo en monocultivos continuos; en el contexto agronómico es importante considerarla, ya que ayuda a establecer criterios para: elegir el manejo del suelo, diseñar la frecuencia del tráfico de maquinaria en las operaciones de preparación del lecho para las semillas y raíces, fertilización y recolección de las cosechas.

Degradación biológica.— Es la degradación que trata con los procesos que aumentan la velocidad de mineralización del humus. La materia orgánica fresca es transformada poco a poco dando lugar a elementos minerales solubles o gaseosos, tales como NH_3 , CO_2 (biodegradación o mineralización) y a complejos coloidales (complejos húmicos) que son relativamente estables y resistentes a la acción microbiana.

El humus tiene influencia en las propiedades físicas del suelo, ya que es un estabilizante en la estructura, reduce la humectación de los agregados y hace más lenta su destrucción por el agua; tiende a limitar el fenómeno de contracción y agrietamiento de los suelos, e interviene como un regulador de la temperatura del suelo por sus propiedades térmicas.

Además, el humus tiene la propiedad de fijar cationes indispensables para la nutrición vegetal, tales como K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y NH_4^+ que proceden de su propia mineralización y los pone a disposición de las plantas por efecto de un simple fenómeno de dilución o por el mecanismo de intercambio de cationes. De aquí la importancia de que la mineralización del humus sea en condiciones óptimas para que se establezca el reservorio de elementos para la nutrición de las plantas y su influencia en las propiedades físicas de los suelos (16).

2.3 ANTECEDENTES SOBRE ESTUDIOS DE DEGRADACION FISICA

Chassé (7) menciona que en los años treinta se realizaron los primeros estudios de compactación, ya que para entonces se reportaban cambios de densidad aparente causada durante varios años

de laboreo. En los años cincuentas los trabajos sobre compactación tuvieron como objetivo principal la implantación de metodologías para entendimiento de la compactación. A partir de esta época los estudios ya están siendo enfocados a la compactación causada por maquinaria pesada en suelos agrícolas, considerando aspectos de operaciones de labranza en relación con la alta densidad aparente, baja porosidad, contenido de humedad, efectos en el crecimiento de las plantas y por consiguiente con el aspecto económico.

También menciona en su revisión, los trabajos pioneros que consideran los aspectos importantes de la compactación. Sin embargo, es hasta ahora que algunas investigaciones son muy específicas para comprender el proceso de compactación, como es el caso del estudio realizado por De Kimpé (13), en donde su objetivo fue el de investigar el efecto de dos fuerzas semejantes (compactación y asentamiento) sobre la densidad aparente y la capacidad de transmisión de agua, así como el relacionar sus conductas con algunas propiedades físicas. Sus resultados muestran el efecto predominante de la materia orgánica en la retención de humedad y la discrepancia entre conductividades hidráulicas, en suelos saturados de muestras sometidas a los esfuerzos de compactación y de asentamiento; concluyendo además, en que los macroporos, porosidad y continuidad de los mismos son esenciales para el adecuado drenaje de los suelos (incluso menciona que se debe tomar en cuenta la materia orgánica y textura para la obtención de condiciones óptimas para el laboreo de los suelos).

Otro estudio importante es el realizado por Chassé (op. cit. 7) en huertos de manzana con 30 o 40 años de historia con tráfico de maquinaria. Examinó los patrones de compactación y comparó en huertos más recientes el cambio de la densidad aparente contra el número de pasos de tractores. Dentro de sus resultados señala tres patrones de compactación: daño no visual, daño visualmente moderado y daño visualmente fuerte; considera de mayor importancia el daño no visual que es característico de 18 a 30 cm abajo de la superficie. Además, encuentra aumento en la densidad entre 0.48 y 0.56 g/cm³ por el incremento de número de pasos del tractor y rociadores.

Con estos resultados sugiere que para incrementar la población de árboles por unidad de área es necesaria una información

previa de la interacción suelo - maquinaria.

Se han conducido algunos trabajos para encontrar métodos de predicción de compactación del suelo; Söhne en 1959, ya propone un modelo matemático en que utiliza tres ecuaciones, cada una de ellas desarrollada para diferentes esfuerzos aplicados al suelo; Blackwell (3) utiliza este modelo matemático para predecir compactación debajo de las llantas de los tractores cuando pasan sobre suelos de ciertas características; así sugiere que el incremento de la compactación debido al peso del vehículo puede ser compensado completamente por incremento de las áreas de contacto de las llantas con la superficie del suelo cultivado.

Otro modelo, es el propuesto por Saini (45) al que llama índice de compactabilidad, este modelo matemático relaciona la compactación del suelo con varios factores, tales como contenido de humedad crítica, materia orgánica, densidad aparente, contenido de arena, limo y arcilla. Sin embargo, este modelo indica cualitativamente cómo se comportan los suelos y los resultados pueden ser solamente guías de compactación; Saini, sugiere que es necesario realizar más trabajos para sentar bases cuantitativas más sólidas, para la elaboración de modelos matemáticos de predicción de compactación.

Dentro de los estudios relativos a las propiedades físicas de los suelos, los investigadores se ayudan con la determinación de la resistencia al penetrómetro, contenido de humedad, porosidad y conductividad hidráulica para comprender algunos procesos de compactación; ejemplo de esto lo tenemos en Mbagwn (41), Cosby (9) y Douglas (17).

En nuestro país, se han avocado, al estudio de propiedades físicas de los suelos arcillosos, con la finalidad de caracterizar ciertos estados que se involucran en el manejo y mejoramiento de éstos; encontrándose que los problemas más comunes de los suelos arcillosos son baja permeabilidad, dificultad de labranza, problemas de germinación y emergencia de plántulas, aireación deficiente, salinidad, problemas de toxicidad (33) y compactación.

González (25) menciona que la preparación deficiente del terreno entre un cultivo, la siembra del siguiente cultivo y el desconocimiento del contenido de humedad del terreno propicia el uso de maquinaria de mayor potencia, para lo cual Sims (47) ha in-

tentado relacionar el contenido de humedad y el uso de herramienta agrícola con tracción animal, tratando de minimizar el uso de maquinaria pesada.

Otro aspecto estudiado, son los sistemas de labranza en zonas donde hay problemas de permeabilidad y salinidad. Tal es el caso de Covarrubias (10) que, trabajando en el Distrito de Riego 086, Río Soto la Marina, Tamps., llegó a la conclusión de que la labranza de conservación, incrementa la porosidad, reduce la compactación y mejora la permeabilidad y a su vez, esto repercute en el control de la salinidad. Este mismo autor considera que los problemas de labranza que utilizan escarificadores para la siembra, reduce el deterioro del suelo y mejora la producción de maíz.

Campos de Jesús (5) con su trabajo en la Mixteca Oaxaqueña determinó condiciones para el laboreo de suelos arcillosos relacionando la influencia del laboreo sobre la producción, condiciones físicas y de humedad del suelo y los costos de producción; concluyó que la labranza tradicional (barbecho + surcado + dos escardas) resulta el mejor manejo para las condiciones de suelo y sociop económicas prevalientes. Sin embargo, considera que es necesario una mínima cantidad de rastrojo dentro del manejo de los suelos en siembras de maíz sólo o asociado para mejorar las condiciones estructurales de los suelos de naturaleza arcillosa.

Indirectamente, los estudios de propiedades físicas y de laboreo de los suelos, plantean, el problema de la compactación de los suelos; Maciel (40) plantea que la compactación de los suelos arcillosos del estado de Tamaulipas, se debe a la realización de labores inadecuadas y menciona que el uso de maquinaria pesada y la frecuencia con que se usa, son las principales causas. Sugiere que la compactación se puede evitar con barbecho y sin abuso de laboreo con rastra de discos; además, incluye otra alternativa para detectar la compactación; sugiere el cultivo del frijol, que por ser sensible a exceso de sales, pH, inundación de terrenos y circulación de aire, manifiesta síntomas de clorosis del follaje.

La existencia de la compactación, se ha determinado por el efecto que causa en las plantas propiamente, Valle-Bueno (50) al investigar la causa de la clorosis en soya en el estado de So-

nora, detectó la presencia de un estrato denso de espesor variable (30±10 cm), rico en arcilla y de estructura poliédrica. Señala que dentro de las propiedades físicas del suelo, esta capa densa y compacta, es la principal causa relacionada con la presencia de clorosis en los cultivos de dicha zona.

El mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, es objetivo de muchas investigaciones, principalmente en aquellos suelos en que la problemática involucra el proceso de compactación. Lee (36) en su trabajo de suelos arcillosos del Valle Yaqui, Sonora, evaluó el efecto de la incorporación de residuos de cosechas, que dieron por resultado algunos aumentos en el contenido de materia orgánica, infiltración acumulativa, agua aprovechable, porcentaje de agregados y reducción en la densidad aparente y resistencia al penetrómetro.

En la última década aparecen reportes (18,19,20) en los cuales se considera un nuevo concepto: degradación de suelos. Dentro de éste, se considera la importancia de la degradación física, específicamente la compactación; este proceso degradativo ya es mencionado por Coote (8); en un extenso trabajo describe los procesos, extensiones y direcciones del proceso en suelos agrícolas en Canadá.

2.4 ANALISIS DISCRIMINANTE

Dentro de los métodos estadísticos, hay técnicas que ayudan a analizar simultáneamente el grado de relación entre dos o más variables; se denominan genericamente como métodos multivariados; entre estos se encuentra la técnica de análisis discriminante.

Esta técnica se utiliza para distinguir estadísticamente dos o más grupos de casos, sobre las bases de una serie de variables independientes. Estas variables son seleccionadas en una colección de variables discriminantes, que miden características cas y se espera sean diferentes para cada grupo (14,48).

Este análisis persigue los siguientes objetivos:

- a) determinar la significancia estadística existente entre los porcentajes de puntajes de dos o más grupos definidos a priori.
- b) establecer procedimientos para clasificar unidades es-

tadísticas (individuos o casos) dentro de grupos sobre las bases de sus puntajes sobre las diversas variables.

c) determinar cual de las variables independientes se consideran para diferenciar a los grupos.

El objetivo matemático es obtener combinaciones de variables independientes que servirán para discriminar mejor entre los grupos ya definidos. Esto se lleva a cabo mediante la regla estadística de maximizar la varianza entre grupos en relación con la varianza que pudiera existir dentro de los grupos (14).

La combinación lineal para el análisis discriminante se obtiene de una ecuación de la forma:

$$Z = C + W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n$$

donde

Z = puntaje de la función discriminante.

W = pesos o valores de los coeficientes.

X = valores estandarizados de las variables independientes.

C = constante.

En esta ecuación (o función discriminante) la hipótesis a probar es que no existe diferencia entre los grupos (22).

El máximo número de funciones que pueden ser derivadas es una menos que el número de grupos o igual al número de variables discriminantes, si hay más grupos que variables. De todas maneras, las funciones son formadas de tal forma que se maximiza la separación de grupos y el peso de los coeficientes sirven para identificar las variables que contribuyen más a la diferenciación.

Actualmente a través de programas para computadoras se realiza este análisis de variables; los métodos por los cuales las variables independientes son seleccionadas para su inclusión en el análisis discriminante son el directo y por etapas (stepwise).

Por el método directo, las funciones discriminantes son creadas directamente del conjunto de variables independientes, independientemente del poder discriminante de cada una de ellas; este método se usa cuando no se está interesado en resultados intermedios que ofrece el programa estadístico.

En el método por etapas (stepwise), las variables independientes son seleccionadas tomando en consideración su poder discriminante; en muchos casos, el conjunto de estas variables contiene un exceso de información acerca de la diferencia entre grupos; otras veces las variables no pueden ser útiles en la discriminación de las variables (48).

El proceso empieza seleccionando una sola variable que presenta el valor más alto sobre el criterio de selección (Lambda de Wilks); en una siguiente etapa, la primera variable es comparada con cada una de las variables sobrantes; la que presente el mejor valor de criterio de selección, es escogida como la segunda variable para entrar en la ecuación estas dos variables; ya escogidas son comparadas con cada una de las otras variables restantes, formando triquetes de variables y, con la que presente mejor valor del criterio de selección, se considera como la tercera variable y es incluida en la ecuación; este procedimiento es realizado sucesivamente hasta que sean seleccionadas o no las variables adicionales. Además, este tipo de análisis proporciona la siguiente información estadística por grupos: medias, desviaciones estándar, pruebas de F, matrices de correlación, matrices de varianzas y covarianza, además de los coeficientes de clasificación para ser usados en la función discriminante (48).

Los criterios de selección que pueden ser usado en este procedimiento son: método de Wilks, método de Mahal, método de Maxinf, método de Rao y método de Minresid (op cit).

3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACION

El área de estudio abarca todo el municipio de Salamanca; este está situado en la parte sur del Estado de Guanajuato. Sus coordenadas de localización son los 20°30' y 20°45' de latitud norte y los 101°00' y 101°20' de longitud oeste (fig.3.1).

Está limitada al norte, con los municipios de Irapuato y Guanajuato; al noroeste, con el municipio de San Miguel de Allende; al este, con los municipios de Santa Cruz de Juventino Rosas y Villagrán; al sureste, con el municipio de Cortázar; al sur, con el municipio de Pueblo Nuevo (32). Su altura mínima es de 1721 metros sobre el nivel del mar y su área territorial es de 773 km², que representa el 2.53 % del total del territorio del Estado (44).

El municipio está muy bien comunicado, ya que por él cruzan las Carreteras Federales números 43 y 45 y el ferrocarril México - Ciudad Juárez; posee además, una serie de caminos de fácil acceso, lo que proporciona a la zona una infraestructura importante tanto para la industria como para la agricultura (11).

3.2 FISIOGRAFIA

El municipio de Salamanca pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, específicamente a la subprovincia del Bajío Guanajuatense. Una parte pequeña del norte del municipio está enclavada en la provincia Mesa del Centro.

A esta subprovincia se asocian las siguientes topofomas: llanura de aluviones profundos y llanuras con tepetate a poca profundidad (en el centro del municipio), sierras con laderas tendidas (al sur), mesetas con cañadas (al norte), lomeríos aislados (al sureste) y sierras altas con mesetas laterales (al norte)

(44).

3.3 GEOLOGIA

La zona se localiza en la colindancia del Eje Neovolcánico y la parte Sur de la Mesa del Centro, su límite es la línea en que la superficie de meseta cede lugar a las vertientes montañosas (39).

Dentro de las secuencias de origen del Eje Neovolcánico, pertenece a la fase de actividad volcánica Plioceno - Cuaternario con aparatos volcánicos, muchos de ellos, destruidos o recubiertos por emisiones posteriores; con la presencia de estructuras extrusivas como calderas, conos ígneos secundarios, restos de cuellos volcánicos, etc. De tal manera que a este accidente tectónico se le considera vulcanismo riolítico e ignimbrítico (39,44).

Las rocas ígneas extrusivas del Terciario están representadas por andesitas, riolitas, toba volcánica. Del Cuaternario las rocas ígneas extrusivas son basaltos y suelos aluviales, residuales y lacustres (39,44).

Hay gran cantidad de fracturas y fallas asociadas a este vulcanismo Terciario - Cuaternario que han dado lugar a fosas largas y de alguna profundidad que están íntimamente relacionadas con los manantiales termales (26,44).

3.4 SUELOS.

Los suelos en el municipio de Salamanca, provienen principalmente de aluviones; hay predominancia de Vertisoles, asociados con otras unidades tales como Feozems, Castañozems y Litosoles.

Estos tipos de asociaciones dependen principalmente de las topofomas que los sustentan; en Salamanca encontramos reportados:

a) Vertisoles limitados por una fase pedregosa en lomeríos aislados, DETENAL ha clasificado estos suelos como Vertisoles pélicos (44). Las características generales de estos suelos son: color oscuro, textura uniforme fina o muy fina con 30 % o más de arcilla en todos los horizontes, a una profundidad no menor de 50 cm; por lo general la arcilla predominante es la montmorillonita, que ocasiona que estos suelos al secarse se encogán y agrietén;

presentan estructura granular fuerte en los 15 a 50 cm superiores; en sequedad presentan grietas superficiales de cuando menos 1 cm de ancho, hasta una profundidad de 50 cm; mantienen altos coeficientes de dilatación o expansión y su consistencia húmeda es extremadamente plástica; presentan agregados naturales de lados lisos en forma de cuña o paralelos (4,21).

b) Feozems lúvicos asociados a Litosoles, limitados por una fase lítica en mesetas abruptas (26).

Los Feozems lúvicos pueden tener en la superficie una capa delgada y suelta de hojarasca, el horizonte superior es considerado A mólico de color gris oscuro de hasta 50 cm de espesor; este horizonte pasa gradualmente a un B argílico, de color pardo obscuro, de bloques angulares o subangulares con revestimiento de arcilla; con la profundidad disminuye el contenido de arcilla así como la frecuencia de los revestimientos de arcilla. Dominan en ellos las partículas de 60 μ de diámetro, la cantidad máxima de arcilla ocurre en el horizonte medio; la materia orgánica disminuye en forma constante, la capacidad de intercambio catiónico es variable (21).

c) Los Litosoles son suelos que están limitados en profundidad por roca, tepetate o caliche duro dentro de los 10 cm de profundidad. Tienen características muy variables en función del material que los forma; pueden ser arcillosos o arenosos; su susceptibilidad a erosionarse depende de la precipitación, de la topografía y del mismo suelo y puede ser desde moderada hasta muy alta (4,21).

d) Vertisoles pélicos asociados a Feozems háplicos y limitados por una fase pedregosa, en sierras de laderas tendidas; presentan como característica general un horizonte A mólico (15).

e) Vertisoles pélicos asociados con Feozems háplicos en las llanuras con aluviones profundos (44).

3.5 HIDROLOGIA

Las principales corrientes son el Río Lerma y el Río Laja; en el poblado de las Adjuntas, en el norte del municipio; se encuentran los arroyos: Potrerillos, La Joya, Peñas Prietas, El Borde y Ortega; todos ellos afluentes del Río Temascalco, el que forma límites con el municipio de Irapuato. Se encuentran muchos

canales cruzando el municipio de norte a sur y de este a oeste, tales como: Canal Ing. Antonio Coria, Bajo Salamanca, Canal Nueve, Canal Doce, Canal Veinte, todos ellos construidos artificialmente para transporte de agua de riego (32).

Salamanca pertenece a una zona en donde los niveles freáticos son los suficientemente elevados y grandes para extraer agua con fines agrícolas, industriales y urbanos. Sin embargo, dichos niveles se encuentran descompesados, según la conformación geológica del subsuelo de manera que fluctúan entre los 80 y los 160 m.

Este municipio pertenece la Subcuenca Celaya-Salamanca, tiene 351 pozos de riego, que representan 120 millones de metros cúbicos para 12 200 hectáreas y 49 pozos para usos domésticos e industrial que representan 23.7 millones de metros cúbicos (44).

En el municipio se han clasificado dos zonas para la explotación de pozos: una de ellas situada en la parte este, en la que se recomienda no incrementar el uso con fines agrícolas por riesgo de la sobreexplotación; en la otra zona situada en la parte sur-suroeste se puede todavía incrementar la explotación de agua para todo uso (44).

3.6 CLIMA

El clima del municipio de Salamanca está comprendido principalmente dentro de los semicálidos - subhúmedos con dos variantes con respecto a la humedad:

El primero es considerado como el menos húmedo, con un porcentaje de lluvia invernal con respecto a la total anual menor de 5; este tipo climático presenta una precipitación media anual de 700 a 800 mm; siendo en el mes de agosto cuando se presenta la ocurrencia máxima de lluvia (160 - 170 mm) y en febrero la mínima (<5 mm); la temperatura media anual fluctúa de los 18°C a los 20°C, siendo mayo el mes más cálido y enero el mes más frío.

El segundo tipo es considerado intermedio en cuanto a humedad; su precipitación media anual oscila entre los 700 y 800 mm, siendo en junio cuando se alcanzan los volúmenes máximos (120-130 mm) y en febrero los mínimos (10 mm); la temperatura media anual varía entre los 16°C y 18°C, presentándose en mayo la mayor temperatura y en enero la menor la menor (44).

Las heladas en esta zona se reducen a 10 días y en algunas áreas el fenómeno es inapreciable. Con respecto a granizadas, no hay patrón definido para su comportamiento y presentan una frecuencia de uno a tres días al año.

3.7 VEGETACION

En la subprovincia del Bajío Guanajuatense se alcanzan a distinguir aún los siguientes tipos de vegetación: matorral subtropical, mezquital y pastizal halófilo. Sin embargo, el municipio objeto del estudio presenta dos unidades principalmente:

a) Matorral subtropical, con sus tres estratos componentes:

-Estrato superior, constituido por *Lemnolrocereus* sp. (Órgano), *Xpomea* sp. (casahuate), *Opuntia* sp. (nopal), *Acacia* sp. (huitache) y *Prosopis leavigata* (mezquite).

-Estrato medio, constituido por *Acacia* sp., *Mimosa* sp. (uñas de gato), *Salvia* sp. y *Forestiera* sp. (acibuche).

-Estrato inferior, constituido por *Bouteloua* sp., *Aristida* sp., *Chloris* sp. *Eragrostis* sp. y *Aztecopsis* sp.

b) Pastizal halófilo, se desarrolla en zonas restringidas que presentan acumulaciones de sales; los componentes de esta unidad son *Dialichia spicata*, *Miliria* sp. y *Syntherisma* sp.

Estos tipos de vegetación ocupan áreas pequeñas en la zona de estudio, ya que el resto está ocupado por agricultura bajo riego y de temporal (44).

3.8 AGRICULTURA

La agricultura que se desarrolla en el municipio está caracterizado por ser principalmente de riego y una pequeña porción de temporal.

Sus principales cultivos son trigo, sorgo y alfalfa y representan el 7.8 % de la producción en el estado (26). Otros productos que se originan en menor cantidad son: ajo, tomate, garbanzo, ejote, cebada, espárrago, avena forrajera, cebolla, chile verde, fresa, frijol, jitomate y maíz (32).

Las labores agrícolas en las zonas de riego, se realizan esencialmente en forma mecanizada, localizados en los siguientes sistemas de topografías: llanuras y aluviones profundos, partes ba-

jas de mesetas y llanuras con tepetate a poca profundidad.

La agricultura de temporal se localiza en las tierras de laderas tendidas y en las partes bajas de las mesetas y algunos lugares aislados, algunas de estas áreas se trabajan con maquinaria y otras con tracción animal.

En ambos tipos de agricultura hay limitaciones para un buen rendimiento, entre ellos podemos señalar, el clima para cultivos temporales, salinidad y sodicidad, inundaciones en las llanuras con tepetate a poca profundidad y altos índices de pedregosidad en algunas mesetas y laderas tendidas (44).



FIG. 3.1
 MAPA DE LOCALIZACION
 DEL AREA DE ESTUDIO

4. MATERIALES Y METODOS

Como ya se mencionó en el capítulo 1, uno de los objetivos de este trabajo es incrementar la información concerniente al aspecto de la física de los suelos en el municipio de Salamanca, Gto. y, particularmente, evaluar algunos aspectos de degradación física (compactación); por lo tanto, la elección de los sitios de muestreo se hizo con base en los estudios ya realizados en esta zona, el criterio de selección fue la representatividad de las principales clases de aptitud de los suelos, mencionados por Cram y Noguez (11) y Hernández (29); se procuró que fueran lugares en donde es evidente el uso de maquinaria agrícola.

4.1 TRABAJO DE CAMPO

Después de haber seleccionado los sitios de muestreo en mapas y fotografías aéreas, se procedió al trabajo de campo que incluyó el muestreo de suelos a dos profundidades, 0-30 y 30-60 cm en 19 sitios, realizándose las siguientes determinaciones:

- Densidad aparente por el método propuesto por Davies et al. (12); y consiste en extraer una cantidad de masa de suelo, dejando un cavidad, a la cual se le determina su volumen con agua retenida con un material impermeable.

- Resistencia a la penetración, realizado con un penetrómetro de bolsillo marca Soiltest modelo CL-700.

4.2 TRABAJO DE LABORATORIO

- En las muestras colectadas para la caracterización de la zona, se realizaron la siguientes determinaciones:

- Porcentaje de humedad; las muestras de suelo que se utilizaron para el análisis de densidad aparente en el campo, fueron

secadas a 110°C para obtener el porcentaje de humedad.

- Textura; por el método del hidrómetro de Bouyoucos modificado por Villegas et al (51).
- Densidad real; por el método del picnómetro (2).
- pH; se determinó utilizando una suspensión de suelo-agua en relación 1:2.5 y un potenciómetro con electrodos de vidrio y calomel (6).
- Conductividad eléctrica; en el extracto de saturación utilizando un puente de conductividad eléctrica marca Phillips.
- Materia orgánica; por combustión húmeda según el método de Walkley y Black (2).
- Capacidad de intercambio catiónico total; por el método de percolación saturando con acetato de amonio 1 N pH 7, lavando con alcohol etílico y destilando el amonio por Kjeldahl, recibiendo en ácido bórico (6).
- Permeabilidad; por el método propuesto por Palmer (43).
- Retención de humedad a 0.3 Bar (capacidad de campo) y 15 Bar (punto de marchitez permanente), usando membranas de porcelana en olla de presión marca Soiltest (2).
- Agua aprovechable por diferencia del contenido de humedad a 15 Bar y 0.3 Bar.

4.3 TRABAJO DE GABINETE

En esta etapa se procedió a obtener la valoración de los factores que se consideran en la degradación física, tal como el Factor Clima (agresividad climática), Factor Suelo (erodabilidad) y Factor Topografía (Pendiente) como lo sugiere FAO en su metodología (19); los criterios son:

a) CLIMA.- Para evaluar este factor, se utiliza el índice de agresividad climática; esta se caracteriza por la cantidad, intensidad y fuerza de la lluvia que interviene directamente en el encostramiento y apelmazamiento del suelo, e indirectamente, en la plasticidad del suelo durante el período de saturación del mismo que influyen en la compactación y el deterioro estructural.

Este índice de agresividad climática, es el factor R de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo; se calcula a través del índice de Fournier modificado (19), utilizando datos de preci

pitación preferentemente de un período de 20 a 30 años:

$$R = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^3}{P}$$

donde p = precipitación mensual.
 P = precipitación anual.

A escala 1:5,000,000, FAO (19) le asigna a cada dato de R, la siguiente valoración:

R	0 - 50	50 - 500	500 - 1000	>1000
Valoración	0 - 5	5 - 7.5	7.5 - 10	10
	(Ligero)	(Moderado)	(Alto)	(Muy alto)

Para los suelos que permanecen inundados, se concede una R de 1000 y le corresponde una valoración de 10.

b) SUELO.- La susceptibilidad o vulnerabilidad inherente de un suelo a ser separado en partículas por la lluvia y a ser transportado (erodabilidad), es uno de los principales factores que se usan en la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo. El Índice de Wischmeier es una forma de guía para determinar el valor numérico de erodabilidad a través de un nomograma; se emplean los siguientes parámetros: distribución de tamaños de partículas (límites de arenas finas y arenas), materia orgánica, permeabilidad y estructura del suelo (53).

Las fuentes de estos datos pueden obtenerse a partir de informes nacionales y distritales de suelos, mapas geomorfológicos y de fotografías aéreas.

c) TOPOGRAFIA.- Las formas topográficas son también un factor importante; la longitud, la forma y la pendiente del declive son las características que se toman en consideración en la degradación física.

La información se puede obtener de mapas topográficos, mapas geomorfológicos del tipo morfométrico y de fotografías aéreas.

FAO (19) considera los siguientes rangos en su metodología

gía a escala 1:5,000,000:

Declive	a	b	c
%	(0 - 8)	(8 - 30)	(> 30)
Valoración	1	0.5	0.3

d) FACTORES HUMANOS.- Los cultivos que cubren un porcentaje pequeño de la superficie del terreno y algunos tipos de cultivo que hacen uso de maquinaria pesada, aumentan el riesgo de degradación física. La información se puede obtener de mapas e informes de ministerios de agricultura y de interpretación de fotografías aéreas.

e) RIESGO DE DEGRADACION.- Tomando en consideración los criterios anteriores, se procedió a obtener el valor de riesgo de degradación, utilizando la información de campo y de laboratorio, multiplicando las valoraciones que le corresponde a cada factor que se consideran en esta evaluación.

4.4 MANEJO ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

Primero se analizó la asociación entre variables y, debido al número de las mismas (más de dos) se utilizó un análisis de correlación múltiple con el apoyo de un programa estadístico en microcomputadora, con el objeto de seleccionar aquellas que tuvieran mayor relación, y posteriormente se utilizó la técnica del análisis multivariado denominado Análisis Discriminante, con la ayuda del paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) (48).

En este trabajo se utilizó el método por etapas, con el criterio de selección denominado Method=WILKS, y se basa en el promedio de la F multivariada global para la prueba de diferencias entre los centroides de grupos. En este criterio la variable que maximiza la F promedio minimiza la Lambda de Wilks (medida de dispersión de grupos); entre más grande es esta Lambda menor poder discriminante está presente; además el centroide como un resultado final nos indica la media del puntaje discriminante para cada grupo o categoría (48).

5. RESULTADOS

Los resultados iniciales de las siguientes variables: arenas, limos, arcillas, densidad aparente, penetrabilidad, permeabilidad, pH, materia orgánica, sodio intercambiable, conductividad eléctrica, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y agua aprovechable se presentan en la tabla 5.1, jerarquizadas para las profundidades 0 - 30 cm y 30 - 60 cm; posteriormente en la tabla 5.2 se indican las valoraciones correspondientes a los siguientes factores: textura, pendiente, agresividad climática e índice de Weischmeir, necesarios para evaluar el riesgo de degradación física, como lo propone FAO en su metodología.

Los resultados de riesgo de degradación fueron agrupados a priori en los siguientes intervalos:

Grupo 1	0 - 0.50
Grupo 2	0.51 - 1.00

Posteriormente las siguientes variables: arenas (%), limos (%), arcillas (%), densidad aparente (g/cm^3), penetrabilidad (kg/cm^2), permeabilidad (cm/h), materia orgánica (%), capacidad de campo (%), agua aprovechable (%) que junto con la variable "grupo" (representa el intervalo donde fue asignado cada sitio) fueron utilizados en el análisis discriminante, obteniéndose los siguientes resultados para cada profundidad:

PROFUNDIDAD 0 - 30 cm

El valor de la media grupal para cada variable se presentan en las figuras 5.1 y 5.2; las variables seleccionadas en orden decreciente para la diferenciación entre grupos son: limos, hume-

dad, arcillas y densidad aparente, la tabla 5.3 presenta los valores de Lambda de Wilks y valor de F parcial para cada etapa.

Las cuatro variables seleccionadas, dieron al final una Lambda de Wilks de 0.4231 y una correlación canónica de 0.7595 con un nivel de significancia de 0.01 para la función discriminante, estos valores indican que tan relacionada está la función discriminante respecto a la variable "grupo"; puesto que solamente hay dos grupos en el análisis, el programa considera únicamente una función discriminante posible (48).

Los coeficientes de la función estandarizada de la función discriminante es de gran importancia analítica, ya que el valor de cada coeficiente, representa la contribución relativa de la variable asociada a la función; el signo denota la contribución positiva o negativa de la variable (48).

V4 (limos)	0.83698
V7 (humedad)	-0.73470
V5 (arcillas)	-0.61201
V6 (densidad aparente)	-0.46556

y la función estandarizada es:

$$D = 0.83698(V4) - 0.73470(V7) - 0.61201(V5) - 0.46556(V6)$$

Los coeficientes no estandarizados de la función a la salida del programa sirven para clasificar o categorizar a otros elementos en alguna de las poblaciones originales ya estudiadas.

La función discriminante no estandarizada es la siguiente:

$$D\# = 0.02353329 + 0.1543472(V4) - 0.06041114(V5) - 1.669136(V6) - 0.07047324(V7)$$

PROFUNDIDAD 30 - 60 cm.

Para la profundidad 30 - 60 cm las figs. 5.3 y 5.4 presentan las medias para cada grupo; las variables escogidas en orden decreciente conforme al criterio de la Lambda de Wilks y valor de F parcial para la diferenciación entre grupos fueron: arcillas,

arenas y permeabilidad; la Tabla 5.4 presenta los valores para cada etapa realizada. El valor final de Lambda de Wilks es 0.2047125 y la correlación canónica de 0.8917889; esto indica nuevamente el grado de separación de estas 3 variables con las otras no seleccionadas, con un nivel de significancia < de 0.01.

La contribución de cada variable a la función estandarizada es:

V5 (arcillas)	-1.67427
V3 (arenas)	-0.72534
V9 (permeabilidad)	-0.37979

Obteniéndose la siguiente función estandarizada:

$$D = -1.67427 (V5) - 0.72534 (V3) - 0.37979 (V9)$$

Por otro lado los coeficientes no estandarizados a esta profundidad, definen la siguiente función:

$$D_1 = 12.64755 - 0.1219644 (V3) - 0.2444616 (V5) - 0.5802384 (V9)$$

como ya se mencionó, esta función sirve para categorizar a otros elementos.

Los valores de los centroides que también proporciona el programa estadístico son para las dos profundidades:

	0 - 30 cm	30 - 60 cm
Grupo 1	-0.94191	-1.58996
Grupo 2	1.29512	2.18620

siendo estos; la localización más típica (media de la función) de un caso del grupo en el espacio de la función discriminante.

Por último, otro dato que se obtiene del análisis discriminante es el "porcentaje de agrupación", que nos indica la cantidad correcta de datos (en este caso sitios) clasificados del total empleado, así para la profundidad 0-30 cm se tiene un 89.47% y para la profundidad 30-60 cm se tiene un 100%.

TA B L A 5.1

SITIO	PROFUNDIDAD cm	AMENAS %	LIMOS %	ARCILLAS %	CLASE TEXTUR/L	DENSIDAD APARENTE gr cm ⁻³	HUMEDAD %	PENETRABILIDAD kg cm ⁻²	PERMEABILIDAD cm h ⁻¹	pH AGUA 1:2.5	MATERIA ORGANICA %	SODIO INTERCAMBIABLE mg l ⁻¹	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA micro cm ⁻¹	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %
3 A	0 - 30	35.0	40.5	24.5	FRANCO	1.94	4.43	2.04	0.11	7.53	0.92	0.42	0.26	33.82	10.50	23.32
	30 - 60	43.5	40.5	16.0	FRANCO	1.56	16.35	4.50	0.54	7.55	0.33	0.70	0.27	29.02	7.94	21.08
3 B	0 - 30	72.0	25.0	3.0	ARE.MIG.	1.56	11.70	1.14	3.10	7.20	1.04	0.09	0.25	21.18	4.21	16.97
	30 - 60	38.5	46.5	15.0	FRANCO	1.33	24.69	1.41	3.10	7.40	1.04	0.17	0.30	29.16	8.00	21.18
4	0 - 30	39.0	35.0	26.0	FRANCO	1.11	24.23	2.71	2.20	7.80	1.56	1.59	0.69	36.95	13.66	23.29
	30 - 60	33.0	37.0	30.0	MIG.ARC.	1.47	38.72	2.23	0.29	7.37	1.25	1.93	0.90	46.26	15.73	30.53
6	0 - 30	17.5	37.5	46.0	ARCILLA	1.34	26.56	2.46	0.36	7.60	0.79	1.94	0.57	61.73	18.17	43.56
	30 - 60	18.5	33.0	48.5	ARCILLA	1.36	38.63	1.65	0.36	7.64	0.53	1.68	0.58	67.00	18.94	48.06
9	0 - 30	22.5	42.5	35.0	MIG.ARC.	1.27	34.46	2.23	0.36	7.04	2.49	3.09	0.60	63.04	20.29	42.75
	30 - 60	18.5	39.0	42.5	ARCILLA	1.43	25.24	1.88	0.36	7.77	0.53	2.17	0.54	73.98	26.93	47.05
10	0 - 30	31.0	29.5	39.5	MIG.ARC.	1.11	40.35	1.27	0.36	6.83	2.34	1.79	0.72	34.21	15.17	19.04
	30 - 60	24.0	46.0	30.0	MIG.ARC.	1.13	46.00	1.35	0.36	7.83	1.21	1.85	0.66	55.95	18.25	37.70
11	0 - 30	23.5	32.0	44.5	ARCILLA	1.01	19.73	2.23	0.36	7.30	1.06	3.34	1.25	58.09	18.25	39.84
	30 - 60	18.5	30.5	51.0	ARCILLA	0.92	49.90	2.38	0.36	7.64	0.26	4.56	1.90	64.15	20.95	43.20
14	0 - 30	26.0	34.0	40.0	ARCILLA	1.11	30.46	1.40	0.36	7.38	1.98	6.62	0.86	60.34	18.51	41.43
	30 - 60	19.5	32.0	48.5	ARCILLA	1.08	45.78	1.70	0.36	7.95	0.59	2.70	0.78	65.26	19.95	45.31

CONTINUACION T A B L A

5.1

SITIO	PROFUNDIDAD cm	ARENAS		ARCILLAS	CLASE TEXTURAL	DENSIDAD APARENTE gr cm^{-3}	HUMEDAD	CONTINUACION T A B L A		PH AGUA 1:2.5	MATERIA ORGANICA	SODIO INTERCAMBIABLE mg l^{-1}	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA micro cm^{-1}	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE PAPRMEZ	AGUA APROVECHABLE
		%	%					kg cm^{-2}	cm^{-1}							
16	0 - 30	26.0	26.5	47.5	ARCILLA	1.06	23.30	2.29	1.00	5.60	1.03	1.30	0.57	55.82	14.87	40.95
	30 - 60	28.0	40.0	32.0	MIG.ARC.	1.26	41.71	2.77	0.36	6.65	0.46	3.30	1.05	68.92	15.32	53.60
17	0 - 30	31.0	27.5	41.5	ARCILLA	1.35	17.57	1.71	0.36	7.90	1.36	1.84	0.38	52.35	12.96	39.39
	30 - 60	27.0	29.0	44.0	ARCILLA	1.34	37.05	1.50	0.36	7.18	1.27	1.37	0.50	57.10	14.12	42.98
18	0 - 30	29.0	37.0	34.0	MIG.ARC.	1.02	24.71	1.09	0.36	7.09	1.61	1.47	0.66	60.08	13.29	46.79
	30 - 60	29.0	35.0	36.0	MIG.ARC.	1.31	52.24	1.02	0.36	7.42	0.80	3.04	0.90	61.68	14.62	47.06
19	0 - 30	29.0	46.0	25.0	FRANCO	0.91	19.72	2.95	1.06	7.38	2.60	1.34	0.60	46.88	11.77	35.11
	30 - 60	40.0	45.5	14.5	FRANCO	1.32	30.67	2.09	1.75	8.04	1.79	1.83	1.01	50.04	12.15	37.89
22	0 - 30	37.5	36.5	26.0	FRANCO	1.47	5.04	3.02	0.58	8.20	1.51	4.89	1.28	38.59	8.70	29.89
	30 - 60	27.0	49.5	23.5	FRANCO	1.18	30.16	3.25	1.62	7.53	0.87	13.37	2.30	50.63	15.06	35.57
24	0 - 30	32.5	42.5	25.0	FRANCO	1.28	5.98	2.04	0.36	8.50	0.93	2.00	1.20	46.12	9.62	36.50
	30 - 60	24.5	29.5	46.0	ARCILLA	1.39	12.25	4.00	0.36	9.20	0.26	3.80	5.50	72.17	7.16	65.01
27	0 - 30	31.0	46.0	23.0	FRANCO	1.09	41.85	2.27	0.95	7.56	1.47	5.71	4.45	45.19	13.80	31.39
	30 - 60	20.5	33.0	46.5	ARCILLA	1.16	47.83	0.75	0.36	8.65	0.47	80.43	4.00	59.55	15.12	44.43
33	0 - 30	18.0	30.0	52.0	ARCILLA	0.90	26.58	0.42	0.36	7.45	1.16	6.52	1.35	41.86	9.26	32.60
	30 - 60	16.0	25.0	59.0	ARCILLA	1.19	28.69	0.96	0.36	7.95	1.03	11.95	1.70	70.04	13.64	56.40

S110	PROFUNDIDAD cm	ARENAS %	LIMOS %	ARCILLAS %	CLASE TEXTURAL	DENSIDAD APARENTE g/cm ³	HUMEDAD %	CONTINUACION T A B L A 5.1		PH AGUA 1:2.5	MATERIA ORGANICA %	SODIO INTERCAMBIABLE mg c l ⁻¹	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA mgal cm ⁻²	CAPACIDAD DE CAMPO %	PUNTO DE MARCHITEZ %	AGUA APROVECHABLE %
								PENETRABILIDAD g/cm ²	PERMEABILIDAD cm s ⁻¹							
36	0 - 30	21.0	46.0	39.0	MIS. ARC.	0.87	25.71	1.52	0.35	8.25	1.71	4.02	0.61	46.84	10.65	36.15
	30 - 60	14.0	33.0	53.0	ARCILLA	1.45	38.72	1.33	0.36	8.12	1.03	6.10	0.88	60.21	12.96	47.25
42	0 - 30	29.0	36.0	35.0	MIS. ARC.	1.15	22.59	1.75	0.35	7.00	1.25	0.32	0.55	41.72	11.32	30.40
	30 - 60	29.0	32.0	39.0	MIS. ARC.	1.13	30.03	1.16	0.36	8.25	0.56	0.71	0.72	53.51	16.91	48.00
43	0 - 30	35.0	33.0	32.0	MIS. ARC.	0.84	9.34	1.65	0.36	8.20	1.63	10.50	1.50	54.42	7.62	56.60
	30 - 60	34.5	36.0	27.5	MIS. ARC.	1.28	43.14	1.25	0.36	8.00	0.91	7.10	0.50	45.12	15.11	35.01

TABLA 52

VALORACIONES PARA OBTENER EL RIESGO DE DEGRADACION

BITID/ PROF.	TEXTURA		PENDIENTE		AGRESIVIDAD CLIMATICA		INDICE DE WEISCHMEIR	RIESGO DE DEGRADACION	
	C	v	%	C	v	"R"	v		
3A									
00-30	2	0.3	6	a	1	161.45	5.7	0.36	0.62
30-60	2	0.3	6	a	1	161.45	5.7	0.36	0.62
3B									
00-30	1	0.2	6	a	1	161.45	5.7	0.30	0.34
00-60	2	0.3	6	a	1	161.45	5.7	0.42	0.72
4									
00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.31	0.53
30-60	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.34	0.58
6									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.30	0.17
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.27	0.15
9									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.31	0.18
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.33	0.19
10									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.23	0.13
30-60	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.42	0.72
11									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.26	0.15
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.26	0.15

Continuación Tabla 5.2

14									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.33	0.19
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.42	0.24
16									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.21	0.12
30-60	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.48	0.82
17									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.25	0.14
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.25	0.14
18									
00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.32	0.55
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.33	0.19
19									
00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.41	0.70
30-60	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.43	0.74
22									
00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.33	0.56
00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.46	0.79
24									
00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.38	0.65
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.27	0.15
27									
00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.42	0.72
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.28	0.16
33									
00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.24	0.14
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.20	0.11

Continuación Tabla B.2

36

00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.32	0.18
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.24	0.14

42

00-30	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.31	0.18
30-60	3	0.1	<2	a	1	161.45	5.7	0.29	0.17

43

00-30	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.32	0.55
30-60	2	0.3	<2	a	1	161.45	5.7	0.38	0.65

Claves:

C = clase

v = valoración.

"R" = dato de agresividad climática.

PROFUNDIDAD 0-30 CM.

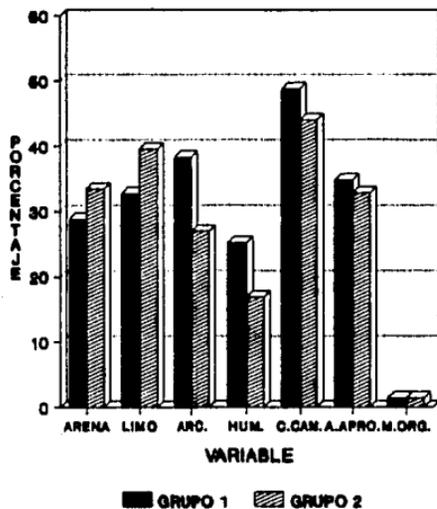


FIG. 5.1

PROFUNDIDAD 0-30 CM.

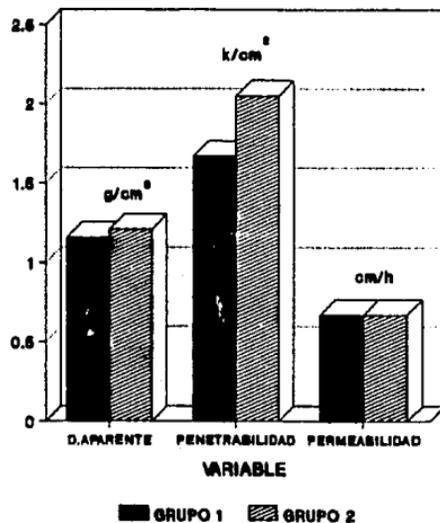


FIG. 5.2

TABLA 5.3

ETAPA 0	VARIABLE	VALOR DE F	LAMBDA DE WILKS
	Arenas	0.7162	0.9596
	Limos	7.2611	0.7007
	Arcilla	5.8917	0.7426
	Densidad aparente	0.1502	0.9912
	Humedad	2.9125	0.8537
	Penetrabilidad	1.3241	0.9277
	Permeabilidad	0.0003	0.9999
	Materia orgánica	0.0016	0.9999
	Capacidad de campo	0.8402	0.9529
	Agua aprovechable	0.2373	0.9862
ETAPA 1	Arenas	4.4695	0.5477
	Limos	-----	-----
	Arcillas	4.4695	0.5477
	Densidad aparente	0.2360	0.6905
	Humedad	5.6437	0.5180
	Penetrabilidad	0.0314	0.6993
	Permeabilidad	1.0843	0.6562
	Materia orgánica	0.9204	0.6626
	Capacidad de campo	3.1031	0.5869
	Agua aprovechable	1.3012	0.6480
ETAPA 2	Arenas	1.8623	0.4608
	Arcillas	1.8623	0.4608
	Densidad aparente	0.2786	0.5085
	Humedad	-----	-----
	Penetrabilidad	0.0088	0.5177
	Permeabilidad	0.7343	0.4938
	Materia orgánica	0.0198	0.5173
	Capacidad de campo	0.3914	0.4740
	Agua aprovechable	0.9924	0.4858

continuación Tabla 5. 3

ETAPA 3	Arenas	000000	000000
	Arcillas	-----	-----
	Densidad aparente	1.2463	0.4231
	Penetrabilidad	0.0167	0.4602
	Permeabilidad	0.0760	0.4583
	Materia orgánica	0.0078	0.4605
	Capacidad de campo	0.1302	0.4565
	Agua aprovechable	0.0272	0.4599
ETAPA 4	Arenas	000000	000000
	Densidad aparente	-----	-----
	Penetrabilidad	0.0582	0.4212
	Permeabilidad	0.3999	0.4105
	Materia orgánica	0.0975	0.4200
	Capacidad de campo	0.1432	0.4185
	Agua aprovechable	0.1596	0.4180

PROFUNDIDAD 30-60 CM.

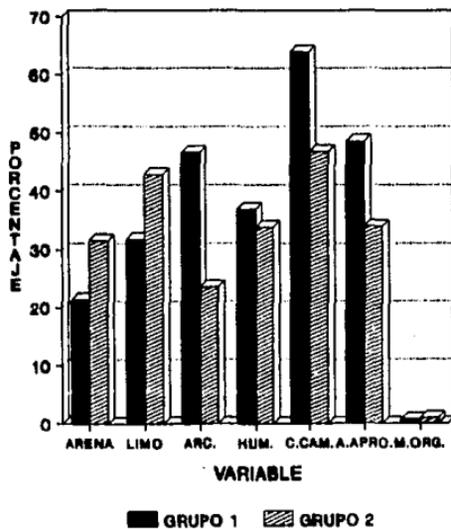


FIG. 5.3

PROFUNDIDAD 30-60 CM.

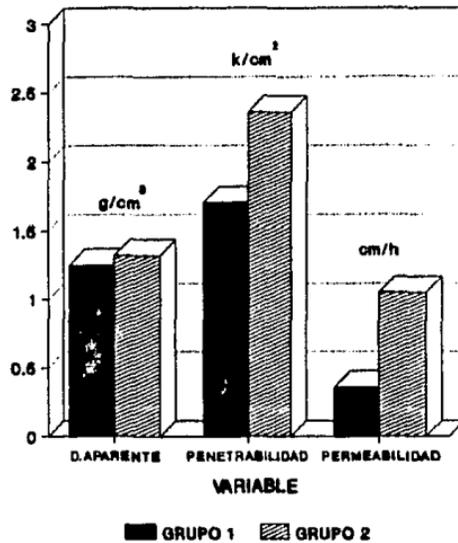


FIG. 5.4

TABLA 54

ETAPA 0	VARIABLE	VALOR DE F	LAMBDA DE WILKS
	Arenas	19.4870	0.4659
	Limos	34.6460	0.3292
	Arcillas	52.9860	0.2429
	Densidad aparente	0.7991	0.9551
	Humedad	0.3292	0.9810
	Penetrabilidad	1.9837	0.8955
	Permeabilidad	5.1097	0.7689
	Materia orgánica	2.3473	0.8787
	Capacidad de campo	15.8300	0.5178
	Agua aprovechable	14.0410	0.5477
ETAPA 1	Arenas	1.5164	0.2219
	Limos	1.5164	0.2219
	Arcillas	-----	-----
	Densidad aparente	0.2159	0.2397
	Humedad	0.6215	0.2338
	Penetrabilidad	0.0689	0.2419
	Permeabilidad	0.5658	0.2346
	Materia orgánica	0.1735	0.2403
	Capacidad de campo	0.0666	0.2428
	Agua aprovechable	0.0743	0.2418

continuación Tabla 5.4

ETAPA 2	Arenas	-----	-----
	Limos	000000	000000
	Densidad aparente	0.0323	0.2214
	Humedad	0.2924	0.2176
	Penetrabilidad	0.1956	0.2120
	Permeabilidad	1.2578	0.2047
	Materia orgánica	0.1610	0.2195
	Capacidad de campo	0.2860	0.2177
	Agua aprovechable	0.0783	0.2207
ETAPA 3	Limos	000000	000000
	Humedad	0.0587	0.2039
	Penetrabilidad	0.0530	0.2039
	Permeabilidad	-----	-----
	Materia orgánica	0.3940	0.1991
	Capacidad de campo	0.8416	0.1931
	Agua aprovechable	0.1759	0.2022

6. DISCUSION

Con la finalidad de ordenar la discusión, se menciona nuevamente que uno de los lineamientos del análisis discriminante es proporcionar qué variables ayudan a diferenciar grupos previamente establecidos. Esto fue una de los motivos, por lo que se decidió aplicar el análisis de correlación múltiple al conjunto de variables iniciales, con el objeto de seleccionar aquellas que presenten mayor asociación y que sean más útiles en el análisis discriminante.

También se debe mencionar que el análisis de las propiedades físicas es principalmente a través de la información proporcionada en el análisis estadístico, con el propósito de caracterizar los grupos previamente establecidos.

Profundidad 0 - 30 cm.

Como se mencionó en los resultados, las variables que intervienen en la diferenciación de los grupos establecidos a priori son: limos, humedad, arcillas y densidad aparente. Sin embargo, se considera que la variable limo es la más importante, puesto que presenta el valor más de bajo de Lambda de Wilks y el valor de F más alto y se considera como la que más contribuye en la función estandarizada (4B).

Grupo 1 (0.00 - 0.50)

Sitios Nos. 3B, 6, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 33, 36 y 42.

Los suelos de este grupo presentan los siguientes medias grupales para las siguientes variables: arenas con 28.9 % , limos con 32.8% , arcillas con 38.4% , humedad con 25.2 % , capacidad de campo de 48.8 % , agua aprovechable con 38.4 % , materia orgánica

con 1.5% , densidad aparente de 1.16 g/cm³, penetrabilidad de 1.67 kg/cm² y permeabilidad de 0.67 cm/h.

Grupo 2 (0.51 - 1.00)

Sitios Nos. 3A, 4, 18, 19, 22, 24, 27 y 43.

En este caso las medias grupales son: arenas con 33.5% , limos con 39.6% , arcillas con 26.9%, humedad con 16.9% , capacidad de campo con 44% , agua aprovechable con 32.9% , materia orgánica con 1.5%, densidad aparente de 1.21 g/cm³, penetrabilidad de 2.05 kg/cm² y permeabilidad de 0.67 cm/h (figs. 5.1 y 5.2).

Para esta profundidad, los tamaños de partículas determinan las propiedades de los suelos; se infiere para los dos grupos, que la presencia de limos y arcillas permiten la formación de gran cantidad de poros pequeños, que ayudan a mantener retenida buena cantidad de humedad y por tanto hay suficiente agua aprovechable; debido a esto se justifica la permeabilidad clasificada como "moderadamente lenta".

La contribución de la densidad aparente como tercera variable en jerarquía, también se relaciona con los contenidos de limos y arcillas. Sin embargo, es importante señalar que debido a las características verticales de los suelos, este valor medio debe ser más alto (21).

Profundidad 30 - 60 cm

Las variables seleccionadas son arcillas, arenas y permeabilidad, considerándose nuevamente a la primera variable como la más importante.

Grupo 1 (0.00 - 0.50)

Sitios Nos. 6, 9, 11, 14, 17, 18, 24, 27, 33, 36 y 42.

En este grupo el valor de las medias son: arenas con 21.4%, limos con 31.9% , arcillas con 46.7% , humedad con 36.9%, capacidad de campo con 64% , agua aprovechable con 48.6%, materia orgánica con 0.7%, densidad aparente de 1.25 g/cm³, penetrabilidad de 1.70 kg/cm² y permeabilidad de 0.36 cm/h.

Grupo 2 (0.51 - 1.00)

Sitios Nos. 3A, 3B, 4, 10, 16, 19, 22 y 43.

Para este grupo los valores de las medias grupales son los siguientes: arenas con 33.6% , limos con 42.9% , arcillas con 23.6% , humedad con 33.9% , capacidad de campo con 46.9% , agua a provechable con 34.1% , materia orgánica con 1% , densidad aparente 1.32 g/cm^3 , penetrabilidad de 1.05 kg/cm^2 y permeabilidad de 1.05 cm/h (figs. 5.3 y 5.4).

A esta profundidad, nuevamente tiene influencia el tamaño de partícula en las propiedades del suelo; así en el grupo 1 el mayor contenido de arcilla le confiere al suelo, una estructura de masa arcillosa y por tanto, resulta por una parte, una permeabilidad "lenta" y por otra, una disposición de adquirir características de consistencia húmeda por el gran porcentaje de agua retenida presente.

Se observa en el grupo 2 la presencia de un contenido mayor de arena y menor de arcilla; esto permite un aumento en la permeabilidad, "moderadamente lenta" y por consiguiente, una reducción en los contenidos de humedad.

Otra variable que también se considera en los dos grupos, es la resistencia del suelo a la penetración; la diferencia de magnitud entre éstos está asociada con el contenido de limo. A un mayor porcentaje de limo en relación a la arcilla el suelo tiende a ser menos plástico, ya que la arcilla no puede ejercer efecto cohesivo entre partículas y por lo tanto, el suelo tiende a ser compacto; al respecto, la penetrabilidad es un indicador secundario de la compactación del suelo y se sabe que es afectado por factores como el contenido de humedad, la textura, la densidad aparente (1,30).

Por otro lado, entre las características de las dos profundidades, se observa que, el tamaño de las partículas están diferenciando la presencia de las otras variables analizadas, no obstante que las arenas a la profundidad 0 - 30 cm y los limos a 30 - 60 cm, no tienen significancia estadística.

La penetrabilidad es otra variable que no tiene significancia estadística; sin embargo, permite establecer que a la segunda profundidad hay mayor resistencia del suelo a la penetración y por tanto, se puede inferir que hay cierto grado de compactación;

esto puede ser apoyado por la diferencia en los valores de la media grupal para la densidad aparente.

En vista de que en la parte superficial, el suelo es constantemente alterado por las labores agrícolas y, tomando en cuenta que a 30 - 60 cm se presenta un aumento en la densidad aparente y cambios en la permeabilidad, se propone un mapa de riesgo de degradación en una primera aproximación (Fig.6.1); señalándose que se tomó como base la información proporcionada en los mapas elaborados por Cram y Noguez (11) y Hernández (29) para la aptitud de los suelos para los principales cultivos de la zona.

MAPA DE RIESGO DE DEGRADACION FISICA
(COMPACTACION)

1ª APROXIMACION

 RIESGO 0.0-0.5

 RIESGO 0.5-1.0

 SIN DATOS

 MONTICULOS

 SITIOS DE MUESTREO

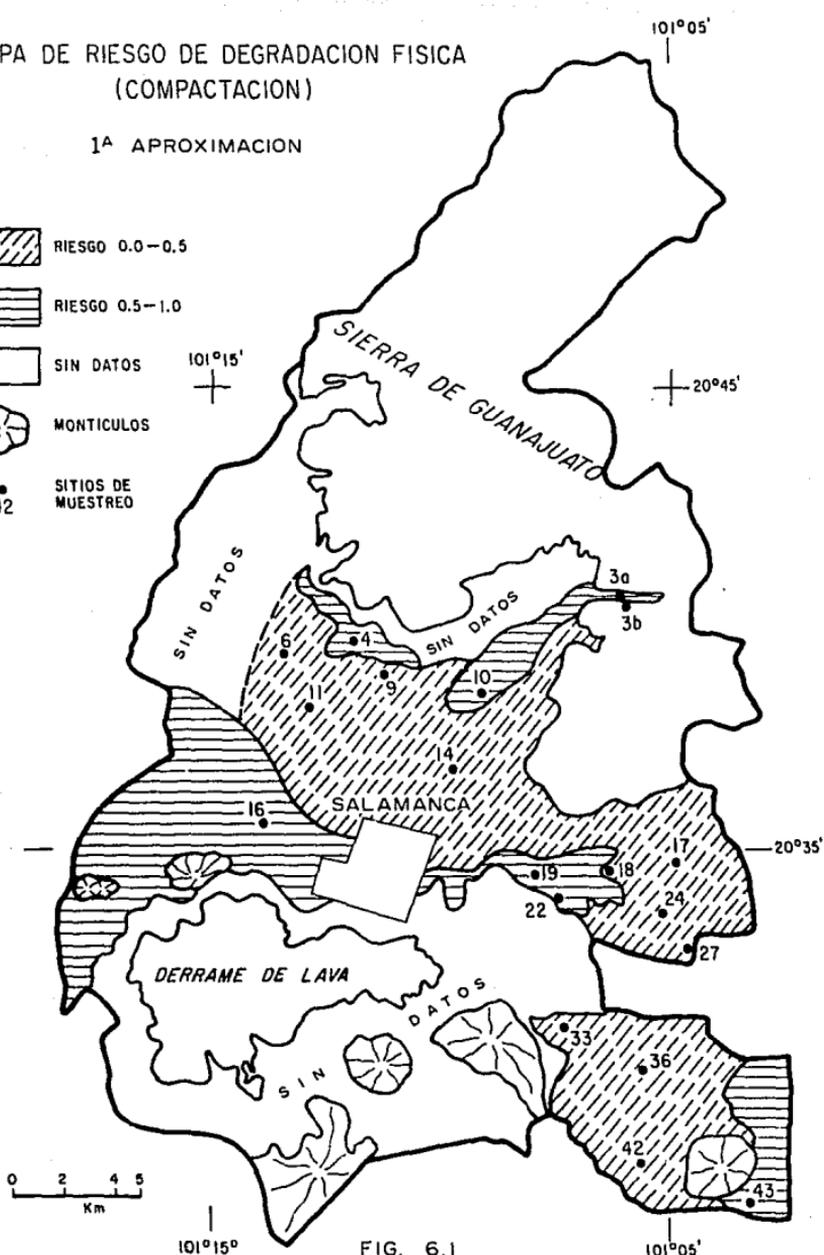


FIG. 6.1

7. CONCLUSIONES

Tomando en consideración los resultados obtenidos y analizando la discusión de los mismos se concluye lo siguiente:

-El establecimiento inicial de grupos con base en intervalos de valores de una variable o conjunto de variables, facilita el análisis e interpretación de las características físicas del suelo.

-El porcentaje de "agrupación" de sitios en cada profundidad se considero aceptable, tomando en cuenta que solamente dos sitios en el grupo I a la profundidad 0 - 30 (de los 11 asignados), estuvieron mal agrupados.

-A la profundidad 0 - 30 cm la variable que presenta un alto poder discriminante es el contenido de limo.

-Las variables que presentaron menor poder discriminante, a la profundidad mencionada anteriormente, con respecto al limo, fueron humedad, arcillas y densidad aparente.

-A la profundidad 30 - 60 cm la variable con alto poder discriminante, es el contenido de arcilla.

-Y las variables que presentan menor poder discriminante con respecto a la anterior, fueron arenas y permeabilidad.

-Retomando los objetivos específicos, se concluye de manera general, que las variables que consideran el tamaño de partícula, intervienen en la consistencia y compactación del suelo.

-Por otro lado, el valor de riesgo de degradación física, puede utilizarse como un indicador del riesgo que podría tener el suelo a la compactación en esta zona, dada las condiciones que actualmente prevalecen en el uso y manejo del suelo.

-Apoyados por la información estadística establecemos: los valores que oscilan entre 0 - 0.5 presentan un riesgo de degra

dación bajo; y a los valores que se encuentren entre 0.51 - 1.0, el riesgo se considera alto.

-La metodología propuesta por FAO proporciona bases y criterios útiles para diagnosticar la calidad de los suelos a escala 1: 50 000, debido a la flexibilidad del manejo de la información que recomienda. No obstante, se debe tener cuidado para escoger las técnicas en las determinaciones tanto de laboratorio como de campo y poner especial cuidado en la determinación de las variables con alto poder discriminante.

-El estudio realizado contribuye al conocimiento de las condiciones que prevalecen en la zona, debido a que complementan la información ya obtenida por otros estudios relacionados con la productividad de los principales cultivos de la región.

8. BIBLIOGRAFIA

- 1.- BAVER, L.D., W.H. Gardner y W.R. Gardner. (1972). Física de suelos. UTEHA. México. 530 págs.
- 2.- BLACK, C.A. Editor (1975). Methods of soil analysis. Part I. Agronomy No. 9. American Society of America. Inc. Publisher. U.S.A.
- 3.- BLACKWELL, P.S., B.D. Soane. (1981). A method of predicting bulk density changes in field soils resulting from compaction by agricultural traffic. Journal of Soil Science 32:51-65
- 4.- BUOLD, S.W., F.D. Hole y R.J. McCracken. (1986). Génesis y clasificación de suelos. Edit. Trillas. 2a. Reimpresión. México. 417 págs.
- 5.- CAMPOS DE JESUS, S. (1985). Intensidad óptima para los suelos arcillosos de la Mixteca Oaxaqueña. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Guanajuato, págs. 195-216. Memorias. Departamento de Suelos. Univ. Autón. de Chapingo, México.
- 6.- CHAPMAN, H.D., y P.F. (1973). Métodos de análisis para plantas y aguas. Edit. Trillas. México. 195 págs.
- 7.- CHASSE, M., G.S.V. Raghavan y W. McKyes. (1975). Study of compaction problems of orchard soils in southern Quebec. Report to Ministry of Agriculture Government of Quebec. C.R.S.A.Q. Canada.
- 8.- COOTE, D.R. (1983). Stresses on land under intensive agricultural use. pag. 227-259 en R. Simpson-Lewis R. McKechnie y V. Neimanis. Stress on land in Canada. Policy Research and Development Branch Lands Directorate Environment Canada. Folio No.6, Ottawa, Canada.
- 9.- COSBY, B.J., G.M. Hornberger, R.B. Clapp y T.R. Ginn. (1984). A statistical exploration of the relationship of soil moisture characteristic to the physical properties of soils. Water Resources Research Vol. 20 No.6:682-690. U.S.A

- 10.- COBARRUVIAS RAMIREZ, J.M. (1985). Sistemas de labranza con maíz en suelos con permeabilidad deficiente. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Guanajuato, págs. 174-181. Memorias. Departamento de Suelos. Univ. Autón. de Chapingo. México.
- 11.- CRAM, S y A. Noguez. (1985). Evaluación del suelo para determinar la aptitud de la tierra en el municipio de Salamanca, Estado de Guanajuato. Tesis. Facultad de Ciencias. U.N.A.M. México.
- 12.- DAVIES, B., D. Eagle y B. Finney. (1977). Soil Management. 3a. Edition. Farming Press Limited. Wharfedale Road, Ipswich, Suffolk, England. 268 págs.
- 13.- DE KIMPE, C.R., M. Bernier-Cardon y P. Joliceaur. (1982) Compaction and settling of Quebec soils in relation to their soil-water properties. Can. J. Soil Science 62:165-175. Canada.
- 14.- DILLON, W.R. y M. Goldstein. (1984). Multivariate analysis methods and applications. John Wiley and Sons, Inc. págs. 587. U.S.A.
- 15.- DONAHUE, R.L., R.W. Miller y J.C. Shicklunc. (1981). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Edit. Prentice-Hall International. Colombia. 624 págs.
- 16.- DOUCHAFOUR, P. (1984). Edafogénesis y clasificación. Masson S.A. España. 493 págs.
- 17.- DOUBLAS, J.T., M.G. Jarvis, K.R. House y M.J. Goss. (1986). Structure of a silty soil in relation to management. Journal Soil Science. Vol. 137 págs. 137-151.
- 18.- FAO. (1977). Assessing soil degradation. Bol. 34. Roma.
- 19.- FAO. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 36 págs.
- 20.- FAO. (1984). Directrices para el control de la degradación de los suelos. Roma. 86 págs.
- 21.- FITZPATRICK, E.A. (1984). Suelos. Su formación, clasificación y distribución. CECSA. México. 430 págs.
- 22.- FLORES DELGADILLO, Ma. de L. (1987). Algunos nutrientes asimilables en diferentes suelos de México. Tesis. Facultad de Ciencias. Univ. Nal. Autón. Méx. México.
- 23.- FORSYTHE, W. (1975). Física de suelos. Manual de laboratorio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José Costa Rica. 212 págs.

- 24.- GAVANDE, S.A. (1982). Física de suelos. Principios y aplicaciones. 4a. Reimpresión. Limusa. México. 351 págs.
- 25.- GONZALEZ GRIJALVA, F. *et al* (1985). Problemas de manejo de suelos arcillosos en el Distrito de Riego No.011 Alto Río Lerma, Guanajuato. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Guanajuato. págs. 93-98. Memorias. Departamento de suelos. Univ. Autón. de Chapingo, México.
- 26.- GUANAJUATO, Gobierno del Estado e Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1984). Anuario estadístico de Guanajuato. México.
- 27.- HENIN, S., R. Gras y G. Monnier. (1972). El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 342 págs.
- 28.- HERNANDEZ SILVA, G. (1983). Método paramétrico para evaluar la aptitud de las tierras, un caso: la caña de azúcar. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias. U.N.A.M. México.
- 29.- HERNANDEZ SILVA, G., *et al* (en prensa). Evaluación de la aptitud de los suelos para tres de los principales cultivos del municipio de Salamanca.
- 30.- HILLEL, D. (1982). Introduction to soil physics. Academic press. London. 364 págs.
- 31.- HUDSON, N., (1982). Conservación del suelo. Edit. Reverte. España. 335 págs.
- 32.- IZAGUIRRE MENDOZA, M. y E. Domínguez Corona. (1979). Geografía Moderna del Estado de Guanajuato. Ediciones del Gobierno del Estado de Guanajuato. México.
- 33.- JIMENEZ RAMON, A. (1978). Algunos estudios de suelos sódico-salinos en el municipio de Abasco, Tamaulipas. Tesis profesional. U.N.A.M. México.
- 34.- KAURICHEV, I.S. (1984). Prácticas de edafología. Edit. M.I.R. Moscú. 287 págs.
- 35.- KIRBY, M.J. y R.P.C. Morgan. (1984). Erosión de suelos. Editorial Limusa. 1a. Edición. México. 375 págs.
- 36.- LEE RODRIGUEZ, V. y R. Nuñez Escobar. (1985). Efecto de la adición de residuos de cosecha sobre las propiedades físicas de un suelo arcilloso del Valle Yaquí, Son. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Guanajuato. págs. 125-137. Memorias. Departamento de Suelos. Univ. Autón. de Chapingo. México.

- 37.- LOMIS, R.S. (1976). Sistemas de agricultura. Investigación y Ciencias. No.2. Noviembre. pág. 76-85. Prensa Científica. España.
- 38.- LOPEZ DE MEDRANO, S. (1972). Lenguajes simbólicos. Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior. México. 64 págs.
- 39.- LOPEZ RAMOS, E. (1979). Geología de México. Tomo III. 2a. Edición. México. 440 págs.
- 40.- MACIEL RODRIGUEZ, R. (1985). Compactación en los suelos arcillosos de Noroeste de Tamaulipas. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Guanajuato. págs. 217-223. Memorias. Departamento de Suelos. Univ. Autón. de Chapingo. México.
- 41.- MBAGWU, J., R. Lal y T.W. Scott. (1983). Physical Properties of three soils in southern Nigeria. Soil Science. Vo. 136. No.1. U.S.A.
- 42.- ORTIZ SOLORIO, C. (1985). Los suelos agrícolas de México. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Guanajuato. págs. 10-17. Memorias. Departamento de Suelos. Univ. Autón. de Chapingo. México.
- 43.- PALMER, R.G. y F.R. Trosh. (1977). Introductory Soil Science, Laboratory Manual. 2a. Edit. Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A. 136 págs.
- 44.- PROGRAMACION Y PRESUPUESTO, Sria. Coord. Gral. Serv. Nal. Estadística, Geografía e Informática. (1980). Síntesis Geográfica de Guanajuato. México.
- 45.- SAINI, G.R. y T.L. Chow. (1984). Compactibility indexes of some agricultural soils of New Brunswick, Canada. Soil Science. Vol. 137, No. 1:33-38, U.S.A.
- 46.- SIMPSON-LEWIS, R. McKechnie y V. Neimanis. (1983). Stress on Land in Canada. Policy Research and Development Branch Lands Directorate Environment Canada. Folio No.6. Ottawa, Canada.
- 47.- SIMS, Brian G. (1985). La influencia de algunos parámetros del suelo en el diseño de herramientas para labranza de tracción animal en suelos arcillosos. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Gto. págs. 162-163. Memorias. Departamento de Suelos. Univ. Autón. de Chapingo. México.
- 48.- NIE, Norman H. et al (1975). Statistical package for the social sciences (SPSS). Mc Graw Hill, Inc. U.S.A.

- 49.- STORIE, E.R. (1970). Manual de evaluación de suelos. UTEHA. México. 225 págs.
- 50.- VALLE BUENDO, J. X. et al (1985). Identificación de factores del suelo que causan la clorosis en soya. Primera Reunión Nacional sobre Manejo de Suelos Arcillosos y su Implicación en la Agricultura. 2-5 de octubre. Celaya, Guanajuato. págs. 125-137. Memorias. Departamento de Suelos. Univ. Autón. de Chapingo. México.
- 51.- VILLEGAS SOTO, M., et al (1978). Método simplificado de análisis para la clasificación granulométrica de los minerales del suelo. Rev.Inst.Geología. Univ. Nal. Autón. México. 2:188-193.
- 52.- WELLHAUSEN, E.J. (1976). La agricultura de México. Investigación y Ciencias No.2. Noviembre. págs. 96-109. Prensa Científica. España.
- 53.- WISCHMEIER, W.H., C.B. Johnson y B.V. Cross (1971). A Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water conservation. 26-5, págs. 189-192. U.S.A.
- 54.- WORTMAN, S., (1976). Alimentación y agricultura. Investigación y Ciencia. No. 2. Noviembre. pag. 6-17. Prensa Científica. España.

S. A N E X O

DISCRIMINANT ANALYSIS

DM GROUPS DEFINED BY V2 GRUPO

ANALYSIS NUMBER 1

STEPWISE VARIABLE SELECTION

SELECTION RULE: MINIMIZE WILKS' LAMBDA
 MAXIMUM NUMBER OF STEPS..... 20
 MINIMUM TOLERANCE LEVEL..... 0.00050
 MINIMUM F TO ENTER..... 1.0000
 MAXIMUM F TO REMOVE..... 1.0000

CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTIONS

MAXIMUM NUMBER OF FUNCTIONS..... 1
 MINIMUM CUMULATIVE PERCENT OF VARIANCE... 100.00
 MAXIMUM SIGNIFICANCE OF WILKS' LAMBDA.... 1.0000

PRIOR PROBABILITY FOR EACH GROUP IS 0.50000

VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 0

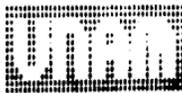
VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V3	1.0000000	1.0000000	0.71624	0.9595713
V4	1.0000000	1.0000000	7.2611	0.7007090
V5	1.0000000	1.0000000	5.3917	0.7426272
V6	1.0000000	1.0000000	0.18019	0.9012427
V7	1.0000000	1.0000000	1.4025	0.8537347
V8	1.0000000	1.0000000	1.3241	0.8277385
V9	1.0000000	1.0000000	-3.2780E-03	0.9999807
V10	1.0000000	1.0000000	3.1248E-02	0.9999030
V11	1.0000000	1.0000000	0.22697	0.9229053
V12	1.0000000	1.0000000	0.22725	0.9862364



TEST OF EQUALITY OF GROUP COVARIANCE MATRICES USING BOX'S M

THE RANKS AND NATURAL LOGARITHMS OF DETERMINANTS PRINTED ARE THOSE OF THE GROUP COVARIANCE MATRICES.

GROUP LABEL	RANK	LOG DETERMINANT
1	4	9.334043
2	4	9.390169
POOLED WITHIN-GROUPS COVARIANCE MATRIX	4	9.519914
BOX'S M	APPROXIMATE F	DEGREES OF FREEDOM
93.309	1.7129	1589.6
		SIGNIFICANCE
		0.0952



CASE	HIS	ACTUAL	HIGHEST PROBABILITY	2ND HIGHEST	DISCRIMINANT SCORES
SUBFILE	VAL	GRDIN	GROUP P(X/G)	GROUP P(G/X)	
NONAME	1 VFS	VFS	2 VFS	1 0.0041	1.2442
			> 0.0504 0.0150		


```

*****
DEGRADACION DE SUCROSA
ANALISIS DISCRIMINANTE
*****

```

AT STEP 1, V5 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

DEGREES OF FREEDOM SIGNIFICANCE BETWEEN GROUPS
 MILKS' LAMBDA EQUIVALENT F 0.243077 1 17.0 0.0000

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 1 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	MILKS' LAMBDA
V5	1.0000000	52.976	

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 1 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	MILKS' LAMBDA
V3	0.3394753	0.3759123	1.2164	0.2287899
V4	0.3727177	0.4121551	1.2166	0.2287899
V6	0.0364974	0.1764474	0.21189	0.5596733
V7	0.2123333	0.2923557	0.62182	0.338244
V8	0.2827884	0.2923557	0.2803E-01	0.2189508
V10	0.2816422	0.2923557	0.17516	0.2403020
V11	0.2624660	0.2923557	0.29377	0.2480661
V12	0.6025062	0.3325762	0.6645E-02	0.2417842

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 1
EACH F STATISTIC HAS 1 AND 17.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1
2	70.0370

```

*****
DEGRADACION DE SUCROSA
ANALISIS DISCRIMINANTE
*****

```

AT STEP 2, V3 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.



AT STEP 2, V3 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	DEGREES OF FREEDOM	SIGNIFICANCE BETWEEN GROUPS
0.2218739	2	0.0000
0.1396153	2	0.0000

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 2 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V3	0.1396153	15.515	0.2429072
V5	0.1396153	17.593	0.4659157

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 2 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V4	0.0000000	0.1700107		0.2218739
V6	0.1912569	0.1711191		0.2178886
V8	0.3845747	0.1704734	0.17824	0.2178886
V9	0.571487	0.1704734	0.17824	0.2178886
V10	0.744470	0.1704734	1.2578	0.2071125
V11	0.791777	0.1704734	0.16100	0.2178886
V12	0.8013223	0.1704734	0.16100	0.2178886

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 2
EACH F STATISTIC HAS 2 AND 16.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1
2	0.0316

