



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**Evaluación del impacto del uso del terreno sobre el nivel de
Degradación física de un suelo aluvial en una zona semiárida**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

Ingrid Berenice Escalante Arriaga

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Daniel Jesús Muñoz Iniestra.



LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MÉXICO

2014



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 mis abuelas Carmen Romero Cano y Victorina Toral Flemate

A quienes agradezco todo el amor, comprensión y enseñanzas que me brindaron a lo largo de mi vida. Ya que me dieron las bases para ser lo que soy ahora, y que eso me ha hecho llegar hasta donde estoy, culminando una etapa más de mi vida y alcanzando metas comparto con ustedes este triunfo y donde quiera que estén las querré y admiraré siempre.

A mi padre Gustavo Escalante

Por el apoyo brindado a lo largo de mi vida, por animarme a seguir adelante, por demostrarme que se puede llegar muy alto siempre y cuando uno lo quiera, que no hay imposibles para lograr las metas propuestas.

A mi Madre Ma. De Lourdes Arriaga.

Ma mil gracias por siempre caminar a mi lado, por brindarme el apoyo cuando lo he necesitado, por ser mi amiga, agradezco la confianza que me has brindado y porque no por los regaños cuando los he necesitado, por ser mi cómplice en algunas ocasiones pero sobre todo te agradezco por ser la madre que eres Te Quiero Mucho.

A mi hermana Thalía Escalante.

Canala mil gracias por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, por la confianza, por ser mi amiga, compañera, confidente y cómplice de muchas travesuras y aventuras, por acompañarme algunas veces en mis noches de desvelo por hacer tarea, por ello solo me resta decirte que TE QUIERO MUCHO.

A mi abuelo Eduardo Arriaga

Por su cariño, comprensión, por sus consejos, por todas esas platicas de recuerdos tan padres, pero sobre todo por estar a mi lado y permitirme compartir contigo este logro TE QUIERO MUCHO ABUELO.

A mis tías Araceli Arriaga y Cecilia Cruz:

Tía Ara: Mil gracias por siempre estar a mi lado, por tenderme tu mano una y otra vez cuando he caído para levantarme, por tu tiempo brindado para ayudarme a hacer mi tarea cuando era pequeña, por tu confianza, tus regaños, las aventuras vividas a tu lado, alentarme a seguir adelante en momentos difíciles y de flaqueza, por tu cariño, en fin por todo lo que me has brindado, por demostrarme que en esta vida nunca es tarde para alcanzar los sueños .y que hoy tengo la dicha de compartir contigo un logro más.

Tía Ceci: Quiero agradecerte por tu apoyo en todo momento, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por tu cariño, por acompañarme siempre y por ser parte fundamental en mi vida..

Tías solo me resta agradecerles todo el apoyo brindado de verdad nunca me va alcanzar la vida para agradecerles todo y sobre por abrirme las puertas de su casa durante un tiempo.

AGRADECIMIENTOS:

*A mi tío **Gervacio** gracias por estar siempre a mi lado en todo momento, por ser mi amigo, por consentirme, por acompañarme en triunfos y derrotas, por impulsarme y darme fuerzas para nunca dejarme caer, por el tiempo compartido, en general agradecerte por todo lo que me has dado **TE QUIERO MUCHO.***

*A mi tía **Alejandrina** por cuidarme cuando era pequeña, por las aventuras vividas a tu lado.*

*A mis tíos **Hugo Arriaga** y **Mari Carmen Ortiz** por preocuparse por mí, por el tiempo compartido **Gracias.***

*Agradezco a mi director de tesis el **Dr. Daniel Jesús Muñoz Iniestra** por la confianza brindada, por sus conocimientos, enseñanzas, por su paciencia, su comprensión pero sobre todo por las aportaciones tan valiosas para la realización de este trabajo.*

*A mis sinodales **Dr. Rafael Lira Saade**, **M. en C. Ana Lilia Muñoz**, **M. en C. Ángel Morán Silva**, y **Biol.***

***Alfonso Soler Aburto** por su tiempo para la revisión y sus aportaciones para la realización de este trabajo.*

*A los profesores del laboratorio de Edafología **M. en C. Mayra M. Hernández M.**, **M. en C. Francisco López Galindo** y **Biol. Alfonso Soler Aburto** por sus conocimientos compartidos para la realización de este trabajo.*

*Al profesor **Ángel Morán Silva** por su amistad, sus conocimientos compartidos, por todo lo brindado a lo largo de la carrera.*

*A todos **mis primos** por estar conmigo y crecer juntos los quiero mucho a todos **Jonathan, Arely, Eduardo, Saira, Gustavo, Lili y Lilian, Anali.***

*A mis amigos **Pamela Moreno, Brenda Moreno, Alberto Moreno, Ángel Cruz, Oscar Cazarin, Rey Aguilar** y **Carlos Correa** por ser como son, por caminar juntos y por qué no también por crecer ya que algunos de ustedes han decidido formar su familia y otros ya la tienen, por apoyarme en todo momento, por todas las alegrías brindadas, por las aventuras a su lado, por ser mis cómplices y algunos de ustedes mis confidentes los quiero mucho a todos.*

*A mi amiga **Marisol Ferreira Ramírez**, **Gracias** amiwi primero que nada por permitirme entrar a tu vida, por brindarme tu amistad, por estar a mi lado, por apoyarme en todo momento, por tus consejos, por la confianza que me has brindado espero nunca defraudarla al contrario corresponderla, por las platicas alentadoras para seguir adelante y no desmotivarnos, por las practicas y las aventuras vividas en ellas, de verdad, solo me resta agradecerte por todo **TE QUIERO MUCHO** amiga y nunca olvides que siempre podrás contar conmigo aunque estemos lejos y te recordare siempre.*

*A mi Amigo **Fernando Reyes** Gracias amiguito por siempre estar ahí, por apoyarme por demostrarme que en la vida todo se puede que nada es imposible y que aquello que te cuesta más trabajo alcanzar te da muchas satisfacciones **TE QUIERO HARTO.***

*A una persona que tiene poco que conozco pero no por eso es menos importante, y a quien de corazón agradezco su ayuda, sus palabras, sus enseñanzas, pero sobre todo que me ha enseñado que en esta vida puedo alcanzar todo lo que desee siempre y cuando confié en mí, mil gracias **Psic. Christian López López.***

A los profesores: Biol. Rosario Fernández Barajas, Dr. José Luis Gama, Biol. Arcelia, Biol. Luis Felipe, M.C. Ana Lilia, al Dr. Diodoro a la Biol. Lourdes y A la Biol. Juana gracias por su amistad y por sus conocimientos aportados para continuar con mis estudios.

En especial a todas aquellas personas que han existido a lo largo de mi vida y que han compartido conmigo alegrías, tristezas, sueños, ilusiones, en fin mil cosas gracias por haber estado ahí.

*A los peritos de Impacto Ambiental de la Procuraduría General de Justicia, **Carmen, Eloísa y Gustavo**, por todo el apoyo, la confianza brindada y por compartir sus conocimientos durante mis prácticas profesionales.*

INDICE GENERAL

I.INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 DEGRADACIÓN DEL SUELO	3
III. ANTECEDENTES	10
IV.HIPÓTESIS	12
V. OBJETIVOS	12
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	13
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	13
6.1.1 LOCALIZACIÓN	13
6.1.2 CLIMA	14
6.1.3 FISIOGRAFÍA	14
6.1.4 GEOLOGÍA	14
6.1.5 EDAFOLOGÍA	15
6.1.6 HIDROLOGÍA	16
6.1.7 VEGETACIÓN	16
VII. ETAPAS DE TRABAJO	17
7.1 ETAPA DE PROSPECTIVA	17
7.2 ETAPA DE CAMPO	18
7.3 ETAPA DE LABORATORIO	19
7.4 ETAPA DE ANÁLISIS DE DATOS	20

VIII.RESULTADOS	21
IX. DISCUSIÓN	31
X.CONCLUSIONES	35
XI. BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Sitios donde se tomaron las muestras de cada terraza.....	18
Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo evaluadas.....	19
Cuadro 3. Promedios y error estándar, propiedades suelo textura gruesa (terrazza A).....	21
Cuadro 4. Análisis de varianza terraza gruesa.....	22
Cuadro 5. Prueba Tukey: sitios - índice de degradación física-	23
Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson y Determinación R^2 de las propiedades evaluadas	24
Cuadro 7. Promedios y error estándar, de las propiedades del suelo (textura fina) de la terraza "D".....	26
Cuadro 8. Análisis de varianza suelo de textura fina (terrazza D)	27
Cuadro 9. Prueba de Tukey Sitios- Índice de degradación física.....	29
Cuadro 10. Coeficientes de correlación de Pearson y Determinación R^2 de las propiedades evaluadas	29

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio: cuenca de Zapotitlán.....	13
Figura 2. Localización de las terrazas donde se realizó el muestreo.....	17
Figura 3. Gráficos que muestran los valores de propiedades importantes para el funcionamiento físico del suelo.....	22
Figura 4. Gráfico del índice de degradación.....	23
Figura 5. Diagramas de dispersión de propiedades que presentan el mayor grado de correlación con el Índice de degradación física.....	24
Figura 6. Índice de encostramiento suelo textura gruesa terraza A.	25
Figura 7. Gráficos que muestran diferencias en los valores de propiedades importantes para el funcionamiento físico del suelo textura fina terraza D	27
Figura 8. Gráfico del índice de degradación física.....	28
Figura 9. Diagramas de dispersión de las propiedades que presentan el mayor grado de correlación con el IDF.....	30
Figura 10. Variación del índice de encostramiento en el suelo de los distintos Sitios	30

*En este suelo habitan las estrellas
En este cielo canta el agua de la imaginación
Más allá de las nubes que surgen
de estas aguas y estos suelos
nos sueñan los antepasados
Su espíritu -dicen- es la luna llena
El silencio su corazón que late.*

I. INTRODUCCIÓN

El deterioro del ambiente es uno de los principales problemas que amenazan el bienestar de la población humana en el siglo XXI, en México este deterioro es el resultado en gran parte de la adopción de un modelo de desarrollo que se basa principalmente en la economía soslayando otros aspectos muy importantes para la sobrevivencia y el bienestar humano, como lo es el medio ambiente y el desarrollo social y cultural del hombre. Este modelo de desarrollo ha propiciado entre otras cosas un desenvolvimiento inadecuado de los procesos de uso y manejo de los recursos naturales que ponen en riesgo la integridad del reservorio de la diversidad biológica y cultural (Valiente-Banuet. *et al.*, 1996). Entre los principales daños causados al ambiente están: el incremento de la temperatura de la atmósfera, la contaminación de cuerpos de agua, aire y suelo, reducción de la biodiversidad por la destrucción de ecosistemas, la erosión y la degradación del suelo.

La degradación del suelo comprende un conjunto de procesos que se manifiestan de diferente manera en cada región del planeta, siendo las regiones secas una de las más afectadas, ya que son sitios muy vulnerables por su alta dependencia de la precipitación pluvial y por su dificultad para su recuperación. Las zonas áridas y semiáridas son unidades geográficas y ecológicas donde predominan condiciones de sequedad extrema y cobertura vegetal reducida o casi ausente. Dichos factores repercuten en todos los procesos y en el comportamiento de las diferentes especies, adaptadas a vivir en tales condiciones. Estas regiones presentan periodos secos muy prolongados, lluvias irregulares con promedios bastante bajos, temperaturas anuales de 11 a 12°C, y muy fluctuantes entre el día y la noche (Rzedowski, 1978).

En México las zonas áridas y semiáridas ocupan alrededor del 60% del territorio nacional y constituyen la mayor parte de los paisajes que dominan el escenario ambiental del territorio mexicano, además albergan una de las riquezas biológicas más grandes del mundo (Rzedowski, 1978; Toledo, 1988). Sin embargo hoy en día estas regiones presentan graves problemas ambientales, debido al inadecuado uso y manejo de los recursos naturales que ponen en riesgo la integridad del gran reservorio de

diversidad biológica y cultural, así como la base material para el sostenimiento de los procesos productivos (Valiente–Banuet. *et al.*, 1996).

La degradación del suelo está presente en todos los ecosistemas de las zonas áridas y semiáridas como consecuencia del mal manejo de la tierra y la ocurrencia de frecuentes sequías las cuáles aceleran el proceso, la degradación está fuertemente vinculada a las condiciones de pobreza en el ámbito rural. La degradación del suelo se encuentra dividida en dos diferentes categorías (FAO, 2003) como lo son; *la degradación por desplazamiento del material del suelo*, que tiene como agente causativo a la erosión hídrica o eólica y *la degradación resultante del deterioro interno del suelo*, que incluye a los procesos de degradación física, química y biológica (Cotler *et al.*,2007).

En México, la cifra oficial sobre la superficie de los suelos con algún tipo de degradación es de aproximadamente 125,460.475 Ha., lo que equivale a un 64% del territorio nacional (SEMARNAP, 1999). La principal causa de la degradación de los suelos es la deforestación asociada al cambio de uso con fines de producción agropecuaria, lo cual genera el 53 % de la superficie afectada, siguiéndole el sobrepastoreo asociado, generalmente a la ganadería extensiva, que es el causante del deterioro de las tierras en el 25% y en tercer lugar, las prácticas agrícolas no sostenibles que originan los problemas de degradación en alrededor del 20% de la superficie afectada. De seguir la tendencia actual en menos de 200 años el hombre habrá agotado todas las tierras productivas del planeta y pareciera que no se tiene conciencia de que si se destruye este recurso, se destruye la posibilidad de sobrevivencia de la humanidad (Becerra, 1999). Por lo anterior el presente trabajo tiene como propósito identificar los tipos y niveles de degradación física de dos tipos de suelo aluvial del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, la cual se han utilizado por varias décadas para la agricultura de temporal y otras actividades productivas.

II. MARCO TEÓRICO

La degradación del suelo se refiere a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura del suelo para funcionar y sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua así como para preservar la salud humana (FAO/ ISRIC 2000). Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. La FAO (2000) reconoce tres tipos de degradación del suelo: la física, la cual afecta el funcionamiento físico del suelo, la química relacionada con la contaminación, salinización, acidificación, pérdida o distribución irregular de los nutrientes del suelo y la biológica, asociada principalmente a la pérdida de carbono del suelo.

La degradación del suelo es el resultado de factores ambientales, sociales, económicos, etc. De acuerdo a UNEP (1995), las causas responsables de la degradación del suelo son; la deforestación, el cambio de uso del suelo, el sobrepastoreo, incremento de la densidad poblacional y la pobreza. Las regiones con suelos más degradados se encuentran en áreas de alta marginación social, aunque debe reconocerse que hay zonas más o menos conservadas en las regiones pobres. En México los estados con mayor desarrollo económico y social presentan menos problemas de degradación de suelos. El cambio de uso del suelo genera deterioro, pero éste se acelera en zonas montañosas o en presencia de sobrepastoreo. Se ha visto que los efectos conjuntos de estos factores son mayores que la suma de los efectos de cada uno por separado. Otro aspecto importante que se ha observado es el que tiene que ver con aspectos demográficos, donde de acuerdo a lo observado el crecimiento poblacional provoca una mayor degradación del suelo. Este fenómeno se presenta en varias regiones del mundo y está relacionado con la capacidad que tienen las comunidades campesinas para organizarse e implementar obras de conservación del suelo (Semarnat, 2002).

Las tierras de temporal son las más afectadas por la degradación, quizá esto se debe a fenómenos inherentes al sistema de manejo así como el lapso en el cual el suelo permanece sin vegetación en la temporada de secas. En muchos casos la agricultura de temporal se practica en sitios con fuertes pendientes, lo que no ocurre en el caso de la de riego. En efecto, las tierras de temporal más deterioradas se encuentran en las sierras, pero el patrón es muy complejo (Semarnat, 2002).

Según Lal y Stewart (1990), se distinguen tres tipos de degradación:

- a) Degradación física: erosión (hídrica y eólica), compactación y formación de capas endurecidas.
- b) Degradación química: disminución de la fertilidad por la pérdida de nutrientes, desequilibrio elemental por acidificación, sodificación y formación de compuestos tóxicos.
- c) Degradación biológica: disminución de la materia orgánica del suelo y reducción de la actividad biológica (macro y microfauna) del suelo.

Particularmente la degradación física, está referida a la alteración del funcionamiento físico del suelo, que se puede manifestar por la reducción del volumen útil ocasionado por la disminución del espacio poroso (Compactación), modificación del arreglo estructural, baja en la estabilidad de la estructura, encostramiento y sellado que impiden el intercambio gaseoso y del agua. La degradación física afecta la relación e intercambio de materia entre el suelo, la atmósfera e hidrósfera, impidiendo que se tenga una mezcla adecuada de la fase líquida y gaseosa del suelo. La degradación física impide al suelo funcionar adecuadamente dentro de los límites naturales, ya que afecta la capacidad de transmisión de fluidos, el volumen de almacenaje y modifica el balance adecuado de agua y gases importante para disolver los nutrientes que necesitan las plantas y microorganismos (Topp *et al.*, 1997).

La compactación del suelo corresponde a la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él, la compactación modifica la estructura del suelo reduciendo su porosidad. Estas fuerzas

externas, pueden ser una intensa actividad agrícola, sobre todo las cargas producidas por los neumáticos de tractores e implementos de arrastre pesados, pisoteo de animales, tránsito de personas y pérdida de materia orgánica. Bajo condiciones naturales (sin intervención antrópica) los distintos horizontes del suelo, presentan diferentes grados de compactación, lo cual es el resultado de los procesos de formación y la evolución del suelo. Sin embargo, cuando fuerzas externas al suelo modifican su arreglo estructural provocando una reducción de su porosidad, lo que afecta el crecimiento de las plantas es cuando se puede decir que el suelo se encuentra degradado por compactación (www.abcagro.com).

La compactación destruye los poros más grandes y los llena parcialmente con partículas sólidas, esto va a producir una baja capacidad de aireación y oxigenación del suelo, lo que va a producir una disminución de la actividad de las raíces y, consecuentemente, un menor crecimiento de éstas, un menor volumen de suelo explorado, una menor absorción de agua y nutrientes. Este efecto se agrava cuando se riega en forma excesiva, llegando a producirse la muerte de las raíces por asfixia. Esto debido a que los escasos macro poros que pueden airear el suelo van a permanecer llenos de agua gran parte del tiempo (www.abcagro.com).

Dentro de la compactación existe una relación con la materia orgánica debido a que esta conduce a la formación de agregados estables relativamente grandes. Estos efectos son beneficiosos sobre la agregación del suelo ya que son el resultado de la actividad conjunta con los microorganismos, de la fauna y la vegetación. Por ello la vegetación es un factor importante en la génesis de la estructura del suelo, por que produce residuos que son fuente de energía para la actividad microbiana en la formación de compuestos de humus en el suelo, seguido que el sistema de raíces no solo contribuye a la cantidad de residuos producidos, sino que también influye en la formación de agregados estables y por último la cubierta vegetal protege la estabilidad de los agregados de la superficie contra la acción destructora de las gotas de lluvia (Baver. *et al.* 1980).

La formación de costras físicas es otro tipo de degradación física, las costras compactan la superficie formando una coraza que impide el intercambio gaseoso e hídrico; además, impiden que las semillas se alberguen dentro del suelo, por lo que algunas mueren por desecación o son arrastradas por la erosión o bien quedan expuestas y son depredadas por diversos organismos. Aunque se admite que hay diferentes mecanismos de formación de las costras físicas, el más común inicia con la ruptura de los agregados por el impacto de las gotas de lluvia un suelo seco, una vez dispersas las partículas finas del suelo unas penetran por los macroporos obstruyéndolos, otras se distribuyen sobre la superficie, acomodándose en delgadas capas dando lugar a sí a la formación de las costras físicas (Baver. *et al.* 1980). Las costras modifican procesos muy importantes en la estabilidad del ecosistema como son la distribución del agua, la velocidad de flujo y la tasa de erosión (Chamizo. *et al.*, 2010).

En los ecosistemas áridos y semiáridos, donde la cobertura vegetal es escasa, aparecen numerosos claros desprovistos de vegetación En estos sistemas, el suelo de las zonas desprovistas de vegetación se encuentra a menudo cubierto por costras tanto físicas como biológicas, las cuales son un consorcio de hongos, algas, cianobacterias, musgos, líquenes y otros organismos. Las costras biológicas del suelo tienen un papel fundamental en el control de los procesos hidrológicos y de la erosión (Belnap *et al.*, 2001)

Los efectos de las costras sobre los procesos de erosión e infiltración están fuertemente influenciados por: i) las condiciones locales (Warren, 2003), las características tanto físicas (textura, estructura, densidad aparente, estabilidad de los agregados, etc.) como químicas (carbono orgánico total, porcentaje de sodio intercambiable), de los primeros centímetros de suelo; ii) la proporción de suelo ocupada por las costras, composición de la costra, biomasa de cianobacterias (Lázaro *et al.*, 2008); iii) la hidrofobia (Kidron *et al.*, 1999) de las costras y iv) la rugosidad superficial (Belnap, 2006).

El papel que juegan las costras en el funcionamiento de los ecosistemas áridos y semiáridos no está bien entendido pero existen evidencias que sugieren influencia en la

fertilidad y estabilidad del suelo así como composición y abundancia de las especies que habitan en estos ambientes, producto de las interacciones que establecen con plantas vasculares y animales. Las costras microbióticas crecen preferentemente en los suelos desnudos, por lo que pueden contribuir a estabilizar el suelo y disminuir el riesgo de erosión (Rivera *et al.* 2004).

Una forma más en la que se puede manifestar la degradación física del suelo, es el sellado o sellamiento del suelo. Este proceso se da por el cubrimiento de la superficie con sedimentos, lodos, sustancias impermeables tales como el asfalto, concreto o edificaciones. También puede ocurrir por la desintegración física de los agregados del suelo y su compactación causados por el impacto del agua, especialmente la gota de agua, y en segundo término, la dispersión química y movimiento de las partículas de arcilla dentro del suelo, las cuales tapan los poros conductores (Gupta y Allmaras, 1989). Cuando se desintegran los agregados, se forma una capa fina y compacta que sella la superficie del suelo afectando la penetración de agua (Gurovich, 1985). La compactación y sellamiento superficial afecta negativamente mayoría de los procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo (www.teaching-soil.eu), además de impide la recarga de mantos acuíferos.

Los procesos anteriormente descritos afectan el funcionamiento físico del suelo a través de las modificaciones del espacio poroso, la porosidad del suelo se define como la relación entre el volumen de espacios vacíos, denominados poros, con respecto al volumen total del suelo y se expresa en porcentaje. La forma y el tamaño de los poros en un suelo dependen de la textura y, por tanto, del tamaño de las partículas, pero también de la estructura, es decir por el tipo de agregados que lo conforman que son condicionados por la presencia de materia orgánica (www.planetasaber.com).

La reducción de la porosidad del suelo repercute en propiedades físicas desfavorables debidas a una menor aireación del suelo, menor capacidad de infiltración de agua y dificultad para la penetración de las raíces. La aparición de horizontes compactados dentro de un perfil puede deberse a procesos genéticos o deposicionales, o bien, puede

ser una compactación creada por el paso de maquinaria, por el laboreo en condiciones de humedad inadecuadas, o por el paso repetido del arado a cierta profundidad, creando un piso de labor (piso de arado) en la base del horizonte A (Flores et al. 2006).

La degradación del suelo es un proceso difícil de evaluar debido a que normalmente ocurre de forma gradual y con una gran lentitud, a veces de forma imperceptible para nosotros, por lo regular cuando se detecta es porque ya es demasiado tarde para revertir el proceso (Muñoz, 2008). Diversos especialistas (IUGS 2001, Diouf y Lambin 2001, Dale y Beyeler, 2001 y FAO 1980) coinciden al señalar que hasta el momento la mejor forma de reconocer y evaluar el fenómeno de la degradación, es realizando un seguimiento de los cambios en propiedades que son afectadas de manera significativa por las fuerzas que degradan al suelo. Esto se puede lograr sólo si se hace un monitoreo de propiedades indicadoras del estatus del suelo.

Los indicadores pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en el suelo (SQI, 1996). Para Dumanski *et al.* (1998) dichos indicadores, no podrían ser un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos, esto con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. Los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones que se ven afectadas por la degradación (Astier *et al.*, 2002). Hünemeyer *et al.* (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas como indicadores, deben ser sensibles a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica, ser accesibles a muchos usuarios y

aplicables a condiciones de campo, ser reproducibles y fáciles de entender (Doran y Parkin, 1994).

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la degradación del suelo, Larson y Pierce (1991), Doran y Parkin (1994) y Seybold *et al.* (1997) plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo. Los indicadores disponibles pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992). La identificación efectiva de indicadores apropiados depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental. La identificación es compleja por la multiplicidad de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad con respecto al tiempo y espacio (Doran *et al.*, 1996).

III. ANTECEDENTES

- Sustaita *et al.* (2000) comparó el efecto del uso agrícola en las propiedades físicas de dos unidades del suelo en una región semiárida, observando grandes diferencias en dichas propiedades. Entre los sitios inalterados y los suelos de uso agrícola las diferencias ocurren debido a la modificación de la estructura del suelo que está influenciada por el cambio de uso.

- De Paz *et al.* (2006), desarrollaron una metodología basada en índices de degradación propuestos por FAO, PNUMA, UNESCO, 1980, utilizando sistemas de información geográfica (SIG), para evaluar la degradación física, química y biológica del suelo en la región árida de Valencia España. Obtuvieron mapas de cada tipo de degradación, encontrando que la degradación física fue la que más extendida.

- En el 2007 Sánchez, presenta los resultados del trabajo de tesis “Evaluación de la calidad de suelos agrícolas en las terrazas fluviales de Zapotitlán, Puebla donde su objetivo fue conocer como el cambio de uso del suelo ha impactado a la calidad de suelos aluviales de Zapotitlán Salinas, región del trópico seco del sur de México. Encontró que el uso agrícola tuvo un impacto considerable sobre la calidad de los suelos estudiados. Las propiedades que mostraron un mayor cambio entre las dos condiciones que se compararon (uso agrícola y con vegetación natural) fueron: textura, estabilidad de los agregados, materia orgánica, carbonatos, nitrógeno, fósforo y capacidad de intercambio catiónico.

- López *et al.*, (2003) realizaron el análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo, en donde realizaron el levantamiento fisiográfico y edafológico, con un muestreo en 60 sitios, para la determinación de los tipos de vegetación, así como la evaluación de los tipos y niveles de degradación de los suelos. En donde el análisis de similitud mostró que existen tipos de vegetación cuya distribución depende de la altitud, el relieve y la pendiente; otros están influenciados en mayor grado por la

precipitación, tipo de suelo y sustrato. Se concluye que la heterogeneidad geomorfológica, geológica y edifica influyen en la formación de unidades ambientales particulares y en el establecimiento de formas biológicas específicas, que disponen en forma de gradiente o formando unidades discretas.

- Muñoz *et al.*, (2009) compararon y analizaron la dinámica de 16 propiedades de dos clases de suelo aluvial (con distintas texturas) a través del tiempo, contrastando suelos con diferentes tipos de coberturas: matorral espinoso, parcelas agrícolas, suelo desnudo y suelo con costras. El trabajo concluye señalando que los suelos de textura fina presentan más problemas de degradación física que en los de textura gruesa, además de que la propiedad que más se correlaciona con la degradación física del suelo es la materia orgánica, ya que cuando está disminuye la degradación se incrementa.
- Zornoza *et al.* (2009) realizan una investigación cuyo principal objetivo fue conocer el efecto, del cambio de uso del suelo de forestal a agrícola, en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en una región montañosa al Este de España. Encontraron que la mayoría de las propiedades excepto el pH mostraron los valores más altos en el suelo del bosque, terrenos agrícolas abandonados presentaron cierta recuperación en algunas de sus propiedades.
- Shahram *et al.* (2010), investigaron la degradación de la calidad del suelo en la sub-cuenca de Honam al sur de Irán, utilizaron el modelo Glasod seleccionando y evaluando unidades fotomórficas definidas por medio de imágenes satelitales, concluyen que la mejor forma de mantener la calidad del suelo en los potreros, es controlando las prácticas de pastoreo, también mencionan que todas las variables utilizadas son valiosas, sin embargo algunas como la infiltración no reflejan cambios importantes a corto plazo.

IV. HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis

La degradación o conservación del suelo depende en gran medida de la relación que tiene con el tipo de cobertura o uso que sostenga, por lo que se espera que diferentes coberturas de un suelo aluvial tengan un efecto distinto en la degradación física del suelo.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Comparar el efecto de diferentes tipos de coberturas y usos de la tierra en la degradación física de dos tipos de suelos aluviales, en una región semiárida, utilizando indicadores propuestos por FAO, PNUMA, UNESCO (1980).

5.2. Objetivos particulares

- Obtener el índice de degradación física de un suelo aluvial de textura fina y otro de textura gruesa en diferentes coberturas y/o usos utilizando la metodología propuesta por FAO, PNUMA, UNESCO (1980).
- Identificar que propiedades del suelo son las más relacionadas con la degradación física en un suelo aluvial de textura fina y otro de textura gruesa
- Reconocer los tipos de degradación física que se presentan en los suelos estudiados y determinar las principales causas.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de Estudio

6.1.1 Localización

El área donde se realizó el presente trabajo se encuentra en el valle de Zapotitlán el cual se localiza al sureste del Estado de Puebla en la porción sur occidental del valle de Tehuacán se ubica en los $18^{\circ} 20' 29''$ de latitud Norte y de los $97^{\circ} 28' 4''$ de longitud Oeste. Comprende una superficie aproximada de 86.76 km^2 , presenta un intervalo altitudinal que va de los 1460 a 2600 msnm. En la parte baja del valle del río Zapotitlán, se encuentran las terrazas fluviales que es donde se llevó a cabo la investigación. Las terrazas están constituidas de sedimentos transportados de diferentes orígenes que han rellenado las partes bajas, formando así suelos profundos que sirven de soporte para el desarrollo de la agricultura de temporal y el establecimiento de comunidades vegetales conocidas como Mezquitales (Toledo *et al.*, 2000).

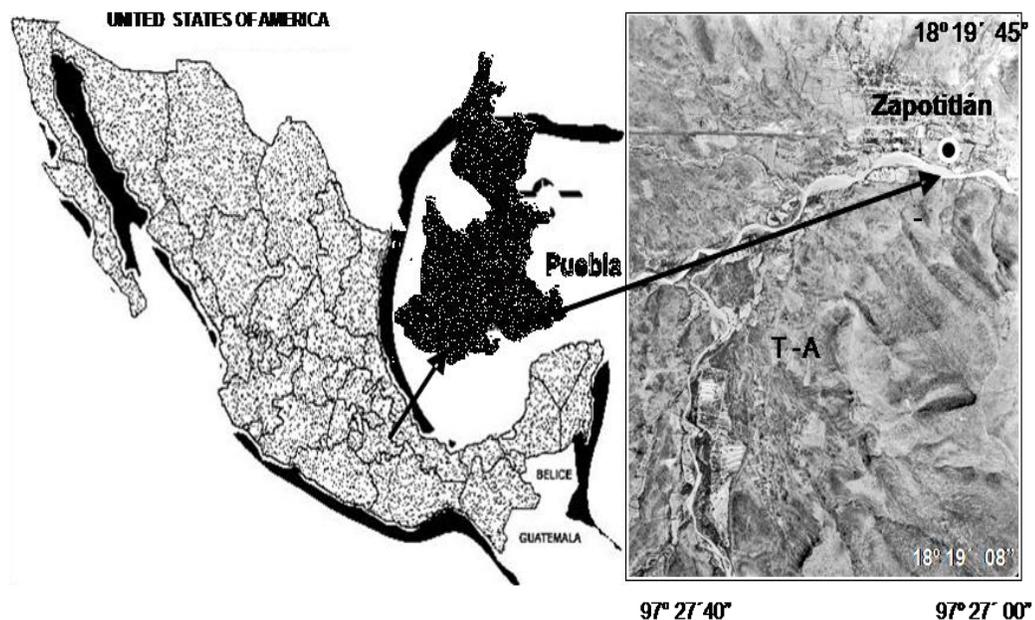


Figura 1. Localización de las terrazas fluviales área donde se realizó el estudio. Cuenca de Zapotitlán, Puebla.

6.1.2 Clima

El clima de la cuenca está determinado en gran parte por la influencia de la sierra Zongolica perteneciente a la Sierra Madre Oriental localizada hacia el Noreste; en esta sierra se detienen los vientos húmedos provenientes del Golfo de México, generando condiciones de aridez en su vertiente occidental que es donde se encuentra la cuenca de Zapotitlán. El tipo de clima según la clasificación de Köppen modificada por García (1988) es un BSoHW''(w)(i')g, que es un clima seco semicálido, con temperatura media anual entre 18 y 25 °C, precipitación anual entre los 370 y 410 mm; con lluvia de verano y oscilación térmica de 5 a 7 °C (Hernández, 2005).

6.1.3 Fisiografía

La cuenca de Zapotitlán pertenece a la zona árida, de la Provincia de la Alta Mixteca y al sistema Ecogeográfico Sierra de Zapotitlán. Posee un relieve irregular con múltiples formas como cerros, laderas, escarpes, lomeríos, barrancas y terrazas aluviales que tienen la ubicación más baja en cuanto a altitud. La topografía es muy variable, existen formas en donde la pendiente es casi llana, tal es el caso de las terrazas fluviales y algunas mesetas.

6.1.4 Geología

La cuenca adquirió la mayor parte de sus rasgos estructurales debido a diversos procesos tectónicos, destacándose la existencia de dos periodos de plegamientos, el primero ocurrió a fines del Paleozoico y el segundo a finales del Cretácico, es quizá el más importante ya que le dio la configuración actual (Hernández, 2005). La historia geológica del valle de Zapotitlán muestra una alternancia de condiciones marinas y terrestres asociadas a intrusiones de magma y periodos de movimientos tectónicos intensos. De manera particular el valle aluvial está formado por una secuencia de sedimentos clásticos no consolidados de gravas, arenas, limos y arcillas de origen aluvial y lacustres, o como producto de depósitos formados por procesos activos de erosión, conformando un conjunto de rocas muy fragmentadas de areniscas, conglomerados, lodolitas del Cuaternario (López *et al.*, 2003).

Las terrazas fluviales se formaron en el Cuaternario bajo condiciones climáticas más húmedas, donde se dieron fenómenos extraordinarios de erosión y depositación, que permitieron que el río transportara grandes cargas de sedimentos que cubrieron entonces dicho valle (Buitrón y Barceló, 1980). Particularmente la litología de las terrazas es variada e incluye elementos clásticos derivado del intemperismo y erosión de calizas, lutitas y areniscas, así como de materiales ígneos basálticos y metamórficos del tipo esquistos micáceos y gneises. Existen varios mantos aluviales de espesor variable con estratificaciones de arcilla, limo, arena muy fina, fina y gruesa; cantos rodados y gravas.

Estos mantos fueron formados por la alternancia de eventos de depositación violenta y lenta generados en ambientes de alta energía, lo cual es típico de los valles intermontaños (Muñoz *et al.*, 2009, Barrera, 2001). Las terrazas aluviales cuentan con dimensiones relativamente pequeñas ya que estas, son consideradas como formas de relieve menores, ya que son de origen exógeno y deben su formación al depósito de sedimentos transportados desde las partes más elevadas de la cuenca, que se acumulan sobre los márgenes de los ríos en la planicie (Muñoz, 2008).

6.1.5 Edafología

Los suelos de las terrazas que se han identificado como Fluvisoles y Regosoles calcáricos son profundos, formados acumulaciones de sedimentos fluviales. El perfil edáfico presentan un horizonte **A** poco desarrollado y una secuencia de horizontes **C**, de grosores y texturas variados. En la mayoría de los suelos se presentan clases texturales franco arcillosas y franco arenosas, con contenidos medios de materia orgánica, con pH neutro o ligeramente alcalino; en general se trata de suelos profundos y poco pedregosos, en buena medida dedicados a terrenos de cultivo (López *et al.*, 2003; García 2001, INE-SEMARNAP 1997). Se puede observar una relación entre el tiempo de formación de las terrazas y el tipo de suelo presente ya que las terrazas jóvenes predominan los Fluvisoles, en las antiguas y estables Regosoles (García, 2001; Barrera, 2001).

6.1. 6 Hidrología

La cuenca de Zapotitlán pertenece a la Región Hidrológica (Rh 28) de la cuenca del río Papaloapan, particularmente a la Subcuenca Fluvial del río Salado. El río Zapotitlán se forma hacia el Oeste de la Subcuenca alta de Zapotitlán, viaja a la subcuenca baja en dirección Este, pasando por el poblado de Zapotitlán Salinas y al salir de la subcuenca del río Tehuacán en el Valle del mismo nombre, para formar el río Salado, uno de los principales afluentes del Río Papaloapan. El río Zapotitlán da origen al río salado, ambos de aguas superficiales y los manantiales: Salinas la Barranca, Salinas San Pedro, las Ventas. Las principales características del agua son: alcalinas-salinas, aguas agresivas (con altas cantidades de carbonatos). La cuenca de Zapotitlán Salinas, se divide en dos subcuencas: Santa Ana, San Lucas y San Juan Raya; y doce, en la segunda: Mihuatepec, Cuthac, el Panteón, la Calera, Agua el Temolote, Grande, San Martín, Chuchuca, Coahuino, Metzontla, Salinas y el Castillo (Nerí-Gámez, 2000).

6.1.7 Vegetación

Las comunidades vegetales presentes en el área de estudio han sido descritas por Oliveros, 2000; quien identificó a las siguientes comunidades y asociaciones: Tetecheras de *Neobuxbaumia tetetzo*, Cardonales de *Cephalocereus columna-trajani*, Candelillar de *Euphorbia antisyphilitica*, Selva Baja Perennifolia con espinas lateral (Mezquital) donde predomina *Prosopis Laevigata* y Matorral espinoso con espinas laterales con dominancia de *Parkinsonia Praecox*. Estas últimas son las dominantes en el sistema de terrazas fluviales.

VII. Etapas de trabajo

El trabajo se realizó en cuatro etapas: prospectiva, etapa de campo, laboratorio y etapa de análisis de datos.

7.1 Etapa prospectiva

Comprendió la búsqueda de información del área de estudio y del tema de la degradación del suelo, se localizaron antecedentes, se revisaron distintos tipos de imágenes de la zona. Se realizó una fotointerpretación primero para delimitar el sistema de terraza aluvial. De acuerdo a los antecedentes del área, se escogió una terraza con textura de suelo fina (D) y otra con textura gruesa (A) (Fig.2), en cada una de ellas se determinó el uso del terreno e identificaron las coberturas del terreno, con esta información se seleccionaron distintos sitios de muestreo tratando de tener cuando menos una réplica por cada tipo de uso o cobertura (Cuadro 1).

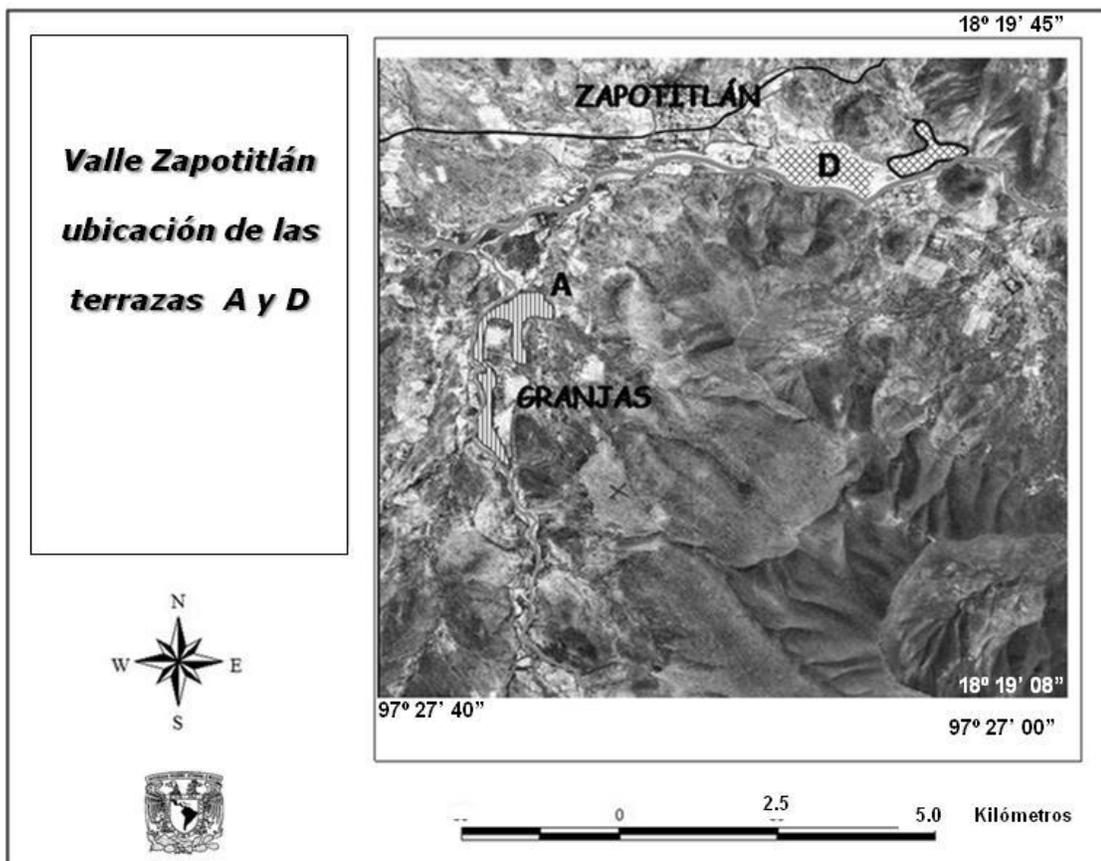


Figura 2. Localización de las dos terrazas fluviales donde se realizó el muestreo

Cuadro 1. Sitios donde se realizó la toma de muestras en cada una de las terrazas.

Terraza D suelo con textura fina				Terraza A suelo con textura gruesa			
Sitio	Clave	Latitud	Longitud	Sitio	Clave	Latitud	Longitud
Mezquital cerrado 1	MC1	18°19'30.75"	97°27'16.20"	Mezquital cerrado	MC	18°18'33.58"	97°29'19.05"
Mezquital cerrado 2	MC2	18°19'21.90"	97°27'29.09"	Parcela con malezas	AM	18°18'55.92"	97°29'03.89"
Mezquital abierto 1	MA1	18°19'33.85"	97°27'24.03"	Suelo con costra	SC	18°17'45.98"	97°29'23.02"
Mezquital abierto 2	MA2	18°19'31.5"	97°27'25.60"				
Suelo con costra	SC	18°19'35.55"	97°27'22.03"				
Suelo desnudo	SD	18°19'29.15"	97°27'24.30"				
Parcela con malezas	AM	18°19'24.70"	97°27'34.10"				
Parcela sin malezas	AS	18°19'24.70"	97°27'32.60"				

7.2 Etapa de campo

En la etapa de campo se localizaron y georreferenciaron los sitios previamente seleccionados de cada una de las terrazas (Cuadro 1) y en cada uno de ellos se tomaron de tres a cinco muestras (réplicas) dependiendo del tamaño del área. Para la recolección de las muestras se hizo un recorrido siguiendo una trayectoria en Zig-Zag, levantándolas a determinada distancia y tomando el mismo volumen, a una profundidad de 0-20 cm. Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno de 2 kg debidamente etiquetadas para su posterior traslado al laboratorio.

7.3 Etapa de laboratorio

En la etapa de laboratorio las muestras fueron secadas al aire libre y pasadas por un tamiz de malla # 10 para su análisis posterior. Se analizaron solo aquellas propiedades que más influyen en el funcionamiento físico del suelo y que se necesitan para calcular el índice de degradación física y el índice de encostramiento (Cuadro 2). El análisis de las muestras se hizo de acuerdo al manual de técnicas analíticas de Muñoz *et al.* (2000).

Cuadro 2. Propiedades del suelo que fueron evaluadas.

Propiedad	Técnica analítica
Color	Por medio de las Tablas de color de Munsell.
Textura	Método de Bouyoucos (1962).
Estabilidad de agregados	Por el método universal Yoder, modificado por USDA (1999).
Densidad aparente	Método volumétrico o de la probeta (Beaver, 1963)
Densidad real	Método del picnómetro (Tomado de Aguilera y Domínguez, 1980).
Porosidad	Calculo de las densidades real y aparente
Materia orgánica	Método de Walkley-Black (1947)
Capacidad de Campo	Por el método gravimétrico
Punto marchitez permanente	Calculado de la capacidad de campo
Humedad disponible	Por la diferencia de la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente.

7.4 Etapa de análisis de datos

A partir de los resultados obtenidos en la etapa de laboratorio, se construyó una base de datos, en donde se aplicaron pruebas de estadística básica (promedios, desviación estándar, error estándar y análisis de varianza) También se aplicó el análisis de Correlación de Pearson para conocer el grado de relación que hay entre el IDF y las propiedades que fueron evaluadas. Por último se calcularán los índices de degradación física y de encostramiento de acuerdo FAO, PNUMA, UNESCO (1980).

$$\text{Índice de degradación física (PDI)} = \frac{\text{CI}}{\%SA + (\text{FC} - \text{WP}) \times 100}$$

Donde: CI es el índice de encostramiento

SA, es el porcentaje de agregados estables

FC es la capacidad de campo

$$\text{FC} = 0.2391 - 0.0019 \times \text{Sn} (\%) + 0.0036 \times \text{Cy} (\%) + 0.0299 \times \text{MO} (\%)$$

$$\text{WP} = 0.0260 + 0.005 \times \text{Cy} (\%) + 0.0158 \times \text{MO} (\%)$$

Agregados estables en agua SA (% de suelo >25 mm) = (peso de agregados secos - arena) x 10 (peso de suelo seco - arena)

$$\text{Índice de encostramiento (CI)} = \frac{1.5 \times \% \text{FS} + 0.75 \times \% \text{CS}}{\% \text{Cy} + \% \text{OM} \times 10}$$

Donde FS es el % de limo fino, CS es el % de limo grueso, Cy es el % de arcilla y MO el % de Materia orgánica

VIII. RESULTADOS

8.1 Resultados del suelo aluvial de textura gruesa Terraza “A”

8.1.1 Comportamiento de las propiedades del suelo en los diferentes sitios de la terraza “A”

Los datos obtenidos de las propiedades evaluadas del suelo de la terraza A se presentan en el Cuadro 3, como se observa en el Cuadro 4 todas las propiedades con excepción del limo muestran diferencias significativas con respecto a los distintos sitios evaluados. Según los resultados del ANOVA y la prueba de Tukey, el matorral cerrado es el que presenta las mayores diferencias en la mayoría de las propiedades del suelo, separándose con claridad de los otros dos sitios. La densidad aparente fue significativamente más baja en el matorral cerrado, quien resultó ser el sitio con más porosidad y mayor volumen de suelo útil para el desarrollo radicular raíces, además fue sitio con mayor estabilidad de agregados (Figura 3), lo que garantiza una mayor retención de humedad y mayor resistencia hacia la erosión. Asimismo la cantidad de materia orgánica que presenta el matorral cerrado es significativamente mayor que la de los otros dos sitios, por otra parte, en lo que tiene que ver con la retención de agua, también es el matorral cerrado es el que tiene las mayores reservas de agua disponible para las plantas (Figura 3). En cuanto a la textura, el sitio de la parcela agrícola con malezas es el que muestra más divergencia, siendo menos arenoso que el MC y el SC.

Cuadro 3. Promedios y error estándar, de las propiedades del suelo (textura gruesa) evaluadas en los diferentes sitios de la terraza “A”

Suelo Textura gruesa Terraza A			
PROPIEDADES	MC	AM	SC
Arenas %	74± 2.66 _B	59.5± 0.881 _A	69.8± 0.541 _B
Limos %	12.3± 2.77 _A	14.5± 1.452 _A	16± 0.25 _A
Arcillas %	13.7± 0.46 _A	26± 2.309 _B	14.2± 0.298 _A
Densidad Aparente kg/m ³	0.91± 0.046 _A	1.20± 0.0145 _B	1.21± 0.0201 _B
Densidad Real kg/m ³	2.84± 0.021 _B	2.66± 0.0233 _A	2.97± 0.0115 _C
Porosidad %	67.93± 1.81 _B	54.80± 0.944 _A	58.81± 0.859 _A
Estabilidad de agregados %	61.50± 0.662 _B	25.8± 0.433 _A	25.5± 0.213 _A
Capacidad de Campo %	37.43± 0.753 _B	26.44± 1.226 _A	23.85± 0.883 _A
Punto de Marchitez %	21.42± 0.439 _C	17.97± 1.274 _B	13.96± 0.448 _A
Agua aprovechable %	16.01± 0.63 _A	8.47± 0.85 _B	9.81± 1.67 _B
Materia Orgánica %	7.6± 0.253 _C	1.5± 0.093 _A	2.7± 0.211 _B

MC=Mezquitil cerrado; AM=Agricultura con Maleza; SC= Suelo con costra. Los subíndices A,B,C, es el indicador del subgrupo al que pertenece de según la prueba de Tukey

Cuadro 4. Resultado análisis de varianza de un factor para el suelo de textura gruesa Terraza A

ANOVA		
Propiedades	F	P
Arenas	21.182	0.001*
Limos	1.526	0.282
Arcillas	36.054	0.000*
Densidad Aparente	32.672	0.000*
Densidad Real	62.869	0.000*
Porosidad	26.555	0.001*
Estabilidad	203.049	0.000*
Capacidad de Campo	50.264	0.000*
Punto de Marchitez	25.564	0.001*
Agua aprovechable	47.380	0.002*
Materia Orgánica	94.098	0.000*

* diferencias significativas ($p < 0.05$)

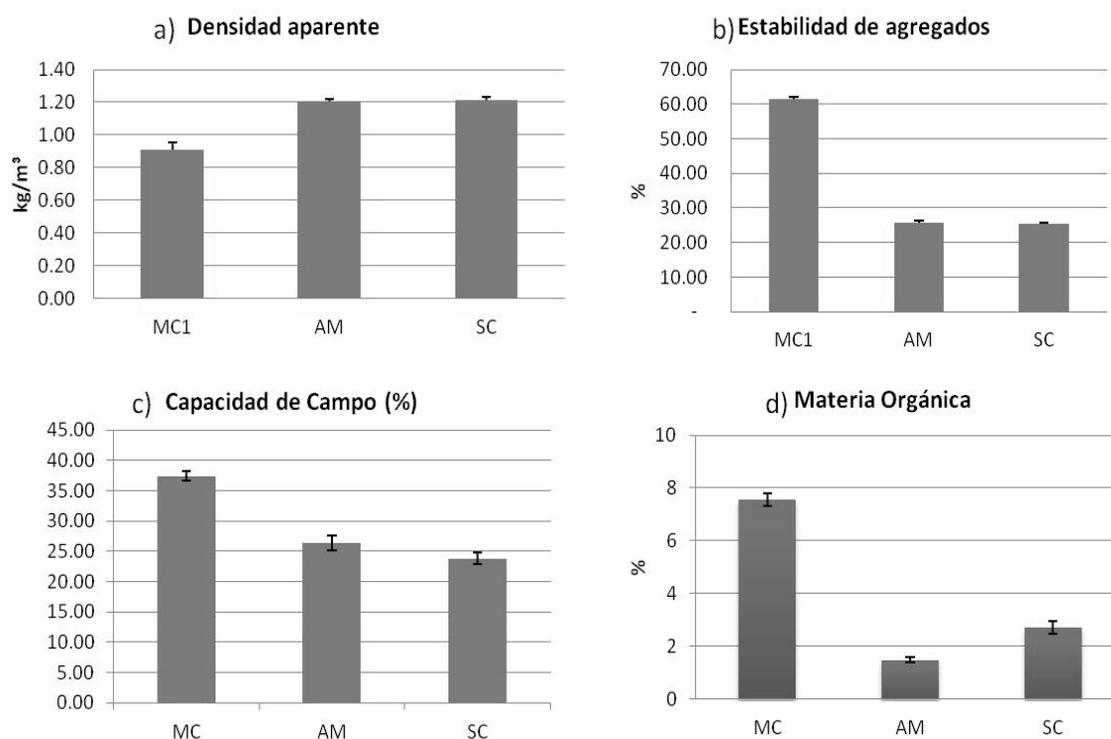
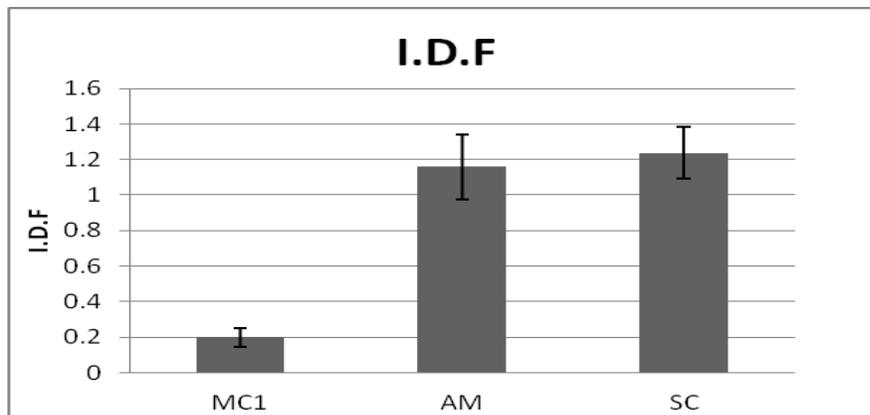


Figura 3. Gráficos que muestran diferencias marcadas en los valores de propiedades importantes para el funcionamiento físico del suelo. (Valores promedio y error estándar)

8.1.2 Índice de degradación física (IDF) para el suelo de la terraza A

Los resultados del índice de degradación física (IDF) (Figura 4), muestran con toda claridad que el matorral cerrado es el sitio con el valor más bajo en degradación física, se puede considerar que prácticamente no hay degradación física del suelo, por lo que se asume que las funciones físicas como almacenamiento, entrada de agua, movimiento de fluidos y espacio para un desarrollo radicular adecuado se dan con toda normalidad. Por otra parte los sitios AM y SC tienen un comportamiento muy similar entre ambos, mostrando una mayor degradación física. El ANOVA aplicado indica que hay diferencias significativas en la degradación física del suelo entre los distintos sitios ($F = 18.027$ y $P = 0.003$). De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 5), se observa que se forman dos grupos en cuanto a la similitud o diferencias de los sitios, está por un lado el MC y por el otro el AM y SC.



MC=Mezquital cerrado; AM=Agricultura con Maleza; SC= Suelo con costra

Figura 4. Gráfico que muestra el comportamiento del índice de degradación

Cuadro 5. Subgrupos según valores del índice de degradación física según la Prueba de Tukey.

		IDF	
		HSD de Tukey ^a	
SITIOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
MC	3	.202994	
AM	3		1.184299
SC	3		1.253037
Sig.		1.000	.935

8.1.3 Índice de correlación

De acuerdo a los resultados obtenidos por el coeficiente de correlación de Pearson y determinación (R^2) para cada propiedad evaluada, se puede afirmar que la degradación física del suelo estudiado está asociada a cambios en las propiedades como densidad aparente, estabilidad de los agregados, materia orgánica, capacidad de campo y porosidad (Fig. 5). Los cambios en estas propiedades por lo regular están determinados por el uso y manejo del suelo, afectando de manera desfavorable algunas de las funciones físicas que el suelo realiza.

Cuadro 6. Valores obtenidos para los coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de las propiedades evaluadas.

Propiedad	Coefficiente de correlación	R^2
Arena	-0.67340648	0.4534
Limo	0.9319283	.08684904
Arcilla	0.467312342	0.2183808
Materia orgánica	-0.9670932	0.9352692
Densidad Aparente	0.9991749	0.9983505
Densidad Real	-0.0203648	0.0004147
Porosidad	-0.9325402	0.8696312
Estabilidad de Agregados	-0.998186934	0.9963772
Capacidad de Campo	-0.9935723	0.987185
Punto de Marchitez	-0.877857803	0.7706343

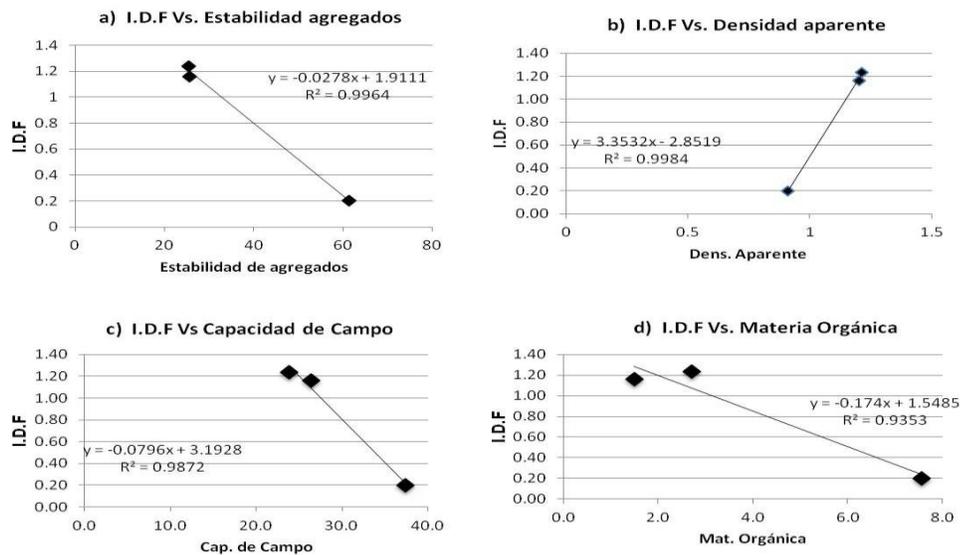


Figura 5. Diagramas de dispersión de propiedades que presentan el mayor grado de correlación con el IDF.

8.1.4 Índice de encostramiento para el suelo de la terraza A

El principal tipo de degradación física que se observa en el área de estudio es la formación de costras físicas y bióticas que sellan la superficie del suelo, como se muestra en la grafica de la Figura 6, los mezquiales cerrados son los que presentan un menor índice de encostramiento (IE) y en consecuencia menor riesgo de que se degraden por encostramiento.

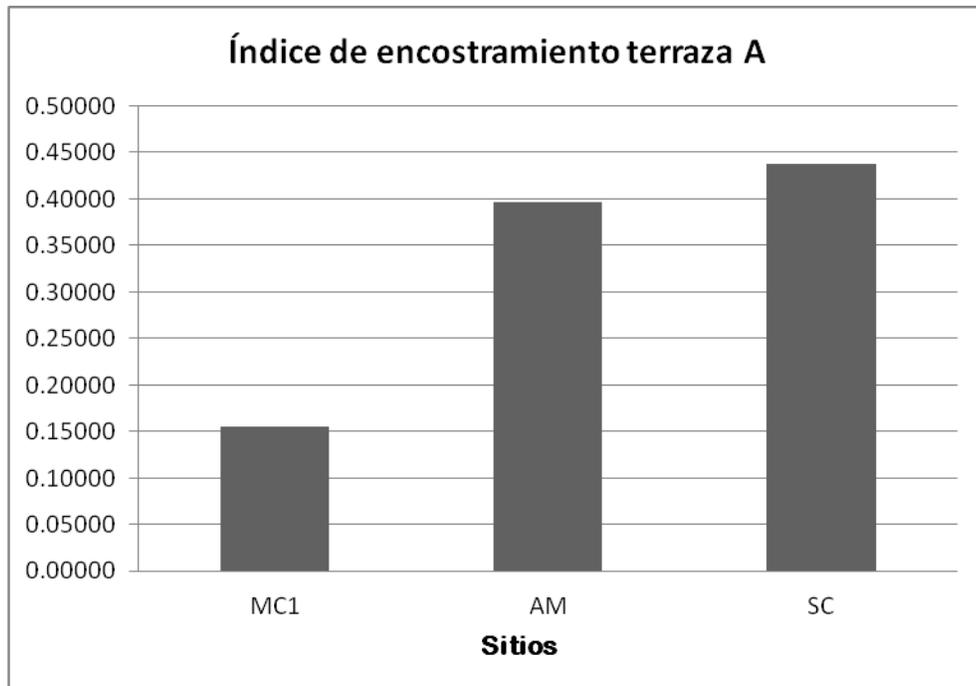


Figura 6. Muestra los valores del Índice de Encostramiento para la terraza A y que el suelo del mezquital cerrado es el menos propenso a la formación de costras.

8.2 Resultados del suelo aluvial de textura fina Terraza “D”

8.2.1 Comportamiento de las propiedades del suelo en los diferentes sitios de la terraza “D”

Los datos obtenidos de las propiedades evaluadas del suelo de la terraza D se presentan en el Cuadro 7. Se observa un comportamiento similar al de la terraza A, donde el mezquital cerrado presenta las mayores diferencias en los valores de la mayoría de las propiedades analizadas, con respecto a los demás sitios. Como se aprecia en el Cuadro 5 todas las propiedades muestran variación significativas con respecto a los distintos sitios evaluados. Según los resultados del ANOVA y la prueba de Tukey, el matorral cerrado es donde están las mayores diferencias separándose con claridad de los demás sitios. La densidad aparente fue significativamente más baja en los matorrales cerrados, en consecuencia también resultaron ser los sitios con mayor porosidad y mayor volumen de suelo útil para el desarrollo radicular raíces, además fueron los sitios con mayor estabilidad de agregados (Fig.7). Además la cantidad de materia orgánica es notablemente mayor (Fig. 7), de igual forma son los MC donde se favorece más la entrada y almacenamiento de agua.

En cuanto a la variación granulométrica, los mezquites cerrados también son los que muestran una mayor divergencia, ya que contienen menos cantidad de partículas finas, siendo las parcelas agrícolas y los sitios sin vegetación los que presentan la mayor cantidad de partículas finas. Los suelos desnudos fueron los que tienen la peor condición o calidad, ya que son más compactos, menos porosos, muy pobres en materia orgánica, menos estables y con menor capacidad de retención de agua (Fig. 7).

Cuadro 7. Promedios y error estándar, de las propiedades del suelo (textura fina) evaluadas en los diferentes sitios de la terraza “D”

TERRAZA “D”TEXTURA FINA								
PROPIEDAD ES	Mc 1	Mc2	Ma1	Ma2	Sc	Sd	Am	As
Arenas %	57.2± 2 _E	41.2. ±2 _{C D}	36.6 ± 3.554 _{B,C}	47.2± 5.024 _{D,E}	36.4± 0.938 _{B,C}	38± 0.600 _{B,C}	29.7±1.5 _{A,B}	22 ± 0.533 _A
Limos %	28 ±2.309 _A	28.7±2.081 _A	38.8 ± 2.154 _{B,C}	27.3±1.763 _A	33.2 ± 2.934 _{A, B, C}	37± 1.7435 _{A, B, C}	42.5 ± 0.5 _C	34±0.781 _{A,B,C}
Arcillas %	14.8±1.154 _A	30.1±1.527 _B	24.6±2.080 _B	25.5±1.763 _B	30.4±2 _B	25.3±1.271 _B	27.8±1.914 _B	44±1.683 _C
Densidad aparente kg/m ³	0.85±0.006 _A	0.88±0 _A	1.09±0.022 _B	1.11±0.011 _B	1.19±0.014 _C	1.15±0.003 _{B,C}	1.15±0.018 _{B,C}	1.21±0.008 _C
Densidad Real kg/m ³	2.25±0.034 _{A,B}	2.23±0.029 _A	2.40±0.044 _{A,B}	2.50±0.049 _{A,B}	2.34±0.014 _{A,B}	2.75±0.078 _B	2.63±0.166 _{A,B}	2.29±0.015 _{A,B}
Porosidad %	61.67±1.133 _C	60.5±0.521 _C	54.02±2.902 _{B,C}	53.9±0.779 _{B,C}	47.6±0.579 _{A,B}	42.1±1.133 _A	44.7±3.020 _{A,B}	52.7±0.770 _{A,B}
Estabilidad de agregados %	58.2±1.407 _D	58.6±0.956 _D	31.4±0.586 _C	30.7±0.698 _C	20.8±0.2 _B	15.6±1.125 _A	21±0.218 _B	18.4±1.001 _{A,B}
Capacidad de Campo %	44.39±2.620 _B	54.6±0.624 _C	24.1±0.278 _A	28.6±0.782 _A	32.4±0.346 _A	29.1±0.510 _A	33.8±1.231 _A	41.3±0.838 _B
Punto de Marchitez %	24.79±0.656 _{B,C}	32.3±0.826 _D	18±0.570 _A	17.7±0.957 _A	20.9±0.189 _{A,B}	17.01±0.570 _A	19.42±0.996 _A	27.4±0.923 _C
Materia Orgánica%	9.66±0.228 _D	8.92±0.199 _D	1.91±0.099 _C	1.81±0.134 _{B,C}	1.37±0.089 _{A,B}	0.98±0.090 _A	1.62±0.081 _{B,C}	1.78±0.115 _{B,C}

MC=Mezquital cerrado; MA=Mezquital abierto; SC= Suelo con costra; SD=Suelo desnudo; AM=Agricultura con Maleza; AS=Agricultura sin maleza. Los subíndices a,b,c y d, es el indicador del subgrupo al que pertenece de según la prueba de Tukey

Cuadro 8. Resultado análisis de varianza de un factor para el suelo de textura fina Terraza D.

ANOVA		
Propiedades	F	P
Arenas	24.915	.000*
Limos	7.004	.000*
Arcillas	18.782	.000*
Densidad Aparente	72.626	.000*
Densidad Real	2.976	.022*
Porosidad	11.114	.000*
Estabilidad	335.074	.000*
Capacidad de Campo	64.842	.000*
Punto de Marchitez	40.371	.000*
Agua aprovechable		
Materia Orgánica	506.957	.000*

*diferencias significativas (p<0.05)

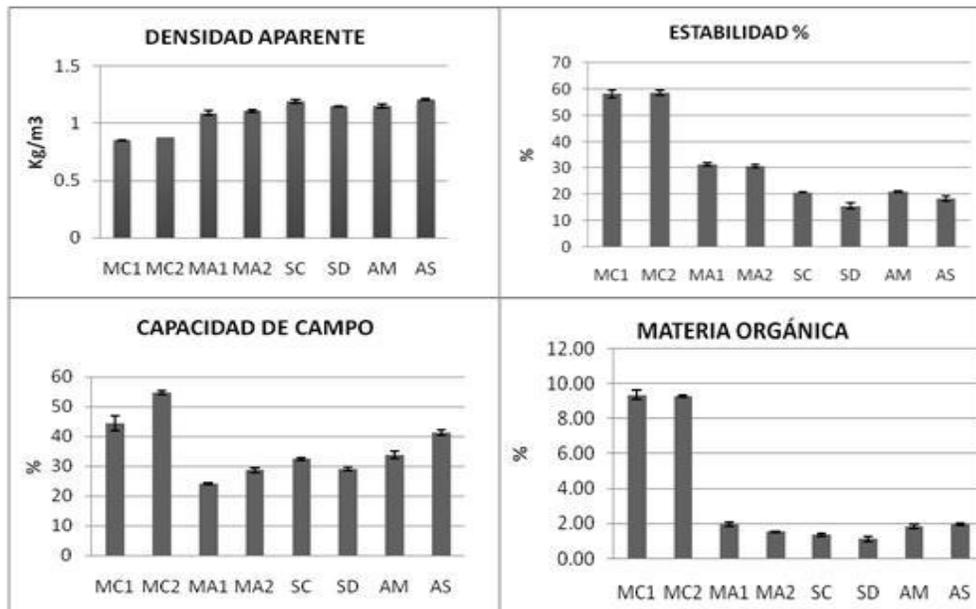
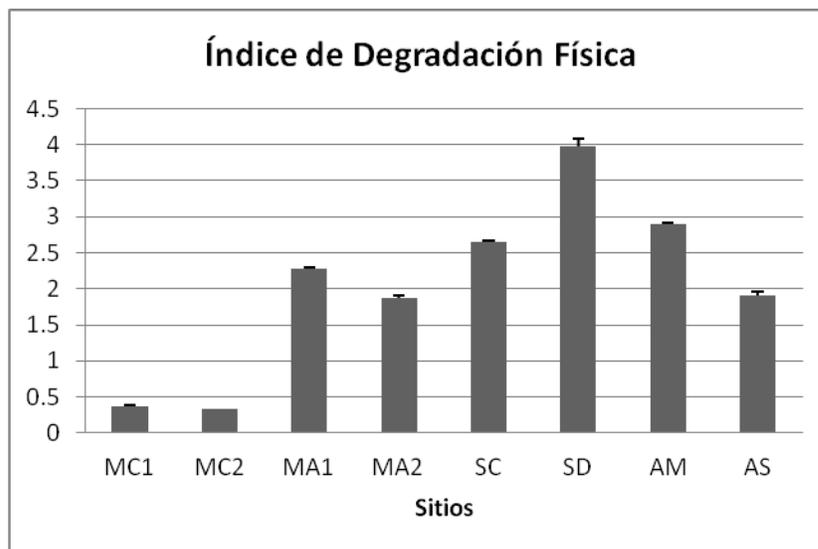


Figura 7. Gráficos que muestran diferencias marcadas en los valores de propiedades importantes para el funcionamiento físico del suelo. (Valores promedio y error estándar)

8.2.2 Índice de degradación física (IDF) suelo de textura fina (terrazza D)

Los resultados del índice de degradación física (IDF)(Fig.8), muestran con toda claridad que el matorral cerrado es el sitio con el valor más bajo en degradación física, por lo que se puede afirmar que en estos sitios el suelo está bien conservado y no hay degradación física del suelo, y se asume que las funciones físicas como almacenamiento, entrada de agua, movimiento de fluidos y espacio para un desarrollo radicular adecuado se dan dentro de los límites normales para estos ecosistema. De manera contraria el suelo desnudo (SD) es donde se observa que el valor de degradación es el más alto. Los demás sitios (MA1, SC, AS y AM muestran valores relativamente similares. El ANOVA aplicado no dice que si existen diferencias significativas entre el IDF y los sitios evaluados ($F = 50.317$ y $P = .000$). De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro 9), se observa que se forman 6 grupos en cuanto a la similitud o las diferencias, en el primero quedan los MC, en el segundo se encuentran los sitios MA2 y AS similares en valores del IDF, después en orden decreciente y en grupos separados se encuentran los sitios MA1, SC y AM, y en el último grupo se encuentra el SD que resulto ser el que tiene un mayor IDF.



MC=Mezquital cerrado; MA=Mezquital abierto; SC= Suelo con costra; SD=Suelo desnudo; AM=Agricultura con Maleza; AS=Agricultura sin maleza.

Figura 8. Gráfico que muestra el comportamiento del índice de degradación

Cuadro 9. Subgrupos según valores del índice de degradación física según la Prueba de Tukey.
IDF

HSD de Tukey^a

Sitio	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
MC2	3	,32469000					
MC1	3	,37446633					
MA2	3		1,81506800				
AS	3		1,87417533				
MA1	3			2,29508267			
SC	3				2,63281100		
AM	3					2,91951267	
SD	3						4,14752633
Sig.		,994	,983	1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

8.2.3 Índice de correlación

Las propiedades más relacionadas con la degradación física de acuerdo al resultado del coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación (R^2), fueron en orden decreciente: porosidad, estabilidad de agregados, materia orgánica y las propiedades que tienen que ver con el almacenamiento de agua (Cuadro 10).

Cuadro 10. Valores obtenidos para los coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de las propiedades evaluadas.

Propiedad	Coefficiente de correlación	R^2
Arena	-0.479967	0.2303686
Limo	-0.739277	0.5465305
Arcilla	0.1336594	0.01786648
Materia orgánica	-0.8558348	0.7324533
Densidad Aparente	0.785923	0.617675
Densidad Real	0.8393162	0.7044517
Porosidad	-0.945485	0.8939418
Estabilidad de Agregados	-0.8807419	0.7757063
Capacidad de Campo	-0.7796551	0.607862
Punto de Marchitez	-0.7702696	0.5933153

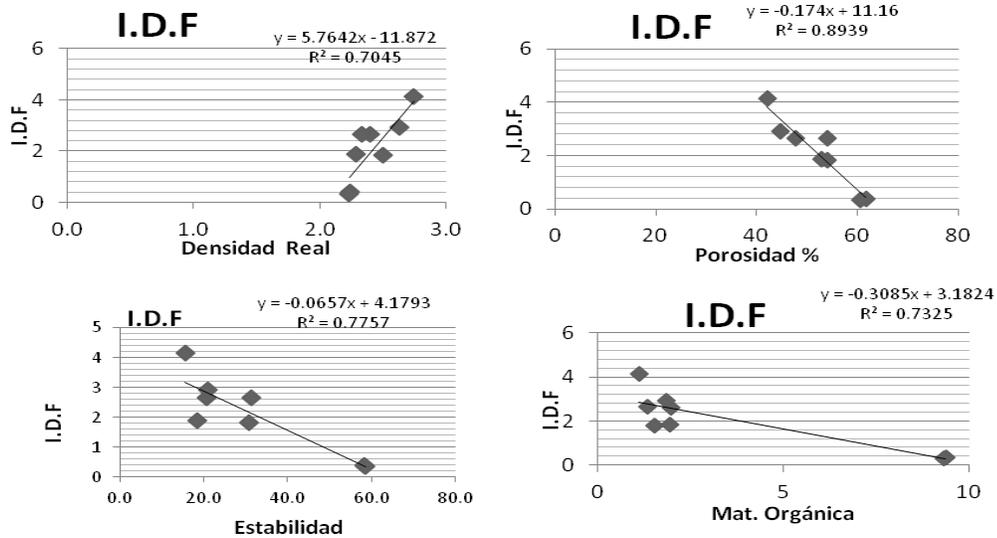


Figura 9. Diagramas de dispersión de las propiedades que presentan el mayor grado de correlación con el IDF.

8.2.4 Índice de encostramiento para el suelo de textura fina (terrazza D)

Del mismo modo que se hizo para la terraza A, se calculó el índice de encostramiento para cada sitio, este índice predice el riesgo que tiene un suelo para desarrollar costras físicas, las cuales son muy comunes de observar en el área de estudio. Como se muestra en la grafica de la Figura 10, los mezquiales cerrados son los que presentan un menor IE y en consecuencia menor riesgo de que se degraden por encostramiento, por el contrario el sitio que obtuvo el valor más elevado es el SD, estos resultados son consistentes con los valores obtenidos del IDF para estos sitios.

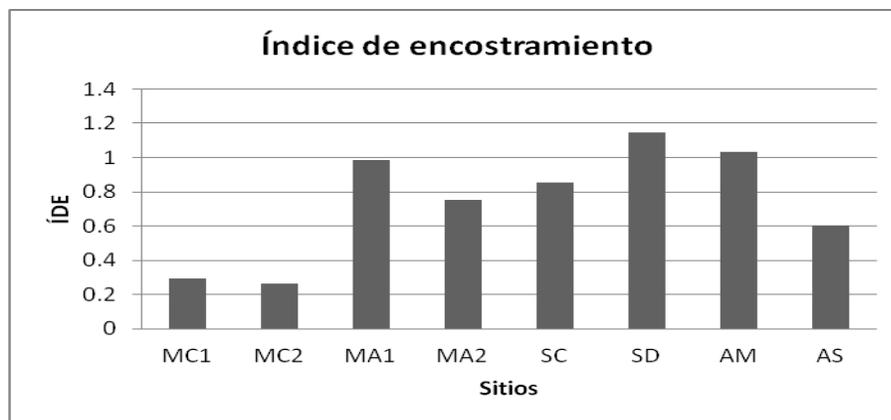


Figura 10. Variación del índice de encostramiento en el suelo de los distintos sitios

XI. DISCUSIÓN

La mayoría de los sitios muestran diferencias significativas en el índice de degradación física, en ambas terrazas; particularmente en el suelo arenoso de la terraza A, el MC es el que en menor degradación presenta, a diferencia de los otros dos sitios los cuales se separan claramente. En la Terraza D ocurre lo mismo, los MC 1 y 2 son notoriamente distintos a los demás, por otra parte la parcela agrícola con malezas (AM) y el suelo desnudo (Sd) fueron los que presentaron una mayor degradación física, los matorrales abiertos, la parcela agrícola sin malezas (AS) y el suelo con costra (Sc) se encuentran en una posición intermedia presentando menor diferencia entre sí (Cuadro 9). De acuerdo a lo anterior los sitios con mezquiales cerrados es donde el suelo está menos afectado por la degradación física en ambas terrazas. De acuerdo al valor del índice en estos sitios las funciones del suelo se efectúan con toda normalidad dentro los límites establecidos por las condiciones naturales del ecosistema local. Wezel et al. (2000), demostraron que el suelo al tener en su superficie abundante hojarasca, residuos orgánicos y pequeños agregados estables, se reduce la erosión y por lo tanto, el desplazamiento de partículas. Además de que la cantidad de agua que puede entrar en un suelo protegido por una cubierta vegetal es mayor que en un suelo desnudo (Muñoz *et al.*, 2007). Por su parte Stocking *et al.*, (2003) menciona que la pérdida de la cubierta vegetal es el primer paso del proceso de deterioro del suelo y si este no se controla a tiempo, provocara que el paisaje en su conjunto se deteriore.

Lo anterior está de acuerdo con los resultados obtenidos en las propiedades que están más relacionadas con la DF de los suelos estudiados son: la porosidad, densidad aparente, estabilidad de los agregados, materia orgánica, nitrógeno y capacidad de campo. La porosidad fue la propiedad que tuvo una mayor correlación en ambas terrazas, sin embargo esta relación es de tipo inverso ya que cuando se incrementa el IDF es porque la porosidad decreció. Estos resultados indican que la degradación física del suelo en los diferentes sitios estudiados, está relacionada con la reducción del volumen del espacio poroso. La porosidad determina el volumen de espacio útil para almacenar agua, gases y para que las raíces puedan crecer y desarrollarse saludablemente, así mismo de la porosidad depende la velocidad de difusión de fluidos

en el suelo. Sin embargo la porosidad es una propiedad secundaria ya que depende de otras como la textura, estructura, contenido de materia orgánica, etc. Nasr y Seles (1995) citados por Duniway *et al.* (2010), mencionan que la porosidad afecta a la emergencia principalmente por cambios en el volumen y continuidad de los poros. Los suelos con pocos poros son suelos muy densos con fuerte empaquetamiento, esto reduce el volumen de agua que el suelo pueda almacenar, además de obstaculizar el desarrollo de las raíces (Schaeztl & Anderson, 2005).

Otra propiedad que también muestra mucha relación con la DF, es la densidad aparente (DA), que representa la relación entre la masa del suelo y el volumen que ocupa dicha masa. La DA es una de las propiedades de las que depende la porosidad, ya que cuando aumenta la DA, el espacio poroso tiende a disminuir, porque el suelo se comprime y se compacta (Porta *et al.*, 1994). La densidad aparente es importante para la calidad del suelo ya que influye en procesos importantes como la infiltración, capacidad de almacenamiento de agua, capacidad de aireación y generación de espacio adecuado para el desarrollo de las raíces y la sobrevivencia de los organismos del suelo. Los valores de densidad aparente altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua (Rojas, 2009). Como se observa en los Cuadros 3 y 7, los valores más bajos y favorables de la DA están en los mezquiales cerrados, los cuales coincidentemente, son los sitios que tienen más porosidad y mayores contenidos de materia orgánica.

La estabilidad de los agregados igualmente muestra una estrecha relación con la DF, ya que a medida de que el suelo presenta un porcentaje alto de agregados estables al agua, el IDF es menor. En los Cuadros 3 y 7, se aprecia que los mezquiales cerrados de ambas terrazas son los sitios con mayor porcentaje de agregados estables, también se observa que a medida que disminuye la materia orgánica, disminuye también los agregados estables. Un agregado consiste de diversas partículas del suelo ligadas entre sí, son producto de la comunidad microbial del suelo, de los componentes orgánicos y minerales, de la naturaleza de la comunidad de plantas en la superficie y de

la historia del ecosistema (USDA, 1999). Son importantes con relación al movimiento y almacenaje de agua del suelo, a la erosión, desarrollo radicular y actividad de la comunidad microbial (Tate, 1995). Los agregados protegen la materia orgánica dentro de su estructura contra el ataque microbial. La formación y la preservación de agregados contribuyen a la preservación de la materia orgánica en el suelo. La destrucción de agregados es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial, los cuales impiden la infiltración del agua e incrementan la erosión (USDA, 1999). La estabilidad de agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas (Hillel, 1982).

La materia orgánica también es una propiedad determinante y clave en la degradación física del suelo, ya que de ella dependen otras propiedades y procesos importantes para un funcionamiento adecuado del suelo. En las gráficas de las Figuras 4 y 8 se nota como los sitios con menor contenido de materia orgánica como: SD, SC, AS y AM son los que presentan mayor degradación física. Riginos and Herrick (2010), mencionan que cuando hay grandes áreas con suelo desnudo, hay pocas raíces y la hojarasca es escasa, esto porque no hay nueva materia orgánica que se introduzca al suelo, también indican que cuando se generan espacios grandes entre las plantas colonias de líquenes y cianobacterias empiezan a invadir la superficie del suelo, estos organismos permite mantener el suelo unido y estable, reduciendo el riesgo de erosión. Como ya se mencionó la materia orgánica contribuye a formación de agregados estables, aumenta la porosidad, la capacidad de retención de agua, además de que aporta nutrientes. En la tablas 3 y 7 se nota que hay una relación directa entre el contenido de nutrientes en especial de nitrógeno y la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

Por último en lo que respecta a la relación suelo agua, el suelo de los mezquiales cerrados, son los que tuvieron la mayor capacidad de retención de agua en las dos terrazas estudiadas, es decir fueron los sitios que cuentan con más reserva de humedad, en cambio en los sitios con mayor degradación física hay menos agua almacenada. Como se observa en las Figuras 3 y 7, la capacidad de campo siempre es mayor en los MC, la capacidad de campo depende del comportamiento de otras propiedades como: la densidad aparente, porosidad, porcentaje de agregación,

contenido de materia orgánica y sobre todo de la textura. La capacidad de campo es el contenido de agua que se retiene en un suelo después de ser saturado con agua (Lambers *et al*,1998), por lo regular el drenaje es más rápido en los suelos arenosos en comparación con los suelos arcillosos esto es porque los poros en los suelos arenosos son más grandes y permiten el drenaje más rápido al contrario de los suelos arcillosos, sin embargo el tipo de estructura que presente el suelo puede modificar este comportamiento (Zotarelli *et al*,. 2013).

La degradación del suelo afecta sustancialmente la capacidad de la tierra para continuar produciendo de manera indefinida, permitiéndola sostener con normalidad sin que empiece a sufrir algún tipo de estrés. La degradación del suelo es el resultado de varios factores como: mal manejo, utilización de tecnología inadecuada, sobrepoblación, malas decisiones de las políticas económicas y sociales. (Shahram y Omidvari *et al.*, 2010). El cultivo intenso puede causar cambios adversos en las propiedades físicas reduciendo la calidad del suelo (Lal *et al.*, 1999).

Por último el principal tipo de degradación física que se observó en el área de estudio es la formación de costras físicas y bióticas que sellan la superficie del suelo, las cuales impiden un buen funcionamiento físico del suelo ya que afectan el intercambio constante de gases y agua entre el suelo y la atmósfera, además de reducen la infiltración impidiendo con esto la entrada de agua al sistema edáfico.

X.CONCLUSIÓN

Se concluye que:

- 1) Si hay relación entre el tipo de cobertura o uso de los terrenos y el nivel de degradación física del suelo independientemente de la textura; los suelos que cuentan con una cubierta vegetal más densa y cerrada, son los que tienen un mejor funcionamiento físico, ya que propician un mayor espacio y volumen útil del suelo, lo que permite un mejor desarrollo de raíces y mayor capacidad para almacenar agua, gases y nutrientes.

- 2) A medida que la cobertura vegetal disminuye y los espacios en el inter-dosel se incrementan hasta llegar a un suelo totalmente desnudo, la degradación física va aumentando gradualmente. Este comportamiento tiene que ver mucho con la variación del contenido de materia orgánica presente en el suelo.

- 3) Se comprobó que al reducirse la materia orgánica el suelo se hace más compacto, duro, menos poroso y con menor capacidad para retener agua y nutrientes. Las propiedades más relacionadas con la degradación física de los suelos estudiados fueron: Porosidad, densidad aparente, estabilidad de los agregados, materia orgánica, nitrógeno y capacidad de campo.

- 4) Se puede considerar que el uso y manejo de los terrenos son factores relevantes para mantener los suelos con buena calidad y con una productividad sustentable.

- 5) La deforestación con la finalidad de extraer leña o para incrementar la superficie agrícola, son las principales causas que han promovido la degradación física de los suelos estudiados, la cual se manifiesta a través de la compactación y el encostramiento superficial que afecta negativamente procesos del suelo, tales como infiltración, resistencia a la penetración, aireación y limitación a la profundidad de exploración de la raíz.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Arshad, M.A. y Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture* 7: 25-31.
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Barrera C.C. 2001. Descripción y Regionalización Fisiográfica del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala, UNAM. Tlalnepantla, Edo. De Mex.
- Belnap, J., Budel, B. & Lange, O.L., 2001. Biological soil crusts: Characteristics and distribution. In: Belnap, J. & Lange, O.L. (Eds.): *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*, Springer-Verlag, Berlin, 3-30.
- Belnap, J., 2006. The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes*, 20 (15): 3159-3178
- Baver, L.A, Walter, H. G y Wilford, R. G, 1980, Física de suelos. Ed. Hispano- Americana. México
- Becerra M.A. 1999. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. P. 30-51
- Buitrón, B. E y Barceló, D.J. 1980. Neridos (Mollusca- Gasterópoda) del cretácico Inferior de San Juan Raya, Zapotitlán Salinas, Estado de Puebla. *Paleontología Mexicana*. Pp. 30-46
- Chamizo. S, Rodriguez. C, Mirales. M, Afana. A, Lazaro. R, Domingo. F, Clavo. C.A, Sole. B.A, Canton. Y, 2010. Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión, *Revista Ecológica de la Montaña*, Almería, España, vol. 165, pp. 69-96.
- Comisión Nacional de Zonas Áridas - Secretaría de Desarrollo Social, 1994. p73.
- Cotler Á. H., Sotelo. E, Domínguez .J, Zorrilla. M., Cortina. S., Quiñones., 2007., La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecologica* 83.
- Dale, V. H. & S. Beyeler. 2001. *Challenges in the development and use of ecological indicators*. *Ecological indicators* I, 3-10.
- De Paz, J.M, Sanchez, J, Visconti, F. 2006. Combined use of GIS and enviromental indicators for assessment chemical, physical and biological soil degradation in Spanish Mediterranean region. *Journal of Enviromental Managenet* 79: 150-162.
- Diouf, A. & E. F. Lambin. (2001) *Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal*. *Journal of Arid Enviroments* 48, 129-148.
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M. y Liebig, M.A. 1996. *Soil Health and Sustainability*. *Advances in Agronomy* Vol. 56. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. 1998. *Indicators of land quality and sustainable land management*. The World Bank, Washington DC, USA.
- FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. FAO. Roma. 86 pp.
- FAO/ISRIC (2000) *Soil and Terrain Database, Land Degradation Status and Soil Vulnerability Assessment for Central and Eastern Europe*. FAO's Land and Water Digital Media Series # 10. FAO, Rome.
- FAO (2003) *Evaluación de la Degradación de la Tierra en Zonas Áridas (LADA)*. Borrador, Roma. 42 pp.
- Flores. D.L., Alcalá. M, J, R. 2006. Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio Física de suelos. Instituto de Geología. UNAM.
- García- Martínez, M. G. 2001. Mapeo y caracterización de las terrazas aluviales del valle de Zapotitlán de las salinas, Puebla. Tesis de Lic. En Biología. FES-Iztacala. UNAM. México. Pp.87.

- Gupta, S.C. and Allmaras, D R.R. 1989. Models to Assess the Susceptibility of soils to Excessive Compaction. *Advances in Soil Science*. 6:65-70.
- Gurovich L. A., 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José, Costa Rica. IICA. P: 148.
- Gutiérrez N. R., 2007. Introducción al estudio del derecho ambiental, Ed. Porrúa. México.
- Hernández A.I. 2005. Evaluación del estado actual de la degradación de tierras de la cuenca de Zapotitlán Salinas Puebla. FES Iztacala. UNAM. Tlalnepantla. Edo. De. México.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. 2nd ed. Academic Press, San diego, CA.
- Hünemeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego, CA.
- INE-SEMARNAP. 1997. Reserva de la Biosfera Tehuacán- Cuicatlán, Puebla, México. Instituto Nacional de Ecología- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca. México
- IUGS. 2001. *Geoindicators: Tools for assessing rapid environmental changes*. (Artículo de Internet) 2001. The U.S. Global Change Research Information Office. Available from: www.gcrio.org/geo/title.html.
- Kidron, G.J., Yaalon, D.H. & Vonshak, A., 1999. Two causes for runoff initiation on microbotic crusts: hydrophobicity and pore clogging. *Soil Science*, 164: 18-27.
- Lal, R., y Stewart., B.A., 1990. Soil degradation. A global threat. *Adv. Soil Sci.*, 11: XIII-XVII.
- Lal. R., D. Mokma, and B. Lowery. 1999. Relation between soil quality and erosion, pp. 237–258, in R. Lal, ed., *Soil quality and soil erosion*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IO.
- Lambers, H., F.S. Chapin III and T.L. Pons. 1998. Plant physiological ecology. Springer-Verlag, Berlin, 540 p.
- Larson, W.E. y Pierce, F.J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world. En *Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai*. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand.
- Lázaro, R., Alexander, R.W. & Puigdefabregas, J., 2000. Cover distribution patterns of lichens, annuals and shrubs in the Tabernas Desert, Almería, España. In: ALEXANDER, R.W. & MILLINGTON, A.C. Eds.: *Vegetation Mapping: From Patch to Planet*, Wiley, Chichester, 19-39.
- López G. F., Muñoz I.D., Hernández M. M., Soler A. A., Castillo L. M. C y Hernández A. I., 2003, Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla., Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Tomo LVI, Núm. 1, P. 19-41.
- Muñoz, I.D. 2008. Monitoreo de las propiedades físicas y químicas de un suelo aluvial de un ambiente semiárido del sur de México, para la búsqueda de indicadores que se relacionen con el estado de conservación y/o degradación del suelo. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras UNAM. México. 77p.
- Muñoz, I.D, López G.F., Hernández M.M., Soler A.A. y López G.J. 2009. Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana*. Vol.27 núm.3.
- Nasr H.M., SELES F., 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. *Soil & Tillage Research* 34, 61-76.
- Neri-Gámez, D.M., 2000, Caracterización hidrológica de la Subcuenca Baja del Río Zapotitlán, Puebla: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, tesis profesional, 85 p.
- Oliveros G.O. 2000. Descripción estructural de las comunidades vegetales en las terrazas fluviales del río el Salado, en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala. Mex.
- Ortiz S, C.A. y Cuanalo de la C, H.E. 1981. Introducción a los levantamientos de suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p: 47-74
- Porta C., J., López-Acevedo R., M. y Roquero De L., C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. p.807

- Rzedowski J.1978. Vegetación de México. Limusa . México
- Rivera, A. V, Manuell, C. I, Godinez, A.H. 2004. Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. Del Herbario Ciencias (75) pp. 24-27
- Riginos, C. and Herrick, J.E. 2010. Monitoring Rangeland Health: A Guide for Pastoralists and Other Land Managers in Eastern Africa, Version II. Nairobi, Kenya: ELMT-USAID/East Africa.
- Sánchez C. R. C.2007. Análisis comparativo de la calidad de suelos agrícolas y suelos protegidos por vegetación natural en una zona semiárida. Tesis Licenciatura (Biólogo)-UNAM, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. México.
- Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).1996. Ordenamiento ecológico. Términos de referencia generales.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, SEMARNAP. 1999, Superficies continental e insular del territorio nacional. Subsecretaria de Recursos Naturales. INEGI. México.
- Semarnat, 2002. Inventario Nacional de Suelos.
- Semarnat y Colegio de Postgraduados 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000, México.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. y Rogers, H.H. 1997. Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle* (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Sharam, O., Davood, N., Mohammad, H.M., Rahman, B., Omid, A., Kourush, O., 2010. Investigation of Soil Degradation Using Glasod Model by Photomorphic Working Units. *Advances in Environmental Biology*. Vol.4(3). Pp:495-500.
- Silva, P.A. 1970. *Plantas del Pensilvánico de la región de Tehuacán, Puebla*. En: García-Martínez, M. G. 2001. Mapeo y caracterización de las terrazas aluviales del valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de Lic. En biología. FES-Iztacala. UNAM. México. Pp.78.
- SQI-Soil Quality Institute. 1996. *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Stocking, M. y N. Murnaghan. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Trad. al español por C. Padilla y J. Abadejo. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Sustaita, R.F., Ordaz, Ch. V., Ortiz, S. C y León, G.F.2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia*. V. 34, núm.4. México D.F. UAM Xochimilco.
- Tate, R.L. 1995. Soil microbiology. John wiley & Sons, New York.
- Toledo, V. M. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo* 81:17-30.
- 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.
- Topp, G.C., Reynolds, W.D., Cook, F.J., Kirby, J.M., Carter, M.R., 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E.G., Carter, M.R. (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Developments in Soil Science, vol. 25. Elsevier, New York, NY, pp. 21– 58.
- UNCCD. *Texto final de la Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África*. 1994. Disponible en: www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-spa.pdf
- UNEP (1995) United Nations Convention to Combat Desertification. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- USDA 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Instituto de Calidad de Suelos. EE.UU
- Valiente B.A., Arizmendi M.C., Rojas M.A., Domínguez C.L., 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bast in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*. 11: 1-17.

- Warren, S.D., 2003. Synopsis: influence of biological soil crusts on arid land hydrology and soil stability. In: BELNAP, J. & LANGE, O.L. (Eds.): *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*, Springer-Verlag, Berlin, 349-360.
- Wezel, A., J.-L. Rajot, and C. Herbrig. 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agroecosystems in semi-arid Niger. *J. Arid Environ.* 44: 383-398.
- Zornoza, R. J. Mataix-Solera, C. Guerrero, V. Arcenegui y J. Mataix-Beneyto 2009. Comparison of Soil Physical, Chemical, and Biochemical Properties Among Native Forest, Maintained and Abandoned Almond Orchards in Mountainous Areas of Eastern Spain. *Arid Land Research and Management*, 23:267–282
- Zotarelli L., Dukes D. M. and Morgan T. K., 2010. Interpretation of Soil Moisture Content to Determine Soil Field Capacity and Avoid Over-Irrigating Sandy Soils Using Soil Moisture Sensors. The Agricultural and Biological Engineering Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- http://www.unesco.org/bpi/pdf/memobpi40_desertification_es.pdf
- http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp
- <http://www.madrimasd.org/tiposdecostras>
- http://www.teaching-soil.eu/files/The_ABC_of_Soil_es.pdf
- <http://www.planetasaber.com/theworld/gats/secciones/cards/default.asp?pk=935&art=59>