



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

**“Evaluación del nivel de degradación química
y biológica del suelo, en dos terrazas
aluviales 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:

FERREIRA RAMÍREZ MARISOL

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. DANIEL JESÚS MUÑOZ INIESTRA





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.

*Siempre hemos pensado que los suelos
existen para cultivarlos y asentarnos en ellos,
pero nunca nos hemos detenido a pensar
si la forma en la que los hemos
utilizado ha sido la mejor.*

DEDICATORIAS:

A mi mamá Martha Ramírez Cano †

A quien agradezco todo el amor, confianza, comprensión y enseñanzas que me brindó; así como todos sus esfuerzos y sacrificios que hizo para hacer de mí una mujer de bien. Gracias por ser una excelente madre siempre estarás en mi mente y en mi corazón.

A mi hijo Alan Roberto

Por ser esa gran chispa que ahora mueve mi vida y por comprender todas esas ausencias cuando salía de práctica de campo, por ser tan maduro; porque a pesar de todo siempre te has mantenido sereno, tranquilo y amoroso. Mi amor, un TE AMO queda corto para decirte todo lo que siento por ti.

A mi hija Karla Vanessa

Mi princesa adorada, eres el nuevo motor de mi vida. Me da miedo que tu carácter sea igual de fuerte que el mío, pero confié en que sabré guiarte para hacerte una excelente persona. Agradezco a la vida el haberte puesto en mi vida, TE AMO.

En especial a Hugo:

*Por todo el apoyo y amor que me has dado; por estar en las buenas y en las malas a mi lado; gracias por esos hijos tan maravillosos que hemos procreado, pero sobre todo gracias por todo este tiempo que me has hecho tan feliz
TE AMO.*

AGRADECIMIENTOS:

*Agradezco especialmente a mi director de tesis **Dr. Daniel Jesús Muñoz Iniestra** por haber confiado en mí y haberme tenido tanta paciencia; por sus enseñanzas y aportaciones tan valiosas para la realización de este trabajo. Gracias por brindarme su amistad.*

*A mis sinodales: Dr. **Héctor** Octavio Godínez Álvarez, M. en C. **Francisco** López Galindo, M. en C. **Mayra** M. Hernández Moreno y M en C. **Ángel** Morán Silva, gracias por todas las aportaciones para la redacción de este trabajo, por todos sus consejos, pero sobre todo a su paciencia para la revisión y corrección de este trabajo.*

*Agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (**PAPIIT, IN211410**), de la **UNAM** por el financiamiento para la realización de este proyecto.*

*A mi hermana **Luz María** por estar a mi lado cuando más la he necesitado, por todos sus sabios consejos, por su amistad y apoyo incondicional. Pero sobre todo gracias por todos esos momentos que hemos pasado juntas y que nos han hecho madurar a lo largo de nuestras vidas, **TE QUIERO MUCHO** Abuz.*

*A mi hermano **José Alberto** gracias por los momentos que hemos compartido a lo largo de estos años, gracias por confiar en mí, recuerda que siempre seré tu amiga y cómplice. Cuida mucho a tus dos retoños y recuerda que en ti esta que esas criaturas sean hombres de bien, **TE QUIERO MUCHO** Guagua.*

*A mi padre **Lamberto Ferreyra Mejía** por motivarme a seguir superándome, gracias por el apoyo que me has dado en estos años.*

*A mi amiga **Ingríd B. Escalante Arriaga**, gracias amiwi por darme tu amistad y por toda la confianza que me has dado espero nunca defraudarte. Siempre recordare todos los momentos que hemos pasado juntas, gracias por tu paciencia, apoyo, cariño, comprensión, por los años que compartimos en la carrera y por los que seguiremos compartiendo juntas, sabes que eres para mí como mi hermana, se te quiere un buen.*

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

*A mis tías: **Rosario, María del Carmen, Elisa** y en especial a **María Elena** Ramírez Cano por su cariño y apoyo en los momentos que mas las he necesitado gracias tías las quiero mucho. A mi tío **José Luis** Ramírez Cano † tío voy a extrañar todas sus anécdotas, gracias por tu apoyo a lo largo de estos años, hoy te quedas por siempre en mi corazón y mi mente.*

A mis primos **Ana Elisa, Jesús** Martín (Chuz) Galindo Ramírez, por todos los momentos divertidos que pasamos durante la infancia, por todas las locuras y ocurrencias. A mis primos **Alejandro** y **Patricia** Ramírez Hurtado aunque “peleje” contigo Aletss siempre podrás contar conmigo, Patito te quiero mucho ya sabes lo que necesites siempre estaré ahí para ti.; también a mi prima **Rocío** López Ramírez y su esposo **Mario** Castro gracias por su apoyo y cariño los quiero mucho compadritos.

A los sobrinos **Rodrigo, Santiago, Arturo, Axel, Leonardo** y **Dante** se les quiere condenadotes aunque sean dinamita pura.

En especial a mi primo **Oscar López Ramírez**, por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de mi vida, por ser un ángel para toda mi familia, en pocas palabras gracias por existir. No tengo palabras para agradecer todo el cariño y apoyo que nos has brindado. Sabes que aunque no convivamos como antes te queremos mucho a ti, a tu esposa **Erika Hinojosa** y sobre todo a tus hijos **Diego** y **Sofía** López. Primo eres mi ángel TE QUIERO MUCHO.

A los profesores: Biol. Luis Antonio Hernández, Biol. Rosario Fernández Barajas, Biol. Carmen, Biol. Guadalupe, Biol. Ángel Lara, Biol. Felipe, Dr. José Luis Gama, Biol. Luis Felipe, M.C. Ana Lilia, Dr. Diodoro, Biol. Lourdes, gracias por sus consejos, amistad y por ser parte importante para continuar con mis estudios a lo largo de la carrera.

A mis compañeros los briologos (Abbid, Manuel, Tomas, etc.) y a todos esos cuates que fueron parte importante durante mi estancia en la facultad. A mis compañeros de la prepa Alex, Raquel, Martha Tovar, Berenice Torres, etc, etc. A la dra. Josefina Pérez Arroyo gracias por su amistad.

A los peritos de Impacto Ambiental de la PGJ del D.F., Carmen, Gustavo y Titla, a los MP, y en general al área de la FEDAFUR, por todo el apoyo y la confianza que me brindaron durante mis prácticas profesionales. Gracias por su amistad, consejos, salidas a inspecciones, comidas, etc.

A mi amigo **Jesús Mendoza** por ser el primero en brindarme su amistad en el GYM, siga así de sencillo, espero que esta amistad dure para toda la vida, se le estima; a mi amiga **Vanía Quintero** (comadre te quiero mil ocho mil) gracias por tu amistad y por todas esas pillerías que hacemos juntas en el GYM y pues a entrenar en modo bestia jajaja; y a mi coach **Arturo Romero** gracias por ser tan paciente conmigo, y por esas rutinas que aunque no las hago como se deben me han ayudado a conseguir parte de mi objetivo y pues tratate de ser una niña buena contigo jajaja se te aprecia R2D2.

A la Kuca †, a pesar de que me corrieron de una clase en la prepa por su culpa, te amé canijilla, le diste luz y alegría a nuestras vidas, eres el mejor perro, que me pudo haber tocado en esta vida te quiere siempre.

Gracias a todas esas personas que han sido parte de mi vida y que han influido en ella para bien o para mal.

CONTENIDO

	<i>Página</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEORICO	3
2.1 Recurso suelo	3
2.2 Degradación del suelo	3
2.2.1 Degradación física	4
2.2.2 Degradación química	4
2.2.3 Degradación biológica	7
2.3 Indicadores de degradación	9
2.4 La degradación de los suelos en México	10
2.5 Fertilidad de suelos	11
2.5.1 Macronutrientes	12
2.5.2 Micronutrientes	13
2.5.3 Pérdida de la fertilidad	13
2.6. Situación actual de las terrazas aluviales de Zapotitlán	14
III. HIPOTESIS	16
IV. OBJETIVOS	16
V. ANTECEDENTES	17
VI. ÁREA DE ESTUDIO	20
VII. MATERIAL Y METODO	23
7.1 Etapa prospectiva	23
7.2 Etapa de campo	24
7.3 Etapa de Laboratorio	25

7.4 Etapa de análisis	26
VIII. RESULTADOS	28
8.1 Resultados del suelo aluvial de textura gruesa	28
Terraza A.	
8.1.1 Comportamiento de las propiedades del suelo en los diferentes sitios terraza A.	28
8.1.2 Índice de degradación biológica (IDB) para el suelo de la terraza A.	30
8.1.3. Analisis de correlacion, coeficiente de correlacion de Pearson y coeficiente de determinacion (R^2) para el Índice de degradación biologica (IDB) de la terraza A.	31
8.1.4 Índice de degradación química por salinidad (IDQ) para el suelo de la terraza A.	32
8.1.5. Analisis de correlacion, coeficiente de correlacion de Pearson y coeficiente de determinacion (R^2) para el Índice de degradación quimica (IDQ) de la terraza A.	33
8.1.6 Índice de fertilidad.	34
8.2 Resultados del suelo aluvial de textura fina	35
Terraza D.	
8.2.1 Comportamiento de las propiedades del suelo en los diferentes sitios de la terraza D.	35
8.2.2 Índice de degradación biológica (IDB) para el suelo de la terraza D.	37
8.2.3 Análisis de correlacion, coeficiente de correlacion de Pearson y coeficiente de determinacion (R^2) para el Índice de degradación biológica (IDB) de la terraza D.	39
8.2.4 Índice de degradación química (IDQ) para el suelo de la terraza D Análisis de correlación del Índice degradación química y las propiedades del suelo.	40
8.2.5 Analisis de correlacion, coeficiente de correlacion de Pearson y coeficiente de determinacion (R^2) para el Índice de degradación quimica (IDQ) de la terraza D.	41
8.2.6 Índice de fertilidad.	42

IX. DISCUSIÓN	43
9.1. Índice de degradación biológica (IDB).	43
9.2 Índice de degradación química (IDQ).	45
9.3 Índice de fertilidad terraza.	46
X. CONCLUSIÓN	49
XI. REFERENCIAS	50

Índice de tablas

	<i>Página</i>
Tabla 1. Principales causas y los efectos que tiene la degradación biológica del suelo.	8
Tabla 2. Tipo de Coberturas de cada terraza donde se realizó la toma de muestras de suelo.	23
Tabla 3. Propiedades del suelo valoradas y técnicas analíticas utilizadas.	25
Tabla 4. Propiedades del suelo utilizadas para la obtención del índice de fertilidad y escala de normalización de valores para cada propiedad.	27
Tabla 5. Escala de valoración del índice de fertilidad.	27
Tabla 6. Promedios y error estándar, de las propiedades evaluadas en el suelo de textura gruesa de la terraza A.	28
Tabla 7. Resultado del ANOVA para el suelo de textura gruesa Terraza A.	29
Tabla 8. Subgrupos según la Prueba de Tukey para valores del índice de degradación biológica.	31
Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de entre el índice de degradación biológica y las propiedades evaluadas, de la terraza A.	31
Tabla 10. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de entre el índice de degradación química por salinidad y las propiedades evaluadas, de la terraza A.	33
Tabla 11. Resultados del índice de fertilidad.	34
Tabla 12. Promedios y error estándar, de las propiedades del suelo (textura fina) evaluadas en los diferentes sitios de la terraza "D".	36
Tabla 13. Resultado del análisis de varianza de un factor para el suelo de textura gruesa Terraza D .	36
Tabla 14. Subgrupos según valores del índice de degradación biológica según la Prueba de Tukey de la terraza D.	38
Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de entre el índice de degradación biológica y las propiedades evaluadas, de la terraza D.	39

Tabla 16. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de entre el índice de degradación química por salinidad y las propiedades evaluadas en los distintos sitios de la terraza D.

41

Tabla 17. Resultados del índice de fertilidad.

42

Índice de figuras

	<i>Página</i>
Figura 1. Ubicación de las terrazas fluviales de se realizó en estudio: Zapotitlán Salinas, Puebla.	20
Figura 2. Toma de muestras en una parcela agrícola sin maleza.	24
Figura 3. Toma de muestras en el mezquital abierto.	24
Figura 4. Barrenación en un mezquital abierto.	24
Figura 5. Potenciómetro, usado para medir el pH .	25
Figura 6. Determinación de calcio y magnesio.	25
Figura 7. Gráficos que muestran la variación del la materia orgánica, pH, intercambio catiónico y sodio en los distintos sitios de la terraza A que tiene suelo con textura gruesa.	29
Figura 8. Valor del índice de degradación biológica en los diferentes sitios de la terraza A .	30
Figura.9 Grafico que muestra el comportamiento del índice de degradación química en los diferentes sitios de la terraza A.	32
Figura 10. Gráficos que muestran la variación del la materia orgánica, pH, intercambio catiónico y sodio en los distintos sitios de la terraza A que tiene suelo con textura fina.	37
Figura 11. Grafico que muestra que los sitios sin cobertura vegetal son los que presentan una mayor degradación biológica.	38
Figura 12. Comportamiento del IDQ por salinidad en distintos sitios de la terraza D.	40

I. INTRODUCCIÓN

El suelo junto con la vegetación han sido los principales elementos naturales receptores del impacto del deterioro causado por las actividades humanas, particularmente la degradación del suelo es uno de los problemas más graves que se tienen en México, ya que prácticamente en cualquier parte del territorio nacional, se tienen problemas de degradación del suelo. Se estima que 30.5 millones de hectáreas de suelo (15% del territorio) presentan signos fuertes de degradación, mientras que 95 millones (49%) tienen algún tipo de problema vinculado con ésta% (Ramírez y Pedroza, 2007).

Los procesos de degradación más importantes en nuestro país son: la erosión hídrica (37%), la erosión eólica (14.9%) y la degradación química (6.8%) (Ramírez y Pedroza, 2007). Lo más preocupante es que año con año, se pierden más y más hectáreas de suelo fértil por efecto de la erosión, la salinidad, la compactación, contaminación, pérdida de carbono y nutrimentos, entre otros.

Las principales causas de la degradación de los suelos en México son: la deforestación, el cambio de uso de suelo, el sobre pastoreo y las prácticas agrícolas ineficientes (Ramírez y Pedroza, 2007). Estas causas tienen un mayor impacto en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, ya que son ecosistemas de alta fragilidad, debido a la escasez de agua, y a las amplias áreas desprovistas de vegetación (Rivera V. A. *et al.*, 2004; www.unesco.org).

La degradación del suelo puede iniciar cuando el hombre cambia o modifica los patrones naturales, alterando con estos los procesos y funciones de los ecosistemas, de este modo la degradación del suelo es sólo una parte del proceso generalizado de deterioro de los ecosistemas, que se manifiesta por el detrimento progresivo de los componentes y de las funciones que desarrolla el suelo, lo que conduce a la declinación de la productividad y al rendimiento no sustentable de los ecosistemas y sistemas agrícolas. Al perder los suelos su cobertura natural se presentan enseguida toda una serie de cambios que repercuten de manera negativa en la fertilidad y la productividad natural del suelo. La pérdida de la cubierta vegetal es el primer paso del proceso de deterioro del suelo; si éste no se controla a tiempo, se provocarán daños irreversibles a los ecosistemas (Muñoz, *et al.*, 2009).

El nivel de degradación del suelo puede ser medido a través de propiedades físicas, químicas y biológicas, sensibles al cambio en los primeros 30 cm de suelo mineral. A estas propiedades se les conoce como Índices de Calidad; algunos ejemplos de estos son: la materia orgánica, el porcentaje de carbono, la compactación, el pH, los cationes, la infiltración, entre otras (Hernández, 2008). Los índices deben ser predictivos, reflejar cambios tempranos en los procesos ecológicos y sugerir futuros cambios o tendencias en el funcionamiento del suelo, lo más importante es que tienen que estar relacionados con alguna función del suelo en el ecosistema; por ejemplo, la productividad de las plantas, la conservación de la biodiversidad, almacenar y proveer recursos para los organismos (Herrick *et al.*, 2002).

Las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, ubicadas en la porción meridional de la región semiárida de Tehuacán, Puebla, no han escapado a la problemática de la degradación del suelo, debido a que contienen a los suelos con mayor aptitud agrícola de todo el valle, motivo por el cual han estado sujetos a fuertes presiones desde tiempos remotos, principalmente por el desarrollo de actividades como la agricultura de temporal, extracción de leña y sal. El impacto de estas actividades queda de manifiesto al observar en las terrazas grandes áreas erosionadas, otras con suelo desnudo donde la vegetación no puede crecer y otras más con suelos encostrados o sepultados por sedimentos.

La vegetación natural de las terrazas es un matorral de mezquite, que en la actualidad se encuentra muy fragmentado por el fuerte deterioro que presentan las terrazas. Hoy en día las terrazas presentan un mosaico de coberturas donde se alternan parches de mezquital cerrado con mezquital abierto, parcelas agrícolas activas y en abandono, áreas sin vegetación las cuales pueden tener costras biológicas o bien suelo sin ningún tipo de cobertura. Por ello, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar los niveles de degradación química y biológica del suelo de dos terrazas fluviales, con diferentes usos de suelo o coberturas vegetales.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Suelo

El suelo es un sistema complejo y dinámico, por una parte actúa como soporte de las actividades humanas y por la otra, es el sitio en el que tienen lugar los procesos biogeoquímicos. Esta dualidad obliga a modificar las concepciones tradicionales del suelo, que incidían principalmente sobre la utilidad del mismo, tendiendo en la actualidad a enfatizar más sobre las funciones que realiza y la interacción entre ellas. De acuerdo a Blum y Santelises (1994) el suelo tiene seis funciones básicas, tres de naturaleza ecológica y otras tres ligadas a las actividades humanas, estas funciones no son necesariamente complementarias:

Funciones ecológicas

- Producción de biomasa (alimento, fibra y energía).
- Reactor que filtra, regula y transforma la materia para proteger de la contaminación el ambiente, las aguas subterráneas y la cadena alimentaria.
- Hábitat biológico y reserva genética de muchas plantas, animales y organismos, que estarían protegidos de la extinción.

Funciones ligadas a las actividades humanas

- Medio físico que sirve de soporte para estructuras industriales y técnicas, así como actividades socioeconómicas tales como vivienda, desarrollo industrial, sistemas de transporte, recreo o ubicación de residuos, entre otros.
- Fuente de materias primas que proporciona agua, arcilla, arena grava, minerales, entre otros.
- Elemento de nuestra herencia cultural, que contiene restos paleontológicos y arqueológicos importantes para conservar la historia de la tierra y de la humanidad.

2.2 Degradación del suelo

La degradación del suelo, es el resultado del deterioro progresivo de las funciones esenciales del suelo, lo cual conduce a la declinación de la productividad y al rendimiento no sustentable de los ecosistemas y sistemas agrícolas (Hernández, 2008). La degradación de los suelos se asocia con los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su

capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados, para mantener o mejorar la calidad del aire y agua, y para preservar la salud humana. La FAO (2000) define la degradación del suelo como: “el proceso que describe el fenómeno causado por el hombre, en el cual disminuye la capacidad presente y/ o futura del suelo para sustentar la vida”. La degradación también puede entenderse como, la disminución de las funciones y utilidad del suelo en sus procesos físicos, químicos y biológicos. El resultado de la degradación del suelo es la reducción de su potencial productivo, como consecuencia del deterioro de su fertilidad o calidad.

Se reconocen dos categorías generales de procesos de degradación provocados por el hombre, la primera es consecuencia del desplazamiento del material del suelo, en esta categoría se incluye el proceso de erosión y los efectos del desplazamiento de los sedimentos producidos por la erosión, los tipos de degradación bajo esta categoría son la erosión hídrica (remoción del suelo por acción del agua), la erosión eólica (por acción del viento) y la sedimentación o azolvamiento. La segunda categoría describe los tipos de degradación como resultado del deterioro interno del suelo, en esta categoría sólo se reconocen tres clases de degradación, la física, química y biológica (Oldeman 1988).

2.2.1 Degradación física.

La forma más común de este tipo de degradación es ocasionada por la disminución drástica del espacio poroso, lo que determina que el suelo ofrezca menos espacio tanto para el desarrollo de raíces, como para el establecimiento de los organismos que viven dentro del suelo. También implica menor espacio para almacenar agua y menor difusión de gases. Esta reducción de la porosidad se puede producir cuando el suelo se compacta, por el paso de vehículos, personas o ganado. Otras formas de degradación física son el encostramiento y/o sellado de la superficie, las cuales impiden el intercambio de fluidos entre el suelo y el ambiente. Un tipo más es el relleno u obstrucción de los poros, lo que afecta la entrada y movilidad de agua, gases y organismos en el suelo. (Topp *et. al.*, 1997, Stocking and Murnaghan, 2003).

2.2.2 Degradación química

Se refiere a la pérdida o distribución irregular de nutrientes, salinización y contaminación. La pérdida de nutrientes se produce por el mal manejo y la sobreexplotación del suelo, por falta de aplicación continua de materia orgánica y la nula restitución de los nutrimentos. La salinización

se origina por el incremento en el contenido de sales solubles del suelo, lo cual puede ocurrir por el uso continuo de aguas de riego de mala calidad aunado a un mal drenaje del suelo. Este tipo es más frecuente en zonas áridas donde la evapotranspiración es muy intensa, lo que favorece el aumento en la concentración de las sales. La contaminación es ocasionada por la acumulación de basura, residuos tóxicos (pesticidas, fertilizantes, metales pesados hidrocarburos), desechos de minas o por la aplicación de aguas contaminadas. Otra forma de degradación química del suelo es ocasionada por la pérdida de nutrientes debido a una lixiviación excesiva o intensa, favorecida por una mala estructuración (Oldeman, 1988 y Stocking and Murnaghan, 2003).

La salinización o alcalinización es el tipo de degradación química más frecuente en las regiones secas, esta se da por el incremento excesivo de sales solubles en el suelo superficial, lo que provoca la disminución del rendimiento de los cultivos entre otras cosas (http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008). Los suelos con problemas de salinidad se localizan en lugares donde la evaporación es mayor que la precipitación, las áreas climáticas más afectadas por las sales son las se encuentran en zonas áridas, semiáridas y estepas (Flores *et al.*, 1996), así como en las cuencas cerradas y en las zonas costeras que tienen suelos naturalmente salinos. Los sistemas de riego que utilizan agua dura con una alta concentración de sodio pueden ocasionar la formación de una capa de salitre en la superficie de los suelos con drenaje (http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008). Además de las extensas áreas de suelo con salinidad primaria en el mundo, se ha incrementado la salinidad secundaria en extensos territorios debido fundamentalmente a los efectos del riego. Esto debido a la acumulación de sales solubles, principalmente de sodio en los horizontes superiores del suelo. Un suelo salino según la USDA (1999) es aquel donde la conductividad del extracto de saturación es superior a 4dS/m a 25°C, con un porcentaje de sodio intercambiable inferior a 15 cmolkg⁻¹ y un pH generalmente inferior a 8.5; por otra parte un suelo salino sódico es aquel que tiene una conductividad eléctrica mayor a 4dS/m a 25°C, con un porcentaje de sodio intercambiable superior a 15 cmolkg⁻¹; en tanto que un suelo sódico es aquel cuya conductividad eléctrica es menor de 4dS/m a 25°C, con un porcentaje de sodio intercambiable superior a 15 cmolkg⁻¹.

El sodio es absorbido por las plantas en cantidades muy diferentes según la especie. Aunque no es un elemento esencial puede tener efectos beneficiosos en plantas tolerantes y puede remplazar al potasio. Las sales solubles pueden tener dos tipos de efectos sobre el crecimiento de las plantas: efectos específicos debidos a que iones concretos que contienen sean

perjudiciales para el cultivo; y un efecto general debido a la elevación de la presión osmótica de la solución alrededor de las raíces del cultivo. Los efectos específicos se dividen en dos clases: los que operan a bajas concentraciones y los que los hacen a altas. De los primeros solo dos sales son normalmente de importancia el carbonato sódico y los boratos solubles. El primero su efecto perjudicial es mal alto cuando el pH es elevado. Es por ello que muchos nutrientes como el fósforo, hierro, zinc y manganeso dejan de estar disponibles para la planta a estos altos valores de pH; por otra parte, la estructura del suelo tiende a hacerse inestable al agua, ocasionando baja permeabilidad, mala aireación y un suelo casi inmanejable (USDA, 1999). Una alta concentración de cloruro de sodio puede ser también dañina debido a su efecto sobre la absorción de nutrientes. El efecto general de un alto contenido de sal es la presencia de plantas enanas y achaparradas. Conforme el contenido de sales se hace mayor el achaparrado se hace más apreciable, las hojas del cultivo se vuelven de color apagado y a menudo verde azulado y se cubren con un depósito céreo. Los efectos del daño por sales son los siguientes (Urbano y Rojo, 1992):

1. Sequía fisiológica, que es un efecto osmótico directo.
2. Mayor resistencia hidráulica de raíces y hojas
3. Alteración del contenido de hormonas, influyendo así en los ritmos de crecimiento
4. Daño directo particularmente a los mecanismos fotosintéticos.
5. Competencia iónica, creciente uso de energía para mantener el equilibrio de K y Na.

Las plantas difieren en su capacidad para soportar los efectos perjudiciales de la salinidad en el campo. Sin embargo, las plantas adaptadas a los suelos salinos tienden a tener una mayor capacidad para extraer agua en la parte más seca de los suelos a los alrededores del punto de marchitez. Sin embargo, la tolerancia a las sales y a la sequía no está necesariamente relacionada. Cuanto mayor sea la salinidad del suelo, menos agua puede extraer un cultivo antes de empezar a sufrir escasez de agua, de modo que los suelos en regadío con un contenido de sales apreciable necesitan riegos más frecuentes que los suelos no salinos. Las pérdidas de rendimiento debidas a la salinidad moderada pueden ser más serias en los suelos de baja que en la de alta fertilidad y de que un moderado nivel de salinidad a veces aumenta la respuesta de un cultivo a los fertilizantes, particularmente al fósforo y quizás al nitrógeno. Sin embargo, la tolerancia de una planta a la salinidad puede ser baja cuando es joven pero alta cuando está establecida. La planta puede sobrevivir con altos contenidos de sales, pero crecerá muy poco, mientras que con moderados contenidos de sales crece solo lentamente y por tanto será de poco valor comercial. La tolerancia a la salinidad está ligada a menudo con la

tolerancia a sodicidad, alto pH y bajo contenido de calcio y a la capacidad de soportar un encharcamiento prolongado durante el riego, que es una consecuencia común de la sodicidad (Urbano et. al., 1992).

2.2.3 Degradación biológica

Este tipo de degradación se produce principalmente en los horizontes superficiales del suelo por el decaimiento de la materia orgánica, lo cual tiene amplias repercusiones en el funcionamiento físico y químico de los suelos. La materia orgánica determina muchos aspectos funcionales entre los más importantes están la retención de agua, el aporte continuo de nutrientes y la resistencia del suelo ante la erosión. Afecta funciones muy importantes del suelo como el almacenaje y reciclaje de nutrientes, la degradación biológica implica un incremento en la velocidad de mineralización de la materia orgánica y se expresa en disminución porcentual/anual (<http://www.miliarium.com>).

La materia orgánica es considerada como un indicador clave de la calidad del suelo, tanto en sus funciones agrícolas como en sus funciones ambientales. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de la actividad biológica ya que la cantidad, diversidad y actividad de la fauna del suelo y de los microorganismos están directamente relacionadas con el contenido de residuos orgánicos. Por otra parte, la materia orgánica y la actividad biológica que ésta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (USDA, 1999). La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica, ésta a su vez, incrementa la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (Proyecto JALDA, 2002).

La reducción del contenido de materia orgánica provoca que el suelo se torne más compacto debido al incremento de la densidad, esto reduce la tasa de infiltración afectando así la capacidad de retención de agua (Dregne, 2002). Cuando es bajo el contenido de materia orgánica, se impide la formación de estructuras estables en la superficie, lo que permite una fácil desintegración de los agregados con la consiguiente dispersión de los coloides y propensión a la erosión o a la formación de sellados y costras si el suelo tiene altos contenidos de limo (<http://www.miliarium.com>). Las causas de la degradación biológica son en principio la

reducción del contenido de carbono en el suelo, lo cual puede ocurrir debido a varios motivos (Tabla 1).

Tabla 1. Principales causas y los efectos que tiene la degradación biológica del suelo (<http://www.miliarium.com>).

Causas	Efectos
Disminución y degradación de la cobertura vegetal natural.	El bosque es sustituido por formaciones secundarias de arbustos y matorral. El suelo desnudo es más vulnerable a la erosión.
Reducción en el contenido de materia orgánica.	Pérdida de fertilidad: física (cambio en la estructura); química (disminuye poder amortiguador e intercambio iónico) y biológico (sustento de organismos).
Disminución de los organismos del suelo	Alteraciones en la evolución de la materia orgánica y del reciclaje de nutrientes
Reducción excesiva de la biomasa y pérdida de biodiversidad natural.	Invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados.
Aceleración de la erosión del suelo causada tanto por el agua como por el viento, por alteración del suelo y vegetación.	Incremento de la erosión hídrica y eólica, como consecuencia de la menor cobertura vegetal
Compactación del suelo, por el uso de maquinaria o labores inadecuadas, o sobrepastoreo.	Disminución de la porosidad, de la capacidad de infiltración y de la capacidad de retención de humedad
Deterioro, incluso pérdida, de la estabilidad estructural del suelo y tendencia a la formación de costras.	Se incrementa los valores de las escorrentías superficiales y su potencial erosivo.
Transferencias de materiales edáficos y nutrientes de las partes altas de las laderas a las bajas.	Eliminación de los horizontes superficiales en las partes elevadas de las laderas.
Acumulación de sedimentos y nutrientes al pie de las laderas, vaguadas, lechos fluviales y embalses.	La acumulación puede convertir en improductivo el suelo cubierto, o puede colmatar embalses.
Aumento de la pedregosidad por transporte de los materiales más fino del suelo.	El suelo puede llegar incluso a quedar cubierto en superficie totalmente de piedras.
Disminución del espesor del perfil edáfico. Incluso puede aflorar en superficie el material parental.	Deja patente en el paisaje un vistoso mosaico de colores, por truncamiento de los horizontes superiores. Pérdida de suelo fértil en las zonas altas. Alteración de la infiltración en el perfil edáfico.
Pérdida de los materiales más finos superficiales. Pérdida de la base de sustentación de las raíces de las plantas.	Presencia de columnas, pedestales y montículos de erosión. En árboles pueden aparecer las raíces al aire.
Incisiones de diversa magnitud en el terreno.	Surcos, cárcavas, y barrancos.
Hundimientos y socavones por remoción y evacuación de material por conductos debajo del suelo	Subfusión o piping.
Topografía abarrancada	Formación de Badlands.
Contaminación del suelo. Salinización y alcalinización del suelo. Acidificación.	Pérdida de fertilidad. Contaminación de aguas superficiales y acuíferos.
Ocupación del suelo por obras e infraestructuras.	Pérdida horizontal de suelo fértil

Incendios forestales provocados	Pérdida de biodiversidad y de suelo fértil. Alteración del equilibrio en el ecosistema edáfico.
Perturbación en la regulación del ciclo hidrológico.	Reduce la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y agrava los efectos de la sequía. Puede haber mayores riesgos por inundación.
Degradación de los recursos hídricos.	Reducción del agua disponible debido a la alteración del ciclo hidrológico y a la sobreexplotación de acuíferos. Desaparición de fuentes, manantiales, humedales y la fauna asociada a ellos.

2.3 Indicadores de degradación

El nivel de degradación del suelo puede ser medido a través de propiedades sensibles al cambio en los primeros 30 cm de suelo mineral, dichas propiedades son conocidas como indicadores de la condición del suelo, como por ejemplo: materia orgánica, porcentaje de carbono, compactación, pH, cationes, infiltración, entre otras (Hernández, 2008). En la medida de lo posible, los indicadores deben ser predictivos: tienen que reflejar cambios tempranos en los procesos ecológicos y deben de advertir de futuros cambios o tendencias en el funcionamiento del suelo, lo principal es que tienen que estar relacionados con alguna función del suelo en el ecosistema; por ejemplo, la productividad de las plantas, la conservación de la biodiversidad, almacenar y proveer recursos para los organismos; así mismo deben de reflejar cambios que se deriven del manejo (Herrick *et. al.*, 2002).

La selección de indicadores de la degradación debe basarse en las funciones que el suelo deja de realizar cuando es degradado y los cambios en las funciones que surjan en respuesta a un estrés natural o introducido, o una práctica de manejo. Karlen *et. al.* (1997) proponen cinco funciones edáficas vitales: (1) Sostener la actividad, diversidad y productividad biológica, (2) Regular el agua y flujo de solutos; (3) Filtrar, amortiguar, drenar, inmovilizar y desintoxicar materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo desechos municipales y de la industria; (4) Almacenar y posibilitar el ciclo de nutrientes y otros elementos dentro de la biósfera de la tierra; (5) Brindar apoyo a estructuras socio-económicas asociadas a la vivienda humana.

La degradación del suelo también puede ser evaluada por sus efectos en la reducción de su calidad, lo cual le impide funcionar correctamente afectando algunos procesos de los ecosistemas (Singh and Khera, 2009). Los indicadores de calidad del suelo no solo ayudan a evaluar el estado o condición del suelo, también pueden ser útiles para definir las políticas de

uso de la tierra. El uso de indicadores en lugar de propiedades para calificar la calidad del suelo es valioso porque los índices aglutinan el efecto de varias propiedades dándole un peso específico a cada propiedad acorde al papel que tiene en el funcionamiento del suelo. Los indicadores de la calidad consideran atributos o propiedades que reflejan aspectos de la productividad o funcionalidad ambiental y son usados para determinar si la calidad del suelo es estable o está declinando, debido a un proceso de degradación (Singh and Khera, 2009).

2.4 La degradación de los suelos en México

En nuestro país se han realizado diversos esfuerzos para evaluar la degradación de los suelos, pero debido a diferencias metodológicas y a la escala utilizada sus resultados no son comparables y a veces poco coincidentes. Entre los trabajos de mayor importancia está el que se hizo en 2003 por la SEMARNAT, denominado *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, con el que se elaboraron varios mapas a escala 1: 250 000.

De acuerdo con un inventario realizado por la SEMARNAT en 2002, el 44.9% de los suelos del país estaban afectados por algún proceso de degradación, los cuales se ubican tanto en zonas de ecosistemas naturales como manejados. La degradación química ocupaba el primer lugar (34.04 millones de hectáreas, 17.8%) del territorio nacional, seguida por la erosión hídrica (22.72 millones de hectáreas, 11.9%), eólica (18.12 millones de hectáreas, 9.5%) y, al final, la degradación física (10.84 millones de hectáreas, 5.7%). Los suelos sin degradación aparente se encontraban en 55.1% del país (105.2 millones de hectáreas). Tanto en la erosión hídrica como en la eólica, la principal causa fue la pérdida de suelo superficial. En el caso de la hídrica, representó 88% de la superficie nacional afectada, y en la eólica, el 95.5%. En la degradación química predominó la disminución de la fertilidad del suelo (92.7% de la superficie nacional con degradación química) y en la física, la compactación (68.2% de la superficie nacional con degradación física).

Según el mismo inventario las causas de la degradación de los suelos en el país involucran actividades de diversa índole: 35% de la superficie nacional degradada se asocia a las actividades agrícolas y pecuarias (17.5% cada una de ellas) y 7.4% a la pérdida de la cubierta vegetal. El resto se divide entre urbanización, sobreexplotación de la vegetación y actividades industriales (SEMARNAT, 2002).

El inventario indica también que la degradación química afecta alrededor de 34.04 millones de hectáreas (17.8% del territorio). Los tipos de degradación química registrados en el estudio fueron la disminución de la fertilidad, polución, salinización/alcalinización y eutrofización. La disminución de la fertilidad fue el subtipo más importante, ya que representa el 92.7% de la superficie afectada por degradación química. Como ejemplo, más de la mitad de los suelos de Yucatán y casi la tercera parte de los de Tlaxcala, Chiapas, Morelos, Tabasco y Veracruz tienen este problema. Los restantes tres tipos específicos de degradación química están menos extendidos, ocupando en conjunto, 7.3% de la superficie con degradación química del país. La salinización o alcalinización se presenta principalmente en las regiones áridas, en las cuencas cerradas y en las zonas costeras que tienen suelos naturalmente salinos. La eutrofización es el exceso de nutrientes en el suelo que perjudica el desarrollo de la vegetación y puede deberse a la aplicación excesiva de fertilizantes químicos. La polución, salinización y eutrofización se encuentran principalmente en Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Guanajuato, Sonora, Sinaloa y Zacatecas (SEMARNAT, 2002).

2.5 Fertilidad de suelos.

La Fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas (www.sagarpa.gob.mx). Las plantas necesitan 16 elementos esenciales para crecer y completar su desarrollo (nutrientes esenciales), tres de ellos (carbono, oxígeno e hidrógeno) son aportados por el aire, los trece restantes son suministrados por el suelo. Estos últimos se clasifican en dos grupos, de acuerdo con las cantidades en que son requeridos por las plantas y son los macro y micronutrientes (Parra, R.M.A., et. al., 2003).

2.5.1 Macronutrientes

Los macronutrientes son aquellos elementos que la planta necesita en más cantidad, entre estos se pueden distinguir dos tipos: (Urbano *et al.*, 1992):

a) Macronutrientes primarios:

En la mayoría de los cultivos, la demanda de estos elementos por las plantas son superiores a la existencia en forma asimilable de dichos elementos en el suelo, por lo que se precisa hacer aportaciones de los mismos, este grupo de elementos comprende al:

- **Nitrógeno:** juega un papel esencial como constituyente de proteínas, ácidos nucleídos, clorofila y hormonas del crecimiento.
- **Fosforo:** los fosfatos son esenciales para la división celular y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos.
- **Potasio:** interviene en la síntesis de proteínas, juega un papel importante en el mecanismo de apertura y cierre de estomas, intervienen en el transporte de los fotoasimilados.

b) Macronutrientes secundarios: Las existencias de estos elementos en el suelo suele cubrir las necesidades de los cultivos, por lo que generalmente, no es preciso hacer aportaciones de estos elementos, en los macronutrientes secundarios se incluye al:

- **Calcio:** es esencial para el crecimiento de los meristemas y especialmente para el adecuado crecimiento y funcionamiento de los ápices radiculares, juega un papel importante en el mantenimiento de la integridad de las membranas protegiéndolas de resquebrajaduras, protege, asimismo, los sistemas radiculares de los desequilibrios iónicos, bajos niveles de pH y toxicidad de algunos elementos como el aluminio
- **Magnesio:** juega un papel importante en numerosas reacciones enzimáticas, tiene importancia en la transferencia de energía, activa algunas enzimas como las carboxilasas y determinadas deshidrogenasas, es un cofactor de la mayor parte de las enzimas de la fosforilación.
- **Azufre:** es esencial para la síntesis de aminoácidos azufrados y, a partir de estos, de proteínas y enzimas, un suministro deficiente de azufre altera muchas reacciones bioquímicas.

2.5.2 Micronutrientes

Se consideran micronutrientes a los elementos esenciales en la nutrición vegetal, cuya concentración en la planta es menor a 0.1% en peso seco (Urbano *et al.*, 1992), entre estos elementos están el:

- ❖ **Hierro:** parte del hierro puede almacenarse en las hojas en forma de una fosfoproteína férrica, fitoferritina, que sirve de reserva para el desarrollo de los plastos y en consecuencia para la fotosíntesis.

- ❖ **Manganeso:** juega un papel en la evolución del oxígeno en la fotosíntesis, también interviene como cofactor de muchas enzimas que actúan sobre materiales fosforilados.
- ❖ **Cobre:** es un constituyente esencial de las enzimas conocidas como oxidasas que utilizan directamente el oxígeno molecular para la oxidación de sustratos, juega un papel importante en la fotosíntesis como constituyente esencial de la plastocianina. Algunos estudios han comprobado que el cobre interviene en la fijación simbiótica del nitrógeno.
- ❖ **Zinc:** está implicado en la síntesis del triptófano que es el precursor clave de las auxinas, la cual es la hormona reguladora del crecimiento de las plantas, estimula diversas actividades enzimáticas.
- ❖ **Boro:** es esencial para el crecimiento normal de las plantas, ya que promueve la división apropiada de las células, la elongación de células, la fuerza de la pared celular, la polinización, floración, producción de las semillas y la traslación de azúcar. El boro es también esencial para el sistema hormonal de las plantas.
- ❖ **Molibdeno:** es un constituyente esencial de dos importantes enzimas que intervienen en la asimilación del nitrógeno: la nitrato reductasa y la nitrogenasa. Es necesario para la fijación biológica del nitrógeno.
- ❖ **Cloro:** ayuda al mantenimiento del gradiente de pH existente entre el citosol y la vacuola. También está implicado en la fotólisis del agua con emisión de oxígeno en el fotosistema II. Participa en fosforilaciones cíclicas y no cíclicas. Favorece el crecimiento de ciertos vegetales como: trigo y remolacha. Presenta gran movilidad dentro de la planta, donde emigra hacia las partes en actividad fisiológica.

2.5.3 Pérdida de la fertilidad.

La pérdida de la fertilidad se manifiesta en la incapacidad del suelo para abastecer de nutrientes a las plantas, lo cual puede ocurrir por la pérdida del suelo debido a la erosión, la incapacidad del suelo para transformar y retener nutrientes o bien, por agotamiento del suelo debido a un uso intensivo y mal manejo (FAO, 1997). Cuando un suelo fértil se pierde, debe transcurrir un largo periodo de tiempo hasta que el suelo se pueda recuperar, por lo regular un suelo poco fértil presenta baja cobertura vegetal o bien se encuentra desnudo, lo que lo hace más erodable. La principal causa de la pérdida de fertilidad del suelo es por la erosión, en todo el mundo se pierden millones de hectáreas de suelo fértil debido a la erosión.

Según Baker y Laflen (1983) la pérdida de nutrientes puede ocurrir de tres maneras:

1. por percolación en el perfil del suelo;
2. por disolución en el agua de escorrentía; y
3. por la pérdida de los nutrientes absorbidos en los coloides que son arrastrados por el agua de escorrentía.

La erosión es un proceso que actúa de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y más activas del suelo (arcilla y materia orgánica), dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas. De esta manera la erosión provoca una disminución de la concentración de nutrientes en el suelo degradado remanente (Stocking, M. y Murnaghan, N., 1984).

La adsorción del suelo es otro factor importante de la determinación de la concentración de nutrientes, debido a que existe un equilibrio entre la concentración de nutrientes en los complejos de intercambio y en la solución del suelo. Para la mayoría de los nutrientes existe una constante K (constante de equilibrio o coeficiente de adsorción), que es la relación entre la concentración del nutriente asociado al suelo o sedimento y la concentración del nutriente disuelto en el agua en contacto con el suelo o sedimento. Cuando el nutriente presenta un aumento de afinidad por el suelo, la K aumenta. Para un nutriente y un suelo determinados, la K generalmente disminuye levemente cuando las concentraciones aumentan. Cuando la variación de la concentración no es grande, se puede asumir K como constante (Vergara-Sánchez, et. al., 2005).

La degradación física también es responsable por la reducción de la fertilidad del suelo, principalmente en el área de desarrollo radicular. Con frecuencia la capa superficial y subsuperficial se caracteriza por presentar barreras al desarrollo radicular, tales como (Stocking, M. y Murnaghan, N., 1984):

1. alta densidad del suelo;
2. presencia de capas impermeables tales como “hardpans” endurecidos por sesquióxidos y capas compactadas;
3. baja capacidad de retención de agua;
4. poca profundidad del suelo útil.

La recuperación total de un suelo que ha perdido su fertilidad no siempre es una tarea técnicamente y/o económicamente viable, lo que existe es una respuesta diferenciada según el tipo de suelo, teniendo en consideración las propiedades físicas y químicas que presenta el

suelo remanente, las inversiones aplicadas en la recuperación de la fertilidad de un suelo pueden ser significativamente diferentes ya que son muchos los factores que hay que tomar en cuenta, lo que sí es un hecho es que entre más empobrecido este un suelo, más alta será la inversión y más tiempo se tomará su recuperación (Stocking, M. y Murnaghan, N., 1984).

2.6. Situación actual de las terrazas aluviales de Zapotitlán.

La degradación del suelo en las zonas áridas y semiáridas es alta, esencialmente por las condiciones muy particulares que presentan. Una región semiárida especialmente importante es la reserva de la biosfera de Tahuacan- Cuicatlan ya que es considerado como un centro de maga diversidad y endemismo a nivel mundial por la International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) (Dávila citado por Hernández, 2005). En esta reserva se encuentra la cuenca de Zapotitlán, que presenta una problemática ambiental bien definida: baja productividad, desertificación, desertización, alteración de los sistemas naturales, desequilibrio en los procesos e interacciones ecológicas; disminución y pérdida de la biodiversidad, perdida de los servicios ecológicos; aunado a altos niveles de pobreza y marginación de múltiples comunidades humanas (SEMARNAP, 1999).

Dentro de los paisajes que encontramos en esta reserva de la biosfera, se encuentran las terrazas aluviales del valle de Zapotitlan Salinas, Puebla, son de origen exógeno y deben su formación al depósito de sedimentos transportados desde las partes más elevadas de la cuenca, que se acumularon sobre las márgenes de los ríos en la planicie (Buitron y Barceló citados por Santiago M. E. R, 2007). Estas terrazas se caracterizan por presentar suelos profundos y suelen tener un alto potencial productivo, ya que su relieve es plano y sin pedregosidad, ricos en nutrientes y materia orgánica, estas características han provocado que las terrazas estén sometidas a una fuerte presión desde hace mucho tiempo, a causa de las diferentes actividades productivas como la agricultura de temporal, la ganadería extensiva y los asentamientos humanos (SEMARNAP, 1999).

Esta situación ha provocado un fuerte deterioro que se manifiesta por la fragmentación de las terrazas debido a una fuerte erosión, actualmente una parte de las terrazas se encuentra totalmente degradada, ya que la ausencia de vegetación en estas áreas y en zonas agrícolas acelera la erosión y degradación de los suelos (López et.al., 2003).

III. HIPÓTESIS.

El suelo por su posición y función, es el receptor primario del impacto de los procesos naturales y antropogénicos, por lo que se espera que diferentes usos de la tierra y tipos de cobertura vegetal, tengan un efecto diferencial en los niveles de degradación química (por salinidad) y biológica del suelo, así como en el nivel de fertilidad. En este sentido esperamos que los sitios con vegetación natural o poco perturbado presenten un índice de degradación menor en comparación con los que tienen algún tipo de uso.

IV. OBJETIVO GENERAL.

4.1 Objetivo general

Evaluar el impacto que tienen diferentes tipos de coberturas y usos de la tierra en la degradación química y biológica de dos tipos de suelo aluvial en la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla, utilizando indicadores propuestos por FAO, PNUMA, UNESCO, 1980.

4.2 Objetivos particulares

- Calcular el índice de degradación biológica en un suelo aluvial de textura fina y otro de textura gruesa, bajo diferentes usos y/o coberturas, en una región semiárida del estado de Puebla.
- Obtener el índice de degradación química (por salinidad) en un suelo aluvial de textura fina y otro de textura gruesa, bajo diferente uso y/o cobertura en la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla.
- Conocer como el nivel de fertilidad de dos suelos aluviales se presentan distintas condiciones de uso o cobertura vegetal.
- Comparar el efecto que tienen diferentes tipos uso y/o coberturas en la degradación química (por salinidad) y biológica en un suelo aluvial de textura fina y otro de textura gruesa de una región semiárida del estado de Puebla.

V. ANTECEDENTES

FAO en 1980, publicó una metodología para la evaluación de la degradación de los suelos, aquí se proponen las propiedades que son más determinantes para cada tipo de degradación y muestran los modelos que pueden utilizarse como índices de la degradación física, química y biológica del suelo.

FAO/ISRIC (2000), presenta los resultados del estado de la degradación de los suelos del Centro y Este de Europa, mostrando el estatus actual que tiene la degradación del suelo en trece países, con atención particular a la contaminación, concluyen que hay que tener mucho cuidado en la fiabilidad de la base de datos que se utilice, ya que si se parte de datos erróneos, se puede llegar a falsas conclusiones que pueden poner en riesgo la salud humana y a la biodiversidad.

FAO (2001) Presenta una guía para evaluar cualitativamente los recursos de la tierra y la degradación de esos recursos.

García (2001) realizó un levantamiento edafológico semidetallado del sistema de terrazas fluviales del río Zapotitlán, encontrando que en las terrazas se presentan dos tipos de suelos Regosoles y Fluvisoles calcáricos. También identificó dos series la primera denominada Zapotitlán constituida por suelos pardos grisáceos, textura franco arcillosa y limosa, muy ricos en carbonatos y la segunda es la serie Granjas, con suelos pardos, arenosos y ricos en óxidos de hierro.

López, *et. al.*, (2003) determinaron en base a la toposecuencia una diversidad de trece unidades ambientales para la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. Además de mostrar la presencia de diez tipos de vegetación entre las que destacan: Palmar, Matorral Rosetófilo, Mezquital, y Selva Baja Caducifolia, cuya distribución depende de la altitud, relieve pendiente grado de precipitación, tipo de suelo y sustrato. De 270 km² evaluados existen 86.52 km² afectados por erosión hídrica y eólica, 17.8 km² por degradación física y 5.1 km² por degradación química.

Castillo, (2004) realizó una evaluación general de la degradación de la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla, donde concluye que la degradación que más afecta a la zona es la degradación biológica, seguida por la erosión hídrica y la degradación física.

Hernández, (2005) evaluó el grado de degradación de tierras de la cuenca de Zapotitlán Salinas, comparando los procesos de degradación a través de un periodo de 33 años.

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 Valencia España, utilizando el modelo GLASOD, hicieron un levantamiento de 850 muestras de perfiles de suelo y dicha información fue digitalizada en un mapa; donde se identifican los sitios más afectados por cada tipo de degradación, concluyen indicando que el 29% de la región de Valencia se ve afectada por la degradación física, el 36% por biológica y solo el 6% presenta degradación química.

Sánchez, (2007) realizó un análisis comparativo entre sitios de las terrazas fluviales de Zapotitlán, comparó la calidad del suelo con uso agrícola y con vegetación natural, encontró que el uso agrícola tuvo un impacto considerable sobre la calidad de los suelos estudiados, también señala que los suelos con uso agrícola están muy afectados por procesos de degradación física, química y biológica.

Hernández-Alva en 2008, muestran los resultados del trabajo Degradación del suelo por actividades pecuarias en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, determinó el grado de degradación de los suelos, provocado por el cambio de uso de suelo de forestal a pecuario en la reserva, aplicando el sistema FCC (Fertility Capability Soil Classification), encontrando que la instalación de los pastizales produjo mejoras en la fertilidad de los suelos más que degradación.

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 diversos sitios donde el suelo está protegido por una cubierta vegetal y otros donde el suelo está desnudo y no permite el establecimiento de plantas, concluyen mencionando que la propiedad más determinante en la degradación de los suelos estudiados es la variación de la materia orgánica.

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) realizan una investigación sobre degradación de suelos de Iran definiendo unidades de muestreo homogéneas denominadas fotomórficas, donde se realizó un intenso muestreo y se analizó el comportamiento de nueve propiedades indicadoras calculando el índice de degradación correspondiente para cada propiedad utilizando el modelo *Glasod*, el cual reconoce dos categorías de procesos de degradación causada por el hombre. La primera categoría trata la degradación del suelo por desplazamiento del material del suelo. La segunda categoría describe los tipos de degradación del suelo como resultado del deterioro interno del suelo. En esta categoría solo se reconocen los efectos in-situ en suelos que han sido abandonados o forzados a usos menos intensivos.

Porta y Poch (2011) muestra una publicación donde analiza los vínculos entre las fuerzas motrices de la degradación del suelo y del territorio, presión, estado, impactos y respuestas (marco DPSIR) para analizar y evaluar problemas de degradación de tierras en el marco de las interacciones entre la sociedad humana y el medio ambiente. Con este enfoque evaluó el uso del suelo, la degradación del suelo y las tierras en varias partes del mundo (España, México y Togo).

VI. ÁREA DE ESTUDIO

6.1 Ubicación del área de estudio

Se seleccionaron dos terrazas fluviales las cuales presentan suelos aluviales con diferentes textura, la terraza denominada “A” presenta un suelo con textura gruesa y la terraza “D” con textura fina (Figura 1). Estas terrazas se ubican dentro de la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla, entre, las coordenadas 18° 19’08” y 18° 19’45” de latitud norte y los 97° 27’00” y 97° 27’40” de longitud, la altitud media es de 1480 m sobre el nivel del mar. 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. El clima que prevalece según la clasificación de Köppen modificada por García (2004) es un BSoHW (w)(i)g, seco semicálido, con temperatura media anual entre 18 y 25 °C, precipitación anual entre los 370 y 410 mm (Hernández-Arzate, 2005).

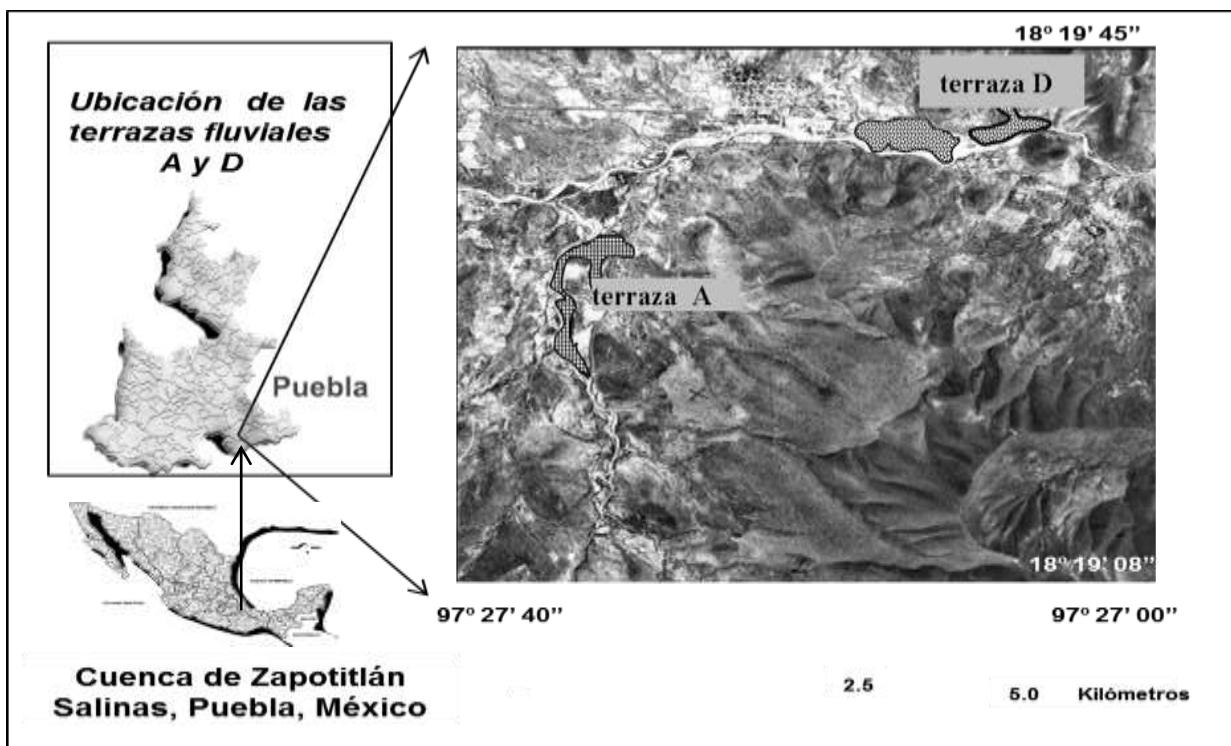


Figura 1. Ubicación de las terrazas fluviales de se realizó en estudio: Zapotitlán Salinas, Puebla.
(Terraza A tiene un suelo con textura gruesa y Terraza D suelo con textura fina).

Las terrazas fluviales se encuentran sobre las márgenes del río Zapotitlán, el cual nace en el NO de la cuenca en las elevaciones del municipio de Santa Ana Teloxtoc, al descender recorre toda la cuenca con dirección E y después de pasar cerca del poblado de Zapotitlán Salinas, sale de la misma para conectarse con el río Tehuacán en el valle del mismo nombre, para formar el río Salado, uno de los principales afluentes del río Papaloapan (Neri, 2000).

Las terrazas fluviales se formaron durante 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 en ese entonces el estrecho valle. Las terrazas presentan varios mantos aluviales de espesor variable, con estratificaciones de arcilla, limo, arena muy 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 intermontanos (Barrera, 2001 y Muñoz, 2009).

Los suelos de las terrazas fluviales se caracterizan por ser jóvenes, profundos de origen transportado y naturaleza calcárea. Las unidades predominantes de acuerdo a García (2001) son Fluvisoles y Regosoles calcaricos, la misma autora determinó la presencia de dos series la primera es la “Serie Zapotitlán” formada de sedimentos provenientes de rocas calizas, conglomerados y lutitas y “ la Serie Granjas” derivada de la sedimentación de materiales con importante presencia de minerales de hierro, silicatos, óxidos de aluminio, talcos, cuarzos asociados con carbonatos que provienen de la erosión de areniscas, esquistos y gneis, del Complejo Basal (García, 2001).

El tipo de vegetación predominante en las terrazas es la selva baja perennifolia con espinas laterales (mezquital) dominada por *Prosopis laevigata* y *Parkinsonia praecox*. Un análisis de correlación de distribución de estos tipos de vegetación con algunas características físicas de los sitios puso de manifiesto asociaciones que se establecen principalmente de acuerdo con diferencias litológicas del suelo y del relieve (López, et. al., 2003).

En las terrazas se han encontrado 135 sp. de 105 géneros y 42 familias de plantas vasculares las familias mejor representadas son Cactácea (19spp.), Asteraceae (15spp) y Poaceae (10 spp) de las 135 especies 42 son endémicas (16 del valle de Tehuacán-Cuicatlan y 26 de México), mientras que el resto son de amplia distribución en México y sur de Estados Unidos o bien de amplia distribución en America tropical (Santiago M., 2007).

Con estos datos se sugiere que la flora de las terrazas es relativamente rica en especies vegetales, pues contienen cerca del 4.5 % de la flora total y 0.5% de las especies endémicas de todo el valle de Tehuacán-Cuicatlán. Las familias con mayor número de especies son Poaceae (34) asteráceas (23) Leguminosae (23) y Cactaceae (21) y en cuanto a las formas de vida se encontró que la mayor parte corresponden a las herbáceas, seguidas de los árboles y los arbustos (Oliveros-Galindo, 2000).

Dadas las características morfológicas y ambientales que tienen estos suelos, presentan buena aptitud para la agricultura, ya que tienen un relieve plano, no hay pedregosidad, normalmente son ricos en nutrientes y materia orgánica, por estas mismas razones han estado sometidos a fuertes presión desde hace mucho tiempo, a causa de las diferentes actividades productivas como la agricultura de temporal, la ganadería extensiva y los asentamientos humanos (SEMARNAP, 1999). Esta situación ha provocado un fuerte deterioro que se manifiesta por la fragmentación de las terrazas debido a una fuerte erosión además en ellas se manifiestan diferentes tipos de degradación del suelo (Muñoz *et al.*, 2009).

VII. MATERIAL Y MÉTODO

7.1 Etapa prospectiva

Para conocer las características del área de estudio se realizó una revisión exhaustiva de información geográfica y ambiental, de igual forma se hizo una revisión bibliográfica de información relacionada con el tema de la degradación del suelo, esto para tener un marco teórico de referencia. Posteriormente se interpretaron fotografías aéreas pancromáticas b/n de escala aproximada 1:20,000, revisando todos los patrones de coberturas que presentaban tanto la terraza “A” (tiene un suelo con textura gruesa), como la “D” (tiene un suelo con textura fina). De este modo se seleccionaron diferentes coberturas y/o usos del suelo en cada una de las terrazas, seleccionaron más sitios en la terraza “D” porque esta es más grande y diversa (Tabla 2).

Tabla 2. Tipo de Coberturas de cada terraza donde se realizó la toma de muestras de suelo.

Terraza	Cobertura o Uso del suelo	Clave	Latitud	Longitud	Altitud msnm
D	Mezquital cerrado 1	MC1	18°19'30.75"	97°27'16.20"	2240
D	Mezquital cerrado 2	MC2	97°27'29.09"	18°19'21.90"	2240
D	Mezquital abierto 1	MA1	18°19'33.85"	97°27'24.03"	2240
D	Mezquital abierto 2	MA2	97°27'25.60"	18°19'31.5"	2240
D	Parcela agrícola sin malezas	AS	97°27'32.60"	18°19'24.70"	2240
D	Parcela agrícola con malezas	AM	97°27'34.10"	18°19'24.70"	2240
D	Suelo con costra (biótica)	SC	18°19'35.55"	97°27'22.03"	2240
D	Suelo desnudo	SD	97°27'24.30"	18°19'29.15"	2240
A	Mezquital cerrado	MC	97°29'19.05"	18°18'33.58"	2240
A	Parcela agrícola sin malezas	AS	97°29'03.89"	18°18' 55.92"	2240
A	Suelo con Costra (biótica)	SC	97°29'23.02"	18°17'45.98"	2240

7.2 Etapa de campo:

En cada sitio seleccionado de cada una de las terrazas (Tabla 2), se tomaron de tres a cinco muestras (réplicas) de suelo superficial (0 - 20 cm) dependiendo del tamaño del área, las muestras se levantaron siguiendo una trayectoria en Zig-Zag tratando de cubrir la totalidad del área. Las muestras se tomaron utilizando una barrena cilíndrica, capturando el mismo volumen en cada sitio (Figuras 2, 3 y 4). Por último, las muestras se depositaron en bolsas de polietileno etiquetadas para ser transportadas al laboratorio donde fueron analizadas.



Figura 2. Toma de muestras en una parcela agrícola sin maleza.



Figura 3. Toma de muestras en el mezquital abierto.



Figura 4. Barrenación en una parcela con malezas.

7.3 Etapa de laboratorio:

En el laboratorio se realizó el análisis de las muestras (Figuras 5 y 6) para evaluar las propiedades del suelo necesarias para obtener el índice de degradación química (por salinidad) y biológica, así como el contenido de macronutrientes. Las técnicas analíticas que se utilizaron son las propuestas en el manual de Muñoz *et al.* (2000) (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades del suelo valoradas y técnicas analíticas utilizadas.

PROPIEDAD	TÉCNICA UTILIZADA
Textura	Método de Bouyoucos 1963.
Materia orgánica. (M.O.)	Método de oxidación con ácido crómico y ácido sulfúrico (Desarrollado por Walkley y Black, 1947)
pH en agua relación 1:2.5	Método del potenciómetro para determinar pH real (Desarrollado por Bates, 1954; Willard, Merrit y Dean, 1958).
Capacidad de intercambio catiónico total (CICT)	Método volumétrico del Versenato (desarrollado por Schollenberger y Simon, 1945).
Calcio y magnesio intercambiables.	Método volumétrico del Versenato (desarrollado por Cheng y Bray, 1951; Cheng y Kurtz, 1960).
Sodio y Potasio intercambiables (Na y K).	Método del espectrofotómetro de Flama (desarrollado por el U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).
Conductividad eléctrica	Método del conductímetro (U.S Salinity Laboratory Staff, 1954).
Fosforo asimilable	Método de Olsen, 1964.
Nitrógeno	Método de Kjeldahl (Modificado por Bremner, 1965)



Figura 5. Potenciómetro, usado para medir el pH .



Figura 6. Determinación de calcio y magnesio

7.4 Etapa de análisis

La información obtenida se integró a una base de datos para posteriormente hacer un análisis estadístico, para cada propiedad evaluada en los diferentes sitios, se obtuvo el promedio, la varianza y el error estándar. Con los promedios se calcularon los índices de degradación química y biológica basándose en las metodologías propuestas por FAO-PNUMA-UNESCO (1980), De la Paz *et al.*, (2006) y Snakin *et al.*, (1996). Para determinar si hay diferencias significativas entre los índices de degradación y el tipo de uso de la tierra o cobertura, se aplicó un análisis de varianza de un factor, una prueba de Tukey con un p de 0.05, para conocer el comportamiento de los diferentes sitios y un análisis de correlación a través del coeficiente de Pearson y el coeficiente de determinación (R^2) para determinar el grado de relación entre el índice y las propiedades evaluadas. Los datos que no cumplían con el supuesto de homogeneidad de varianzas se normalizaron transformándolos por medio del arcoseno de la raíz cuadrada (Zar, 2009).

$$\text{a) Índice de degradación química por salinidad (IDQ)} = \frac{\text{Sales} + \text{Na}}{\text{CIC}}$$

Donde:

Sales se obtiene a través de:

$$\text{Sales (meq/100g)} = 13.5 \times \text{ECc(dS/m)} \times \text{Hs (\%)} / 1000$$

ECc = conductividad eléctrica de la pasta de saturación

$$\text{Obtención de Hs\%} = 28.215 + (6.09 \times \text{M.O}) + (0.243 \times \text{Cy}) - (0.11 \times \text{Sn})$$

Donde

M.O= materia orgánica

Cy= porcentaje de arcilla

Sn= porcentaje de arena

Na, es el porcentaje de sodio intercambiable

CIC es la capacidad de intercambio catiónico

$$\text{b) Índice de degradación biológica (BDI)} = \frac{1}{\text{MO}}$$

Donde:

MO = materia orgánica (%)

c) Índice de fertilidad

Para evaluar el nivel de fertilidad se utilizó el índice de fertilidad química (IF) de Parent (1989), adaptando la escala de ponderación a las características de los suelos de la zona de estudio, este índice se obtiene mediante puntajes derivados de la sumatoria de los promedios de las propiedades químicas más relevantes para la fertilidad del suelo a las cuales también se le agregó la textura y profundidad del suelo, por considerarlos como elementos importantes para la fertilidad. Los valores utilizados para la normalización de los datos (Tabla 4), se establecieron en función de los intervalos de variación de valores reportados para los suelos de la zona de estudio.

Tabla 4. Propiedades del suelo utilizadas para la obtención del índice de fertilidad y escala de normalización de valores para cada propiedad.

Propiedad	Puntajes			
	0.5	1	2	3
	Intervalos de valores			
Profundidad de suelo útil (cm)	0 - 20	21 - 30	30 - 50	> 50
Materia orgánica (%)	< 1.0	1.0 – 2.5	2.6 – 5.0	> 5.0
pH	> 5 ó < 9	5 – 5.5 ó 9 – 8.6	5.6 – 6.4 ó 8.5 - 7.6	6.5 – 7.5
C.I.C.T (cmol/kg)	< 10	10.1 – 20.0	20.1 – 39.0	> 40
Saturación de bases (%)	< 25	26 - 50	51 -75	> 76
Conductividad eléctrica	> 8.1	6.1 – 8.0	4.1 – 6.0	< 4
Nitrógeno total (%)	> 0.05	0.06 - 0.15	0.16 – 0.29	> 0.30
Fósforo asimilable Olsen (ppm)	< 10	11 - 19	20 - 29	> 30
Fósforo asimilable (Brayl)	0 - 5	5 - 10	10 - 15	> 15
Potasio (ppm)	< 0.25	0.25 – 0.35	0.36 – 0.49	> 0.50
(cmol/kg)	< 90	90 - 140	141 - 190	> 190
Textura	A, AF, R, L	RA, RL,FRL	FA, FRA, FL	F, FR

Donde: A= arena, AF= areno francosa, R= arcillosa, L= limosa, RA= arcillo arenosa, RL= arcillo limosa, FRL= franco arcillo limosa, FA= franco arenosa, FRA= franco arcillo arenosa, FL= franco limosa, F= franco y FR= franco arcillosa.

La escala de evaluación utilizada es la que se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Escala de valoración del índice de fertilidad

Calificación	Puntaje
Fertilidad muy baja	5- 10
Fertilidad baja	11 -15
Fertilidad media	16-24
Fertilidad alta	25- 30
Fertilidad muy alta	31-33

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 terraza “A”.

Los datos obtenidos de las propiedades evaluadas del suelo de la **terrazza A** se presentan en la Tabla 6 y Figura 7 donde se puede observar que el mezquital cerrado (**MC**) es el que tiene mayor diferencia ya que obtuvo valores altos en propiedades como: M.O., C.I.C.T, Ca, Nitrógeno, K, Na y P, en tanto que los valores más bajos en el MC se obtuvieron en pH y arcilla; el sitio de agricultura con maleza (**AM**) y el sitio de suelo con costra (**SC**) obtuvieron valores más parecidos entre ellos, en cuatro de las propiedades evaluadas (pH, Mg, K, Na); el valor más alto del sitio agricultura con maleza (**AM**) se obtuvo en la arcilla y los más bajos en M.O., nitrógeno y arena; mientras que el suelo con costra (**SC**) es el sitio con valores más bajos. De acuerdo a los resultados obtenidos en el ANOVA, (Tabla 7), se tiene que con excepción del limo, todas las propiedades evaluadas muestran diferencias significativas.

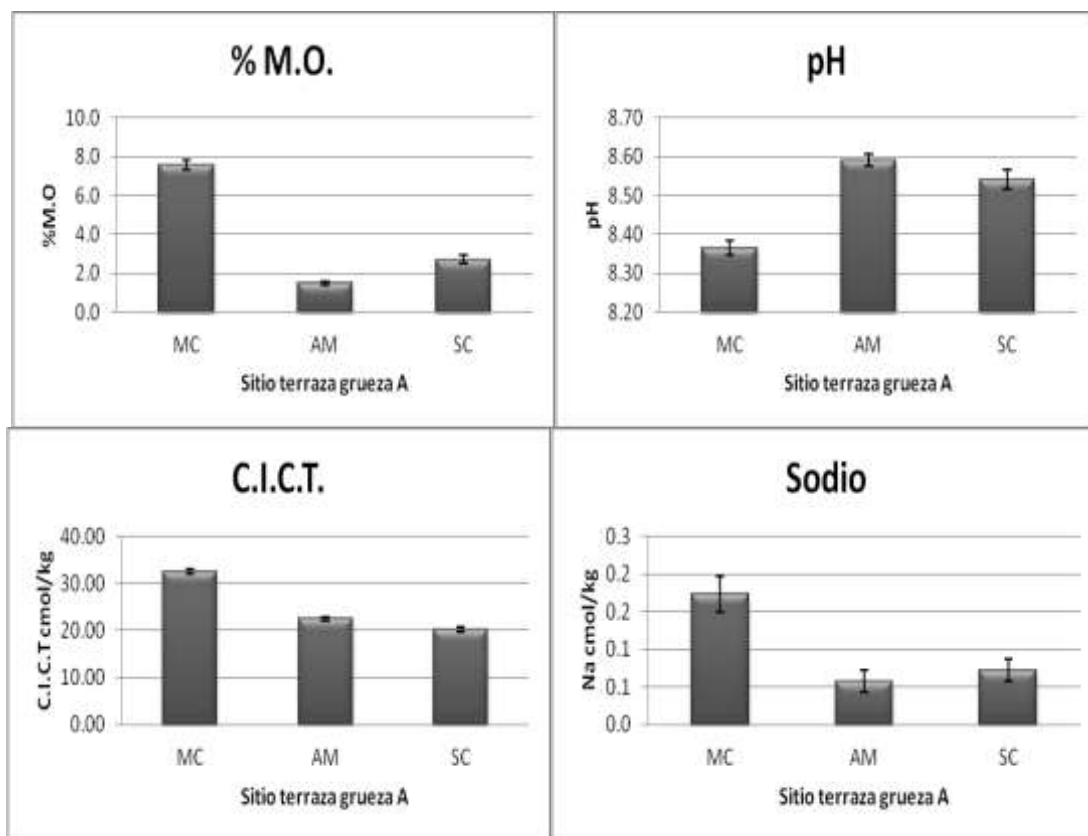
Tabla 6. Promedios y error estándar, de las propiedades evaluadas en el suelo de textura gruesa de la terraza A.

Suelo textura gruesa, Terraza A			
Propiedades	MC	AM	SC
M. Orgánica %	7.6±0.253 _C	1.5±0.093 _A	2.7±0.211 _B
pH en agua	8.37±0.018 _A	8.59±0.016 _B	8.54±0.024 _B
C.I.C.T cmolk _g ⁻¹	32.57±0.531 _C	22.51±0.373 _B	20.24±0.426 _A
Ca ⁺⁺ cmolk _g ⁻¹	33.40±1.692 _C	24.07±0.854 _B	14.27±0.306 _A
Mg ⁺⁺ cmolk _g ⁻¹	4.46±0.520 _B	2.63±0.451 _A	3.02±0.067 _{A,B}
K ⁺ cmolk _g ⁻¹	1.69±0.156 _B	0.54±0.017 _A	0.724±0.080 _A
Na ⁺ cmolk _g ⁻¹	0.20±0.024 _B	0.06±0.014 _A	0.07±0.014 _A
Nitrógeno total %	0.35±0.041 _C	0.047±0.005 _A	0.108±0.004 _B
Fosforo asimilable ppm	4.03±0.65 _B	1.27±0.273 _A	1.5±0.122 _A
Arena %	74±4.62 _B	59.5±1.53 _A	69.8±1.08 _B
Arcilla %	13.7±0.808 _A	26±4 _B	14.2±0.597 _A
Limo %	12.3± 2.77 _A	14.5± 1.452 _A	16± 0.25 _A
Conductividad eléctrica dSiems/m ³	1.37	0.49	0.46

Tabla 7. Resultado del ANOVA para el suelo de textura gruesa Terraza A.

ANOVA Suelo textura gruesa Terraza A		
PROPIEDAD	F	P
M. Orgánica	201.766	0.000*
pH	29.205	0.000*
C.I.C.T	194.970	0.000*
Ca ⁺⁺	114.224	0.000*
Mg ⁺⁺	4.768	0.023*
K ⁺	40.368	0.000*
Na ⁺	15.977	0.001
Nitrógeno total	15.977	0.001*
Fósforo asimilable	84.397	0.000*
Arena	7.832	0.016*
Arcilla	5.360	0.029*
Limo	1.526	0.282

Diferencias significativas ($p < 0.05$)
 C.I.C.T= capacidad de intercambio catiónico total



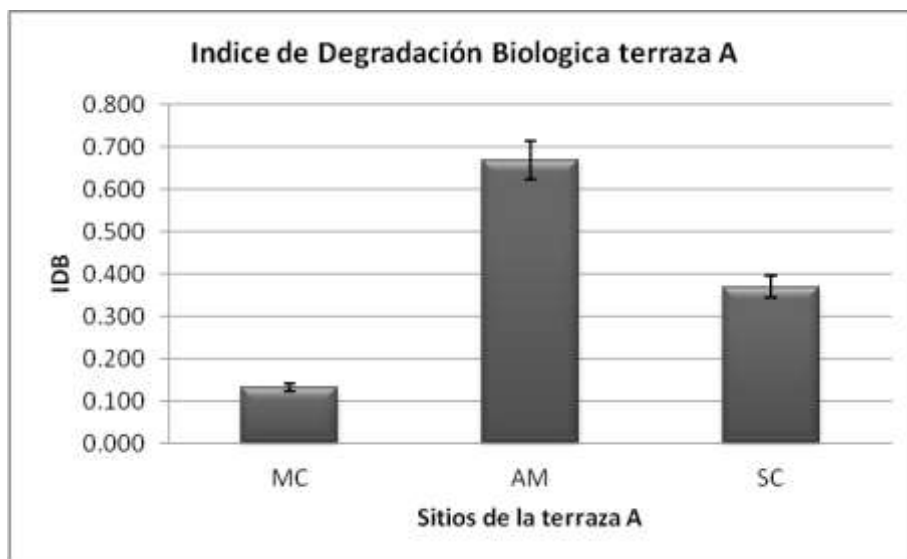
MC: mezquital cerrado, SC: suelo con costra, AM: agricultura con maleza.

Figura 7. Gráficos que muestran la variación del la materia orgánica, pH, intercambio catiónico y sodio en los distintos sitios de la terraza A que tiene suelo con textura gruesa.

8.1.2 Índice de degradación biológica (IDB) para el suelo de la terraza A.

Según los resultados obtenidos se tiene que para la degradación biológica la hipótesis planteada si se cumple ya que los sitios más conservados fueron los que presentan una vegetación natural (mezquites cerrados). El índice de degradación biológica evalúa el funcionamiento biológico del suelo, en la figura 8, se observa que el sitio de agricultura con malezas (AM), es la que mayor degradación biológica presenta, ya que muestra el valor más alto del IDB, hay que tomar en cuenta que de acuerdo al modelo utilizado a medida que decrece la materia orgánica se incrementa la degradación biológica, esto concuerda con los resultados que se muestran en la tabla 6, donde se muestra que el sitio AM es el que menor porcentaje de materia orgánica tuvo, mientras que el sitio matorral cerrado (MC) es el que menor degradación biológica tiene, lo que también se correlaciona con el contenido de materia orgánica.

El ANOVA aplicado al IDB muestra que hay diferencias significativas entre los distintos sitios ($F=111.104$, $P=0.000$, $GL=$), en la prueba de Tukey (Tabla 8) se aprecia la formación de tres clases o grupos, los valores obtenidos en Tukey reafirman los resultados de la Figura 8, ya que el valor del sitio AM es el que más se acerca a la unidad y por tanto el que mayor degradación biológica presenta, el sitio MC es el que menor degradación biológica presenta.



MC: mezquital cerrado, SC: suelo con costra, AM: agricultura con maleza.

Figura 8. Valor del índice de degradación biológica en los diferentes sitios de la terraza A.

Tabla 8. Subgrupos según la Prueba de Tukey para valores del índice de degradación biológica.

Indice de Degradacion Biologica Terraza A

HSD de Tukey^{a,b}

SITIOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
MC	6	.036440		
SC	8		.061633	
AM	6			.082428
Sig.		1.000	1.000	1.000

MC: mezquital cerrado, SC: suelo con costra, AM: agricultura con maleza

8.1.3 Analisis de correlacion, coeficiente de correlacion de Pearson y coeficiente de determinacion (R^2) para el índice de degradación biológica (IDB) de la terraza “A”

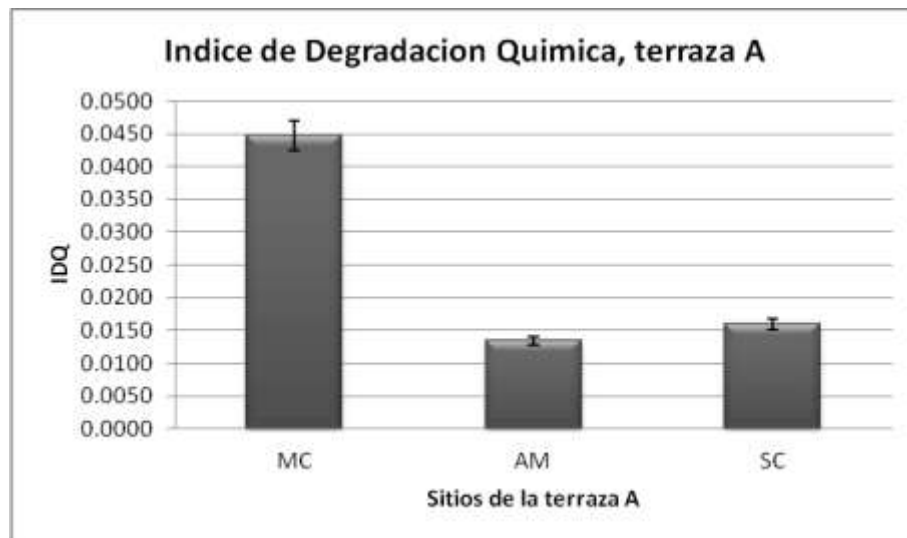
De acuerdo al análisis de correlación de Pearson y al el coeficiente de determinación (R^2), se encontró que la mayoría de las propiedades evaluadas tiene una fuerte relación con la degradación biológica del suelo (Tabla 9), entre las que muestran una relación negativa destacan: la arena, materia orgánica, el intercambio catiónico, el magnesio, potasio intercambiable, fósforo y nitrógeno, lo que significa que cuando el valor de estas propiedades se incrementa disminuirá el IDB; por otra parte entre las propiedades que presentan una alta correlación positiva está la arcilla y el pH.

Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de entre el índice de degradación biológica y las propiedades evaluadas, de la terraza A.

Propiedad	Coeficiente de correlación	R^2
Arena	-0.985	0.970
Limo	0.547	0.612
Arcilla	0.911	0.829
Materia orgánica	-0.92	0.850
pH	0.927	0.860
Capacidad de intercambio	-0.721	0.502
Ca ⁺⁺	-0.428	0.183
Mg ⁺⁺	-0.925	0.856
Nitrógeno total	-0.919	0.845
Potasio intercambiable	-0.903	0.816
Fósforo asimilable	-0.701	0.757

8.1.4 Índice de degradación química por salinidad (IDQ) para el suelo de la terraza A.

El Índice de degradación química utilizado, es un indicador del comportamiento de la acumulación o comportamiento de las sales y/o alcalinización del suelo, cabe señalar que cuando el suelo tiene exceso de sales se produce toda una serie de efectos que repercuten de forma negativa en la función que tiene el suelo para permitir el establecimiento de las plantas, ya que la salinidad afecta aspectos de la nutrición y fisiología de las plantas. En la Figura 9, se observa que, aunque el valor del IDQ no es tan elevado, el sitio MC es el que tiene una mayor degradación química por exceso de sales, mientras que el sitio AM es el que presentaría una menor degradación química. El ANOVA aplicado indica que si hay diferencias significativas entre los distintos sitios ($F = 160.952$, $P = 0.000$, $GL =$) con respecto al índice de degradación química, por otra parte, la prueba de Tukey, muestra la formación de dos clases o grupos, donde el MC se separa claramente de los sitios AM y SC, los cuales muestran un comportamiento similar en cuanto al IDQ.



MC: mezquital cerrado, SC: suelo con costra, AM: agricultura con maleza

Figura.9 Grafico que muestra el comportamiento del índice de degradación química en los diferentes sitios de la terraza A.

8.1.5. Analisis de correlacion, coeficiente de correlacion de Pearson y coeficiente de determinacion (R^2) para el Índice de degradación química (IDQ) de la terraza “A”.

El análisis de correlación de Pearson aplicado a los datos obtenidos para identificar a las propiedades que tienen un mayor vínculo con el IDQ, muestra que la mayoría de las propiedades evaluadas tienen una fuerte relación con la degradación química del suelo a excepción de la arena, limo y la arcilla (Tabla 10). El pH, materia orgánica e intercambio catiónico, presentan una relación positiva muy fuerte lo que implica que cuando su valor se incrementa, aumentará también el del IDQ. Las bases y nutrientes muestran una fuerte correlación positiva con el índice de degradación química, entre los nutrientes sobresale el fósforo que presentó una correlación de uno.

Tabla 10. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de entre el índice de degradación química por salinidad y las propiedades evaluadas, de la terraza A.

Propiedad	Coeficiente de correlación de Pearson	R^2
Arena	0.770	0.593
Limo	0.461	0.395
Arcilla	-0.59	0.344
Materia orgánica	0.993	0.986
pH	0.991	0.982
Capacidad de intercambio	0.970	0.940
Ca ⁺⁺	0.819	0.671
Mg ⁺⁺	0.992	0.983
Nitrógeno total	0.994	0.987
Potasio intercambiable	0.997	0.994
Na ⁺	0.999	0.998
Fósforo asimilable	1.000	1.000
Conductividad eléctrica	0.994	0.989

8.1.6 Índice de fertilidad

En la tabla 11 se observa que el nivel de fertilidad es similar en los tres sitios, ubicándose en la categoría de fertilidad media, sin embargo el suelo del sitio MC se despega un poco de los otros sitios.

Tabla 11. Resultados del índice de fertilidad (Parent, 1989).

SITIO	PUNTAJE	CALIFICACION
Mezquital cerrado	22	Fertilidad media
Agricultura con maleza	18.5	Fertilidad media
Suelo con costra	17	Fertilidad media

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 **terrazza D** (fina) se presentan en la Tabla 12 y en la Figura 10, donde se observa notoriamente que el porcentaje de materia orgánica fue mayor en los suelos con mezquital cerrado 1 y 2; los valores de pH se mantienen constantes a excepción de los sitio SC y SD donde se presentan los valores más elevados; respecto a la C.I.C.T los datos más altos se obtuvieron en los mezquiales abiertos y los más bajos los suelos de los sitios SC y SD. Para el Ca^{++} el suelo que tuvo menos concentración de esta base fue el SD, en cambio donde hay más calcio es en los mezquiales cerrados; los valores de Mg^{++} y Na^+ no muestran importantes diferencias entre los distintos sitios; por otro lado el sitio donde se encontró más K^+ fue el MC 2 y la menor cantidad se tuvo en el SD; los niveles más elevados de nitrógeno se obtuvieron en los mezquiales cerrados, mientras que el SD fue el que tuvo menos nitrógeno; respecto al fósforo los sitios de MC1 y MC2 son los que contienen más y los sitios MA y SC es donde hubo menor concentración de este elemento. Con respecto a la granulometría, el mezquital cerrado MC1 fue el sitio que mayor porcentaje de arena presento, mientras que el sitio AS el que tuvo menos, donde hubo más arcilla fue en el sitio AS mientras que el sitio MC1 fue el menos arcilloso.

Como se puede observar en la Tabla 13, todas las propiedades con excepción del magnesio presentan diferencias significativas con respecto a los distintos sitios evaluados, al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey, los distintos sitios se ordenan en 4 grupos, donde se separan claramente los mezquiales cerrados del suelo con costra y del suelo desnudo.

Tabla 12. Promedios y error estándar, de las propiedades del suelo (textura fina) evaluadas en los diferentes sitios de la terraza “D”.

TERRAZA FINA								
Propiedades	MC1	MC2	MA1	MA2	SC	SD	AM	AS
M. 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
pH en agua	7.8±0.085 A,B,C	7.55±0.230 A	7.88±0.057 B,C,D	7.96±0.064 B,C,D	8.22±0.062 C,D	8.10±0.053 C,D	7.94±0.051 B,C,D	7.70±0.130 A,B
C.I.C.T cmolkg ⁻¹	34.04±0.47 C	35.17±0.55 C	42.88±0.42 D	40.54±0.27 D	19.85±0.851 A	19.78±0.19 A	24.20±0.80 B	21.77±1.10 A,B
Ca ⁺⁺ cmolkg ⁻¹	25.26±2.28 1 B	25.80±1.97 B	16.41±1.06 A	19.07±1.28 A	16.98±0.597 A	15.91±0.62 A	20.35±0.45 A,B	20.81±1.07 A,B
Mg ⁺⁺ cmolkg ⁻¹	4.42±0.925 A	4.02±0.451 A	6±1.214 A	4.34±0.759 A	6.38±1.367 A	5.46±1.167 A	3.57±0.426 A	5.05±0.438 A
K + cmolkg ⁻¹	1.11±0.202 A,B,C	1.8±0.306 C	0.71±0.038 A,B	0.85±0.043 A,B,C	0.70±0.149 A,B	0.50±0.037 A	1.33±0.166 B,C	1.42±0.197 B,C
Na ⁺ cmolkg ⁻¹	0.41±0.038 A	0.32±0.014 A	0.36±0.014 A	0.38±0.027 A	0.30±0.021 A	0.42±0.022 A	0.25±0.023 A	0.9±0.084 B
Nitrógeno total %	0.498±0.03 B	0.543±0.04 B	0.143±0.01 A	0.146±0.00 A	0.108±0.007 A	0.099±0.00 A	0.121±0.01 A	0.13±0.007 A
Fosforo asimilable ppm	3.53±0.176 D	2.6±0.058 C	1.23±0.067 A,B	1.03±0.189 A	1.03±0.038 A	1.23±0.067 A,B	2.05±0.103 A,B	1.68±0.149 B
Arenas %	57.2±3.464 E	41.2±3.46 C,D	36.6±7.94 B,C	47.2±8.7 D,E	36.4±1.87 B,C	38±1.04 B,C,D	29.7±3 A,B	22±0.924 A
Arcillas %	14.8±2 A	30.1±3.06 B	24.6±4.65 B	25.5±3.06 B	30.4±4 B	25.3±2.2 B	27.8±3.83 B	44±2.92 C
Limos %	28 ±2.309 A	28.7±2.081 A,B	38.8 ± 2.15 B,C	27.3±1.763 A	33.2 ± 2.934 _a B,C	37± 1.743 A, B, C	42.5 ± 0.5 C	34±0.781 A,B,C
Conductividad eléctrica dSiems/m ³	1.88	1.79	1.52	1.96	0.78	1.25	1.29	1.18

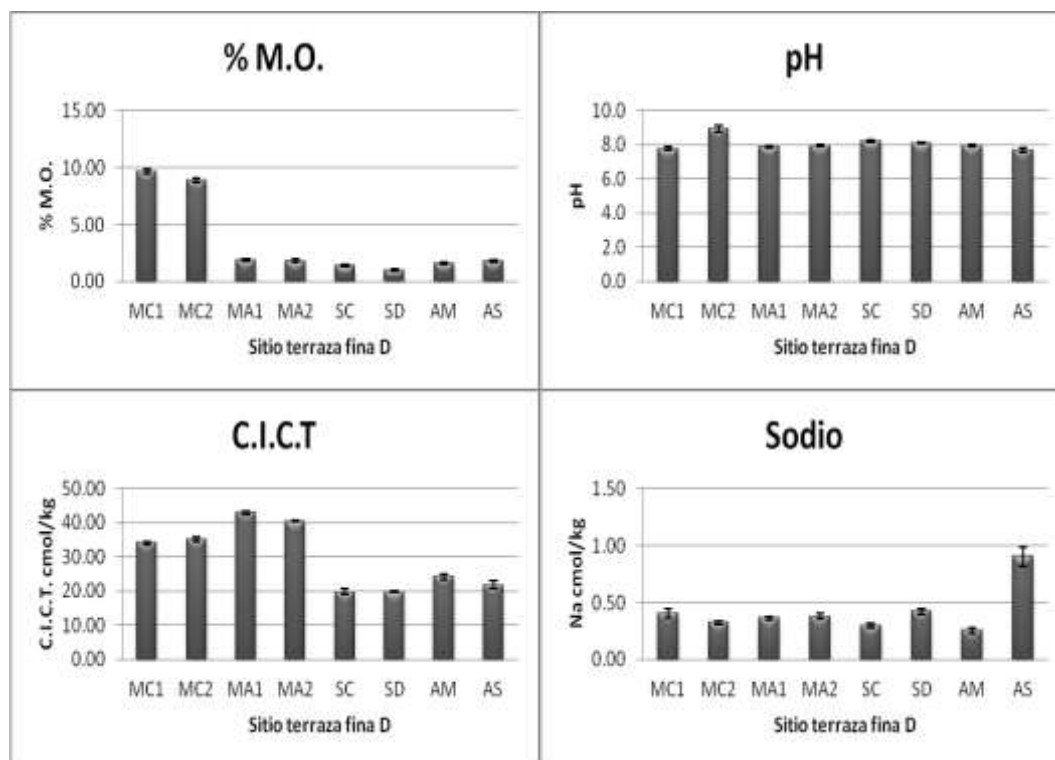
Simbología: C.I.C.T= capacidad de intercambio catiónico total; MC 1: Matorral cerrado 1; MC2: Matorral cerrado 2; MA 1: Matorral abierto 1; MA2: Matorral abierto 2; Sc: Suelo con Costra; Sd: Suelo Desnudo, AM: Parcela agrícola con malezas; AS: parcela agrícola sin malezas. Letra minúscula similar indica que pertenece al mismo subgrupo según la prueba de comparación de medias de Tukey.

Tabla 13. Resultado del análisis de varianza de un factor para el suelo de textura gruesa Terraza D.

PROPIEDAD	F	P
M. Orgánica	411.298	0.000*
pH	9.165	0.000*
C.I.C.T	131.597	0.000*
Ca ⁺⁺	9.424	0.000*
Mg ⁺⁺	0.984	0.453
Na ⁺	13.582	0.000*
K ⁺	5.553	0.001*

Nitrógeno	82.936	0.000*
Fósforo	35.966	0.000*
Arena	24.915	0.000*
Arcilla	18.782	0.000*
Limo	7.004	0.000*

* Diferencias significativas (p<0.05)



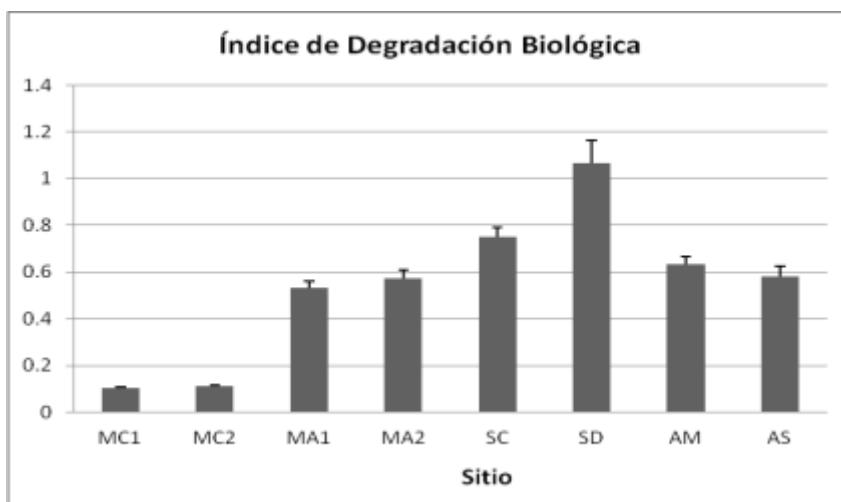
MC=Mezquital cerrado; MA= mezquital abierto; SC= Suelo con costra; SD= suelo desnudo; AM=Agricultura con Maleza; AS= agricultura sin maleza.

Figura 10. Gráficos que muestran la variación del la materia orgánica, pH, intercambio catiónico y sodio en los distintos sitios de la terraza A que tiene suelo con textura fina.

8.2.2 Índice de degradación biológica (IDB) para el suelo de la terraza D

Los resultados obtenidos del cálculo del índice de degradación biológica (IDB) para los distintos sitios con suelo de textura fina de la terraza D (Fig.11), muestran con claridad que los mezquiales cerrados son los que menor degradación biológica presentan, por el contrario el suelo desnudo y con costras fueron los más degradados en este sentido.

En la Figura 11 se observa con claridad que a medida que decrece la materia orgánica se incrementa la degradación biológica y eso concuerda con la condición del sitio SD que es el que menor % de materia orgánica tuvo. El ANOVA aplicado a los datos obtenidos indica que si hay diferencias significativas ($F= 46.28$; $P= 0.000$) entre el índice de degradación biológica y los diferentes sitios evaluados. Por otra parte, al comparar las medias a través de la prueba de Tukey (Tabla 14), se aprecia la formación de cuatro clases o grupos, el primero es el que presenta menor IDB y corresponde a los mezquiales cerrados, el segundo lo forman los mezquiales abiertos y el último el suelo desnudo, los demás sitios ocupan en una posición intermedia.



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

Figura 11. Grafico que muestra que los sitios sin cobertura vegetal son los que presentan una mayor degradación biológica.

Tabla 14. Subgrupos según valores del índice de degradación biológica según la Prueba de Tukey de la terraza D.

Índice de Degradación Biológica Terraza D (Fina)
HSD de Tukey^{a,b}

SITIOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
MC1	7	.03221431700			
MC2	7	.03353406186			
MA1	6		.07280811400		
MA2	9		.07552232456	.07552232456	
AS	8		.07603132638	.07603132638	
AM	12		.07940355583	.07940355583	
SC	8			.08645518350	
SD	6				.10281267017
Sig.		1.000	.607	.069	1.000

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

8.2.3 Análisis de correlación, coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación (R^2) para el Índice de degradación biológica (IDB) de la terraza “D”

No obstante, de que el índice de degradación biológica sólo considera a la materia orgánica para su obtención, se realizó un análisis de correlación, para conocer que otras propiedades muestran relación con el IDB. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para medir el grado de asociación que hay entre el IDB y las propiedades evaluadas, también se obtuvo el coeficiente de Determinación R^2 para conocer el grado de relación que hay entre las propiedades consideradas y el IDB. Como se puede observar en la tabla 15, el IDB del suelo está inversamente relacionado con la mayoría de las propiedades, a excepción de la arcilla, el limo y el magnesio con las que se encuentra vinculado, aunque no en un mayor grado. De cualquier modo, las propiedades que mostraron una mayor correlación inversa con el IDB son la materia orgánica, el calcio, nitrógeno y fósforo.

Tabla 15. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 de entre el índice de degradación biológica y las propiedades evaluadas, de la terraza D.

Propiedad	Coeficiente de correlación	R^2
Arena	-0.480	0.230
Arcilla	0.565	0.319
limo	0.252	0.063
Materia orgánica	-0.891	0.794
Capacidad de intercambio	-0.572	0.327
pH	-0.256	0.066
Ca ⁺⁺	-0.891	0.794
Mg ⁺⁺	0.484	0.234
Nitrógeno total	-0.853	0.728
Potasio intercambiable	-0.686	0.471
Fósforo asimilable	-0.792	0.628

8.2.4 Índice de degradación química (Por exceso de sales) para el suelo de la terraza D.

Los resultados obtenidos para el índice de degradación química por exceso de sales (IDQ) (Fig. 12) muestran con claridad que, si hay algunas diferencias en cuanto a la acumulación de sales en los distintos sitios, para sorpresa nuestra se encontró que los sitios donde el suelo tiene una mayor degradación química por acumulación de sales son los mezquiales cerrados. El ANOVA aplicado indica que las diferencias observadas entre los distintos sitios con respecto al IDQ si son estadísticamente significativas ($F = 20.349$, $P = 0.000$, $GL =$), por otra parte la prueba de comparación de medias de Tukey, muestra la formación de tres agrupaciones, el primero grupo se encuentran los sitios SC, MA2 y AM, lo integran los sitios con menor valor de IDQ, el segundo lo conforman los sitios SD, MA1 y AS con valores intermedio y en el último están los matorrales cerrados con los valores más altos.

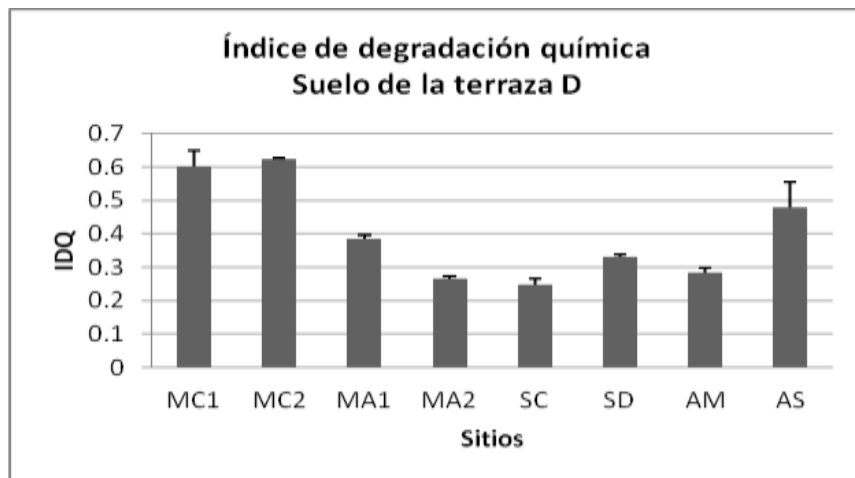


Figura 12. Comportamiento del IDQ por salinidad en distintos sitios de la terraza D.

8.2.5 Análisis de correlación, coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de determinación (R^2) para el Índice de degradación química (IDQ) de la terraza “D”.

El análisis de correlación de Pearson aplicado para conocer que propiedades son las que están más relacionadas con el IDQ son el calcio y en el potasio (Tabla 16), cabe aclarar que para hacer este análisis solo se seleccionaron aquellas propiedades que tienen más relación con la acumulación de sales en el suelo.

Tabla 16. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 entre el índice de degradación química por salinidad y las propiedades evaluadas en sitios de la terraza D.

Propiedad	Coef. Corre	R^2
Arena	0.299	0.089
Arcilla	-0.083	0.007
Limo	-0.4575	0.2093
Materia orgánica	0.877	0.768
pH	0.275	0.076
Cloruro de Calcio (Cl ⁻)	0.265	0.070
Calcio	0.828	0.686
Magnesio	-0.322	0.104
Potasio	0.649	0.421
Fósforo	0.814	0.663
Nitrógeno	0.877	0.769
Sodio	0.574	0.330
Conductividad eléctrica dSiems/m ³	0.224	0.050

8.2.6 Índice de fertilidad

La tabla 17 muestra que los todos los sitios de la terraza fina D, tienen una fertilidad media, sin embargo los sitios SD y SC son los que menor puntaje obtuvieron, esto en base al índice de fertilidad propuesto por Parent en 1989.

Tabla 17. Resultados del índice de fertilidad

SITIO	PUNTAJE	CALIFICACION
Mezquital cerrado 1	22	Fertilidad media
Mezquital cerrado 2	23	Fertilidad media
Mezquital abierto 1	18	Fertilidad media
Mezquital abierto 2	19	Fertilidad media
Agricultura sin maleza	17	Fertilidad media
Agricultura con maleza	18	Fertilidad media
Suelo con costra	16	Fertilidad media
Suelo desnudo	16.5	Fertilidad media

IX. DISCUSIÓN

9.1 Índice de degradación biológica (IDB)

El índice de degradación biológica (IDB), presentó un comportamiento similar en ambas terrazas, los resultados obtenidos demuestran que si hay relación entre el tipo de uso y/o cobertura que tenga el suelo y la degradación biológica del suelo, se observa que entre menos cobertura vegetal y/o materia orgánica tenga el suelo, mayor es el IDB. Por obvias razones, la materia orgánica es una de las propiedades más vinculada con el IDB, los resultados obtenidos muestran una fuerte correlación inversa entre los niveles de materia orgánica y el IDB (Tablas 9 y 15), observándose que a medida que decrece la materia orgánica se incrementa la degradación biológica, esto independiente del tipo de terraza. Los sitios con mayor cobertura vegetal como es el caso de los matorrales cerrados, son los que presentaron mayor contenido de materia orgánica en el suelo en ambas terrazas y en consecuencia son los que obtienen un índice degradación biológica con los valores más bajos, por el contrario, los sitios con los valores más altos de degradación biológica son los que tienen menos materia orgánica como son SC, SD y las parcelas agrícolas (Fig. 8 y Fig.11).

El índice de degradación biológica es utilizado como un indicador del funcionamiento biológico, a través de él se evalúan procesos como la biotransformación de residuos orgánicos de vital importancia en el reciclaje de nutrientes, así como la tasa de mineralización de la materia orgánica, ambos determinantes en la continuidad de los ecosistemas (USDA, 1999). Los sitios donde el suelo presenta valores altos de degradación biológica, se puede inferir que hay una tasa elevada de pérdida y/o mineralización de los residuos orgánicos, lo que implica una baja acumulación de materiales orgánicos, afectando con esto la calidad y fertilidad del suelo (De Paz *et al.*, 2006). En sitios donde la cobertura vegetal es escasa, un efecto colateral es la reducción del porcentaje de agregación, esto hace que la materia orgánica no se encuentre protegida en el interior de los agregados, sino que se encuentra dispersa y expuesta directamente a los agentes oxidantes, por lo tanto, su permanencia en el suelo es breve (Muñoz *et al.*, 2013, Sánchez, 2007).

La materia orgánica del suelo aporta múltiples beneficios tanto en el funcionamiento físico y químico ya que incrementa el espacio poroso haciendo que el suelo pueda almacenar más agua, debido a que reduce la densidad aparente hace que el suelo sea menos compacto, esto

hace que el suelo genere mayor espacio para un mejor desarrollo de raíces y de microorganismos (Corinna and Herrick, 2010; Riginos and Herrick, 2010) .

El tener un IDB con valores altos puede indicar una fuerte mineralización de la materia orgánica, bajas reservas de carbono, baja actividad microbiológica y en consecuencia fallas funcionales en el reciclaje de nutrientes (Karlen, 1997). Los suelos protegidos por una cobertura vegetal densa, mantienen un equilibrio natural entre las ganancias y pérdidas de residuos orgánicos, sin embargo, cuando la cobertura vegetal es eliminada o reducida, el suelo recibe menos aportes de residuos orgánicos a la vez que se produce una rápida mineralización del humus, favorecida por el laboreo y altas temperaturas. Es por esto que 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 eliminación de la vegetación deja a la superficie del suelo expuesta a los agentes erosivos, además de favorecer la desintegración de los agregados, se provoca el encostramiento de la superficie, esto trae serias repercusiones funcionales, ya que se reduce la infiltración afectando las reservas de agua del suelo (Dregne, 2002; Dexter *et al.*, 2008). Por otra parte, la labranza continua contribuye a acelerar la mineralización de la materia orgánica, esto como resultado del incremento de la aireación a causa del rompimiento de los agregados quienes protegen a los residuos orgánicos del ataque microbiano (Zornoza *et al.*, 2009). Un uso intensivo de la tierra reduce la cobertura vegetal por lo que la contribución de residuos orgánicos asociados a las raíces decrece considerablemente, afectando con esto las reservas de carbono orgánico, lo cual va en detrimento de la calidad del suelo (Lal *et al.*, 1999). Cuando hay grandes áreas con suelo descubierto (sin plantas), hay también pocas raíces y no hay nuevos aportes de residuos orgánicos por lo que el suelo se degrada (Riginos and Herrick, 2010)

Una consecuencia de la degradación y erosión es la pérdida de todos, o parte de los nutrientes del suelo y en consecuencias del **N**, un factor importante es la textura y estructura del suelo ya que los nitritos se lavan más fácilmente en suelos arenosos que en suelos francos (Urbano *et al.*, 1992). A pesar de que el MC tiene más cantidad de arenas que los otros dos sitios, tiene más contenido de nitrógeno ello puede deberse al continuo aporte de materia orgánica que el mezquital le proporciona.

El análisis de correlación entre el IDB y las distintas propiedades evaluadas indica que la materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio son propiedades que tienen una fuerte relación directa con la degradación biológica del suelo, esto se observa en ambas terrazas. Una de las principales fuentes de nutrientes en el suelo es la materia orgánica, es por ello que los sitios con más cantidad de materia orgánica van a presentar un mayor contenido de nutrientes, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Sánchez en 2007 para suelos de la misma área de estudio y también por lo reportado por Perroni (2007), quien trabajando con islas de fertilidad encontró que en los suelos debajo de las islas donde hay más residuos orgánicos se presenta más contenido de nitrógeno.

9.2 Índice de degradación química (IDQ)

El índice de degradación química utilizado fue diseñado principalmente para evaluar la degradación química por exceso de sales (FAO-UNESCO, 1980), se basa principalmente en el grado de alcalinización y salinidad. Toma en cuenta tanto los procesos que conllevan a que los suelos tengan un alto contenido de sales solubles intercambiables y la baja capacidad del suelo para intercambiar cationes, lo que implicaría que los suelos tendrían un alto índice de degradación química, considerando tanto una degradación natural o antropogénica (De Paz *et al.*, 2006).

En los resultados obtenidos para el IDQ en ambas terrazas, se observa cierta similitud en el sentido de que los matorrales cerrados son los que muestran mayor concentración de sales solubles (Figuras 9 y 12), también destaca el caso de la parcela agrícola sin malezas de la terraza D que presenta un valor cercano al de los matorrales. Aunque los suelos de los sitios MC son los que obtuvieron un índice más alto, este valor se encuentra muy por debajo del límite máximo (0.1), por lo que se puede afirmar que la acumulación de sales no representa un problema para la vegetación; por otra parte, según los estándares establecidos por el personal del laboratorio de Salinidad de los E. U. A. (1980), ninguno de los suelos estudiados puede clasificarse como un suelo salino o con problemas de sodicidad, en este sentido todos se pueden considerar como suelos normales o sin problema en cuanto la acumulación de sales solubles se refiere.

En los datos que se obtuvieron resalta el hecho de los sitios con menor cobertura y contenido de materia orgánica de las dos terrazas (SC, SD y Ma), son los que tienen menor concentración de sales, estos resultados vienen a reafirmar la importancia que tiene la materia orgánica del suelo en la permanencia y funcionamiento de los ecosistemas de las regiones secas (Perroni,

2007; Zornoza, 2009), donde muchas de las sales y nutrientes provienen de la mineralización de los restos orgánicos. Las propiedades que presentan una mayor correlación con el índice de degradación química en los suelos de las dos terrazas están (Tablas 10 y 16): materia orgánica, calcio, fósforo y nitrógeno; por lo que se asume que la mayor parte de las sales solubles corresponde a sales de calcio, fósforo y magnesio, lo cual es lógico ya que los suelos estudiados son reportados como calcáreos (Aguilera, 1989, García, 2001, López *et al.*, 2003, Muñoz *et al.*, 2008). Por lo regular el carbonato de calcio es relativamente insoluble, es por ello que los suelos calcáreos están 100% saturados de bases y el pH está controlado por la hidrólisis del carbonato de calcio (Foth, 1987 y Rodríguez, 2002).

Una de las propiedades más importantes que se ven afectadas por la degradación química del suelo es el grado de reacción, debido a que los microorganismos y las plantas superiores dependen y responden al medio químico, en este sentido el pH de los suelos estudiados tiene valores normales típicos de los suelos calcáreos de las regiones semiáridas, ya que los valores obtenidos raramente sobrepasan el valor de 8.5 (Personal del laboratorio de Salinidad de los E. U. A., 1980). Aguilera (1989) menciona que la alcalinidad se presenta cuando existe un alto grado de saturación de bases especialmente de calcio, magnesio y sodio, además menciona que los suelos alcalinos son característicos de las regiones áridas y semiáridas, lo que concuerda con lo encontrado en el presente trabajo.

9.3 Índice de fertilidad (IF)

De acuerdo a los resultados obtenidos del Índice de fertilidad (Tablas 11 y 17), se observa que para ambas terrazas todos los sitios tienen una fertilidad media, sin embargo, los sitios con MC tienen un mayor puntaje, esto se debe a que tiene un mayor contenido de materia orgánica, lo que a su vez favorece el incremento de nitrógeno y fósforo. Lal *et al.*, 1999, indican que la calidad y fertilidad del suelo depende mucho del contenido de materia orgánica, una buena parte del carbono del suelo proviene de la contribución que hacen las raíces, sin embargo, esta decrece cuando se reduce la cobertura vegetal o se intensifica el uso de la tierra.

El contenido de materia orgánica está estrechamente relacionado con el contenido de nitrógeno y fósforo del suelo (Porta *et al.*, 2003). Truchot (citado por Urbano *et al.*, 1992) afirma que la relación entre el carbono y el nitrógeno orgánico es relativamente constante, esto se reafirma los resultados obtenidos (Tablas 6 y 12) donde se observa que a mayor contenido de materia orgánica mayor contenido de nitrógeno. Los suelos de las regiones áridas suelen contener en los 15 cm superficiales menos del 0.1% de nitrógeno y pueden llegar a niveles inferiores al 0.02%. (Urbano *et al.*, 1992)

Cabe señalar que el concepto de fertilidad está referido al potencial productivo del suelo (Porta *et. al*, 2006), el grado de fertilidad que viene dado por la naturaleza de la roca madre, los depósitos aéreos, la composición (complejo arcillo-húmico) y otros factores como el clima, la topografía, y el manejo de la tierra, para evitar las pérdidas de nutrientes por lavado se deben incorporar residuos orgánicos vegetales, animales pero sobre todo se debe mantener la cubierta vegetal (<http://www.agriculturaecologica>).

Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por tener una distribución espacial heterogénea de la cobertura vegetal y una estacionalidad de la disponibilidad de los recursos (Dexter, 2008), los resultados obtenidos concuerdan con los de Perroni (2007) y Sánchez (2007), que reportaron que en los sitios con matorrales cerrados el contenido de macronutrientes (N, P y K) fue mayor que en el suelo desnudo, en lo particular el nitrógeno total (Tablas 6 y 13) es notablemente mayor con respecto a los demás sitios, lo cual está relacionado con el contenido de materia orgánica. Lo mismo sucede con el potasio y fósforo los cuales se encuentran más concentrados en los sitios MC, siendo los suelos desnudos los más pobres en nutrientes por lo que obtuvo un Índice de fertilidad más bajo. Sin embargo, de acuerdo a los criterios de Vázquez y Bautista 1993 (citado por Santiago, 2007), todos los sitios son considerados como pobres respecto al contenido de nutrientes con excepción del nitrógeno. Los niveles bajos de potasio son normales en las rocas sedimentarias donde el contenido de K normalmente es muy bajo.

Las malas prácticas agrícolas tienen, entre otras consecuencias, el deterioro químico del suelo, principalmente por la excesiva extracción de nutrientes por los cultivos y malezas (<http://www.miliarium.com>), al respecto López *et al.*, en el 2003, al evaluar la degradación de la subcuenta de Zapotitlán Salinas, Puebla encontró que el 1.8% (5.10 km²) presentaba degradación química, ocasionada principalmente por la pérdida de moderada a severa de nutrimentos, lo que reduce significativamente la productividad de los suelos de la cuenca.

Otra propiedad muy vinculada con la fertilidad del suelo y la nutrición vegetal es la capacidad de intercambio catiónico (CIC), que se refiere a la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes, por lo tanto se considera como un indicador directo de la fertilidad de los suelos, la CIC depende directamente del contenido de sustancias húmicas y del porcentaje de arcilla, por lo que a medida que aumente el contenido de arcilla y/o materia orgánica mayor será la CIC, tal y como se observa en la Figura 7, en los suelos de textura gruesa (arenosos) se observa que el sitio MC es el que mayor CIC tiene lo cual concuerda con lo ya mencionado. No obstante en los

suelos de textura fina de la Terraza D, los mezquiales abiertos son los que presentan una mayor CIC, seguidos de los matorrales cerrados (Fig. 10), este comportamiento no se esperaba, sin embargo su explicación de acuerdo con Perroni (2007) puede estar en el efecto que tienen las islas de fertilidad o islas de recursos, donde por debajo de las especies nodrizas hay un reclutamiento muy intenso de residuos orgánicos, por último tal y como se esperaba los sitios con suelo desnudo y con costra son los que tienen menor capacidad para retener cationes y por lo tanto los menos fértiles.

X. CONCLUSIONES

- El Índice de Degradación Biológica calculado para ambas terrazas, indica que a menor cobertura vegetal mayor degradación lo cual concuerda con la hipótesis planteada, esto debido a la pérdida de un aporte constante de materia orgánica.
- El Índice de Degradación Química (por salinidad) obtenido en ambas terrazas, muestra que ninguno de los sitios estudiados de ambas terrazas presenta problemas por exceso de sales, no obstante los suelos de los mezquiales cerrados fueron los que contienen una mayor concentración de sales solubles, debido al aporte constante de materia orgánica la cual al mineralizarse va liberando las sales.
- Los niveles de fertilidad obtenidos de acuerdo al índice, indican que ambas terrazas tienen una fertilidad media y que los sitios de MC tienen mayor puntaje debido al aporte constante de M.O. mientras que los sitios donde la cubierta vegetal ha sido removida o en las áreas de cultivo el puntaje obtenido es menor, es por ello, que es importante conservar la cubierta vegetal para evitar la pérdida de fertilidad del suelo y proteger al suelo de problemas como la erosión hídrica, eólica y el sellado del suelo entre otras.
- A pesar de que las dos terrazas muestreadas tienen texturas diferentes los resultados obtenidos fueron similares; encontrando que en las áreas donde se había perdido o removido la cubierta vegetal se presentaba un mayor IDB y una menor fertilidad. A pesar de que la textura es una propiedad importante en el funcionamiento de los suelos, lo que más influyó fue el tipo de cobertura vegetal y su relación con el aporte de materia orgánica.
- Finalmente la hipótesis planteada se acepta ya que se comprobó que el tipo de cobertura o uso del terreno, si tiene relación con los niveles de degradación biológica y química.

XI. REFERENCIAS

- ❖ Aguilera, H. N., 1989, Tratado de Edafología de México Tomo 1, Facultad de ciencias, UNAM., Mexico D.F. 222pp.
- ❖ Allison L.E, Brown J.W., Hayward H.E., Richards L.A., Bernstein L., Fireman M., Pearson G.A., Wilcox L.V., Brower C.A., Hatcher J.T. Reeve R.C., 1977, Suelos salinos y sódicos, editorial limusa, México.
- ❖ Antonino C, Arenas F, Azcarate P, Bono A, Fernández R, Kloster N, Quiroga A, Romano N, Saks M, 2008, Manual de fertilidad y evaluación de suelos, E.E.A. INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- ❖ Barrera, C.C., 2001, Descripción y regionalización Fisiográfica del Valle de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- ❖ Baker, J.L. y Laflen, J.M. 1983. Water quality consequences of conservation tillage. Journal of Soil & Water Conservation, Ankeny, 38(3): 186-93.
- ❖ Becerra, M. A., 1999, Escorrentía erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- ❖ Blum, W. y Santelices, A. 1994. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. In: Greenland, D. y Szboles, L. (ed.). Soil Resilience and Sustainable Land use. CAB International. UK. pp: 535-542.
- ❖ Cairo, C. P. y Fundadora H. O., 1994. Edafología de la degradación de tierras y fragmentación de hábitats en el valle aluvial de Zapotitlán Salinas, Puebla, Tesis Licenciatura en Biología, FES-Iztacala, UNAM.
- ❖ Castillo L. M. del C., 2004, Caracterización e impacto de la degradación de tierras y fragmentación de hábitats en el valle aluvial de Zapotitlán Salinas, Puebla, Tesis Licenciatura en Biología, FES-Iztacala, UNAM.
- ❖ Colomer, J. y C., J. Sánchez. 2001. Agricultura y procesos de degradación del suelo. En: F. De Santa Olalla. Agricultura y desertificación. Mundi- Prensa. España. pp. 111-128.
- ❖ Corinna, R.. and J. Herrick. 2010. Monitoring Rangeland Health. A Guide for Pastoralist Communities and Other Land Managers in Eastern Africa. Version II. Nairobi, Kenya: ELMT-USAID/East Africa.
- ❖ De Paz, M. J., Sánchez J., and Visconti F. 2006. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in Spanish Mediterranean Region. J. Environ. Manage. 79: 150-162.
- ❖ Dexter, A.R., G.Richard, D.Arrouays, E.A. Jolivet, and O. Duval., 2008, Complexed organic matter controls soil physical properties. Geoderma 144:620-627.
- ❖ Doran, J.M., Jones. A.J., Arshad and Gley J.E. 1996. Determinants of soil quality and health in: Soil quality and soil erosion. Ed. Rattan Lal. Boca Raton, Fl. p:17-35.
- ❖ Dregne, H. E. 2002. Land Degradation in the Drylands. Arid Land Research and Management, 16, 99 -132, 34 pp.
- ❖ FAO. 1997. Land quality indicators and their use in Sustainable Agriculture and Rural Development. Land and Water Bulletin 5. FAO, Rome.
- ❖ FAO, PNUMA, UNESCO. 1980. A Provisional Methodology for Soil Degradation Assessment. FAO, Rome.
- ❖ 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. 2001. Guidelines for qualitative assessment of land resources and degradation. FAO. Rome, Italy.
- ❖ Flores D.A., Galvez V. V., Hernandez L.O., Orellana G.R., Otero G.L. Valdez P. M., 1996, salinidad un nuevo concepto, Universidad de Colima, México.
- ❖ Foth, D. H., 1987, Fundamentos de la ciencia del suelo, Ed. Continental S.A. de C.V., México, 433pp.

- ❖ García M. G., 2001, Mapeo y caracterización de los suelos de las terrazas aluviales del valle de Zapotitlán, Puebla, Tesis de Licenciatura en Biología, FES-Iztacala, UNAM.
- ❖ Hernandez-Alva M., 2008, Degradación del suelo por actividades pecuarias en la reserva de la biosfera los tuxtlas, Veracruz, Tesis Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM.
- ❖ Hernandez-Arzate I, 2005, Evaluación Del estado actual de La degradación de tierras de La cuenca de Zapotitlán Salinas Puebla, Tesis Licenciatura en Biología, FES-Iztacala, UNAM, pp71
- ❖ Herrick J.E., Brown J.R., Tugel A. J., Shaver P. L. and Havstad K. M.. 2002. Application of Soil Quality to Monitoring and Management: Paradigm from Rangeland, Ecology AGRONOMY JOURNAL, VOL. 94.
- ❖ Hinojosa L. E., 2004, Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Agrícola y Pecuario en la cuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla, Tesis Licenciatura en Biología, FES-Iztacala, UNAM.
- ❖ Jackson M.L., 1964, Análisis Químico de Suelos, Ed. Omega, Barcelona.
- ❖ Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61:4-10.
- ❖ 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.
- ❖ López- Galindo, F; Muñoz J.D; Hernández-Moreno M., Soler- Aburto, A., Castillo-López, C; Hernández- Arzate. 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, No. 1:19-41.
- ❖ McAuliffe R.J., Sundt P. C., Valiente-Baunet A., Casas A. and Viveros J., (2001) Pre-columbian soil erosion, persistent ecological changes, and collapse of a subsistence agricultural economy in the semi-arid Tehuacán Valley, México's 'Cradle of Maize'. Journal of Arid Environments 47, 47-75.
- ❖ Muñoz I.D J, Mendoza C.A; Lopez, G.F.; Soler A.A; Hernández, M.M. 2000. Manual de métodos de análisis de suelo. UNAM. FES Iztacala.
- ❖ Muñoz-Iniestra D J, 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 (3) p 237-246.
- ❖ Neri, G. D. M. C. 2000. Caracterización Hidrológica de la Subcuenca Baja del Río de Zapotitlán, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Iztacala. UNAM. México. 82 pp.
- ❖ Oldeman L. R. 1988. Gobar assessment of soil degradation (GLASOD): Guidelines for general assessment of true status human-induced soil degradation. ISRI (International Soil Reference and Information Centre). Wageningen, Netherlands.
- ❖ Oliveros-Galindo, O. 2000. Descripción Estructural de las Comunidades Vegetales en las Terrazas Aluviales del Río Salado, en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Lic. en Biología. ENEP-Iztacala, UNAM. México. pp. 77.
- ❖ Osorio, B. O., 1996. Descripción de la vegetación de los alrededores del cerro Cutac, en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura en Biología. Fac. de Ciencias. UNAM. México.
- ❖ Palmer R.G. y Troeh F.R., 1980, Introducción a la ciencia del suelo Manual de laboratorio, Editores S.A., México.
- ❖ Parent, G. 1989. Guía de reforestación. Corporación de Defensa de Bucaramanga, ACIDI-ROCHE. 214P.
- ❖ Parra, R.M.A, Navarro G. C., Fernandez E. R., Arquero Q.O., 2003, Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Ediciones MundiPrensa.
- ❖ Perroni V. Y. 2007. Islas de fertilidad en un ecosistema semiárido: nutrimentos en el suelo y su relación con la diversidad vegetal. Tesis de Doctor. Instituto de Ecología A. C., Jalapa Veracruz.
- ❖ Plaster E.J., 2005, La Ciencia del suelo y su manejo. Ed. Thomson, Madrid, España.

- ❖ Porta, J., López, A.M., Y Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente (3ra ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- ❖ Porta J. y Poch R.M. 2011. Análisis de la degradación de suelos y territorio como respuesta a cambios en el uso del territorio. SJSS. Spanish Journal of Soil Science Vol.1:1. 100-115 pp
- ❖ Proyecto JALDA, 2002. “Compendio de Tecnologías Locales para el Aprovechamiento y Manejo de Suelos, Agua y Cobertura Vegetal. Chuquisaca –Bolivia
- ❖ Ramírez- Carballo H. y Pedroza-Sandoval A., 2007, Evaluación participativa de la degradación del suelo en la reserva de la biosfera de Mapimi, Durango, México, En Revista Chapingo serie zonas áridas Vol.6 No.2 p. 247-254
- ❖ Riginos, C. and J. Herrick. 2010. Monitoring Rangeland Health: A Guide for Pastoralist Communities and Other Land Managers in Eastern Africa Version II.
- ❖ Rivera A.V, Maunell C.I. y Godínez A H, 2004, Las costras biológicas del suelo y zonas áridas, Ciencias Julio-Septiembre No.075, UNAM, DF, México. pp 24-27.
- ❖ Robinson, W. G., 1967, Los Suelos, 2 da edición, Ed. Omega Barcelona, 515 p.
- ❖ Rodríguez, F. H., Rodríguez, A. J., 2002, Métodos de análisis de suelos y plantas; criterios de interpretación, Trillas, Mexico.
- ❖ Rzedowski J.1978. Vegetación de México. Limusa. México.
- ❖ Sánchez C. R. C., 2007. Análisis comparativo de la calidad de suelos agrícolas y suelos protegidos por vegetación natural en una zona semiárida. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 48 pp.
- ❖ Santiago M. E. R., 2007, Fertilidad de los suelos agrícolas de las terrazas aluviales del valle de Zapotitlán salinas, Puebla., Tesis, Licenciatura en Biología. FES-Iztacala, UNAM. México.
- ❖ Shahram, 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.
- ❖ SEMARNAP, 1999, Superficie continental e insular del territorio nacional, Subsecretaria de Recursos Naturales. INEGI. Mexico.
- ❖ SEMARNAT 2000 Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Diario Oficial de la Federación, Tomo DLXV No. 12
- ❖ SEMARNAT 2002. *Inventario Nacional de Suelos* /, a partir de diversas fuentes: CONAZA / SEDESOL, Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México, (PACD-México, 1994), México; Diario Oficial de la Federación (D.O.F) del 1 de junio de 1995 (Págs. 5 a la 36); Informes de Semarnat / PNUMA.
- ❖ SEMARNAT, Colegio de Postgraduados, 2003. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000, México 2001-2002. Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación. Informe de México 2000-2002.
- ❖ Singh, J. and L. Khera. 2009. Physical Indicators of Soil Quality in Relation to Soil Erodibility Under Different Land Uses Arid Land Research and Management, 23:152–167,
- ❖ Stocking, M., y Murnaghan, N., 1984. Erosion and soil productivity: a review. Consultants’ working Paper N° 1 AGLS, FAO, Roma, 102p.
- ❖ Stocking, M., y Murnaghan, N., 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Traducción al español por C. Padilla y Abadejo J. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ❖ Tamhane R. V., Motiramani D.P., Bali Y. P., 1979. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales.

- ❖ Toledo, A. A., Valverde, M. T. y Reyes S.J. 2000, Las plantas de la región de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. INE. UNAM. Primera edición.
- ❖ 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.
- ❖ Urbano T. P, Rojo H.C., 1992, Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell, ediciones Mundi-prensa, Madrid.
- ❖ USDA 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Instituto de Calidad de Suelos. EE.UU.
- ❖ Vergara-Sánchez M. A., J. D. Etchevers-Barra, J. Padilla-Cuevas. 2005. La fertilidad de los suelos de la ladera de la sierra norte de Oaxaca, México, Agrociencia 39: 259-266
- ❖ Yagodin B., Smirnov P. y Peterburgski A. 1986. Agroquímica, Ed. Mir Moscú. La URSS
- ❖ 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

En línea:

- ❖ www.miliarium.com/prontuario/medioambiente/suelos/degradacionbiologica.htm 18-09-2011.
- ❖ www.ine.gob.mx. Instituto Nacional de Ecología, 22-02-2010
- ❖ http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/03_suelos/cap3_2.html, 12-03-2014.
- ❖ www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/EI%20suelo%20y%20la%20produccion%20agropecuaria.pdf 13-03-2014.
- ❖ http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/03_suelos/cap3_2.html 06-08-2014.
- ❖ www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/381/1/040120copia.pdf 22-02-2010.
- ❖ www.unnhoba.edu.ar/64.76.123.202/site/agricultura/proinsa/06Ronda%202012/_archivos/000300_Lic.%20Fabio%20L.%20Abrego%20%20UNNOBA/000300_Determinaci%C3%B3n%20de%20CIC.pdf, 18-09-2011.
- ❖ www.agriculturaecologica.iespana.es/agriculturaecologica/lafertilizacion.htm, 11-10-2014.