



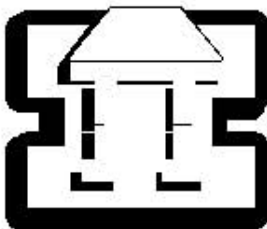
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DE
SUELOS AGRÍCOLAS Y SUELOS PROTEGIDOS POR
VEGETACIÓN NATURAL EN UNA ZONA SEMIÁRIDA”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G O
P R E S E N T A :
ROBERTO CARLOS SANCHEZ CANO

**DIRECTOR DE TESIS:
M. EN C. DANIEL JESUS MUÑOZ INIESTRA**



LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MEXICO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

DEDICATORIAS:

A mi madre Maria de la Luz Cano Martínez quien siempre ha estado a mi lado apoyándome en todo momento y a quien agradezco todo el cariño y comprensión que me ha brindado y todos los enormes esfuerzos y sacrificios que ha realizado para hacer de mí la persona que soy.

AGRADECIMIENTOS:

A mi padre Julio Sánchez Alfaro por motivarme a seguir superándome y por sus valiosos consejos y enseñanzas que me han sido de tanta utilidad a lo largo de mi vida.

A mi hermana Elizabeth Sánchez Cano por estar conmigo brindándome su apoyo incondicional y por darle tanta alegría a mi vida.

A mi hermano Julio Cesar Sánchez Hernández por el buen ejemplo que ha sido para mí y por los momentos que ha compartido conmigo a lo largo estos años.

A las familias Cano Martínez y Sánchez Alfaro.

Agradezco especialmente a mi director de tesis el M. en C. Daniel Jesús Muñoz Iniestra por haber confiado en mi y haberme tenido tanta paciencia, por sus enseñanzas y aportaciones tan valiosas para la realización de este trabajo.

A mis sinodales M. en C. Francisco López Galindo, Dr. Diodoro Granados Sánchez, Biol. Arnulfo Reyes Mata y Biol. Luis Antonio Hernández González y a los profesores del laboratorio de Edafología Biol. Mayra Hernández y Biol. Alfonso Soler por sus aportaciones para la realización de este trabajo.

A los biólogos Omar Santiago y Armando Rodríguez por brindarme su valiosa amistad.

A la banda más chida de Biología: Martín, Efraín, Nicolás, toro, feno, Vladimir, Eric. También a mis cuates Fabián, Martincillo, Aldo, Osvaldo, Mario, David y los CCHeros Edgar, Javier y Pepe.

CONTENIDO

I. INTRODUCCION	1
II. MARCO TEORICO	3
2.1 RECURSO SUELO	3
2.2 LAS ZONAS SEMIARIDAS	3
2.3 USO AGRICOLA DEL SUELO	4
2.4 DEGRADACION DEL SUELO	5
2.5 CALIDAD DEL SUELO	7
2.6 SUELOS ALUVIALES	12
III. ANTECEDENTES	13
IV. OBJETIVO	15
V. AREA DE ESTUDIO	
5.1 LOCALIZACION	16
5.2 CLIMA	17
5.3 FISIOGRAFIA	17
5.4 GEOLOGIA	17
5.5 HIDROLOGIA	17
5.6 SUELOS	18
5.7 VEGETACION	18
5.8 FAUNA	18
5.9 ESTRUCTURA ECONOMICA	19
VI. METODOLOGIA	
6.1 ETAPA PROSPECTIVA	20
6.2 ETAPA DE CAMPO	21
6.3 ETAPA DE LABORATORIO	22
6.4 ETAPA DE ANALISIS	22
VII. RESULTADOS	
7.1 ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE LOS SUELOS	25
7.2 ESTADISTICA DESCRIPTIVA	27
7.3 INDICES DE DEGRADACION	29
7.4 ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	30
7.5 ANALISIS DE AGRUPAMIENTO	33

VIII. DISCUSIÓN	
8.1 PROPIEDADES FISICAS	37
8.2 PROPIEDADES QUIMICAS	43
8.3 DEGRADACION DE LOS SUELOS	51
8.4 INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO	55
IX. CONCLUSIONES	56
X BIBLIOGRAFIA	57

I INTRODUCCIÓN.

El cambio de uso del suelo es la principal causa responsable de la degradación de la tierra. Los territorios de cualquier país se explotan con diferente intensidad dependiendo de las condiciones climáticas, topográficas, la calidad de los suelos y sobre todo de la presión demográfica. Algunos paisajes han sido alterados casi totalmente, modificando el arreglo natural y condicionándolos para la introducción de actividades productivas, desarrollos urbanos, industriales o turísticos. De igual modo, otros paisajes han sido poco transformados por el escaso interés que tiene el hombre en esos sitios o bien, por que las condiciones naturales son muy restrictivas. A las diferentes formas en que se utiliza un territorio se conoce como *uso del suelo* (SEMARNAT, 2002).

En los sitios poco transformados el uso del suelo esta determinado por los tipos de vegetación que de manera natural se han establecido ahí formando parte de los ecosistemas del territorio. Estos lugares que cada vez son menos en extensión y al mismo tiempo son cada vez más importantes para el funcionamiento del planeta y para la sobrevivencia del hombre. Los servicios que ofrecen los ecosistemas son de un valor incalculable ya que contribuyen a la regulación climática al ciclo hidrológico, además de aportar una gran variedad de productos como materias primas y energéticos. Sin embargo cuando los ecosistemas son parcialmente alterados o totalmente remplazados, los procesos y servicios ecológicos que ofrecen son seriamente afectados dando inicio a un fenómeno conocido como degradación ambiental. Entre los elementos más impactados por estos cambios esta la biodiversidad y la calidad del suelo. El suelo es uno de los receptores primarios de los impactos ambientales provocados por el cambio del uso del suelo. De acuerdo a la información proveniente del Inventario Nacional Forestal (SEMARNAT, 2002), se sabe que cerca de la mitad del territorio nacional ha sido afectada severamente por las actividades humanas. La misma fuente señala que en el 29% del territorio se elimino la vegetación primaria para la introducción de actividades agropecuarias. Esto también quiere decir que cerca del 30% de los suelos del país han sido afectados en su calidad original, algunos de ellos están totalmente degradados. El problema no es sólo el cambio de uso del suelo, sino el mal manejo que se hace de ellos donde casi nunca se toma en cuenta su morfología y propiedades intrínsecas. La mayoría de los suelos agrícolas de México han sido sobre-explotados o sub-utilizados, provocando con ello un fuerte deterioro.

Entre las regiones más afectadas por el cambio de uso del suelo están las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, de acuerdo a SEMARNAT (2002), el 45% de los matorrales originales de las zonas secas, han sido substituidos por cobertura antrópica, la expansión ganadera es la principal causa de la alteración de las zonas secas y tropicales.

El cambio de uso del suelo es uno de los temas de mayor interés en la actualidad para las ciencias ambientales y la ecología. Este fenómeno constituye uno de los factores involucrados en el calentamiento global, ya que altera los ciclos biogeoquímicos como el del agua o el del carbono. No hay que

olvidar que el suelo contiene las reservas más importantes de carbono en los continentes. La masa total del C orgánico en los suelos se ha estimado en 30×10^{14} kg, similar al promedio de todos los otros reservorios de C en la superficie terrestre como la vegetación y la atmósfera con 21×10^{14} kg. El cambio de uso del suelo también es una de las causas más importantes de la disminución de la biodiversidad.

En los últimos años ha surgido la necesidad de enfocar los problemas de los efectos de la agricultura sobre las características físico-químicas del suelo de una manera más holística (Karlen et al., 2003). Esta visión integradora es clave cuando se trabaja en ecosistemas naturales y en agroecosistemas debido a su complejidad y al gran número de interacciones. La necesidad de contar con mediciones de una gran cantidad de variables ha llevado a la generalización del desarrollo y uso de indicadores de calidad del suelo, que utilizan la información edáfica de manera conjunta con otras variables ambientales para definir las bases de una agricultura menos agresiva, sustentable y ecológicamente compatible. La relación existente entre las prácticas de manejo y las características edáficas y los estudios sobre degradación de suelos que utilizan parámetros edáficos para evaluar la productividad, para explicar los procesos de erosión, y para elaborar modelos de degradación de suelos también son temas de interés.

El daño al suelo en las áreas semiáridas no es fácilmente reparable. Por esta razón, es importante entender como la perturbación de la superficie, especialmente la remoción de la vegetación para el posterior uso agrícola, afecta la calidad del suelo, e incrementar el conocimiento del mecanismo de los procesos de degradación del suelo de tal forma que los problemas ambientales puedan ser adecuadamente pronosticados y corregidos.

II MARCO TEÓRICO.

2.1 Recurso suelo.

El suelo es un recurso natural dinámico y no renovable cuya condición es vital para la producción de alimentos y fibras y para el balance global y función de los ecosistemas. Los suelos están compuestos de partículas minerales inorgánicas de diferente tamaño, formas reactivas y estables de materia orgánica, millones de organismos vivos tales como lombrices, insectos, bacterias, hongos, algas, nematodos, etc.; agua; y gases incluyendo O₂, CO₂, N₂, NO y CH₄. El suelo se forma lentamente, como resultado de la interacción del clima, la topografía, los organismos vivos y el material parental a través del tiempo, así el recurso suelo es esencialmente no renovable en los alcances de la vida humana (Doran *et al.*, 1996).

Nortcliff (2002) menciona que para desempeñar sus múltiples funciones, el suelo debe proveer las siguientes funciones básicas, la importancia de cada una puede variar dependiendo de la función específica bajo consideración:

- Proveer un medio físico, químico y biológico para los organismos vivos.
- Regulación y repartición del flujo de agua.
- Soportar la actividad y diversidad biológica.
- Filtrar, amortiguar, degradar e inmovilizar sustancias orgánicas e inorgánicas.
- Proporcionar soporte mecánico para los organismos vivos y sus estructuras.

Los atributos físicos y químicos del suelo regulan la actividad biológica y el intercambio de iones entre las fases sólida, líquida y gaseosa las cuales influyen en el ciclo de nutrientes, crecimiento vegetal y descomposición de materiales orgánicos. El suelo sirve como medio para el crecimiento vegetal al proporcionar soporte físico, agua, nutrientes esenciales y oxígeno para las raíces. La capacidad del suelo para el sostenimiento del crecimiento vegetal y la actividad biológica esta en función de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Doran *et al.*, 1996).

Durante la última parte del siglo XX hubo un cambio en la percepción general de la importancia del suelo como un componente ambiental y un reconocimiento de mantener o mejorar la habilidad de los suelos para desempeñar sus múltiples funciones. Al mismo tiempo ha habido un reconocimiento de que el suelo no es un recurso inagotable y si es usado inapropiadamente o mal manejado puede perderse en un periodo de tiempo relativamente corto con muy limitadas oportunidades de regeneración o reemplazamiento (Nortcliff, 2002).

2.2 Las zonas semiáridas.

Las zonas áridas y semiáridas de México comprenden aproximadamente el 50% del territorio. Se consideran zonas semiáridas aquellas que reciben una precipitación pluvial media anual de entre 350 y 600 mm anuales. Estas regiones se caracterizan por una escasez de agua con una distribución de la precipitación

pluvial altamente errática y que ocurre en pocos eventos y de tipo torrencial. La torrencialidad con que se presenta la precipitación pluvial en las zonas semiáridas propicia el arrastre de grandes cantidades de suelo dejando una alta erosión en las zonas afectadas; el suelo perdido es de las capas más fértiles, lo que conlleva a su degradación y a la pérdida de su capacidad productiva. La erosión eólica afecta de manera similar a estas zonas (Tarango, 2005).

Los cambios ambientales y los impactos antropogénicos son amenazas potenciales para la conservación de la calidad del suelo. La protección y la conservación del suelo son particularmente importantes cuando se trata de ecosistemas marginales, frágiles y ecológicamente sensibles como las zonas semiáridas donde cualquier alteración del sistema, aunque sea por procesos naturales, podría llevar a la degradación del suelo. De hecho, la presión humana esta acelerando estos procesos y causando la irreversible degradación del suelo que causa una rápida pérdida de productividad del suelo (Albaladejo *et al.*, 1998).

Los suelos bajo condiciones semiáridas se desarrollan lentamente y tienen poca capacidad para recuperarse por lo que si el medio natural cambia como consecuencia de las acciones del hombre, las propiedades físicas, químicas y biológicas y las características macromorfológicas de los suelos pueden variar enormemente y llegar incluso a ser irreversible (Brasa *et al.*, 2001).

En las zonas secas imperan condiciones sumamente difíciles para los organismos, la elevada oscilación térmica y la aridez son los principales factores que tienen que tolerar los seres vivos. El clima es muy aleatorio e impredecible, con años en donde puede caer muy poca agua y otros con aguaceros torrenciales. Durante los meses o años de sequía muchos procesos biológicos se ven literalmente detenidos. Los ritmos de los procesos naturales son pausados o marcadamente estacionales. Una similitud que tienen las regiones secas es la pobreza de sus habitantes. Mil millones de las personas más pobres viven en regiones secas. Cerca del 90% de los países con mayor superficie árida son subdesarrollados (SEMARNAT, 2002).

2.3 Uso agrícola del suelo.

En las últimas décadas, se han llevado a cabo importantes cambios en la distribución de usos del suelo. Grandes masas de cubiertas vegetales autóctonas han sido deforestadas para su uso agrícola como consecuencia de una intensificación de la agricultura que agrava los problemas de degradación del suelo. La importancia de la cubierta vegetal en la reducción de la erosión y protección del suelo contra la degradación ha sido ampliamente demostrada (Albaladejo *et al.*, 1998).

La eliminación de la vegetación para la puesta en cultivo altera el equilibrio natural, dejando la superficie del suelo expuesta a los agentes erosivos e interrumpiendo el aporte de restos vegetales al suelo. Por otra parte, en ambientes semiáridos el abandono agrícola y la falta de practicas de conservación, ha desencadenado

fuertes procesos erosivos ya que los suelos se encuentran agotados tras largos periodos de cultivo, lo que dificulta la colonización vegetal que avanza muy lentamente, acentuándose la erosión durante los primeros años de abandono (Colomer *et al.*, 2001).

El uso inadecuado que se le da a la tierra cuando es utilizada y abandonada después de la siembra, trae consigo la pérdida de suelo, debido a que la tierra es removida como preparación para el cultivo y muchas veces es dispersada por los fuertes vientos, facilitando un rápido deterioro; esto ocurre también como resultado de las lluvias torrenciales, que arrastran grandes cantidades de suelo cuando éste no presenta vegetación que lo proteja (Toledo *et al.*, 2000).

Cuando los suelos son cultivados, ocurre una rápida pérdida de nutrientes y una disminución de materia orgánica entre otros procesos. En este escenario de degradación del suelo las deficiencias nutrimentales en plantas normalmente ocurren. (Buschiazzo *et al.*, 2001).

Las observaciones efectuadas en las propiedades físicas de suelos vírgenes, que no han sido cultivados, indican que los parámetros ideales están en los suelos que no han tenido intervención de ningún método de laboreo y que después de algunos años de cultivo, estos pierden su calidad en forma considerable (Reyes *et al.*, 2002).

2. 4 Degradación del suelo.

La producción agrícola, forestal, así como también los ecosistemas naturales están siendo amenazados por los acelerados procesos de degradación del suelo (De Paz *et al.*, 2006). Según la FAO/PNUMA (1980), citado por Colomer *et al.*, (2001) degradación del suelo se define como “un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir cuantitativa y/o cualitativamente bienes o servicios. El proceso incluye una serie de cambios físicos, químicos y biológicos en las propiedades y procesos edáficos que llevan a una disminución de la calidad del suelo.

La degradación del suelo es un problema ampliamente esparcido que tiene consecuencias negativas tanto en la productividad agrícola como en los ecosistemas naturales (Wander and Drinkwater, 2000).

Los procesos de degradación son los mecanismos responsables de la disminución de la calidad del suelo. Normalmente se han separado en procesos de degradación física, química y biológica atendiendo a la naturaleza de las propiedades del suelo afectadas. El suelo constituye un sistema dinámico y complejo en el que los diferentes componentes interactúan entre sí, de forma que las alteraciones que se produzcan en uno de ellos van a provocar cambios en el resto (Colomer *et al.*, 2001).

La degradación del suelo es causada principalmente por el uso y manejo inapropiados de los recursos suelo y agua. El suelo es considerado degradado si los procesos antropogénicos y naturales que han ocurrido en él han disminuido la cantidad y calidad de la producción de biomasa (Snakin *et al.*, 1996). Los procesos de degradación del suelo se dividen en tres tipos:

-Degradación física: Incluye compactación, erosión, pérdida de la profundidad del suelo, sellado de la superficie y otras características que afectan a las raíces y al movimiento del agua.

-Degradación química: Incluye salinización, acidificación, pérdida de la materia orgánica, pérdida de nutrientes, acumulación de pesticidas y de elementos tóxicos.

-Degradación biológica: Incluye disminución de la materia orgánica, pérdida de biodiversidad y proporciones óptimas de diferentes especies de mesofauna del suelo y microorganismos.

En los estudios de degradación la utilidad de las mediciones es de vital importancia puesto que a partir de ellas se pueden derivar una serie de decisiones que pueden permitir establecer medidas correctoras, evaluar los usos del territorio, diseñar y mejorar planes de conservación, planificar proyectos de recuperación de zonas degradadas etc. Los índices de degradación tienen la ventaja de ser simples y de sintetizar la información haciéndola más manejable y comprensible para aquellos que la vayan a utilizar. El desarrollo de estos índices de degradación plantea algunas dificultades dada la multiplicidad de factores físicos, químicos y biológicos que controlan los diferentes procesos así como su variación tanto en el espacio como en el tiempo (Colomer *et al.*, 2001).

Es interesante señalar la distinta percepción que se tiene del problema de la degradación del suelo, según se considere desde una perspectiva global o local. A escala global, y desde cualquier ámbito (social, político, científico) la degradación se ve como un serio problema que amenaza la propia subsistencia de la humanidad. Sin embargo, a nivel local, el agricultor difícilmente percibe el problema de la degradación como algo real. Los efectos que los distintos procesos de degradación puedan tener sobre la productividad rara vez se ponen de manifiesto, salvo casos extremos, puesto que la tecnología tiende a enmascarar la disminución de la productividad. Difícilmente se podrán incorporar cambios de conducta (incorporación de medidas preventivas, técnicas correctoras o planes de conservación) a menos que los problemas de degradación se perciban a nivel local como un problema real, y es desde este nivel donde se debe hacer frente a los problemas de degradación del suelo (Colomer *et al.*, 2001).

2.5 Calidad del suelo.

La producción de cultivos y sus efectos ambientales dependen de la calidad del suelo. El suelo proporciona los procesos físicos, químicos y biológicos requeridos para sostener a la mayoría de vida vegetal y animal terrestre. La calidad del suelo determina que tan bien el suelo desempeña sus funciones (USDA, 2006).

La Soil Science Society of América (1997), citado por Herrick (2000) definió la calidad del suelo como “la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de ecosistemas naturales o manejados, para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de plantas y animales. La calidad del suelo evalúa el uso de la tierra desde el punto de vista de cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Norfleet *et al.*, 2003).

El concepto de calidad del suelo incluye la evaluación de las propiedades y procesos del suelo, de cómo se relacionan con la habilidad del suelo para funcionar efectivamente como un componente de un ecosistema saludable. El concepto en sí, constituye un elemento de referencia común a los distintos procesos de degradación, permitiendo una valoración conjunta de todos ellos y aglutinando las complejas interacciones que se establecen entre los diferentes componentes físicos, químicos y biológicos del suelo (Schoenholtz *et al.*, 2000).

La calidad de suelo ha sido propuesta como un indicador integrativo de calidad ambiental, seguridad alimentaria y viabilidad económica. Por tal razón, se manifiesta como un indicador ideal del manejo sustentable de la tierra (Herrick, 2000). El propósito absoluto de este renovado énfasis en la calidad del suelo es desarrollar una vía más sensible y dinámica para documentar la condición del suelo, como este responde al manejo y si es resistente al estrés impuesto por prácticas de cultivo (Schoenholtz *et al.*, 2000).

Mientras el elemento productividad es importante, para que sea sustentable la producción agrícola, esta debe ser soportada por medidas de conservación que aseguren el mantenimiento a largo plazo de la actividad (Nortcliff, 2002).

La calidad del suelo puede ser degradada a través del uso de prácticas inapropiadas de labranza y cultivo. Para aumentar la calidad del suelo se debe reconocer que este recurso afecta la salud, funcionamiento y productividad de todo el ecosistema (Wallace and Terry, 1998).

En contraste con la calidad del agua y el aire, los cambios en la calidad del suelo pueden no ser prontamente observables y las consecuencias de algún decline en la calidad del suelo pueden no ser inmediatamente experimentadas. Mientras la mayoría de países tienen criterios nacionales de aptitud para beber (agua) y aptitud para respirar (aire) con respecto al suelo raramente hay tan obvios criterios los cuales puedan ser aplicados y contra los cuales la calidad del suelo pueda ser juzgada. En parte el problema de desarrollar un índice de calidad del suelo es

acentuado por el hecho que muchos cambios en el suelo pueden ocurrir en periodos de tiempo demasiado largos y el decline en la calidad puede solo ser evidente cuando algunos impactos acumulativos ocurren (Nortcliff, 2002).

2.5.1 Evaluación de la calidad del suelo.

La evaluación de la calidad del suelo enfatiza tanto las características inherentes del suelo (producto de los factores formadores como la textura) que afectan la habilidad natural de un suelo para funcionar, pero no cambian fácilmente, así como las características dinámicas superficiales (que se presentan en los primeros 20 cm aproximadamente) y describen el estado o la condición de un suelo específico como resultado de su uso y manejo (Karlen *et al.*, 2003).

Una característica distintiva de la investigación en calidad del suelo es el uso de acercamientos multidisciplinarios para su evaluación. Conservar y aumentar la calidad del suelo es recomendado como un primer paso fundamental hacia el mejoramiento ambiental.

La evaluación de la calidad del suelo involucra dos pasos. El primero es seleccionar apropiados indicadores de calidad del suelo para estimar su capacidad de realizar eficientemente las funciones críticas del suelo. Colectivamente, estos indicadores forman un conjunto mínimo de datos (MDS) el cual puede ser usado para determinar funciones críticas del suelo asociadas con cada objetivo del manejo que esta siendo efectuado. La información se puede almacenar y procesar para desplegar información que puede ser útil cuando se trata de determinar niveles de calidad del suelo, con propósitos agronómicos o de conservación (Karlen *et al.*, 2003).

Un significativo decline en la calidad de los suelos ha ocurrido mundialmente a través de cambios adversos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas y la contaminación por químicos orgánicos e inorgánicos (Arshad *et al.*, 2002).

La pérdida de calidad puede vincularse directamente con el deterioro del estado físico, la disminución del contenido de carbono orgánico y la actividad biológica, el agotamiento de nutrientes, el deterioro de la estructura, compactaciones superficiales y subsuperficiales, acidificación, pérdida de materia orgánica, escasez de agua y aire; éstos procesos son en su mayoría acelerados y/o provocados por el hombre.

Los cambios en la calidad del suelo pueden ocurrir por varias razones. Pierzynski *et al.*, (1994), citado por Nortcliff (2002) sugirieron tres principales causas de la reducción de la calidad:

- A causa de altas concentraciones de contaminantes.
- A causa de limitantes en la función del suelo (incluyendo procesos de degradación como salinización, acidificación, compactación, erosión etc).

- A causa de que el suelo se vuelva una fuente de contaminantes hacia otras partes del terreno.

2.5.2 Indicadores de calidad del suelo.

A pesar de la preocupación reciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente aun no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo. Para hacer operativo este concepto es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición. Los indicadores de calidad de suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas o procesos que ocurren en el (Bautista *et al.*, 2004).

Un indicador es entonces una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante (Bautista *et al.*, 2004).

La necesidad de indicadores básicos de calidad del suelo se refleja en la cuestión propuesta por agricultores, investigadores y conservacionistas sobre que mediciones deben hacer para evaluar los efectos del manejo en la capacidad del suelo para funcionar en el presente y en el futuro. Los indicadores elegidos deben también ser medibles por tanta gente como sea posible, especialmente los manejadores de la tierra y no limitarse a un cuadro selecto de investigadores ambientales y en agricultura (Doran *et al.*, 1996).

Cuando los productores analizan el suelo, usualmente prueban cuanto fertilizante necesitan, N, P, K y otros nutrientes. Sin embargo, los nutrientes son solo una parte de la descripción de un suelo saludable. Hay otras características físicas, químicas y biológicas que pueden ser tan importantes como los nutrientes para conseguir producciones óptimas a través de largos periodos de tiempo (Wallace and Terry, 1998).

Entre el gran número de indicadores posibles de calidad del suelo, los más preferibles son los más simples y los más prontamente disponibles para su uso y para obtener datos suficientes. Simultáneamente, hay una intención para minimizar el número de indicadores eligiendo aquellos que son más informativos y universales (Snakin *et al.*, 1996).

Indicadores de calidad del suelo se refiere a los atributos medibles del suelo que influyen la capacidad del suelo para desempeñar sus funciones en la productividad de los cultivos o ambientales. Los atributos que son los más sensibles al manejo son los más deseables como indicadores. Los cambios en la calidad del suelo pueden ser evaluados con la medición de los indicadores apropiados y comparándolos con valores deseados (limites críticos, niveles de

partida o comparación con suelos no perturbados). Un cambio perjudicial en alguno de los parámetros físicos, químicos y biológicos puede reducir la calidad del suelo (Arshad *et al.*, 2002).

La importancia de los indicadores radica en que estos:

- Proporcionan material de referencia para medir tendencias y patrones;
- Relacionan la calidad del suelo con otros componentes del sistema;
- La calidad puede ser comparada con los niveles de precaución impuestos.

Dada la compleja naturaleza del suelo y el gran número de propiedades del suelo que pueden ser determinadas, es importante ser capaz de seleccionar las propiedades que son las adecuadas para el trabajo. De acuerdo con Nortcliff (2002), es posible agrupar los atributos que pueden ser usados como indicadores de calidad del suelo en tres grandes grupos:

- Atributos/indicadores físicos.

Estos están principalmente relacionados con el arreglo físico de las partículas sólidas y poros e incluyen textura, densidad aparente, porosidad, estabilidad de los agregados, encostramiento, compactación y profundidad del suelo.

- Atributos/indicadores químicos.

Aquí la lista de atributos potenciales del suelo es muy grande y la selección final puede depender de la función bajo consideración. Los atributos incluyen pH, salinidad, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, estado de los nutrientes, concentración de elementos potencialmente tóxicos entre otros.

- Atributos/indicadores biológicos.

Los atributos biológicos pueden ser muy dinámicos y sensibles a los cambios en las condiciones del suelo por lo que hay preferencia por los atributos biológicos para evaluaciones a corto plazo. Los atributos incluyen poblaciones de micro, meso y macroorganismos, tasa de respiración u otros indicadores de actividad microbiana y una caracterización mas detallada de la materia orgánica del suelo.

La materia orgánica ha sido ampliamente promovida como un indicador clave de calidad de suelos particularmente en suelos agrícolas. Sojka y Upchurch (1999), citado por Nortcliff (2002) sugirieron que un incremento en los niveles de materia orgánica del suelo tiende a mejorar la calidad de los suelos, por ejemplo, en muchos suelos un aumento en el contenido de materia orgánica incrementa la estabilidad de los agregados.

Un resumen de las propiedades químicas del suelo citadas en la reciente literatura perteneciente a la calidad de suelos agrícolas, pastizales y forestales se proporciona en los siguientes cuadros (1, 2 y 3).

Cuadro 1. Indicadores físicos propuestos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo. Larson y Pierce (1991); Doran y Parkin (1994), citados por Doran *et al.*, (1996).

Indicador físico	Relación con la condición y función del suelo
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo.
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión.
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad.
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica.

Cuadro 2. Indicadores químicos propuestos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo. Larson y Pierce (1991); Doran y Parkin (1994), citados por Doran *et al.*, (1996).

Indicador químico	Relación con la condición y función del suelo
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión.
pH	Define la actividad química y biológica.
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana.
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental.

Cuadro 3. Indicadores biológicos propuestos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo. Larson y Pierce (1991); Doran y Parkin (1994), citados por Doran *et al.*, (1996).

Indicador biológico	Relación con la condición y función del suelo
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica.
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa.
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N.

2.5.3 Manejo de la calidad del suelo.

La calidad del suelo puede ser mantenida o aumentada a través del uso de tecnologías apropiadas de producción agrícola y sistemas de manejo del recurso que involucren la composición, estructura y función de los ecosistemas enteros. Prácticas benéficas de manejo del suelo a nivel local son designadas para mantener la calidad y la productividad a largo plazo y para mitigar los daños ambientales de la producción agrícola. Estas prácticas incluyen rotación de cultivos, manejo de residuos de cultivo y labranza de conservación. También benéficos para la calidad del suelo son ciertos nutrientes y prácticas de irrigación (USDA, 2006).

La apropiación de tecnologías de manejo del suelo depende de las condiciones topográficas y agroclimáticas, la viabilidad técnica, económica, y financiera específicas del sitio, actitudes, percepciones y recursos de los productores y actitudes de la sociedad con respecto al rango de distancia de los efectos asociados con la producción agrícola (USDA, 1997).

Prácticas de manejo que pueden mejorar la calidad del suelo:

- Incrementando la cubierta vegetal y la materia orgánica.
- Labrando en corto tiempo para reducir la degradación de la materia orgánica y la compactación.
- Manejando correctamente el uso de fertilizantes y pesticidas para minimizar su impacto en organismos y en la calidad del agua y el aire.
- Incrementando la diversidad de plantas, vida salvaje y otros organismos para el control de plagas.

2.6 Suelos aluviales.

Los suelos aluviales son suelos jóvenes situados en planicies de inundación, terrazas, cuencas lacustres y deltas. Poseen predominantemente las características heredadas del aluvión mismo, en estos suelos se encuentra una secuencia de horizontes cuyas propiedades varían de una capa a otra. Los materiales depositados por el agua comúnmente tienen capas que difieren grandemente en características como la textura, pero la localización de esas capas está gobernada por el tipo de sedimentación (Ortiz y Cuanalo, 1981).

La topografía es el factor más importante en la formación de suelos aluviales, que se generan en principio por procesos erosivos y de transportación, a los que sigue la depositación de materiales y la acción de eventos edafogenéticos formando suelos inicialmente llamados Entisoles. Generalmente, al final del proceso de aluviación o cumulización, el aluvión se deposita sobre suelos anteriormente formados sepultándolos. Consecuentemente, los suelos aluviales suelen ser suelos jóvenes y deben sus características iniciales a las del material transportado del cual se originaron.

Algunos suelos aluviales son muy importantes para la agricultura, las inundaciones periódicas llevan minerales a estos suelos y tienden a mantenerlos fértiles; el suelo permanece joven debido a que es enterrado antes de que alcance su madurez. Los suelos aluviales se derivan de los sedimentos depositados por el agua, y no muestran un desarrollo sobresaliente de horizontes, estos suelos varían mucho en sus propiedades físicas y químicas ya que los sedimentos a partir de los cuales se desarrollan, difieren en forma considerable de acuerdo con los materiales originarios de sus zonas de desagüe respectivos y de los lugares de depósito en las cuencas (García, 2001).

III ANTECEDENTES.

Snakin *et al.*, (1996) desarrollaron un conjunto de indicadores representativos de calidad del suelo para evaluar la degradación física, química y biológica del suelo con varios usos antropogénicos, generando una matriz de indicadores para cada uno de los procesos de degradación. Algunos de los indicadores propuestos fueron: densidad aparente, espesor del horizonte organogénico, contenido de nutrientes, sales solubles y sodio intercambiable entre otros.

Albaladejo *et al.*, (1998) estudiaron el impacto de la remoción de la vegetación sobre las propiedades de un suelo de una región semiárida de España, se comparó el comportamiento de las propiedades de un suelo sin vegetación (suelo desnudo) y del mismo suelo pero protegido con vegetación natural, encontraron que las propiedades que mostraron mayores diferencias entre una condición y la otra fue el contenido de materia orgánica, la estabilidad de los agregados y el incremento en la densidad aparente en los suelos perturbados.

Buschiazzo *et al.*, (2001) analizaron el comportamiento de la materia orgánica, nitrógeno total, y fósforo asimilable en suelos vírgenes y suelos cultivados de diferente textura de la pampa semiárida de Argentina, encontrando que el cultivo disminuyó los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total, mientras el fósforo asimilable permaneció sin cambios.

Reyes *et al.*, (2002) estudiaron el efecto de dos sistemas de manejo: labranza tradicional y cero labranza sobre las condiciones físicas y químicas de un suelo aluvial bajo cultivos de maíz y trigo en la zona de Santiago de Chile. Propiedades como humedad aprovechable, estabilidad de los agregados, materia orgánica, nitrógeno total y potasio disponible fueron las más afectadas por la labranza tradicional, mientras el fósforo y el pH no presentaron diferencias entre los dos sistemas de manejo.

Wang *et al.*, (2003) determinaron la calidad del suelo por medio del análisis de 29 atributos físicos, químicos y biológicos en suelos regados y no regados con aguas residuales en Bakersfield, California, encontrando que la calidad del suelo puede ser evaluada por comparación de los siguientes atributos: porosidad total, pH, conductividad eléctrica, magnesio, fósforo y zinc.

Govaerts *et al.*, (2005) establecieron un paquete mínimo de datos (MDS) de calidad de suelo para tres diferentes sistemas de producción de cultivo de maíz y trigo en la región semiárida conocida como El Batán en México. El MDS incluyó los siguientes indicadores físicos y químicos: estabilidad de los agregados, punto de marchites, resistencia a la penetración, concentraciones de carbono, nitrógeno, potasio y zinc, estos fueron seleccionados por ser los más afectados por los sistemas de manejo.

Noellemeyer *et al.*, (2005) realizaron un estudio para probar la validez de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos por su capacidad para diferenciar suelos de acuerdo a su calidad bajo uso agrícola. Encontraron una relación entre el contenido de limo y arcilla y el contenido de materia orgánica mientras que los valores más altos de materia orgánica fueron encontrados en suelos franco-arenosos.

Sanzano *et al.*, (2005) evaluaron el efecto de distintos sistemas de manejo sobre el nivel de degradación física y química del suelo en comparación con suelo virgen en la región semiárida de Tucumán Argentina, encontrando diferencias significativas en la materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, mientras que la estabilidad de los agregados fue la propiedad más sensible al manejo del suelo en cambio el pH no fue afectado significativamente.

De Paz *et al.*, (2006) desarrollaron una metodología basada en índices de degradación utilizando sistemas de información geográfica (SIG), para evaluar la degradación física, química y biológica del suelo en la región árida de Valenciana España. Obtuvieron mapas de cada tipo de degradación, encontrando que la degradación física fue la que más zonas afectó, también identificaron que el contenido de materia orgánica era la variable más relacionada con la degradación.

IV OBJETIVOS.

4.1 Objetivo General.

Contrastar las propiedades físicas y químicas de un suelo aluvial de una zona semiárida, bajo dos condiciones de uso: suelo protegido con vegetación natural y suelo con uso agrícola.

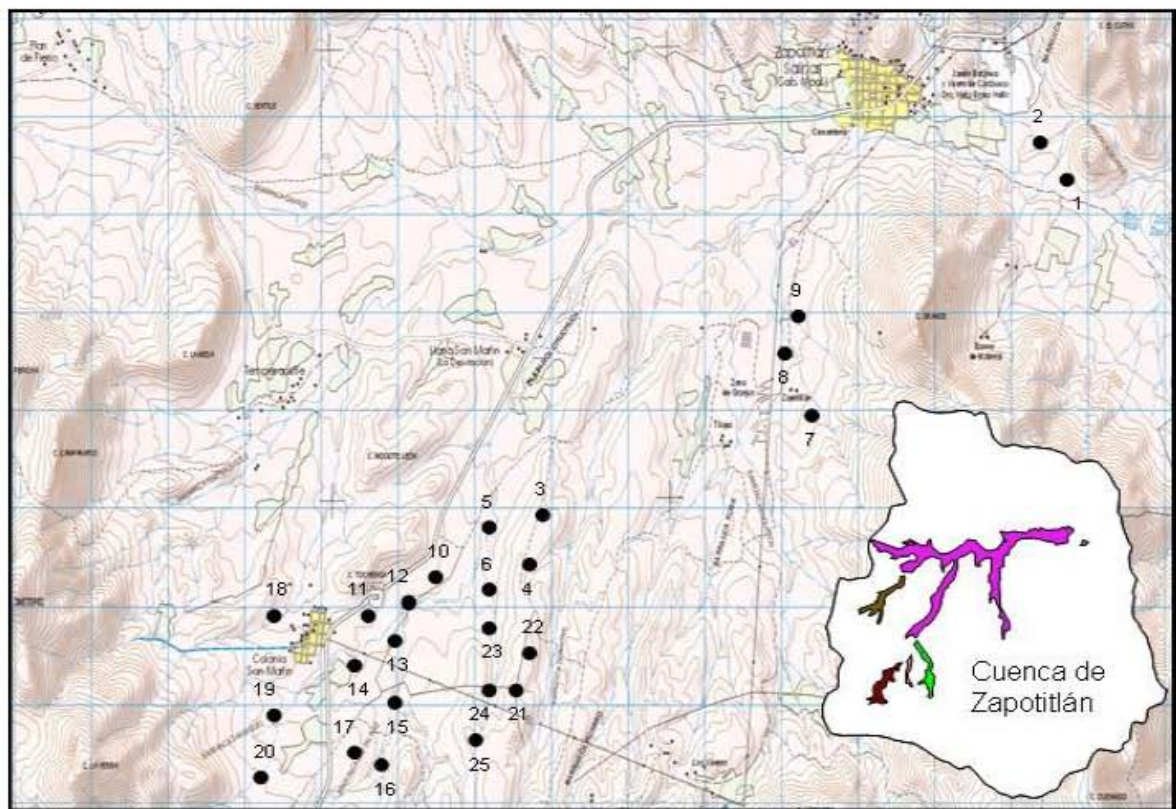
4.2 Objetivos particulares.

- Determinar las propiedades físicas y químicas de suelos de una terraza aluvial con vegetación natural y con uso agrícola.
- Identificar por comparación y análisis las propiedades que presenten las mayores diferencias entre las dos condiciones de uso (con vegetación natural y agrícola).
- Analizar el grado de asociación entre las variables edáficas y las dos condiciones del suelo.
- Proponer como indicadores de calidad del suelo estudiado, aquellas propiedades que se asocien más con la condición del sitio, tomando como referencia el suelo protegido.
- Determinar la magnitud del impacto del cambio de uso del suelo de acuerdo a la magnitud de las diferencias de las propiedades indicadoras.

VI METODOLOGÍA.

6.1 Etapa prospectiva.

El trabajo se inicio con una foteointerpretación utilizando ortofotos digitales blanco y negro escala 1:20,000, donde se identificaron y delimitaron las terrazas aluviales del valle de Zapotitlán. Posteriormente se reconocieron lo largo de todo el sistema de terrazas patrones de uso del suelo, identificando y localizando todos los sitios que presentaban una asociación de manchones de vegetación natural limitando contiguamente con grupo de parcelas agrícolas. Con el mapa de serie de suelos elaborado por García (2001), se verifico que las áreas agrícolas y las que tienen vegetación conservada tuvieran el mismo tipo de suelo, además también se considero la accesibilidad de los sitios. De esta forma se seleccionaron 25 sitios donde se cumplía con estas condiciones, los sitios se trazaron y geoposicionaron en un mapa topográfico a escala 1:50, 000.



97° 34' 53"

97° 26' 4"

Figura 2. Localización de los puntos de muestreo de las terrazas aluviales de la Cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla.

6.2 Etapa de campo.

En el campo se localizaron y georreferenciaron todos los sitios y en cada uno de ellos se tomaron muestras compuestas superficiales (0 – 25 cm) representativas tanto del área cubierta por vegetación natural como de las parcelas agrícolas contiguas, de este modo se conformaron varias parejas de localidades por todas las terrazas (Fig. 3.). Las muestras compuestas se formaron de la mezcla de 6 sub-muestras por sitio tomadas al azar. La forma de obtener las sub-muestras fue mediante el uso de una barrena o cavando un hoyo de forma aproximadamente cuadrado con una pala en el suelo superficial, removiendo los residuos orgánicos y procurando tomar siempre el mismo volumen de muestra, las sub-muestras se mezclaron para formar una muestra compuesta la cual se colocó en una bolsa de plástico resistente al transporte y se identificó claramente con tinta indeleble.

Se optó por la toma de muestras compuestas para lograr mayor representatividad y disminuir la variación que se obtiene en el proceso de toma de muestras, la muestra compuesta es recomendable cuando los suelos son relativamente homogéneos o las áreas de muestreo pueden ser fácilmente delineadas. El número de sub-muestras tomadas para formar una muestra compuesta depende de la heterogeneidad del suelo (Reyes *et al.*, 2002). Adicionalmente a la toma de las muestras de suelo, se levantó la siguiente información en cada sitio:



Figura 3. Sitios de muestreo protegidos con vegetación y suelos agrícolas.

- Localización georreferenciada (GPS).
- Altitud (GPS).
- Pendiente (Con clisímetro)
- Pedregosidad superficial (Observación directa estimativa en %)
- Tipos de cultivo o vegetación (Observación directa)

6.3 Etapa de laboratorio.

En el laboratorio las muestras se secaron y tamizaron para practicarles los análisis físicos y químicos citados en el Manual de Métodos de Análisis de suelo de Muñoz *et al.*, (2000), excepto estabilidad de los agregados que se tomo de Carter (1993).

- Color del suelo (Munsell, 1975). Técnica de comparación con las tablas de Munsell.
- Textura (Bouyoucos, 1962). Método del hidrómetro
- Densidad Aparente (Beaver, 1963) "Método volumétrico de la probeta".
- Densidad Real (Aguilera, 1980) "Método del picnómetro".
- Estructura (Cuanalo, 1981) Método cualitativo.
- Estabilidad de los agregados (Kemper y Rosenau, 1986) Método de Yoder.
- Retención de humedad (Ortiz y Ortiz, 1980) Método gravimétrico.
- Materia orgánica (Walker y Black, 1947) Por oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico.
- Capacidad de intercambio catiónico total (Schollenberger y Simon, 1945) Método volumétrico del Versenato.
- Calcio y Magnesio intercambiables (Cheng y Kurtz, 1970). Método volumétrico valorando con versenato.
- pH (Bates, 1954; Wilard, 1958). Método potenciométrico para determinar el pH real"
- Sodio y Potasio intercambiables. (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) Método del espectrofotómetro de flama.
- Nitrógeno total (Bremner, 1965). Método de Micro-Kjeldhal.
- Fósforo asimilable (Olsen y colaboradores, 1965). Método Olsen.
- Carbonatos (Morton y Newson, 1953). Método gasométrico.
- Conductividad eléctrica (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954). Método del conductímetro.

6.4 Etapa de análisis.

La información obtenida se integró en una base de datos para posteriormente hacer un análisis estadístico, utilizando pruebas paramétricas (estadísticas convencionales: comparación de medias, desviación estándar, etc.) que permitieron evaluar las relaciones y diferencias entre las dos condiciones que se compararon (suelo agrícola y suelo con vegetación) y los parámetros considerados. La comparación de medias se realizó por medio de la prueba de "**t-student**" con un nivel de significancia de ($P < 0.05$) lo que permitió determinar si las diferencias observadas entre las medias en las dos condiciones del suelo eran

estadísticamente significativas. Además, de acuerdo a su simplicidad y disponibilidad se seleccionaron y calcularon índices para cada proceso de degradación (física, química y biológica) basados en las metodologías propuestas por De Paz *et al.*, (2006); FAO-PNUMA-UNESCO (1980) y Snakin *et al.*, (1996) para conocer el grado de impacto por el uso agrícola del suelo. También se aplicó un análisis de componentes principales (PCA) para identificar que parámetros tuvieron un efecto significativo sobre los cambios edáficos observados, estableciendo una jerarquía entre las variables y eliminando aquellas que no explicaran un valor significativo de la varianza, además se realizó un análisis de agrupamientos (Cluster Análisis) usando la medida de Bray-Curtís con ligamiento promedio además de el método de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) para conocer las relaciones entre los distintos parámetros del suelo y las localidades muestreadas.

6.4.1 Índice de degradación física (IDF). FAO-PNUMA-UNESCO (1980).

Este índice considera los principales parámetros que juegan un papel importante en las propiedades físicas del suelo como la porosidad, permeabilidad, estructura y capacidad de retención de agua. Estos están estrechamente relacionados con el movimiento del agua, transporte de nutrientes, penetración de las raíces y surgimiento de las plantas. La alteración de las propiedades físicas puede llevar a un funcionamiento inadecuado de estos procesos causando pérdida de la fertilidad y la degradación del suelo.

$$IDF = \frac{IE}{\%EA + (CC-PM) \times 100} \times 100$$

donde:

IDF= Índice de degradación física

IE= Índice de encostramiento

EA= Porcentaje de estabilidad de los agregados (%).

CC= Capacidad de campo (cm³/cm³).

PM= Punto de marchites (cm³/cm³).

$$IE = \frac{2.5 \times \% \text{ Limo}}{\% \text{ Arcilla} + \% \text{ M.O} \times 10}$$

El índice de encostramiento muestra que los suelos con bajos contenidos de arcilla y materia orgánica, y los altos contenidos de limo son altamente propensos al encostramiento de acuerdo con Lal (2000), citado por De Paz *et al.*, (2006).

6.4.2 Índice de degradación biológica (IDB). De Paz *et al.*, (2006).

La degradación biológica esta relacionada con la disminución del contenido de materia orgánica debido a la rápida mineralización o erosión del suelo. Esta degradación es en parte causada por malas prácticas de manejo del suelo y el clima húmedo y caliente. La materia orgánica es la principal fuente de nutrientes para las plantas y microorganismos y también afecta la agregación del suelo, facilita la entrada de aire, el flujo de energía y previene el encostramiento.

$$IDB = \frac{1}{M.O}$$

donde:

MO= Materia orgánica (%).

6.4.3 Índice de degradación química (IDQ). Snakin *et al.*, (1996).

La reducción de nutrientes del suelo por manejo agrícola inadecuado puede disminuir drásticamente la fertilidad natural del suelo. La primera consecuencia de este proceso es la reducción de los nutrientes N, P, K El grado de degradación química del suelo fue evaluado mediante la comparación de la cantidad de nutrientes principales (NPK) del suelo no perturbado (vegetación natural) con el suelo perturbado (uso agrícola), utilizando el criterio propuesto por Snakin *et al.*, (1996). Si el contenido de nutrientes en el suelo perturbado es menos de 1.2 veces mas bajo que el suelo no perturbado, este tiene un bajo grado de degradación. Si el contenido de nutrientes es más de 2.1 veces mas bajo, se considera que el suelo tiene alta degradación química.

VII RESULTADOS.

7.1 Análisis físico y químico de los suelos bajo las dos condiciones.

La base de datos obtenida con los 18 parámetros físicos y químicos del suelo de 25 sitios cubiertos por vegetación natural (V) y 25 bajo uso agrícola (C) se muestra en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Propiedades físicas determinadas del suelo bajo dos distintas condiciones uso agrícola (C) y cubierto por vegetación natural (V).

Sitio	%Arena	%Limo	%Arcilla	D.A.kg/m ³	D.R. kg/m ³	%Poros	% E.A.	C.E.dSm
R1V	46	26	28	0.98	2.16	55.09	64.27	1.46
R1C	29.84	32.16	38	1.07	2.17	50.69	11.912	1.44
R2V	41.84	28	30.16	1.08	2.18	49.31	58.431	1.22
R2C	34	32	34	1.11	2.18	50.45	38.955	2.45
R3V	79.92	10	10.08	0.66	1.99	66.83	47.357	2.7
R3C	53.96	18	28.04	0.96	2.27	57.7	20.647	0.51
R4V	69.96	20	10.04	0.82	2.09	60.77	55.801	2.71
R4C	53.96	22	24.04	1.11	2.33	52.36	10.253	0.53
R5V	70	21.92	8.08	0.87	2.24	61.17	55.173	1.05
R5C	52	21.96	26.04	1.12	2.56	56.25	20.628	0.45
R6V	70	17.96	12.04	0.77	2.19	64.84	63.985	2.14
R6C	48	21.96	30.04	1.09	2.41	54.78	16.417	0.52
R7V	74.8	13.6	11.6	0.83	1.91	56.55	66.117	0.91
R7C	34.4	38	27.6	1.12	2.27	50.67	24.245	1.22
R8V	84.4	8	7.6	0.98	1.98	50.51	69.23	1.89
R8C	38.4	36	25.6	1.21	2.26	46.47	14.371	0.61
R9V	78.4	14	7.6	0.99	2.1	52.86	56.026	0.7
R9C	50.4	32	17.6	1.19	2.28	47.81	34.499	0.45
R10V	48.8	29.6	21.6	1.02	2.07	50.73	67.613	0.7
R10C	36.8	30	33.2	1.16	2.23	47.99	49.385	0.52
R11V	58.8	19.6	21.6	1.14	2.36	51.7	57.389	0
R11C	34.8	36	29.2	1.16	1.87	37.97	42.056	0.66
R12V	58.8	21.6	19.6	1.04	2.07	49.76	56.496	0.9
R12C	34.8	35.6	29.6	1.19	2.27	47.58	23.124	0.59
R13V	62	26	12	0.88	1.9	53.69		0.8
R13C	34.4	33.6	32	1.3	2.41	46.06	40.763	0.7
R14V	64.4	21.6	14	0.84	1.87	55.09	72.998	0.88
R14C	30.8	35.6	33.6	1.15	2.21	47.97	18.523	0.7
R15V	46.4	26	27.6	1.2	2.19	45.21	79.365	1.12
R15C	42.8	33.6	23.6	1.05	2.28	53.95	54.976	0
R16V	48.8	28	23.2	0.86	2.02	57.43	75.821	0.8
R16C	38.8	34	27.2	1.07	2.3	53.48	54.481	0.56
R17V	74	16	10	0.65	1.61	59.63	51.505	1.35
R17C	28.8	35.6	35.6	1.07	2.1	49.05	30.18	0.51
R18V	60	22	18	0.7	1.77	60.46	92.136	1.12

R18C	28.4	34	37.6	1.09	2.13	48.83	51.379	0.52
R19V	58.4	21.6	20	0.94	2.01	53.24	68.807	0.93
R19C	50.4	24	25.6	1.04	2.1	50.48	58.759	0
R20V	60.8	15.6	23.6	0.84	1.93	56.48	75.332	0
R20C	38.4	24	37.6	1.04	2.06	49.52	49.222	1.02
R21V	41.6	37.6	20.8	0.75	1.79	58.2	59.897	0
R21C	20	41.6	38.4	1.1	2.39	54	15.171	0
R22V	49.6	26	24.4	1.04	2.38	56.4	74.748	0.62
R22C	44	27.6	28.4	1.05	2.14	51		0.76
R23V	45.6	28	26.4	0.91	2.52	63.9		1.12
R23C	26	37.6	36.4	1.13	2.22	49.1	43.257	0.83
R24V	53.6	19.6	26.8	0.89	2.21	59.8	69.778	0.78
R24C	20	43.6	36.4	1.1	2.27	51.6		0.25
R25V	50	27.6	22.4	0.78	1.85	57.9	70.421	0.92
R25C	23.6	30.4	46	1.09	2.34	53.5	53.396	3.26

Tabla 2. Propiedades químicas determinadas del suelo bajo dos distintas condiciones: uso agrícola (C) y cubierto por vegetación natural (V).

Sitio	pH	%M.O	C.I.C.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	N total	Fósforo	%CO ₃
R1V	7.46	7.76	27.52	24.66	5.94	0.21	10.44	0.081	3.5	22
R1C	7.58	1.38	21.42	20.7	4.5	1.3	3.26	0.039	2.5	25.33
R2V	7.3	6.38	29.52	22.86	5.94	2.93	7.43	0.089	5	8.66
R2C	7.32	1.72	21.86	21.6	5.04	3.69	6.85	0.04	2.5	27.33
R3V	6.9	22.78	37.24	32.4	6.3	1.3	11.66	0.756	24	7.33
R3C	7.31	1.93	21.38	20.4	4.68	2.39	5.12	0.133	6.5	16.66
R4V	6.67	18.1	34.39	24.12	5.4	0.65	14.23	0.364	25	7.33
R4C	7.44	1.31	21.33	20.78	3.42	2.17	4.67	0.063	5	17.33
R5V	7.02	10.72	29.64	21.6	4.5	1.41	8.14	0.644	10	11.33
R5C	7.47	1.07	18.2	17.8	3.6	1.41	2.62	0.119	2.5	14
R6V	7.18	16.09	35.91	27	5.58	1.3	10.76	0.224	19	8
R6C	7.59	0.69	20.29	19.5	3.6	4.56	2.88	0.049	2	16.66
R7V	6.86	9.05	33.49	23.69	7.21	1.3	6.85	0.588	9	10.66
R7C	7.36	2.3	26.11	21.63	5.004	4.67	2.17	0.077	2.5	18.66
R8V	7.1	10.22	31.41	23.27	6.18	0.65	7.94	0.28	15	6.66
R8C	7.38	1.92	25.13	22.24	5.56	0.5	6.79	0.057	5	16.66
R9V	6.92	8.04	30.19	23.07	4.73	0.21	5.32	0.14	4.5	7.33
R9C	7.48	1.15	22.6	22.24	3.5	0.5	2.17	0.028	3.5	17.33
R10V	7.1	5.53	24.76	20.8	4.32	3.69	4.87	0.095	2.5	14
R10C	7.44	1.84	24.48	23.27	4.73	0.76	2.17	0.025	2.5	22
R11V	7.3	3.02	24.07	17.71	4.9	3.47	3.39	0.084	2.5	16
R11C	7.52	2.91	18.48	21.42	5.35	0.54	2.56	0.019	4.5	18
R12V	7.1	4.7	27.7	19.57	4.53	0.76	5.57	0.128	4.53	8.66
R12C	7.73	2.15	21.54	23.07	5.97	5.21	2.75	0.133	3.5	14.66
R13V	7.24	9.72	31.79	26.78	4.12	3.47	6.21	0.56	9.5	7.33

R13C	7.79	2.68	24.84	22.66	4.12	4.78	3.14	0.168	3.5	8.66
R14V	7.72	8.21	29.88	24.6	5.4	2.82	5.7	0.235	7	8.66
R14C	7.97	1.88	23.85	23.6	5.4	4.89	3.39	0.033	3.5	14
R15V	7.48	3.02	28.33	22	6.2	2.28	2.82	0.168	4.5	6
R15C	7.78	4.22	24.39	22	6	2.17	5.5	0.019	4.5	10.66
R16V	7.58	9.48	32.82	23	5.4	2.17	6.85	0.672	6.5	20
R16C	7.89	3.1	27.04	24.4	5.6	3.58	3.07	0.039	3.5	19.33
R17V	7.81	25.87	38.64	34.8	7.4	2.17	6.15	0.952	25	16.66
R17C	7.99	3.03	23.26	23	6	3.91	3.33	0.28	15	26.66
R18V	7.72	15.52	38.71	29.2	6.4	3.36	9.74	0.145	15	12.66
R18C	7.91	2.07	25.57	25	5	2.28	3.97	0.042	15	23.33
R19V	7.73	5.52	38.19	31.6	5.8	0.65	10	0.42	7	23.33
R19C	7.84	3.45	37.61	37	7	4.34	3.78	0.14	4.5	26.66
R20V	7.53	11.37	30.1	24.6	5.8	0.54	7.05	0.224	12	30
R20C	8.05	2.07	23.41	23	5.4	2.17	2.94	0.084	10	43.33
R21V	7.31	7.59	35.69	23.8	5.4	3.47	7.94	0.728	10	12
R21C	7.37	0.69	24	26	7.2	4.45	4.1	0.112	10	15.33
R22V	7.35	4.83	31.39	23.6	5.8	2.39	3.65	0.07	7	6
R22C	7.43	5.52	29.07	22	5	4.34	2.88	0.014	9.5	11.33
R23V	7.44	5.17	27.63	21.6	4.4	2.06	6.34	0.064	6.5	17.33
R23C	7.61	1.72	22.24	24	4.8	4.56	1.6	0.018	4.5	20.66
R24V	7.4	6.55	29.07	20.4	3.6	0.21	3.01	0.336	5	12.66
R24C	7.51	1.65	21.17	23	4	2.82	0.7	0.098	2.5	20.66
R25V	7.38	10.35	34.96	28	6.4	2.17	6.79	0.156	10	8.66
R25C	7.6	1.58	28.92	26	6	3.91	4.74	0.016	2.5	18.66

Se observa que en general, los suelos con vegetación natural tuvieron valores más altos en la arena, porosidad, estabilidad de los agregados, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, y magnesio, mientras los suelos agrícolas tuvieron valores más altos en limo, arcilla, densidad aparente, densidad real, pH, sodio y carbonatos.

7.2 Estadística descriptiva.

En las tablas 3 y 4 se presenta la estadística descriptiva para los parámetros analizados en suelo cubierto por vegetación natural (V) y con uso agrícola (C). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos condiciones del suelo en todos los parámetros analizados excepto para conductividad eléctrica (C.E.) y calcio y magnesio. Las mediciones presentaron un amplio intervalo de valores numéricos y claras diferencias entre las medias de ambas condiciones del suelo, además de un alto porcentaje de variación en los datos principalmente en los sitios agrícolas.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las propiedades físicas y químicas determinadas en suelo cubierto por vegetación natural.

Variable	Unidad	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación. Estándar	C.V. (%)
Arena	%	41.6	84.4	59.876	12.633	21.098
Limo	%	8	37.6	21.835	6.731	30.829
Arcilla	%	7.6	30.16	18.288	7.298	39.879
D.A.	kg/m ³	0.65	1.2	0.898	0.143	15.924
D.R.	kg/m ³	1.61	2.52	2.055	0.208	10.121
Porosidad	%	45.21	66.83	56.302	5.262	9.346
E.A.	%	47.357	92.136	65.595	10.370	15.809
C.E.	dSm	0.62	2.71	1.219	0.608	49.876
pH		6.67	7.81	7.304	0.289	4.079
M.O.	%	3.02	25.87	9.823	5.809	59.136
C.I.C.T.	Cmol(+)kg ⁻¹	24.07	38.71	31.721	4.173	13.155
Calcio	Cmol(+)kg ⁻¹	21.42	34.8	24.589	4.078	13.822
Magnesio	Cmol(+)kg ⁻¹	4	7.4	5.506	0.945	16.808
Sodio	Cmol(+)kg ⁻¹	0.21	3.69	1.825	1.169	64.054
Potasio	Cmol(+)kg ⁻¹	2.82	14.23	7.154	2.812	39.306
Nitrógeno	%	0.064	0.952	0.328	0.262	79.878
Fósforo	ppm	2.5	25	9.94	6.895	69.366
Carbonatos	%	6	30	12.37	6.240	50.444

Tabla 4. Estadística descriptiva de las propiedades físicas y químicas determinadas en suelo con uso agrícola.

Variable	Unidad	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación. Estándar	C.V. (%)
Arena	%	20	53.96	37.110	10.229	27.539
Limo	%	18	43.6	31.635	6.539	20.644
Arcilla	%	17.6	46	31.254	6.220	19.904
D.A.	kg/m ³	0.96	1.3	1.110	0.068	6.126
D.R.	kg/m ³	1.87	2.56	2.242	0.137	6.110
Porosidad	%	37.97	57.7	50.37	3.974	7.889
E.A.	%	10.253	58.759	33.547	16.155	48.156
C.E.	dSms	0.25	3.26	0.866	0.707	81.639
pH		7.31	8.05	7.614	0.229	3.007
M.O.	%	0.69	5.52	2.161	1.096	50.717
C.I.C.T.	Cmol(+)kg ⁻¹	18.2	37.61	23.927	3.961	16.554
Calcio	Cmol(+)kg ⁻¹	17.71	37	23.052	3.458	16.289
Magnesio	Cmol(+)kg ⁻¹	3.42	7	5.058	1.013	19.023
Sodio	Cmol(+)kg ⁻¹	0.5	5.21	3.036	1.573	51.811
Potasio	Cmol(+)kg ⁻¹	0.7	6.85	3.486	1.481	42.484
Nitrógeno	%	0.014	0.28	0.074	0.063	85.135
Fósforo	ppm	2	15	5.24	3.741	71.393
Carbonatos	%	8.66	43.33	19.355	7.040	36.373

7. 3 Índices de degradación.

Se calcularon los índices de degradación física, química y biológica para cada uno de los sitios agrícolas y se agruparon en cuatro niveles de degradación, utilizando los criterios que se muestran en la tabla 5. Los resultados y sus criterios de degradación se muestran en la tabla 6. Los tipos de degradación que más afectaron a los suelos con uso agrícola fueron la degradación física y química.

Tabla 5. Intervalos para definir las categorías de degradación. De Paz *et al.*, (2006) y Snakin *et al.*, (1996).

Grado de degradación.	Índice de degradación física	Índice de degradación biológica	Índice de degradación química
Muy bajo	0-1.4	0-0.3	< 1.2
Bajo	1.4-2.6	0.3-0.6	1.2-1.5
Moderado	2.6-5	0.6-1	1.6-2.0
Alto	5-7.4	1-2.5	2.1-5

Tabla 6. Índices y criterios de degradación para todos los sitios con uso agrícola muestreados.

Sitio	IDF	Criterio	IDB	Criterio	IDQ	Criterio
1C	5.765	Alto	0.724	Moderado	2.417	Alto
2C	2.732	Moderado	0.617	Moderado	1.333	Bajo
3C	2.808	Moderado	0.518	Bajo	3.089	Alto
4C	6.709	Alto	0.763	Moderado	4.064	Alto
5C	4.490	Moderado	0.994	Alto	3.585	Alto
6C	5.260	Alto	1.449	Alto	6.083	Alto
7C	4.404	Moderado	0.434	Bajo	3.462	Alto
8C	6.557	Alto	0.520	Bajo	1.959	Moderado
9C	5.449	Alto	0.869	Moderado	1.747	Moderado
10C	2.120	Bajo	0.543	Bajo	1.589	Bajo
11C	2.627	Moderado	0.343	Bajo	0.843	Muy bajo
12C	4.266	Moderado	0.465	Bajo	1.441	Bajo
13C	2.582	Moderado	0.373	Bajo	2.389	Alto
14C	5.282	Alto	0.531	Bajo	1.868	Moderado
15C	1.662	Bajo	0.331	Bajo	0.747	Muy bajo
16C	1.904	Bajo	0.322	Bajo	2.121	Moderado
17C	2.677	Moderado	0.330	Bajo	1.724	Moderado
18C	2.019	Bajo	0.483	Bajo	1.308	Bajo
19C	1.249	Muy bajo	0.289	Muy bajo	2.068	Moderado
20C	1.519	Bajo	0.483	Bajo	1.479	Bajo
21C	7.307	Alto	1.449	Alto	1.313	Bajo
22C			0.181	Muy bajo	0.864	Muy bajo
23C	2.770	Moderado	0.617	Moderado	2.109	Moderado
24C			0.606	Moderado	2.530	Alto
25C	1.673	Bajo	0.632	Moderado	2.052	Moderado

IDF= Índice de degradación física; IDB= Índice de degradación biológica y IDQ= Degradación química.

En la tabla 7 se muestra la clasificación de los sitios afectados por cada proceso de degradación, se observa que el 66% de los sitios muestran de moderado a alto grado de degradación física, mientras solo el 34% tienen un grado de degradación física de bajo a muy bajo. Respecto a la degradación química, el 64% de los sitios tienen de moderado a alto grado de degradación química y el 36% muestran un grado de degradación química de bajo a muy bajo. Por otro parte, la degradación biológica no esta tan acentuada como los otros dos tipos de degradación, ya que solo un 12% de los sitios tuvo un alto grado de degradación mientras la mayoría de los sitios (52%) tuvo una baja degradación biológica.

Tabla 7. Clasificación de los sitios afectados por la degradación física, biológica y química en la zona de estudio.

Grado o nivel	Degradación física (%)	Degradación biológica (%)	Degradación química (%)
Muy bajo	4%	8%	12%
Bajo	30%	52%	24%
Moderado	36%	28%	32%
Alto	30%	12%	32%

7.4 Análisis de componentes principales (PCA).

En el la tabla 8 se muestran los resultados del PCA para los sitios de muestreo. El PCA se utilizo para conocer la relación que hay entre variables y formar grupos de variables (componentes) que están mutuamente relacionadas.

La columna etiquetada como Eigenvalues da la varianza de cada componente principal. Se observa que el 73.9% de la variación de los resultados es explicado por el primer componente (PC1), el 8.9% por el PC2, y el 7.7% por el PC3. De tal forma que el 82.8% de la variación total entre las muestras esta concentrada en los dos primeros componentes PC1 y PC2 y por lo tanto estos son los de mayor interés.

Tabla 8. Resultados del PCA para los puntos de muestreo.

Componente	Eigenvalues	%Variación	Cum.%Variación
PC1	465,58	73,9	73,9
PC2	55,74	8,9	82,8
PC3	48,51	7,7	90,5

En la tabla 9 se muestran los eigenvectores (también llamados "loadings") determinados por el análisis de componentes principales para los sitios de muestreo. Estos coeficientes dan el peso específico de cada parámetro medido en cada uno de los componentes derivados, los valores cercanos a cero indican

poca relación entre los parámetros y los componentes principales, mientras los valores altos ya sean positivos o negativos indican una fuerte influencia de la variable en algún componente principal en particular. Se puede ver que el PC1 esta dominado por los loadings arena y materia orgánica con valores negativos y por limo y arcilla con valores positivos. El PC2 tiene loadings significativos para materia orgánica, carbonatos, fósforo y capacidad de intercambio catiónico todos con valores negativos. El PC3 es dominado por limo con valor positivo y carbonatos con valor positivo.

Tabla 9. Eigenvectores (coeficientes) de los tres primeros componentes principales.

Variable	PC1	PC2	PC3
Arena	<u>-0,742</u>	0,193	-0,265
Limo	<u>0,334</u>	-0,016	<u>0,447</u>
Arcilla	<u>0,407</u>	-0,177	-0,182
D.A.	0,005	0,011	-0,003
D.R.	0,004	0,010	-0,002
Porosidad	-0,155	-0,300	0,123
pH	0,008	-0,012	-0,008
M.O.	<u>-0,210</u>	<u>-0,341</u>	0,200
N	-0,007	-0,011	0,006
K	-0,089	-0,143	0,077
CO3	0,174	<u>-0,468</u>	<u>-0,734</u>
C.I.C.T.	-0,177	<u>-0,367</u>	0,235
Ca	-0,078	-0,233	0,074
Na	0,033	-0,013	0,059
Mg	-0,013	-0,066	0,027
P	-0,165	<u>-0,484</u>	0,181
C.E.	-0,009	-0,027	0,009

La figura 4 muestra la grafica obtenida del análisis de componentes principales para los sitios de muestreo. Estas graficas revelaron agrupaciones en los datos que no son tan visibles en los datos originales. Los sitios que están más juntos se perciben como similares, los que están mas alejados son mas diferentes, esto de acuerdo a la relación que hay entre los parámetros considerados. Se observa una clara separación de los sitios agrícolas y los sitios con vegetación natural, se forman dos agrupaciones de sitios, uno formado por sitios agrícolas principalmente y con mayor influencia de parámetros físicos como porcentaje de limo y arcilla, densidad aparente y carbonatos. Por otro lado esta el grupo formado por sitios con vegetación natural con mayor influencia de los parámetros químicos como materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, fósforo y también por el porcentaje de arena.

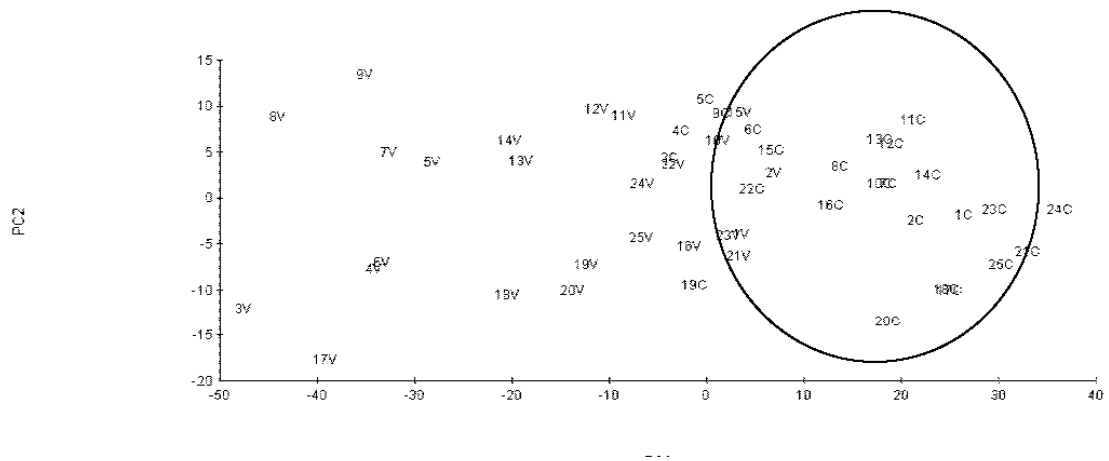


Figura 4. Grafica de los componentes principales PC1 y PC2 para los sitios de muestreo.

También se muestra la grafica derivada del PCA para los parámetros en la figura 5. En esta emergen tres agrupaciones de parámetros. Se observa que se agrupan parámetros como materia orgánica, fósforo, potasio, magnesio y pH, otro grupo esta formado por el limo y arcilla, y uno más por el intercambio catiónico, los carbonatos y el calcio, también se nota que la arena y porosidad muestran poca relación con los demás parámetros.

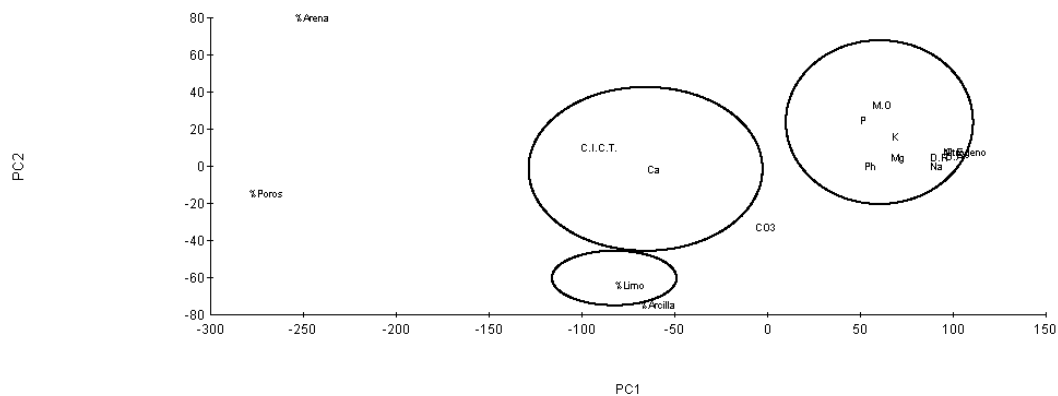


Figura 5. Grafica de los componentes principales para los parámetros del suelo.

7.5 Análisis de agrupamiento.

En la figura 6 se presenta el dendrograma obtenido del análisis de agrupamientos para los parámetros. Se observa que los parámetros son agrupados de acuerdo al tipo de funcionamiento que representan (físico y/o químico). Se observa que los parámetros más relacionados son densidad aparente, densidad real y porosidad, los cuales forman un grupo con un 95% de similitud. Estas propiedades físicas están altamente relacionadas ya que del valor de las densidades depende el valor de la porosidad, estas propiedades son determinantes en el flujo y transporte de agua, aire y nutrientes en el suelo. Otra agrupación la forman propiedades químicas como capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio y pH con un 92% de similitud. La capacidad de intercambio catiónico es un atributo clave en la capacidad de los suelos en el almacenamiento y suministro de nutrientes, además el pH es uno de los factores íntimamente relacionado con el intercambio de cationes. Una tercera agrupación con un 83% de similitud contiene tres propiedades (limo, arcilla y carbonatos) altamente relacionadas con la degradación física, específicamente con la formación de costras en el suelo ya que los suelos con alto porcentaje de limo, bajo porcentaje de arcilla y alto contenido de carbonatos son muy propensos al encostramiento, sobre todo en las zonas semiáridas. Se observa otra agrupación con un 78% de similitud con los parámetros químicos materia orgánica, fósforo y potasio los cuales tienen alta influencia en la capacidad productiva del suelo. La materia orgánica es un parámetro clave en la evaluación de la calidad del suelo ya que influye a muchos

de los procesos químicos, biológicos y físicos del suelo teniendo un rol principal en la liberación y disponibilidad de nutrientes principales como el fósforo y el potasio.

Por otra parte, se puede decir que las propiedades más distantes (con menor similitud entre ellas) pueden ser consideradas las más convenientes para ser medidas por reflejar distintos procesos del suelo. Por ejemplo, ya que densidad aparente y densidad real tienen mucha similitud (95%) están muy altamente correlacionadas se puede decir que no hay necesidad de medir ambas, es decir, si una es alta la otra puede ser alta también y viceversa. Además el análisis indica cuales parámetros tienden a variar juntos en el grupo de muestras.

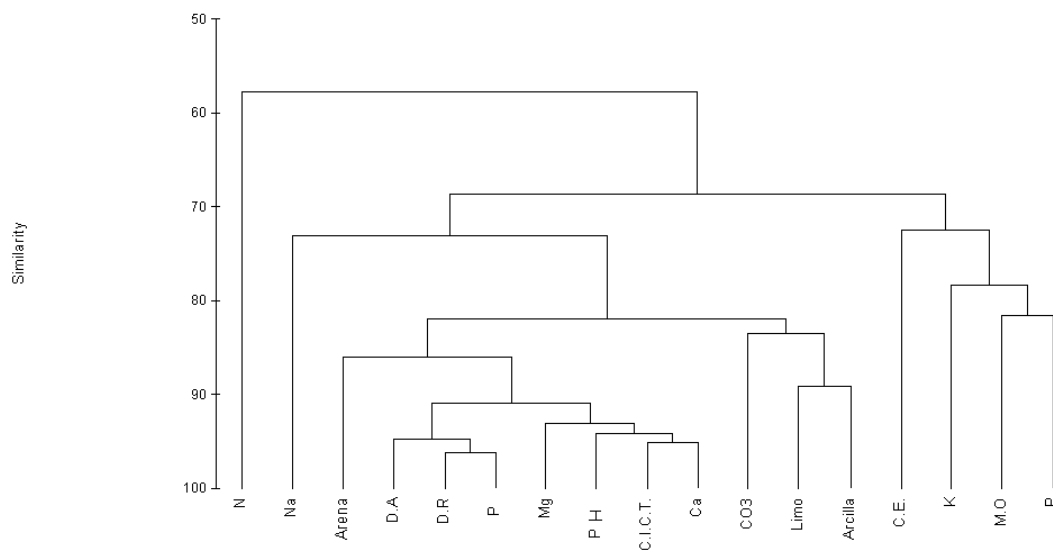


Figura 6. Dendrograma de similitud mostrando la agrupación de los parámetros del suelo.

En el análisis de agrupamientos (Figura 7) realizado para los sitios de muestreo se observa que se forman tres grupos de sitios con una similitud de 87% entre ellos. Al aplicar al análisis de agrupamiento por sitio, tal y como ocurrió en el análisis de componentes se observa una clara separación entre los sitios cubiertos por vegetación natural y los sitios agrícolas. Uno de los grupos contiene solo sitios con vegetación natural (sitios más conservados), otro grupo presenta solo sitios agrícolas (sitios más degradados) y el tercer grupo presenta ambas condiciones (sitios de calidad media). El análisis de agrupamientos fue usado para revelar diferencias, similitudes o relaciones entre los parámetros así como para obtener cuales de los sitios fueron más similares entre si considerando todas las propiedades a la vez.

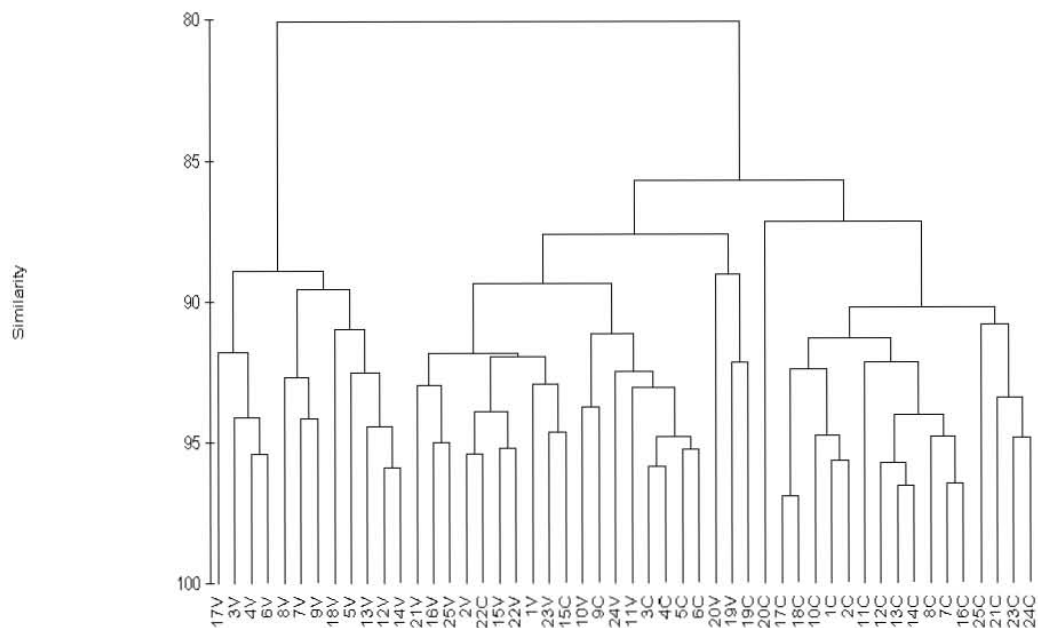


Figura 7. Dendrograma de similitud mostrando la agrupación de los sitios de muestreo.

En la figura 8 se observa la heterogeneidad que muestran las localidades estudiadas utilizando la técnica de ordenamiento (NMDS estrés =0.1) con los valores de todos los parámetros medidos. Es evidente que hay un patrón de separación de las parcelas agrícolas (C) y los sitios con vegetación natural (V). El agrupamiento resultante mostró también que los sitios V tienden a estar más dispersos que los sitios C, es decir, tienen mayor variación con respecto a los parámetros medidos. Por otro lado, en la figura 9 se muestra el NMDS aplicado a los parámetros (estrés =0.05) se observa que algunos parámetros como capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio y pH tienden a estar más agrupados es decir, se comportan de manera similar a otros parámetros, mientras nitrógeno, sodio y conductividad eléctrica están muy separados del resto es decir, se comportan de manera muy distinta al resto de los parámetros.

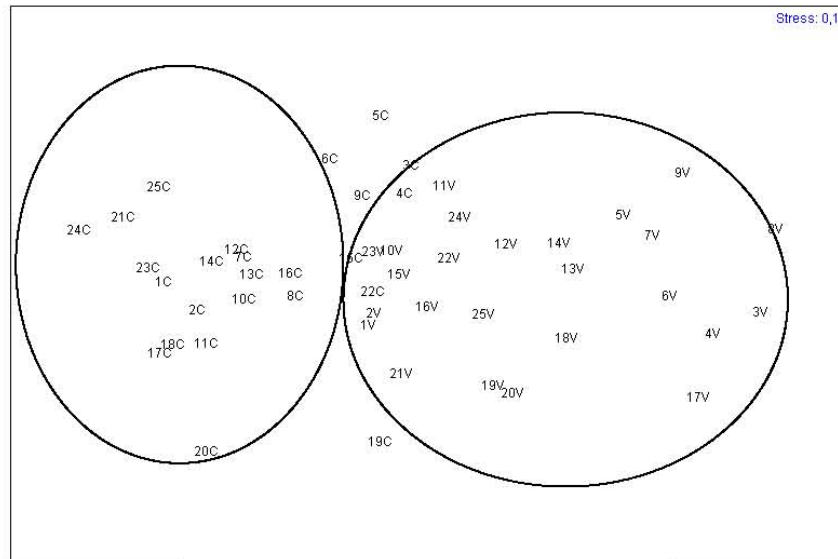


Figura 8. Grafica del análisis de escalamiento multidimensional para los sitios de muestreo.

Figura 9. Grafica del análisis de escalamiento multidimensional para los parámetros del suelo.

VIII DISCUSIÓN.

8.1 Propiedades físicas.

8.1.1 Textura.

La textura es la propiedad física más determinante en el funcionamiento del suelo ya que controla el intercambio, retención, captación y disponibilidad de agua, nutrientes y oxígeno, aspectos fundamentales para las actividades biológicas. Esta es una propiedad del suelo clave que influencia a la mayoría de las otras propiedades y procesos.

En los resultados obtenidos es muy notoria la gran diferencia que se presenta en la textura del suelo de ambas condiciones estudiadas (Figuras 10 y 11), esto causa mucha sorpresa porque en el diseño de la investigación se tuvo la precaución de trabajar en un mismo tipo de suelo con la finalidad de tener la misma proporción granulométrica, para evitar un sesgo por la variación de la textura, en este sentido no se esperaba tanta diferencia en esta propiedad. La

teoría indica que la textura del suelo es una de las propiedades que presentan menor variación con respecto al tiempo IUGS (2001). Los suelos cubiertos por vegetación natural mostraron mayores porcentajes de arena (Fig. 10), con predominio de texturas franco arenosas (52%) (Fig. 12), en tanto que los suelos agrícolas mostraron ser más ricos en elementos finos (limo y arcilla) (Fig. 11) con predominio de texturas franco arcillosas (56%) (Fig. 13).

Si se parte del hecho que se muestreo en un mismo tipo de suelo, la variación de la textura solo puede ser explicada por las diferencias en la condición o uso del suelo, los suelos protegidos con vegetación natural, son más arenosos porque están menos erosionados que los agrícolas, la vegetación protege al suelo de la pérdida de partículas por lo que se podría decir que conservan la textura original del suelo. El dosel de la vegetación evita el impacto directo de las gotas de lluvias sobre el suelo limitando así el efecto erosivo, además los residuos orgánicos que están sobre la superficie de estos suelos evita el escurrimiento y el arrastre de partículas. En cambio los suelos agrícolas al estar desprotegidos, la erosión y el escurrimiento movilizan una gran cantidad de partículas provocando con esto mucha variación en la proporción de arenas, limos y arcillas. Este fenómeno se puede visualizar claramente en las islas de fertilidad, donde el suelo de la isla se encuentra a una altura mayor que el suelo desnudo, esto hace que la isla se vea como un montículo. La diferencia de altura o nivel esta dada por la diferencias en el grado de erosión, el suelo de la isla al estar protegido con la vegetación tiene más volumen retenido que un suelo desprotegido donde la erosión removió más suelo.

Así los suelos agrícolas al tener mayores contenidos de limos y arcillas son más propensos a encostrarse o sellarse (De Paz *et al.*, 2006), esto limita la entrada de agua al suelo acentuando aun más el efecto de la aridez. La abundancia de partículas de limo superficial y los escasos contenidos de materia orgánica propician la formación de costras y sellado de los horizontes superficiales, que deterioran las propiedades físicas, así como la respuesta hidrológica del suelo, lo que intensifica los procesos erosivos. La desventaja de los suelo de textura fina es que la erosión actúa de manera selectiva arrastrando las fracciones más finas (arcillas, limo y materia orgánica) provocando la pérdida de nutrientes, el deterioro de la estructura, la reducción de la profundidad efectiva del suelo y la disminución de la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo. Los moderados contenidos de arcilla, además de los bajos contenidos de materia orgánica podrían limitar el crecimiento de las plantas en los suelos agrícolas (Colomer *et al.*, 2001).

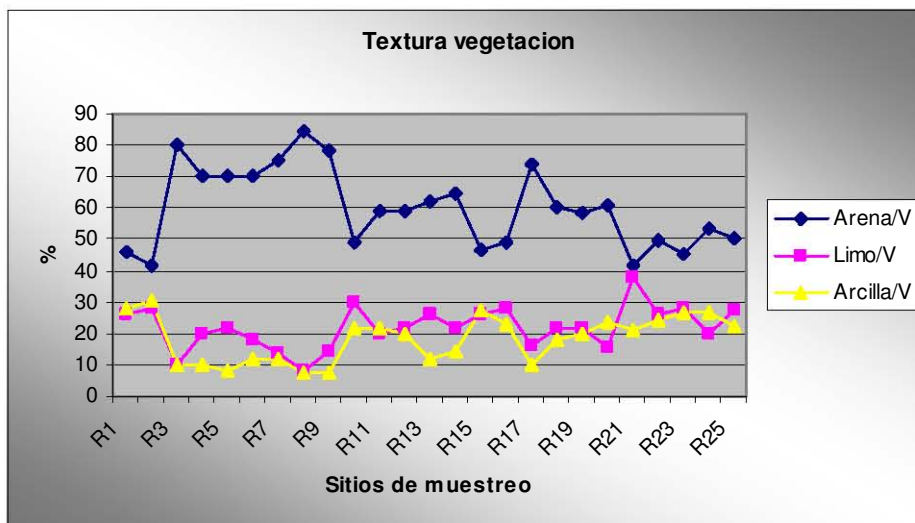


Figura 10. Promedios en porcentaje de arenas, limos y arcillas en suelos protegidos.

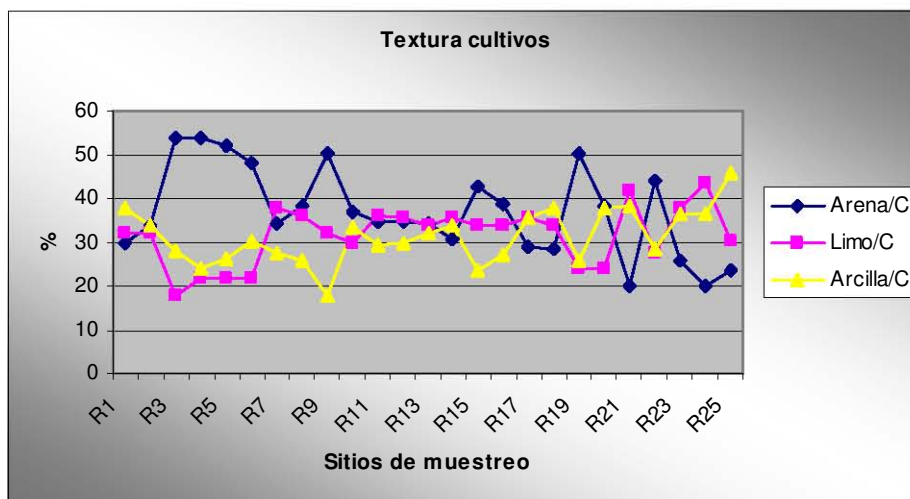


Figura 11. Promedio en porcentaje de arena, limo y arcilla en suelos agrícolas.

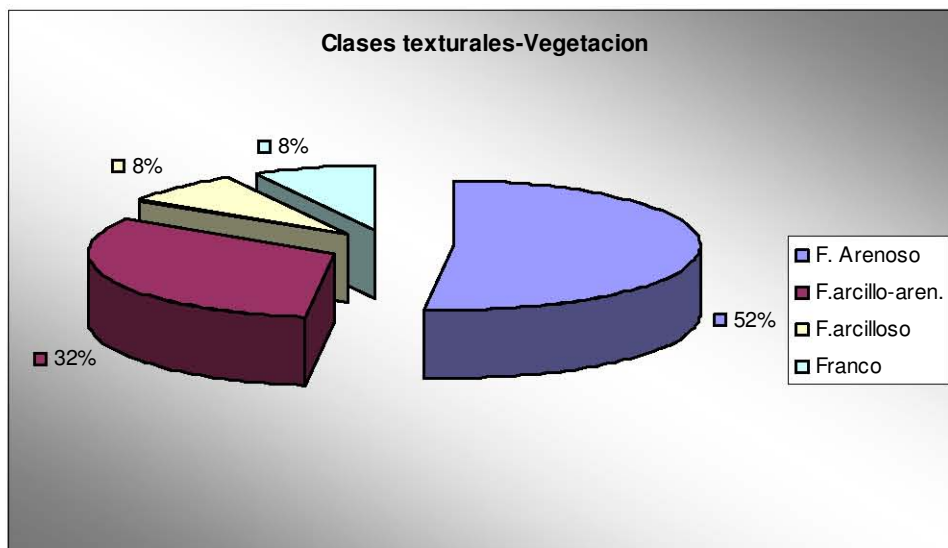


Figura 12. Frecuencias en porcentaje de clases de texturas en suelos protegidos.

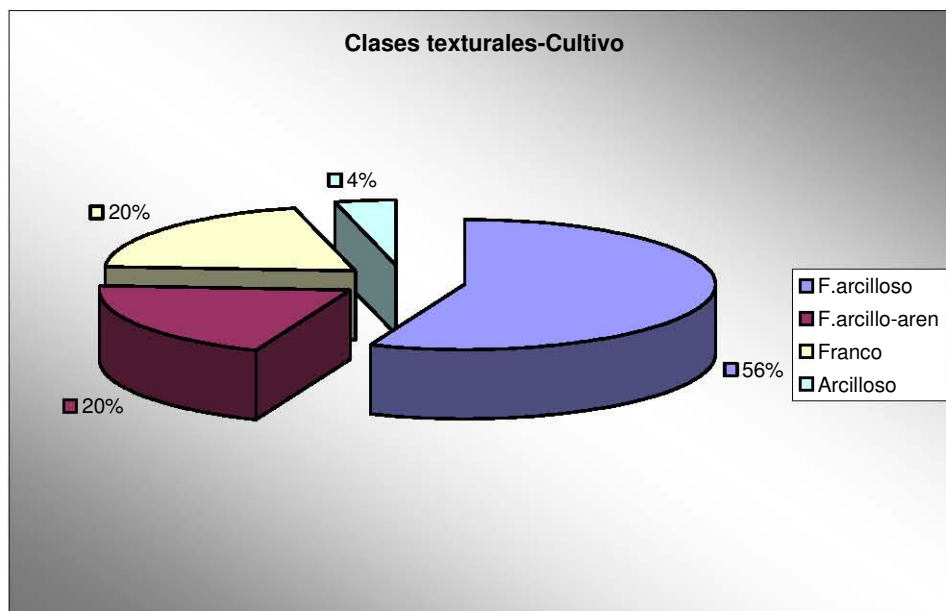


Figura 13. Frecuencia en porcentaje de clases de texturas en suelos agrícolas.

8.1.2 Densidad Aparente y Densidad Real.

La densidad aparente (D.A) también mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre las dos condiciones, teniendo que los suelos cultivados presentan una densidad aparente más elevada (promedio 1.11 kg/m^3) con respecto a los suelos con vegetación natural (0.89 kg/m^3) (Fig. 14). Esta diferencia se explica por el hecho de que los suelos agrícolas tienen menor materia orgánica que los que tienen vegetación natural, la materia orgánica

propicia que la densidad aparente disminuya ya que ocupa mucho espacio (genera muchos poros) y pesa muy poco (Hillel, 1982). Por otra parte, las malas prácticas agrícolas incrementan considerablemente la densidad ya que van compactando el suelo. También el incremento en la D.A puede ser atribuido al efecto del impacto de la lluvia en el suelo desnudo y a la reducción de la actividad biológica. Cuando la lluvia cae directamente en suelos secos y sin vegetación, ocurre un casi instantáneo rompimiento de los agregados, seguido de la dispersión y orientación de las partículas más finas del suelo y se lleva a cabo la obstrucción de los poros con estas partículas formándose una zona compacta de alta densidad en la superficie, las costras con altas densidades aparentes también impiden la entrada de agua y gases al suelo limitando así su potencial productivo (Jury and Horton, 2004).

Las densidades altas generan desventajas en el movimiento de agua, aire y nutrientes, además limitan el desarrollo radicular y la actividad biológica. Los cambios en la densidad aparente afectan a otras propiedades y procesos que influyen en el suministro de agua y oxígeno. La D.A, en un mismo tipo de suelo, puede ser usada para monitorear el grado de compactación del suelo (Schoenholtz *et al*, 2000).

La densidad real (D.R) también tuvo valores más altos ($P < 0.05$) en los suelos agrícolas (promedio 2.24 kg/m^3) que los suelos con vegetación (2.05 kg/m^3) (Fig. 15). Ambas diferencias, tanto en la D.A como en la D.R. se debe a los contrastes en el contenido de la materia orgánica. La D.R. sólo considera el peso y volumen del componente sólido sin tomar en cuenta el espacio poroso, es así que depende directamente de la variación del componente mineral y orgánico del suelo.

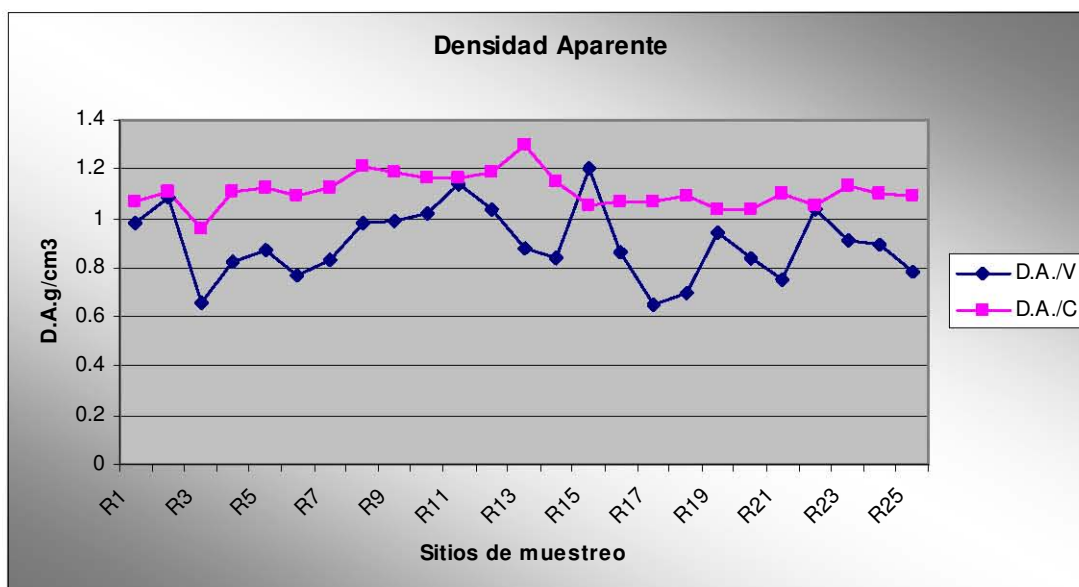


Figura 14. Comparación de los valores de densidad aparente entre suelos con vegetación y suelos agrícolas.

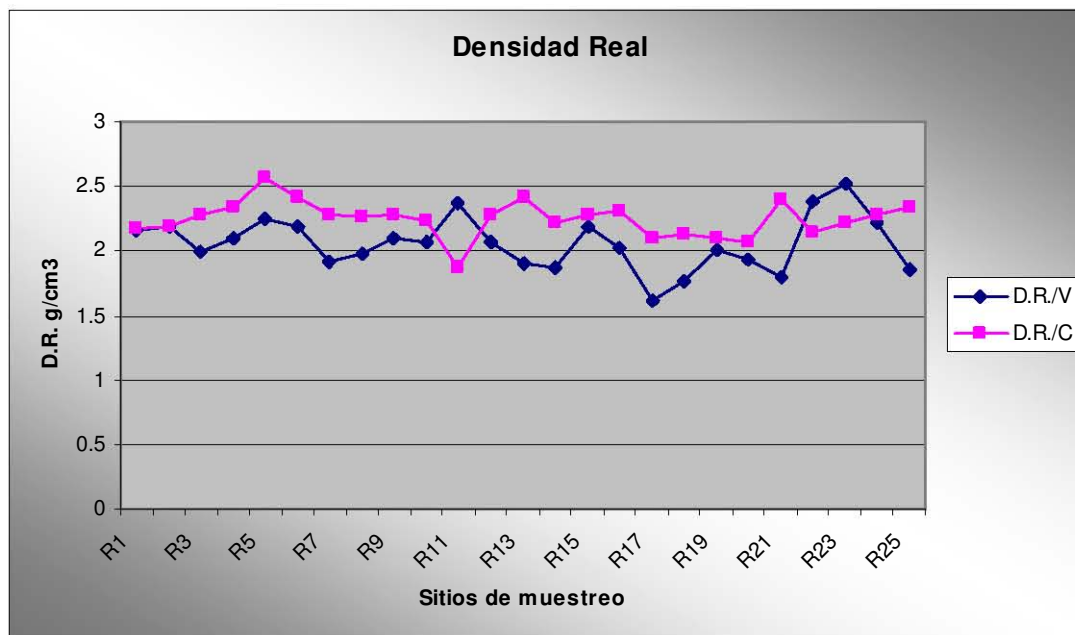


Figura 15. Comparación de los valores de densidad real entre suelos con vegetación y suelos agrícolas.

8.1.3 Porosidad.

La porosidad total muestra valores inversos a los de la D.A., lo cual es normal ya que ambas propiedades están relacionadas recíprocamente. Los suelos con vegetación natural mostraron mayor porosidad total ($P < 0.05$) con un promedio de 56.30% que los suelos agrícolas (50.37%) (Fig. 16). La disminución de la porosidad en los suelos agrícolas está directamente relacionada con el incremento de la densidad aparente determinado a su vez por los bajos contenidos de materia orgánica de los suelos agrícolas.

El mayor contenido de materia orgánica de los suelos con vegetación hace que el espacio poroso se incremente, por otra parte; el laboreo continuo que reciben los suelos agrícolas provoca un pulverizando del suelo por la destrucción de los agregados, esto disminuye sensiblemente la porosidad. Una porosidad elevada que respeta la continuidad del espacio poroso, es una condición extremadamente favorable a la vegetación: facilita el enraizado, asegura la conservación del agua y favorece los intercambios entre el vegetal y el suelo, permitiendo la difusión del aire y del agua (Gaucher, 1971).

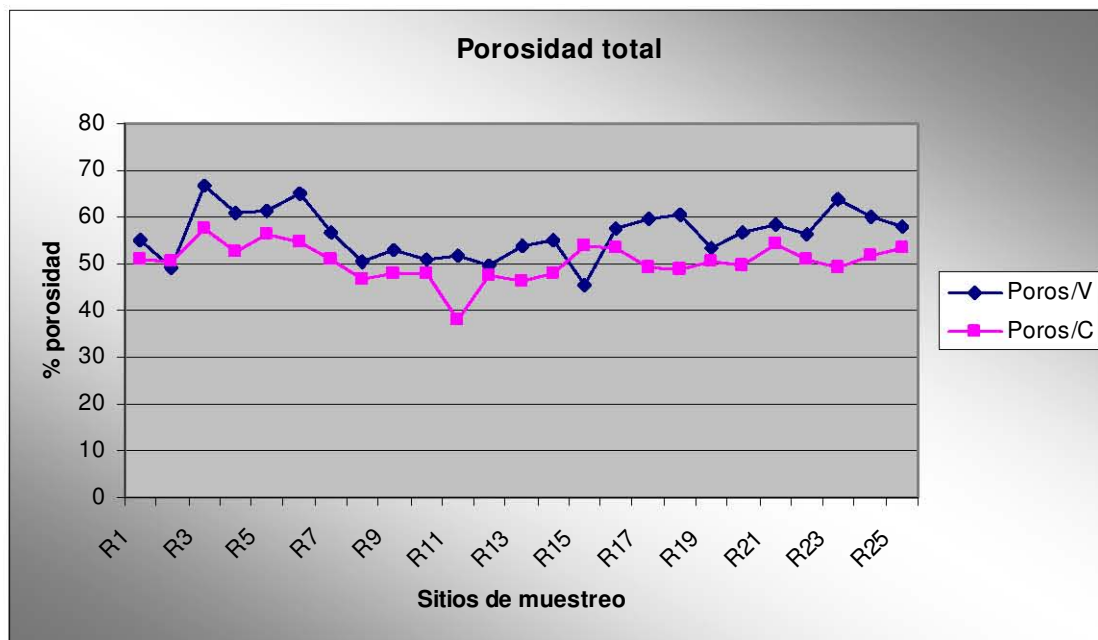


Figura 16. Porcentajes de porosidad total en suelos con vegetación y suelos agrícolas.

8.1.4 Estabilidad de los agregados.

Los suelos agrícolas mostraron condiciones muy desfavorables en cuanto la estabilidad estructural ya que presentaron porcentajes significativamente más bajos ($P < 0.05$) en la estabilidad de los agregados (Promedio 34.97%). En cambio los sitios cubiertos con vegetación natural presentaron una estabilidad estructural considerada como buena y excelente (Promedio de 66.06%) (Fig.17). El uso agrícola impactó negativamente la estabilidad de los agregados del suelo, la remoción de la vegetación natural para cambiar el uso del suelo es una práctica que deteriora la estructura del suelo y afectan negativamente a la estabilidad de los agregados (Albaladejo *et al.*, 1998; Reyes *et al.*, 2002 y Sanzano *et al.*, 2005). La pérdida de la estabilidad de los agregados se relaciona directamente con el abatimiento de la materia orgánica ya que se interrumpe en el aporte de restos vegetales al suelo por la eliminación de la vegetación natural, además, la disminución de la materia orgánica también reduce la actividad microbiana que es uno de los principales promotores más de la formación de agregados estables.

Por otra parte la cubierta vegetal que tienen los suelos con vegetación protege a los agregados de la acción destructora de las gotas de lluvia, en cambio los suelos agrícolas al carecer de estas condiciones, la desintegración de los agregados es más acelerada favoreciendo así la degradación física del suelo por sellado y encostramiento, lo cual afecta el intercambio hídrico y gaseoso del suelo (Govaerts *et al.*, 2005).

La estabilidad de los agregados es una de las propiedades que mostró una mayor correlación y diferencia entre los suelos con vegetación natural y los suelos agrícolas, por lo que puede ser utilizado como un buen indicador de la calidad del suelo, además es el factor más influyente para la obtención del índice de degradación física.

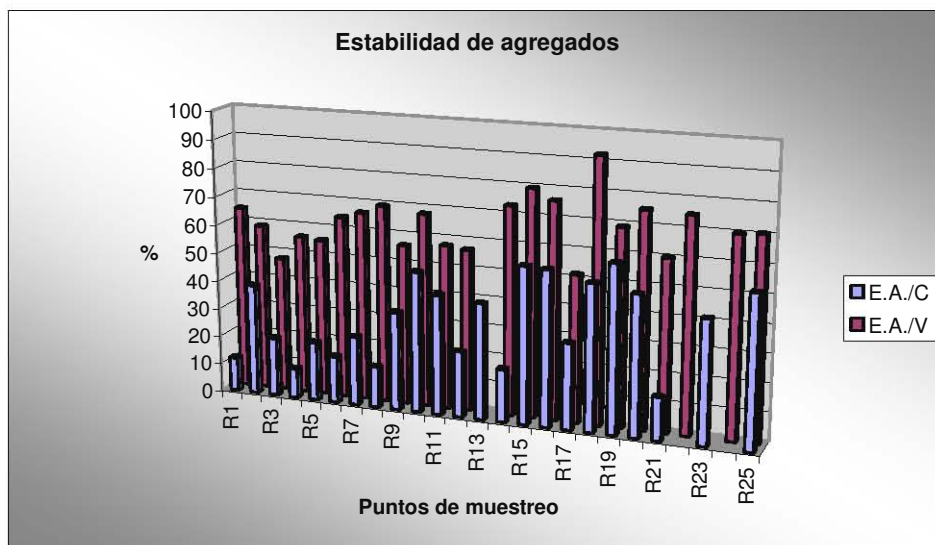


Figura 17. Comparación de los porcentajes de estabilidad de los agregados en suelos con vegetación y suelos agrícolas.

8.2 Propiedades químicas.

8.2.1 pH.

Los valores de pH no variaron mucho para ambas condiciones, teniendo un promedio de 7.3 (neutro) para los suelos con vegetación natural y de 7.6 (ligeramente alcalino) en los suelos agrícolas, aunque las diferencias entre ambas condiciones fueron estadísticamente significativas ($P < 0.05$) (Fig. 18). Esta tendencia a la disminución del pH de los suelos con vegetación, se explica por la liberación de ácidos orgánicos durante el proceso de transformación de la materia orgánica (Reyes *et al.*, 2002). En cambio, los suelos agrícolas son más alcalinos porque al estar expuestos directamente al calor del sol, presentan una evaporación más intensa que hace que el agua al ascender de las capas más profundas arrastre sales y las deposite en o cerca de la superficie incrementando con esto la alcalinidad.

El pH se relaciona mucho con la disponibilidad de nutrientes para las plantas, debido a que el pH determina la disponibilidad de los nutrientes, además regula las reacciones químicas y bioquímicas del suelo. Al mismo tiempo influye mucho en la actividad microbiológica y en el proceso de transformación de la materia

orgánica que es fuente de nutrientes (Schoenholtz *et al.*, 2000). Es pertinente señalar que la mayoría de las especies cultivadas expresan su mejor desarrollo cuando el intervalo del pH fluctúa entre 6.5 y 7.5 (Tamhane *et al.*, 1979).

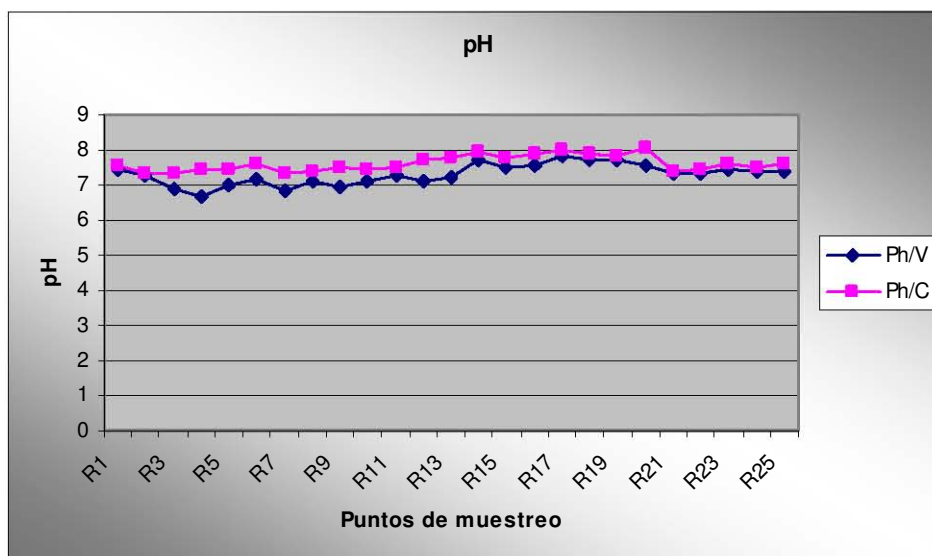


Figura 18. Comportamiento del pH en suelos con vegetación y suelos agrícolas.

8.2.2 Materia orgánica.

Los suelos agrícolas presentan contenidos de materia orgánica (M.O.) mucho menores con respecto a los que presentan vegetación natural ($P < 0.05$), siendo estos últimos muy ricos (Promedio 9.82%), en tanto que los suelos agrícolas presentan en general contenidos medios-bajos con un valor promedio de 2.16% (Fig.19). Esta diferencia obviamente es atribuible a que en los suelos agrícolas carecen de aportes continuos de residuos orgánicos tal y como ocurre en los suelos protegidos por vegetación, donde se mantiene un equilibrio natural entre las ganancias y pérdidas de residuos orgánicos. La eliminación de la vegetación deja a la superficie del suelo expuesta a los agentes erosivos e interrumpe el aporte de restos vegetales al suelo. Con la puesta de cultivos, el suelo recibe menos aportes por parte de las plantas cultivadas a la vez que se produce una rápida mineralización del humus, favorecida por la acción del laboreo y por las altas temperaturas. Se inicia así un proceso de disminución progresiva del contenido de materia orgánica del suelo que provoca un rápido deterioro de su fertilidad y estructura, con lo cual disminuye la infiltración y aumenta la escorrentía incentivándose los procesos erosivos (Colomer *et al.*, 2001).

La materia orgánica es un componente crítico en el aporte de nutrientes, además influye en muchos procesos biológicos y químicos, promueve la formación de agregados estables evitando la dispersión y encostramiento de los suelos

cultivados. Los niveles de M.O son de gran importancia para contrarrestar los efectos de la erosión tan evidente en los suelos agrícolas.

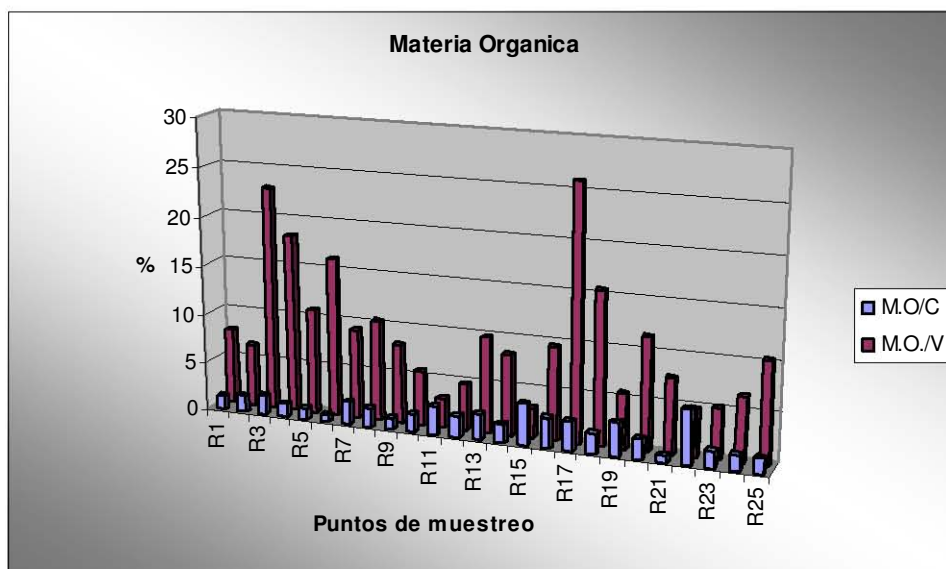


Figura 19. Comparación del contenido de materia orgánica entre los suelos con vegetación y suelos agrícolas

8.2.3 Capacidad de intercambio catiónico total (CICT).

Para esta propiedad también se muestran diferencias significativas entre las dos condiciones ($P < 0.05$), teniendo que los valores más elevados se presentan en los suelos cubiertos por vegetación natural (Promedio $31.7 \text{ Cmol/kg}^{-1}$) y de $23.9 \text{ Cmol/kg}^{-1}$ como promedio para los suelos agrícolas, aunque ambas condiciones caen en la categoría media (Fig.20). Esta diferencia para variar también está vinculada con las fluctuaciones en el contenido de materia orgánica. La CICT es una propiedad que depende de la presencia de coloides en el suelo, la materia orgánica a través del proceso de humificación produce una gran cantidad de coloides orgánicos conocidos como sustancias húmicas, aproximadamente el 75 % de la materia orgánica del suelo está constituida por humus (Almendros, 2004), el cual es muy activo en intercambio de iones. Al haber más M.O. en los suelos con vegetación determina que tengan mayor CICT con respecto a los suelos agrícolas que tienen menos.

La CICT es un parámetro que indica cual es la capacidad que tiene el suelo para retener e intercambiar cationes (bases, nutrientes, etc), por lo tanto es una propiedad indicadora de la fertilidad del suelo, a mayor CICT mayor retención de nutrientes, de acuerdo a lo anterior, se puede decir que los suelos con vegetación son mucho más fértiles que los agrícolas, estos últimos al perder la materia orgánica también han perdido parte de su potencial productivo, así mismo es posible afirmar que el cambio de uso disminuyó la fertilidad del suelo.

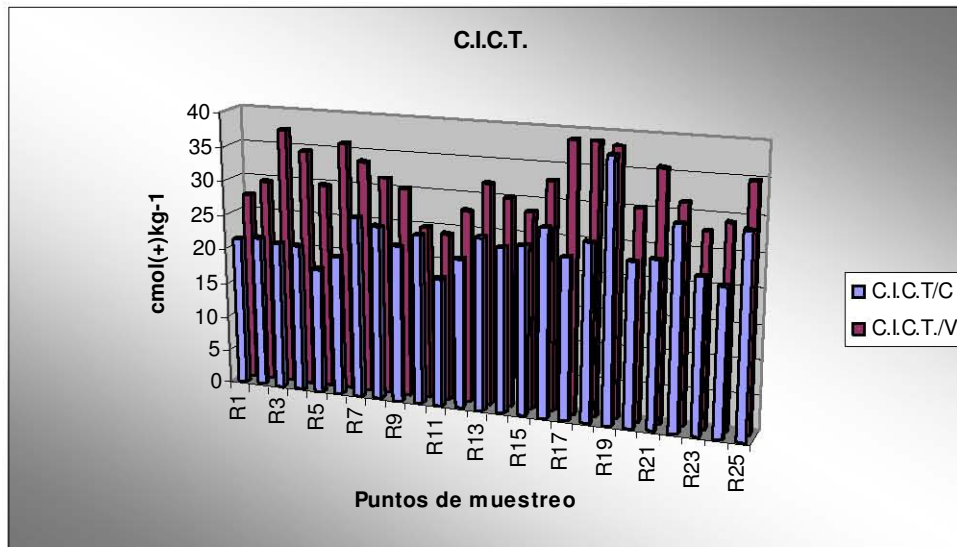


Figura 20. Comparación de la capacidad de intercambio catiónico total en suelos con vegetación y suelos agrícolas.

8.2.4 Calcio y magnesio intercambiables.

Los contenidos de Ca y Mg no mostraron diferencias significativas entre las dos condiciones ($P > 0.05$) aunque fueron ligeramente mayores en los suelos con vegetación natural. La escasa variación en el contenido de calcio y magnesio se debe al origen calcáreo de los suelos, lo cual indica que aunque las actividades agrícolas afecten el estado nutrimental del suelo, los contenidos de Ca y Mg no se ven disminuidos porque el complejo de intercambio está saturado con estos cationes.

8.2.5 Sodio y Potasio intercambiables.

Los suelos con uso agrícola mostraron niveles más altos de sodio ($P < 0.05$) (Promedio $3.03 \text{ Cmol/kg}^{-1}$) que los suelos con vegetación natural (Promedio $1.82 \text{ Cmol/kg}^{-1}$) (Fig. 21). Esto indica que los suelos agrícolas presentan mayor contenido de sales, por esta razón son más alcalinos que los protegidos con vegetación. Los suelos agrícolas tienen más sodio porque como ya se señaló, en ellos la evaporación es más intensa lo que provoca un mayor ascenso de sales. No obstante que hay más sodio en los suelos agrícolas, los niveles no son considerados como dañinos para los cultivos, sin embargo si puede influir ligeramente en el deterioro de las propiedades físicas del suelo, lo cual afecta la actividad de las raíces de las plantas y de los microorganismos del suelo.

La concentración del potasio fue más elevada en suelos con vegetación que en los agrícolas, sin embargo en ambas condiciones los contenidos son considerados como bajos.

Los suelos con vegetación presentaron un promedio de K de 55.84 ppm (pobre), mientras los agrícolas tienen un promedio de 27.26 ppm (muy pobre) (Fig. 22). La diferencia, que fue estadísticamente significativa ($P < 0.05$), en el contenido de potasio en las dos condiciones, se puede explicar porque los suelos con vegetación al tener mayor cantidad de materia orgánica, ésta al mineralizarse va liberando el potasio, además la vegetación natural consume menos potasio que los cultivos; por otra parte en estos sitios hay un equilibrio entre el potasio que se consume y el que mineraliza. Ha sido demostrado que la materia orgánica es una fuente importante de nutrientes (López, 1990). Los suelos agrícolas tienen menos potasio porque tienen menos materia orgánica y sobre todo porque mucho del potasio residual ha sido tomado por los cultivos agotando las reservas del suelo.

Los niveles bajos de potasio que se presentan en las dos condiciones es atribuible a que el contenido medio de K en las rocas sedimentarias normalmente es muy pobre (Bear, 1969).

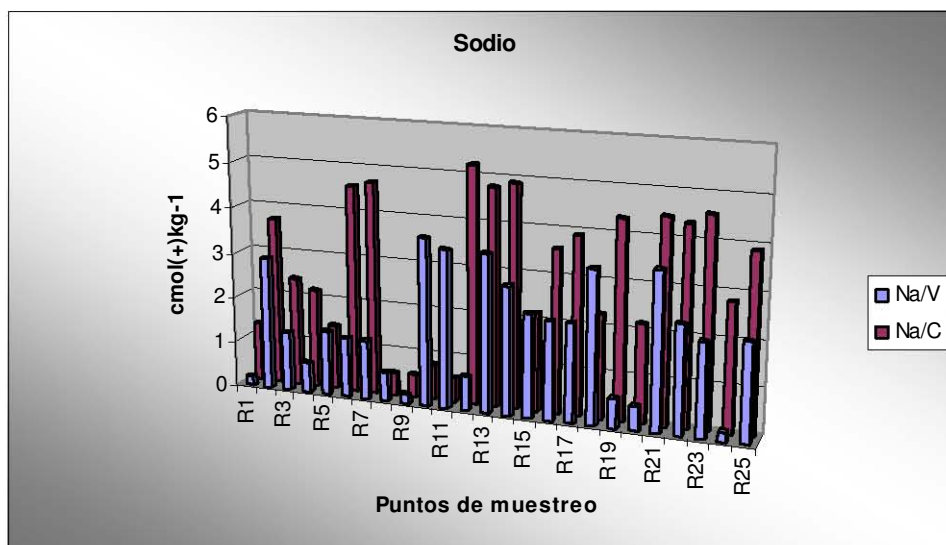


Figura 21. Contenido de sodio en los suelos vírgenes y cultivados.

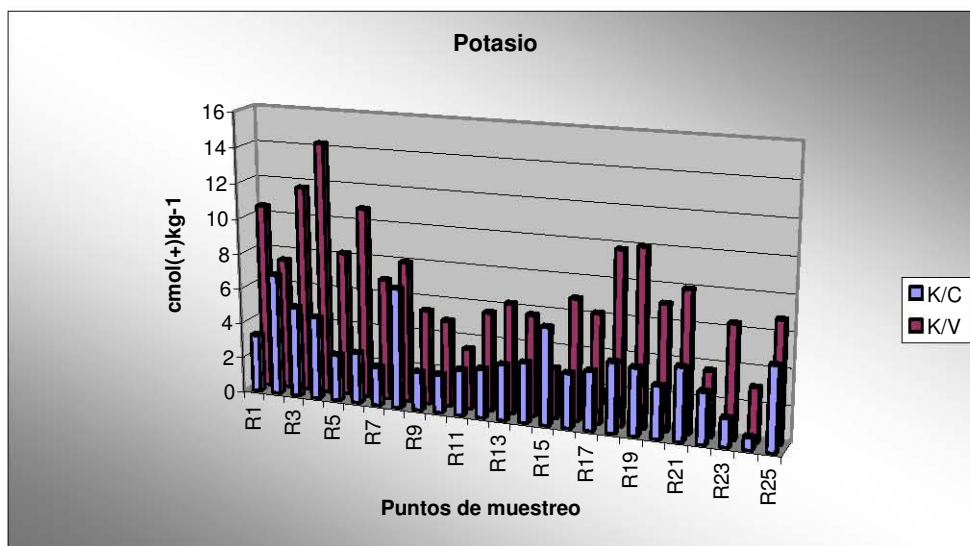


Figura 22. Contenido de potasio en suelos con vegetación y suelos agrícolas.

8.2.6 Nitrógeno total.

Esta propiedad también registra diferencias importantes en las dos condiciones estudiadas ($P < 0.05$), siendo mucho más ricos los suelos con vegetación que los agrícolas donde el cultivo ha agotado el nitrógeno del suelo. Los suelos con vegetación tienen un promedio de 0.32 % (extremadamente rico), en tanto que en los agrícolas el promedio es de 0.07 % (medianamente pobre) (Fig. 23). Estos resultados demuestran que el uso agrícola tiene un impacto negativo muy fuerte en las reservas de nitrógeno en el suelo, en diversas investigaciones se ha podido comprobar que el maíz es una planta altamente demandante de nitrógeno (Guerrero, 1989; Rodríguez, 1992 y Below 1997). El maíz disminuyó los contenidos de nitrógeno en los suelos cultivados con relación a los suelos con vegetación.

Los altos contenidos de N en los suelos con vegetación se atribuyen a que al ser altos en M.O. los residuos de esta liberan una gran cantidad de este elemento cosa que no ocurre en los suelos agrícolas. Resulta obvio que el alto contenido de N está en relación directa con el contenido de M.O.

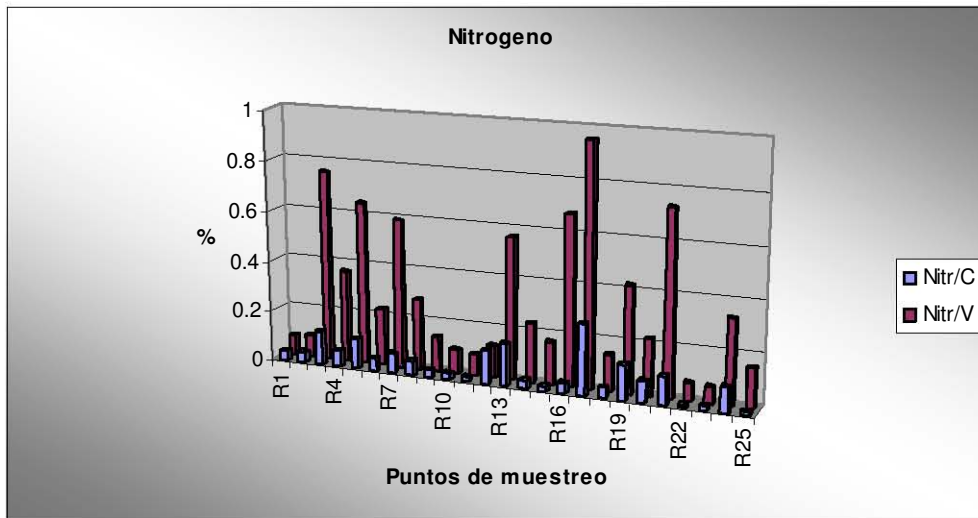


Figura 23. Comparación del porcentaje de nitrógeno total en suelos con vegetación y suelos agrícolas.

8.2.7 Fósforo asimilable.

En la mayoría de los sitios se observa que independientemente del uso del suelo, los niveles del fósforo asimilable son bajos, es decir, los suelos estudiados son por naturaleza pobres en fósforo. Sin embargo, los suelos agrícolas en general tienen menos fósforo asimilable que los suelos con vegetación ($P < 0.05$), el contenido medio de fósforo en los primeros es de 5.04 ppm, en tanto que para los segundos es de 9.31 ppm (Fig. 24).

Se sabe bien que una de las principales fuentes de fósforo en el suelo es la materia orgánica, por eso los suelos con vegetación al tener mayores contenidos de materia orgánica van a presentar más fósforo que los agrícolas. Por otra parte, tal y como ocurre con el nitrógeno, en los suelos agrícolas los cultivos con el paso del tiempo van agotando las reservas naturales del fósforo del suelo, además los suelos agrícolas tienen más pérdidas por arrastre y erosión. La disminución de P también puede estar relacionada con la fijación del P por parte de los carbonatos, los suelos ricos en carbonatos presentan el fenómeno de inmovilización (pérdida de solubilidad) del fósforo debido a la precipitación del fosfato de calcio el cual queda atrapado en los carbonatos. En los suelos calizos, el P se adsorbe sobre partículas de carbonato de calcio que con el tiempo se recubren de más carbonato. Muchos de estos compuestos formados por adsorción se descomponen posteriormente y forman otras sustancias que se trata de compuestos precipitados (poco solubles) y no adsorbidos. Así, en los suelos los compuestos de fósforo adsorbido pueden en un momento determinado, pasar a solución y ser precipitados posteriormente (López, 1990).

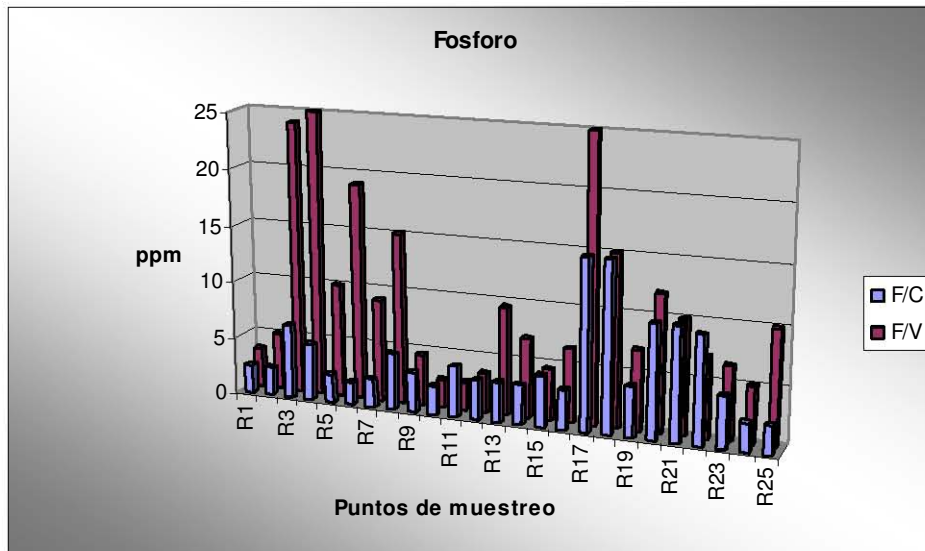


Figura 24. Comparación del contenido de fósforo asimilable en suelos con vegetación y en suelos agrícolas.

En general la disminución en el contenido de N, P y K esta relacionada con el impacto que causa la eliminación de la vegetación para dar paso al cultivo. Por otra parte no hay que olvidar que la disponibilidad de los nutrientes, esta íntimamente asociada a la actividad microbiana del suelo, la cual depende principalmente de las reservas de carbono y la disponibilidad de agua.

8.2.8 Carbonatos.

Los carbonatos mostraron una mayor concentración ($P < 0.05$) en los suelos agrícolas (Promedio 19.35%) con respecto a los que tienen vegetación (Promedio 12.37%) (Fig. 25). La intensa evaporación que se produce en los suelos agrícolas tiende a subir los carbonatos y concentrarlos cerca de la superficie; en cambio en los suelos protegidos con vegetación, al tener menor evaporación porque el suelo no esta expuesto directamente a la radiación solar y al presentar mayor infiltración, los carbonatos se desplazan a capas más profundas. El aumento de CO_3 se relaciona también con el incremento en el pH de los suelos agrícolas. Por otro parte, los altos contenidos de carbonatos junto con elevados contenidos de limo favorecen la formación de costras físicas que se presentaron en los suelos cultivados (Michelena, *et al.*, 2002), lo cual provoca que la superficie del suelo se selle y absorba menos agua, por lo que la infiltración se reducen además de que el agua se puede estancar y es mas probable que se evapore a que se infiltre.

Los altos contenidos de carbonatos en los suelos estudiados están relacionados con el origen del material parental que forman estos suelos, el cual proviene de rocas ricas en carbonatos como calizas, lutitas y margas.

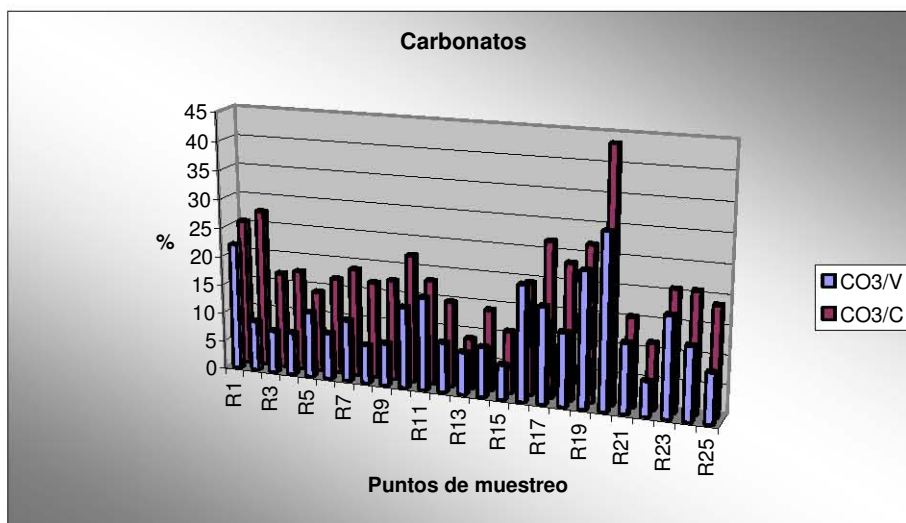


Figura 25. Porcentaje de carbonatos en los suelos agrícolas y los suelos con vegetación.

8.2.9 Conductividad eléctrica.

Los valores de conductividad eléctrica no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$) entre las dos condiciones del suelo, siendo de 1.21 dSm para los suelos con vegetación y de 0.86 dSm para los suelos cultivados. Estos bajos valores de C.E. indican que los suelos estudiados no presentan problemas de salinidad, a pesar de las condiciones climáticas imperantes de baja precipitación y elevada evaporación características del clima semiárido. El exceso de sales restringe el paso del agua cargada de nutrientes hacia las raíces de las plantas, elevando el potencial osmótico del suelo lo cual tiene un efecto negativo en el rendimiento de los cultivos.

8.3 Degradación de los suelos.

De acuerdo a los resultados obtenidos al aplicar los índices de degradación, se puede decir que los suelos agrícolas en comparación con los suelos cubiertos por vegetación natural, mostraron un nivel de degradación significativa, sobre todo de tipo física y química (Fig. 26 y 28). La degradación física afectó al 66% de los suelos agrícolas presentando un alto a moderado nivel de degradación física (Fig. 26). En los suelos aluviales de Zapotitlán Salinas los procesos de degradación física más evidentes fueron la erosión, compactación y encostramiento. Esto es consecuencia de las características físicas de los suelos y de las inadecuadas prácticas de manejo de la tierra, favorecido por las condiciones climáticas de la localidad caracterizadas por la ocurrencia de altas temperaturas, escasa precipitación y elevada evaporación.

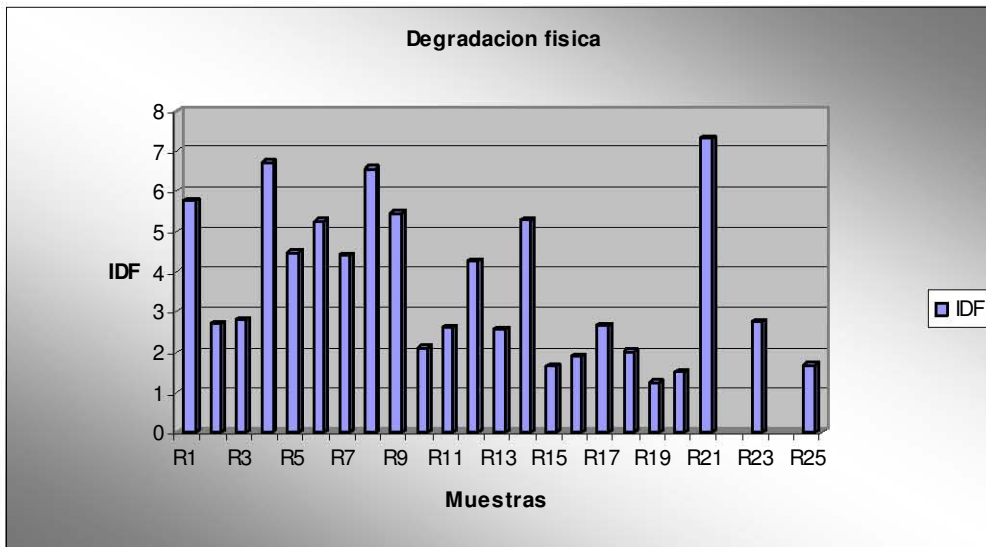


Figura 26. Índice de degradación física en los sitios de muestreo.

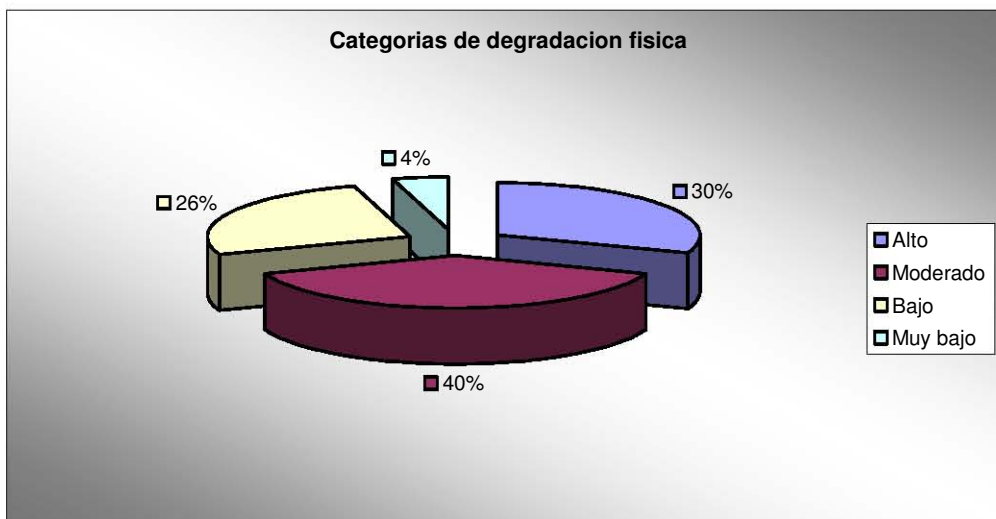


Figura 27. Porcentajes de categorías de degradación física en suelos cultivados.

La degradación química de los suelos agrícolas también fue evidente (Fig. 28), ya que el 64% de los sitios cultivados tuvo un nivel de degradación química de alto a moderado (Fig. 29). Esto está relacionado principalmente con el proceso de reducción de la fertilidad por pérdidas de nutrientes esenciales principalmente nitrógeno y fósforo, provocados por el escaso contenido de materia orgánica, elevada erosión y sobre-explotación de los suelos cultivados. El agotamiento del suelo es ocasionado por la explotación de la tierra durante prolongados periodos de tiempo y falta de prácticas rotación, abonamiento y fertilización.

Los sitios protegidos con la vegetación no presentan problemas de degradación química, porque en ellos hay un balance adecuado entre las pérdidas y ganancias de los nutrientes gracias a la cubierta vegetal que los protege.

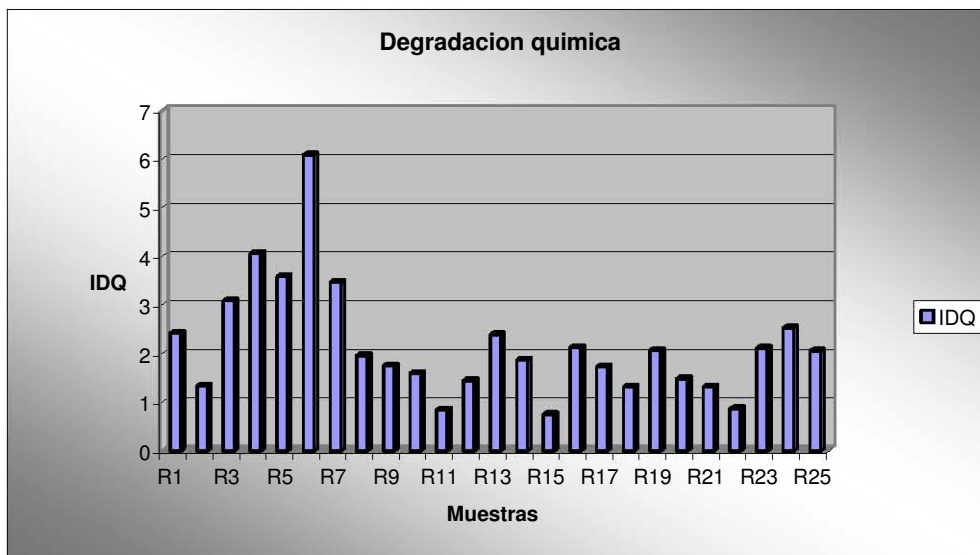


Figura 28. Índice de degradación química en los sitios de muestreo.

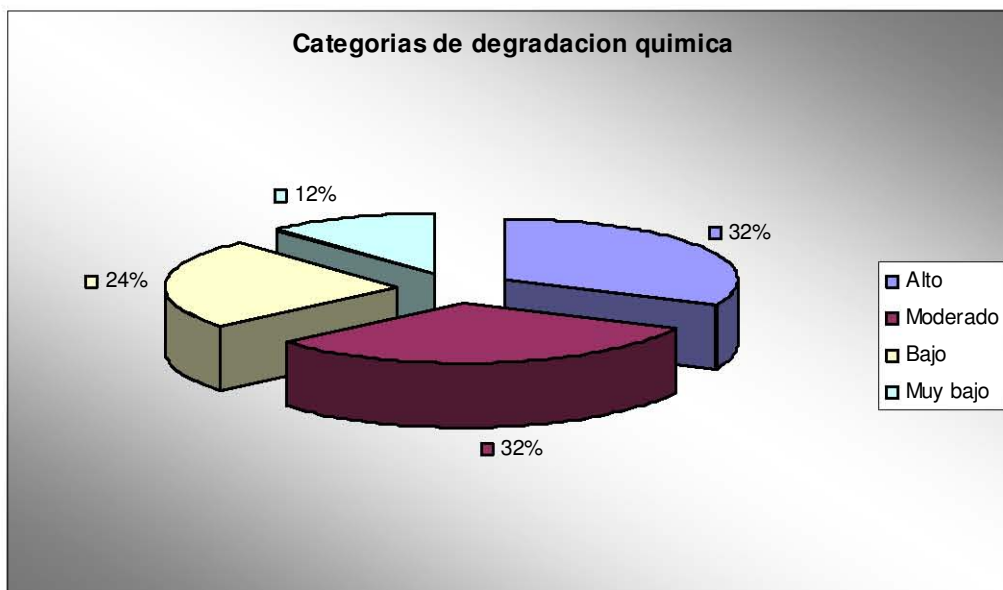


Figura 29. Porcentajes de categorías de degradación química en suelos cultivados.

La degradación biológica se presentó en menor porcentaje principalmente en los sitios agrícolas (Fig. 30), donde el 40% tiene una degradación biológica que va de moderada a alta (Fig. 31), la cual esta relacionada principalmente con el proceso de perdida del materia orgánica derivada de la remoción de la vegetación natural

para el uso agrícola y también por la falta de practicas de conservación que ayuden a incrementar los contenidos de materia orgánica del suelo.

Además, las temperaturas elevadas del área de estudio provocan una mineralización rápida de los residuos orgánicos. La M.O. es considerada como el parámetro clave en el índice de degradación biológica ya que la cantidad, variedad, y composición de material vegetal en conjunto con la intensidad de la actividad microbiana, en esencia dictan el contenido de M.O de los suelos.

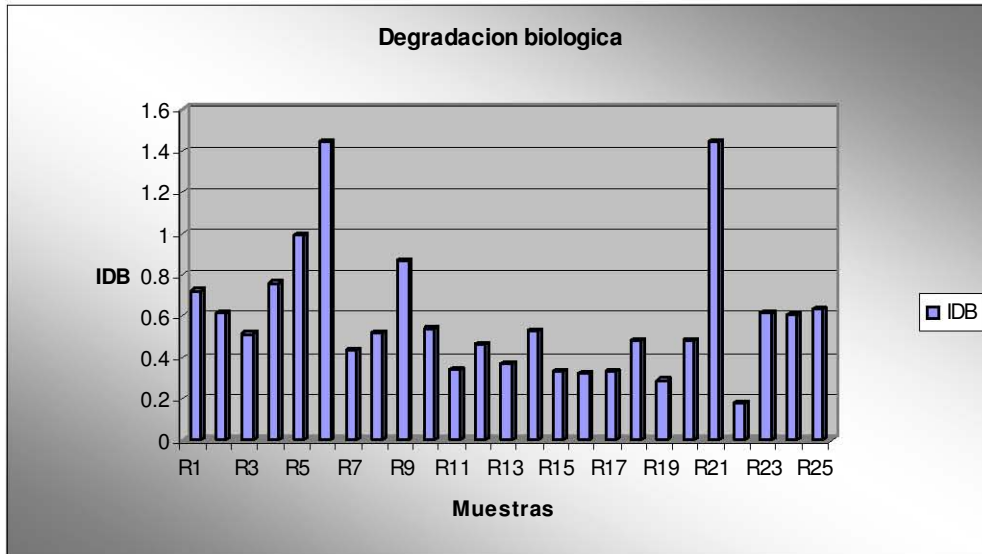


Figura 30. Índice de degradación biológica en los sitios de muestreo.

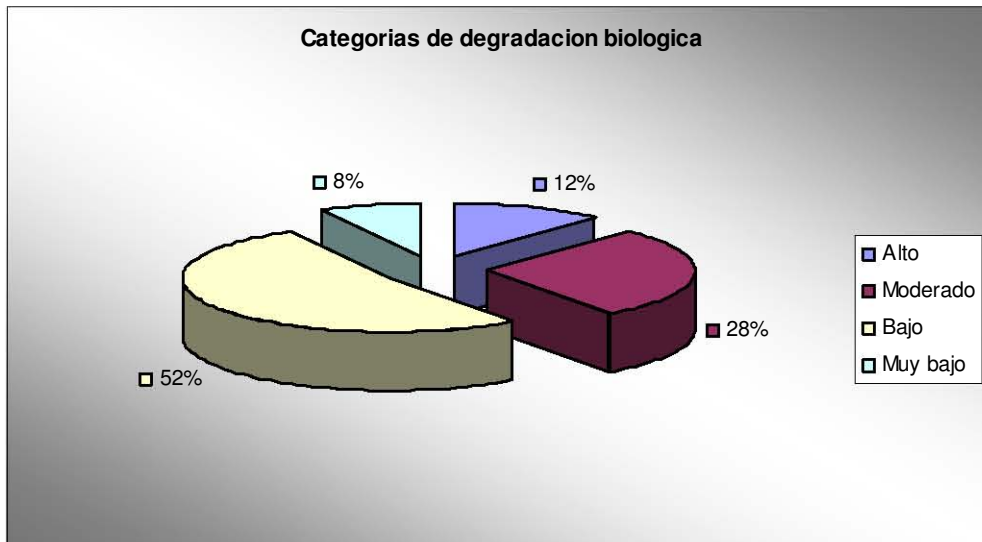


Figura 31. Porcentajes de categorías de degradación biológica en suelos cultivados.

8.4 Indicadores de calidad del suelo.

A través de los análisis multivariantes (componentes principales, agrupamientos y escalamiento multidimensional), se eligieron los parámetros que mostraron las mayores diferencias entre las dos condiciones y que fueron representativos de otros atributos y sensitivos a la mayoría de las funciones del suelo, además de ser fácilmente medibles con técnicas reproducibles y estandarizadas. El PCA fue utilizado para identificar los parámetros del suelo que fueron más significativos describiendo la varianza de los suelos. Estos parámetros pueden formar lo que se conoce como conjunto mínimo de datos (MDS por sus siglas en ingles) para evaluar la calidad del suelo del área estudiada. Este MDS debe tener un número mínimo indispensable de parámetros para que la evaluación de la calidad del suelo sea práctica. Los parámetros seleccionados en este trabajo por recomendaciones de la literatura consultada son: textura, estabilidad de los agregados, materia orgánica, carbonatos, fósforo y capacidad de intercambio catiónico total.

El análisis de agrupamientos (Cluster análisis) mostró una agrupación tanto de parámetros como de los sitios como se esperaba. Respecto a los parámetros, aunque no formaron agrupaciones claramente distinguibles, estos se asociaron más o menos de acuerdo al tipo de función en la que participan. El grupo formado por D.A, D.R y porosidad determinan la compactación; otro grupo formado por C.I.C.T, Ca, Mg, y pH determina la retención y provisión de nutrientes (cationes); la textura y carbonatos se agrupan y establecen el riesgo potencial del suelo a la degradación y el grupo integrado por la materia orgánica, fósforo y potasio regulan la fertilidad del suelo. Los sitios formaron tres agrupaciones donde se separaron claramente los sitios con vegetación natural de los agrícolas y un tercer grupo con ambas condiciones. De forma similar el NMDS revelo las relaciones revelando las proximidades existentes entre los sitios y entre los parámetros con base a las distancias entre ellos.

IX CONCLUSIONES.

El análisis comparativo entre las dos condiciones (agricultura y vegetación natural) mostró que el uso agrícola tuvo un impacto considerable sobre la calidad de los suelos estudiados.

Las propiedades del suelo que mostraron una mayor diferencia entre las dos condiciones que se compararon (uso agrícola y con vegetación natural) son: textura, estabilidad de los agregados, materia orgánica, carbonatos, nitrógeno, fósforo y capacidad de intercambio catiónico. Por lo tanto, se puede decir que son las propiedades más afectadas por el cambio de uso del suelo y por consiguiente pueden proponerse como indicadores de calidad para los suelos estudiados.

La eliminación de la vegetación natural para dar lugar al establecimiento de una agricultura mal manejada afecto negativamente la calidad de los suelos.

Los suelos con uso agrícola de la zona de estudio están fuertemente afectados por procesos de degradación física, química y biológica. Los procesos de degradación física más evidentes son erosión, compactación y encostramiento. La degradación química estuvo principalmente asociada con el proceso de reducción de la fertilidad por pérdidas de nutrientes. La degradación biológica se presentó en menor porcentaje la cual esta relacionada principalmente con la disminución del contenido de materia orgánica.

La pérdida de nutrientes, materia orgánica y el deterioro de la estructura son los procesos más importantes en la degradación de los suelos aluviales producida por el uso agrícola.

El agotamiento del suelo es ocasionado por la explotación de la tierra durante periodos prolongados de tiempo y por la falta de prácticas rotación, abonamiento y fertilización. En general la disminución en el contenido de nutrientes esta relacionada con el impacto que causa la eliminación de la vegetación para dar paso al cultivo y por la falta de prácticas de fertilización.

Se pudo demostrar que las diferencias en la composición del suelo se deben a la diferente cobertura o condición que presentaban los suelos.

Se requiere hacer un análisis y cuestionamiento profundo del modelo actual de agricultura del área de estudio, con ello replantear un nuevo esquema productivo menos agresivo, sustentable a largo plazo y económicamente viable. Bajo este planteamiento es necesario aplicar programas de restauración y conservación de suelos.

X BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera, H. N. 1970. Suelos de Zonas áridas de Tehuacan, Puebla y sus relaciones con las cactáceas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. Tomo XV 3: 51-65.
- Albaladejo, J; M. Martínez; A. Roldan. 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in semiarid environment. *Soil use and management* 14: 1-5.
- Almendros, M. G. 2004. La materia orgánica y su función en los agrosistemas. Apuntes del XX Curso Diplomado Internacional de Edafología "Nicolas Aguilera". Morelia Michoacán, México.
- Andrews, S.S; Flora, C.B; Mitchell, J.P; Karlen, D.L. 2003. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma* 114: 187-213.
- Arizmendi, M.C y Espinosa de los Monteros, A. 1996. Avifauna de los bosques de cactáceas columnares del Valle de Tehuacan, Puebla. *Acta Zool. Mex.* 67: 25-46.
- Arshad, M.A; Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 153-160.
- Barcelo-Duarte J. 1978. Estratigrafía y petrografía detallada del área de Tehuacán-San Juan Raya, Edo. de Puebla (Tesis Profesional). Facultad de Ingeniería, UNAM México.
- Barrera, C. C. 2001. Descripción y regionalización Fisiográfica del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Bautista, A; Etchevers, J; Del Castillo, R; Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 8: 1-11.
- Bear, F.E. 1969. *Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos*. Ed. Omega. España. pp: 366.
- Below, F. E. 1997. *Growth and productivity of maize under nitrogen stress*. In G.O. Edmeades, M. Bänziger, H.R. Mickelson & C.B. Peña-Valdivia (eds). Developing Drought and Low-Nitrogen Tolerant Maize. Proc. of a Symp., CIMMYT, El Batán, México. pp. 25-29.
- Brasa, A; Montero, F.J. y Valero, J.A. 2001. *El papel de la cubierta vegetal*. En: F. De Santa Olalla. Agricultura y desertificación. Mundi- Prensa. España. p:165-173.

- Buschiazzo, D.E; Hevia, G; Hepper, E; Urioste, A; Bono, A. and Babinec, F. 2001. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semiarid pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments* 48: 501-508.
- Carter, M.R. 1993. *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. USA. pp. 823.
- Colomer, J.C; Sanchez, J. 2001. *Agricultura y procesos de degradación del suelo*. En: F. De Santa Olalla. *Agricultura y desertificación*. Mundi- Prensa. España. pp. 111-128.
- De Paz, J.M; Sanchez, J; Visconti, F. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment chemical, physical and biological soil degradation in Spanish Mediterranean region. *Journal of Environmental Management* 79: 150-162.
- Doran, J.W; A.J.Jones; M.A.Arshad, and J.E.Gilley. 1996. *Determinants of soil quality and health* in: *Soil quality and soil erosion*. Ed. Rattan Lal. Boca Raton, Fl. p: 17-35.
- FAO, PNUMA, UNESCO. 1980. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. FAO. Roma.
- García, M.G.2001. *Mapeo y caracterización de los suelos de las terrazas aluviales del valle de Zapotitlán, Puebla*. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM. FES Iztacala.
- Gaucher, G. 1971. *Tratado de Pedología Agrícola. El suelo y sus características agronomicas*. Ediciones Omega. España. pp. 647.
- Govaerts, B; Sayre, K.D. and Deckers, J. 2005. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research*: 1-12.
- Guerrero, A. 1989. *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Mundi-prensa. Madrid, España. pp. 206.
- Herrick, J.E. 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management?. *Applied Soil Ecology* 15: 75-83.
- Hillel, D. 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Press. U.K. pp: 364.
- INEGI. 1983. *Carta Edafológica. Hoja E14 Orizaba*. Escala 1:250 000. Secretaría de Programación y Presupuesto, México.

- IUGS 2001 Geoindicators: Tools for assessing rapid environmental changes. The U.S. Global Change Research Information Office. [Article on the Internet], [Cited 24 Feb 2001].
- Jury, W and Horton, R. 2004. *Soil physics*. 6th edition. Ed. John Wiley and Sons, Inc. USA. pp: 370.
- Karlen, D.L; Ditzler C.A. and Andrews S.S. 2003. Soil quality: why and how?. *Geoderma* 114: 145-156.
- López R. J. y López, M. 1990. *El diagnóstico de suelos y plantas*. Ed. Mundi-Prensa. España. pp: 363.
- Mata, S.V. 2000. Estudio comparativo del ensamble de anfibios y reptiles en dos localidades de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. UNAM. ENEP-Iztacala.
- Michelena R y Irutia C 2002. *Publicaciones del Instituto de Suelos INTA*. Instituto de suelos Cautelar, pp 12-45 Buenos Aires, Argentina.
- Montoya, R; García, J.C y Padilla, J. 2004. Utilización de un SIG para la determinación del impacto ambiental generado por actividades agrícolas, ganaderas e industriales: El caso del Valle de Zapotitlán en la Reserva de la Biosfera de Tehuacan-Cuicatlán. *Boletín de la A.G.E.* No. 38. p: 115-129.
- Muñoz, I.D; .Mendoza C.A; López, G. F.; Soler A.A; Hernández, M.M. 2000. Manual de métodos de análisis de suelo. UNAM. FES Iztacala.
- Narro, F. E. 1994. *Física de suelos*. Edi. Trillas. México. pp:195.
- Noellemeyer, E; Quiroga, A. and Estelrich, D. 2005. Soil quality in three range soils of the semiarid pampa of Argentina. *Journal of Arid Environments*. 1-14.
- Norfleet, M.L; Ditzler, C.A; Puckett, W.E; Grossman, R.B. and Shaw, J.N. 2003. Soil quality and its relationship to pedology. *Soil Science* 168: 149-155.
- Nortcliff, S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 161-168.
- Ortiz-Solorio, C.A. y Cuanalo de la Cerda, H.E. 1981. *Introducción a los levantamientos de suelos*. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p: 47-54.
- Rzedowski, 1978. *La vegetación de México*. Edi. Limusa. México.

- Reyes, J.I; Silva, P. y Acevedo, E. 2002. Efecto de cuatro temporadas de cero labranza y manejo de rastrojo en las condiciones físicas y químicas de un suelo aluvial de la zona central de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. pp: 165.
- Rivas, R. A. 2003. Levantamiento Edafológico Semidetallado de la Porción Norte del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.
- Rodríguez-Suppo, F. 1992. *Fertilizantes y nutrición vegetal*. AGT. Editor, S. A. México, D.F. pp. 157.
- Sanzano, G.A; Corbella, R.D; García, J.R. y Fadda, G.S. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo dos sistemas de manejo de suelo. *Ciencia del Suelo* 23: 93-100.
- Schoenholtz, S.H; Van Miegroet, H. and Burger, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 138: 335-356.
- SEMARNAT. (2002). Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT, Méx. pp.272
- Snakin, V; Krechetov, P; Kuzovnikova, T.A; Alyabina, I.O; Gurov, A.F. and Stepichev, A.V. 1996. The system of assessment of soil degradation. *Soil Technology* 8: 331-343.
- Tamhane R.V., D.P. Motiramani y Y.P. Bali. 1979. *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. Edi. Diana. México.
- Tarango, L.A. 2005. Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. Revista Chapingo. Serie Zonas áridas. Vol. 4. No. 2. p: 17-21.
- Toledo, A.A; Valverde, M.T. y Reyes, J. 2000. *Las plantas de la región de Zapotitlán de las Salinas, Puebla*. INE. UNAM. Primera edición. pp.80.
- Towned, J. 2002. *Practical statistics for environmental and biological scientists*. Ed. John Wiley and Sons. England. pp. 276.
- USDA Economic Research Service. 1997. Chapter 4.2 "Crop Residue Management," *Agricultural Resources and Environmental Indicators, 1996-97*, AH-712. July.
- USDA Economic Research Service. 2006. Chapter 4.2 "Soil management and conservation," *Agricultural Resources and Environmental Indicators, 2006*, EIB-16. p: 96-106.

Wallace, A. and Terry, R.E. 1998. *Handbook of soil conditioners. Substances that enhance the physical properties of soil*. Ed. Marcel Dekker, Inc. USA. pp: 596.

Wander, M.M and L.E. Drinkwater. 2000. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. *Applied Soil Ecology* 15: 61-73.

Wang, Z; Chang, A.C; Wu, L. and Crowley, D. 2003. Assessing the soil quality of long-term reclaimed waste-water-irrigated cropland. *Geoderma* 114: 261-278.