



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SUELO,
BAJO DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA Y USO
DE TERRENO EN LA MIXTECA POBLANA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

ZULEYMA ESPINOZA VELEZ



DIRECTOR DE TESIS:
**M. en C. MAYRA MÓNICA HERNÁNDEZ
MORENO**

Los reyes iztacala, Tlalnepantla, Estado de México

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

“Si sobrevives, si persistes, canta, sueña. El viento de las horas barre las calles, los caminos. Los árboles esperan, tú no esperes. Éste es el tiempo de vivir, el único”.

Jaime Sabines.

Dedicatorias

Principalmente a las mujeres de mi vida, por hacerme crecer profesional y personalmente, comenzando con mi abuela, por hacerme ver que todo en esta vida se puede.

A mi familia, en especial a mi compañera eterna de la vida, mi segunda mamá y la mejor amiga que me pudo dar la vida, mi hermana Leydi.

A mis niñas, Colette, Dubi, susie, Jezz, Montse, por todos los sacrificios hechos en la carrera, sé que sin ustedes toda mi experiencia no sería la misma y que no estaría en donde estoy ahora, gracias por ayudarme en todo momento y llevarme siempre de la mano para poder lograrlo, por la felicidad que tuve a su lado, y por hacerme comprender que la amistad se construye día a día con errores y aciertos, pero al final siempre sabiendo que nos tenemos unas a las otras, he aprendido tanto de ustedes, que no hay palabras suficientes para decirles cuanto las quiero.

A mi segunda familia de laboratorio, a MaFer, Javi, Alexis, y todo el edafoteam por las risas que no faltaron ehh jajaja, por la familia que hemos hecho juntos. Recuerden: Vamos a triunfar, siempre lo logramos. Susie, muchas gracias por ser mi chicle, y apoyarme tanto en esta etapa.

Gracias a mis amigos y compañeros de carrera, en especial a Pablo, por estar en las buenas y en las malas, a Albino, Demian y Jazz.

A mis amigas de la vida, Aket, Pau, Sandrita, Mahe, hemos tenido tantas aventuras juntas y nos hemos visto crecer a lo largo de la vida, agradezco haberlas encontrado y que podamos seguir estando una para la otra, gracias por esta amistad tan hermosa, también a toda la B.E, y a la Señora Citlali y el señor Alfonso, futuros colegas, gracias por haberme hecho parte de su familia y brindarme su apoyo en todo momento.

A las personas que me han visto crecer y han estado a mi lado en los momentos más difíciles, Sra Moni, y Moni pequeña.

A Jair, por haber crecido juntos profesional y personalmente, gracias por haber estado en los momentos en los que creí que no podía más y por brindarme siempre tu apoyo a pesar de los malos momentos.

Agradecimientos

Principalmente a la UNAM, gracias por brindarme sus aulas y todo el conocimiento, a la FES Iztacala por haberme albergado toda la carrera, aquí pasé las mejores experiencias de mi vida.

Al laboratorio de Edafología, por la oportunidad de crecer aquí, brindándome todo el apoyo y también haciéndome sentir como en casa, al Dr. Daniel Muñoz Iniestra, M. en C. Francisco Galindo, Biol. Alfonso Soler y a Humberto Cuellar, por los conocimientos, consejos y aportaciones a este trabajo.

A la M. en C. Mayra Mónica, gracias maestra por todo el cariño, paciencia, amistad y apoyo, ahora sé que no pude haber encontrado a una mejor directora de tesis, la admiro y la quiero mucho.

Principalmente a mis padres por las enseñanzas, cariño, libertad y gran amor con que me educaron, por albergar todos mis sueños y hacerlos suyos sin importar cuales sean.

Mami gracias por hacerme la mujer que soy ahora, por la confianza y el amor que me das, te amo.

Pa, gracias por apoyarme incondicionalmente y por tu amor, eres el mejor papá del mundo, te amo.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos particulares.....	5
2.3 Hipótesis.....	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 El suelo.....	6
3.2 Degradación del suelo	6
3.3 Degradación en zonas semiáridas y Desertificación	7
3.4 Prácticas de manejo y conservación de los suelos degradados (Zonas semiáridas)	8
3.4.1 Historia de la conservación en México.....	8
3.4.2 Métodos de conservación	9
4. ANTECEDENTES	11
5.ÁREA DE ESTUDIO	14
5.1 Descripción del área de estudio	14
6. MATERIALES Y MÉTODOS	16
6.1 Etapa prospectiva	16
6.2 Selección de los sitios de muestreo	16
6.3 Etapa de campo.....	18
6.4 Etapa de laboratorio y análisis estadísticos	21
6.5 Análisis estadístico de las muestras	21
7. RESULTADOS	22
7.1 Propiedades físicas	22
7.2 Propiedades químicas	27
7.3 El análisis estadístico ANOVA	31
7.4 Análisis de Tukey.....	32
7.5 Análisis de componentes principales.....	33
7.6 Análisis de clasificación clúster jerárquico.....	35

8. DISCUSIÓN	37
8.1 Propiedades del suelo.....	37
8.2 Análisis estadísticos	42
9. CONCLUSIÓN	44
10. PROPUESTAS DE PRÁCTICAS DE MANEJO Y ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS	46
11. BIBLIOGRAFÍA	50

Índice de cuadros

Cuadro 1. Localización de los sitios de muestreo en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas. (Coordenadas proyectadas UTM, Datum WGS84).....	16
Cuadro 2. Condiciones, sitios y muestras colectadas en Zapotitlán Salinas, Puebla.....	18
Cuadro 3. Indicadores medidos en campo y su instrumento de medición.....	18
Cuadro 4. Vista de los sitios muestreados.....	19
Cuadro 5. Propiedades del suelo que fueron medidas y las técnicas utilizadas.....	21
Cuadro 6. Resultados textura y color del suelo en los sitios muestreados de las terrazas fluviales de Zapotitlán, Salinas, Puebla.....	22
Cuadro 7. Resultados de la prueba ANOVA de las pruebas aplicadas.....	31
Cuadro 8. Prueba de Tukey realizada al primer componente conformado por materia orgánica, capacidad de campo, potasio y densidad aparente.....	32
Cuadro 9. Matriz del análisis de componentes principales.....	34
Cuadro 10. Componentes del análisis de componentes principales, las propiedades y proporción que aportaron a cada componente.....	35

Índice de figuras

Figura 1. Vista panorámica de las terrazas fluviales de Zapotitlán, Salinas, Puebla.....	15
Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo de las terrazas fluviales, al sur del Jardín Botánico Helia Bravo Hollis, al sureste de Zapotitlán Salinas, Puebla.....	17
Figura 3. Representación gráfica del porcentaje de arenas, limos y arcillas registradas en los suelos de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla.....	23
Figura 4. Representación gráfica de la profundidad del suelo de las terrazas fluviales en Zapotitlán, Salinas, Puebla.....	24
Figura 5. Comportamiento de la densidad aparente y porcentaje de porosidad de las terrazas fluviales en Zapotitlán, Salinas Puebla.....	24
Figura 6. Gráfica que muestra el nivel de compactación del suelo en los distintos sitios de las terrazas fluviales en Zapotitlán, Salinas, Puebla.....	25
Figura 7. Variación de la velocidad de infiltración del suelo y humedad de campo del suelo de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla.....	26
Figura 8. Representación gráfica de la humedad de campo y Capacidad de campo de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla.....	26
Figura 9. Gráfica del porcentaje de materia orgánica en los distintos sitios de muestreo de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla.....	27.
Figura 10. Comportamiento del pH y el porcentaje de carbonatos de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla.	28
Figura 11. Variación de la capacidad de intercambio catiónico y contenido de calcio y magnesio intercambiables de los suelos de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla.....	28
Fig.12. Concentraciones del calcio y magnesio (cmol+/kg-1) medido en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas Puebla.....	29
Figura 13. Representación gráfica del sodio y potasio (cmol+/kg-1) medido en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas Puebla.....	30
Fig.14. Comportamiento de las bases intercambiables en los distintos sitios de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas Puebla.....	30
Figura 15. Análisis clúster por distancia Euclídeana.....	36
Figura 16. Estrategias para la conservación de suelos agrícolas frente a procesos erosivos. (Ruíz, 2015).....	48

1. INTRODUCCIÓN

En México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). El suelo se define como “un cuerpo natural continuo que tiene tres dimensiones espaciales y una temporal; está constituido por materiales minerales y orgánicos, organizados en estructuras específicas y en constante evolución” (Krasilnikov et al., 2001). Además, de acuerdo con Porta et al. (2014) es una “cubierta delgada en la superficie terrestre, que constituye una interface que permite intercambios entre la litósfera, la biósfera y la atmósfera”.

El suelo se forma a partir de la interacción de los factores formadores que son: la roca madre, el clima, los organismos vivos, el relieve y el tiempo; mediante un proceso denominado pedogénesis, en el que interviene los procesos formadores del suelo que son un conjunto de cambios sucesivos que tienen lugar en el sistema y que promueven el desarrollo y evolución del suelo, éstos pueden ser físicos y biogeoquímicos (Krasilnikov et al., 2001).

Para que se inicie el proceso de formación del suelo es necesario la exposición de la roca madre a la superficie, ya que es aquí donde comienza su desintegración mediante eventos físicos y químicos como son la precipitación, el viento, la exposición al sol y factores mecánico-biológicos como las raíces de las plantas. La actividad biológica de las cianobacterias y los líquenes, es muy importante, ya que al colonizar los estratos rocosos liberan ácidos que contribuyen a la desintegración de la roca. Otro efecto biológico son las raíces de las plantas, ya que al crecer y establecerse en los estratos rompen a las rocas, y las raíces hacen micro- ecosistemas en los espacios, induciendo la actividad de los microorganismos, y a su vez creando materia orgánica que contribuye a la formación del suelo. El proceso de la formación del suelo no es fácil, pues se calcula que 1 centímetro de suelo tarda de 100 a 400 años en formarse, por lo que, a escala de tiempo humano, no es un recurso renovable. (SEMARNAT, 2012).

Derivado de lo anterior, el suelo es un cuerpo natural dinámico, vivo que desempeña diversas funciones además de prestar múltiples servicios como: la producción de biomasa, mejora la calidad de agua, atenúa contaminantes ambientales, regula el ciclo hidrológico, funciona como biorreactor, fija gases de efecto invernadero, regula el microclima, constituye un hábitat biológico y de reserva genética, sirve de soporte físico

de las actividades humanas, es fuente de materias primas, mantiene el paisaje y proporciona información geológica y geomórfica (Porta et al., 2014).

Por lo anterior, el suelo ha sido utilizado por el ser humano para muy diversas actividades, sin considerar, en algunos casos su vocación natural, ocasionando su degradación; y dado que en diversos territorios el uso que se le ha dado ha sido intensivo y extensivo, ante la necesidad de ofrecer cada vez más servicios y productos a una población que ha crecido precipitadamente, dicho proceso se ha acelerado. Lo anterior ha provocado que, al ser un recurso no renovable, pierda sus funciones alterando con esto el equilibrio ecológico de los ecosistemas.

La degradación del suelo se refiere a la pérdida de utilidad actual o potencial, y de la capacidad de realizar sus funciones y servicios en los ecosistemas (Porta et al., 2014). De acuerdo con lo mencionado por el autor, implica la disminución, pérdida o cambio en los parámetros de calidad y puede ser provocada por procesos naturales como la erosión, acidificación, salinización, compactación, pero también puede deberse a las actividades humanas como la deforestación, el sobrepastoreo, el aumento de la densidad poblacional, la manera en la que se usan los recursos naturales y el tipo y estado de la cobertura vegetal.

Para poder medir la afectación del suelo se utilizan algunos índices tanto de degradación como de calidad de los suelos, estos toman algunos indicadores sensibles a los cambios y analizan las propiedades dentro de los primeros 20 centímetros del suelo (Sánchez *et al.*, 1997). El estudio de estos índices es importante ya que le dan un peso específico a cada indicador, mostrando así cuales son los más importantes para la conservación de los suelos. Los atributos analizados muestran la productividad y la funcionalidad ambiental, y tomar las decisiones correctas para determinar si los suelos tienen buena calidad y si se mantienen estables (Singh y Khera, 2009); debido a esto es importante conocer su funcionamiento, desde el punto de vista físico, químico y biológico.

Una forma de saber si un suelo se degrada, es a través del seguimiento de las propiedades y la dinámica entre ellos, es decir monitoreando cómo es que estos cambian a través el tiempo y en diferentes condiciones (Van Lynden y Kuhlman, 2002). Si se puede analizar esta información pueden tomarse decisiones más confiables al momento de evaluar qué es lo que más conviene para su conservación; también se obtendrán

conclusiones válidas acerca de la dinámica de las propiedades (Dregne, 2002; Hana y Jauffret, 2008).

Debido a la importancia económica, política y social de la degradación del suelo, tanto en México como en el mundo se han realizado diversos estudios para evaluar la magnitud de la superficie afectada, así como el tipo y grado de afectación. En nuestro país se han realizado diversas evaluaciones, pero debido a diferencias metodológicas y a la escala utilizada, sus resultados no son comparables. En la *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre* realizada por SEMARNAT y CP (2003) se menciona que el 44.9% de los suelos del país están afectados por algún proceso de degradación, tanto en ecosistemas naturales como manejados (SEMARNAT, 2012). En México las principales zonas afectadas por la degradación corresponden a tierras secas, pues del total de ellas que presentan degradación del suelo, 5% son áridas, 61.2% son semiáridas y 33.8% son subhúmedas secas. De la superficie afectada por degradación en las tierras secas, cerca de 94% se encuentra en los niveles de ligera y moderada, lo que sugiere que, de seguir actuando los elementos que causan la degradación de estos suelos, podrían pasar a los niveles fuerte o extremo en el futuro, en los cuales la recuperación de su productividad sería materialmente imposible (SEMARNAT, 2012).

En la zona semiárida al suroeste del Estado de Puebla se encuentra la porción noroeste del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Área Natural Protegida, denominada Reserva de la Biosfera Tehuacán Cuicatlán, que no han escapado al problema de la degradación del suelo, ya que se trata de una región donde la presencia e impacto de la actividad humana es milenaria, pues es considerado como el sitio donde surge la agricultura en Mesoamérica y centro de origen del maíz (Muñoz-Iniestra et al, 2013a). Por ello en 2001 se inició un proyecto de monitoreo de propiedades edáficas que se llevó a cabo durante cuatro años en dos tipos de suelo aluvial, en el sistema de terrazas fluviales en el valle de Zapotitán, para registrar la variación y tendencias de las propiedades físicas y químicas del suelo, bajo diferentes condiciones de cobertura del terreno (Muñoz-Iniestra et al., 2009). En la primera etapa del monitoreo se encontró que no había diferencias significativas entre las propiedades del suelo en las condiciones evaluadas, sin embargo, los autores mencionan que el tiempo del estudio no fue el suficiente para encontrar alguna diferencia.

Siguiendo estos antecedentes, el presente proyecto busca evaluar el comportamiento de dieciséis propiedades edáficas, en cuatro sitios con diferente tipo de cobertura vegetal y analizar si existen diferencias entre estos, con el propósito de evaluar si hay una relación entre la cobertura y la variación de las propiedades del suelo en el sistema de terrazas fluviales en estudio.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar las condiciones del suelo de las terrazas fluviales del valle de Zapotitlán, en función del tipo de cobertura y el uso del terreno, mediante la valoración de sus propiedades físicas y químicas.

2.2 Objetivos particulares

-Evaluar 16 propiedades físicas y químicas del suelo en cuatro condiciones de cobertura del terreno.

-Comparar las 16 propiedades edáficas evaluadas mediante una prueba estadística

-Identificar cuáles son las propiedades más sensibles al cambio de cobertura y uso del terreno, mediante la aplicación de análisis estadísticos.

-Proponer alternativas para mejorar los suelos que muestren afectación en sus propiedades.

2.3 Hipótesis

La cobertura vegetal protege a los suelos de la degradación física, química y biológica, además aporta una gran cantidad de materia orgánica a el suelo, que, como se sabe, mejora la calidad de las propiedades edáficas; por lo que, bajo condiciones ambientales similares, los suelos protegidos con cobertura vegetal presentarán mejores condiciones en sus propiedades, en comparación con otros sitios con menor grado de cobertura o ausencia de la misma.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 El suelo

Existen muchas definiciones de lo que es el suelo, y éstas han ido cambiando a través del tiempo, además dependiendo el fin con el que se quiera utilizar, su definición cambia según el autor. Para Dokuchaev (1967) citado por Krasilnikov et al, 2001, es “un cuerpo natural formado por la acción del material parental, relieve, clima, los organismos vivos y muertos y la edad de la superficie geológica”, en la actualidad a esta definición se le han sumado según la IUSS, que tiene tres dimensiones espaciales y una temporal. Los rasgos importantes que gobiernan al suelo, menciona Krasilnikov en el 2001 es que se compone de las fases líquida, sólida y gaseosa organizadas en estructuras específicas que forman un aspecto morfológico parecido a un ser vivo, propiciando que toda esta estructura tenga una historia y una dinámica que se ve reflejada en las propiedades actuales; es decir, el suelo está en constante evolución, siendo el tiempo, la cuarta dimensión que lo modela.

3.2 Degradación del suelo

A partir de los años 80, se tuvo un interés hacia la degradación del suelo que según Zavala et al (2011) se define como “un declive temporal o permanente en la capacidad de producción de la tierra”. Por otro lado, Krasilnikov (2001) la define como la “pérdida de la utilidad actual o potencial, con la consecuente pérdida de sus cualidades intrínsecas y de sus funciones”. Este es un proceso natural, pero sin la intervención del hombre siempre ha estado equilibrado con la restauración natural, sin embargo el papel destructivo del hombre ha provocado la contaminación excesiva de la superficie y ha ocasionado una disminución de la productividad, por lo tanto, el suelo ya es considerado un recurso no renovable pues es difícil y costoso recuperarlo (Krasilnikov, 2001).

La degradación del suelo puede dividirse en 2 grupos, el primero se refiere a los procesos externos, como son el desplazamiento del suelo que son los procesos físicos; y el segundo grupo se refiere al deterioro de interno de sus propiedades y funcionamiento, aquí entran los procesos químicos y biológicos (Zavala et al 2011).

En el primer estudio nacional que integra los indicadores de la degradación de las tierras y la desertificación, realizado por la Comisión Nacional Forestal y la Universidad Autónoma de Chapingo se determinaron las condiciones actuales de la degradación de tierras y la desertificación en México y dentro de los indicadores edáficos se consideraron: la fragilidad de los suelos de acuerdo a su espesor y la pérdida del suelo por: 1) erosión hídrica, 2) erosión eólica, además de 3) degradación física expresada principalmente por

la compactación y 4) la degradación química, expresada fundamentalmente por la declinación de la fertilidad. Los resultados muestran que la degradación de los suelos nacionales está presente en 111.472 millones de hectáreas, o bien, el 63.02% del total nacional. La categoría de degradación ligera representa el 24.21% (47.433 millones de hectáreas), la moderada el 27.2% (53.291 millones de hectáreas), la severa el 10.01% (19.612 millones de hectáreas) y la degradación extrema el 1.59% (3.115 millones de hectáreas.) (CONAFOR--UACH, 2013).

3.3 Degradación en zonas semiáridas y Desertificación

De acuerdo con la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, 1994), si la degradación del suelo ocurre en tierras secas se habla de un proceso de desertificación. Este proceso afecta directamente a las funciones productivas de los suelos y disminuye la calidad de los servicios ambientales que provee a los ecosistemas. Según Granados-Sánchez y colaboradores en 2011, “la desertificación se define como la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que resulta de factores de origen climático y de actividades antropogénicas como la deforestación, el sobrepastoreo, la expansión de áreas agrícolas hacia áreas frágiles y la sobreexplotación de la vegetación para uso doméstico”. En este proceso las tierras secas, se vuelven más secas por la dinámica del clima en la que se encuentran, por lo que son altamente susceptibles y presentan varios tipos de degradación. Además, según el autor, “la desertificación es causada por dos sistemas, tanto la físico-biológica como la económico-social”.

Las principales causas de la desertificación son: la reducción de la cubierta vegetal, la erosión hídrica y eólica, la salinización, el encostramiento y la compactación del suelo, la salinización y la acumulación de sustancias tóxicas.

Un estudio de la Universidad Autónoma de Chapingo (SEMARNAT, 2014) estimó que las tierras secas en México ocupan 101.5 millones de hectáreas; de esta cifra las zonas áridas ocupan el 15.7%, las semiáridas en 58% y el 26.3% corresponde a las subhúmedas secas.

Respecto a la degradación de los suelos en México, afecta a 43.56 millones de hectáreas, esto es el 43% de la extensión de las tierras secas del país: 2.2% corresponde a zonas áridas; 14.5% a subhúmedas secas y 26.2% a semiáridas. El 94% de la degradación en

México se considera de ligera a moderada. Y por último la causa más importante de degradación en tierras áridas y semiáridas es la erosión eólica (SEMARNAT, 2014).

En México los procesos de degradación/ desertificación se manifiestan en: 1) degradación de cubierta vegetal, 2) erosión hídrica, 3) erosión eólica, 4) salinización, 5) compactación, encostramiento, afloramiento de horizontes subsuperficiales, 6) disminución de materia orgánica, 7) pérdida de nutrimentos, 8) acumulación de sustancias tóxicas, 9) sequía. Con todos estos problemas, tomaría al menos cuatro décadas trabajar para que la velocidad de degradación sea igual a la velocidad de recuperación de los ecosistemas, por lo que urge comenzar con el manejo sustentable de las zonas áridas y semiáridas en México. (Granados-Sánchez et al, 2011)

Es importante tener en cuenta que la desertificación es el proceso terminal de una serie de eventos políticos, culturales, sociales, y económicos, en donde la acción del hombre sobre el ambiente causó la pérdida total de la productividad. (Ruíz, 2015).

3.4 Prácticas de manejo y conservación de los suelos degradados (Zonas semiáridas)

3.4.1 Historia de la conservación en México

En la historia de nuestro país la conservación de los suelos es un concepto relativamente nuevo. Los antropólogos han tenido una gran discusión si en la época prehispánica se realizaban prácticas de conservación como es restringir el fuego en las montañas y campos, o con Nezahualcóyotl, que tenía una planeación territorial de los recursos. Cuando los españoles entraron a nuestro territorio se alteraron muchas de estas prácticas ya que la conservación solo estaba basada en los que dejaban una derrama económica y dejaban de lado los de menor importancia como la fauna, la flora, el agua y el suelo. En la época de la independencia se abogaba por los recursos por el interés de conservación de ciclos biológicos (Como reguladores de biológicos e hidrológicos) y por la belleza, que tenía una derrama económica también, en el porfiriato hubo un retroceso ya que no se pensaba en conservar solo en el desarrollo económico del país, con la construcción del ferrocarril muchas tierras. Un actor importante en la conservación fue Miguel Ángel de Quevedo, quien, con ideas de escuelas de ingeniería de Francia, implemento programas forestales, pues pensaba que la importancia de la naturaleza abarcaba el aspecto biológico, el valor escénico y recreativo. Fue así que en 1927 se promulgo la ley forestal. Fue hasta el sexenio del presidente Ávila Camacho en donde comenzó a haber una preocupación por la erosión del suelo, es en este sexenio en donde se crea la ley de

conservación de los suelos y agua, pero en los siguientes años se le da solo un pequeño porcentaje del presupuesto para la recuperación, ya que para muchos es más importante la producción de la agricultura y no la restauración del suelo, fue cuando el biólogo Enrique Beltrán, gran promotor de cursos para la conservación impulso la creación del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. En el periodo de Zedillo Ponce de León se formó (1994-2000), la Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), y promulgo la Ley General de Equilibrio Ecológico, donde se creó la Dirección General de Conservación y Restauración de los Suelos, sin éxito alguno. Después de tanto tiempo no se podido concretar ninguna política que pueda detener el deterioro de los recursos naturales, y lo que hace falta es que se cambie la visión que se tiene sobre la importancia de estos en la sociedad no solo desde el punto de vista económico. En lo que compete a suelos, se debe introducir al suelo no como una parte del ecosistema, sino como un organismo vivo, finito, tridimensional e integrado con todos sus componentes, hablar de suelos es integrar los elementos físicos, ambientales, topográficos, fisiográficos, clima, hidrología, flora y fauna. (Ruíz, 2015).

3.4.2 Métodos de conservación

Actualmente el deterioro de los recursos se ha acelerado y es importante crear modelos de manejo de recursos para sea sostenible antes de que sea demasiado tarde, es necesario crear un balance entre la conservación del suelo y el manejo de los recursos. (Lored, 2005).

La conservación de los suelos va mucho más allá de las prácticas de control de erosión antrópica, debe ser un conjunto de conservación de los recursos naturales como son: la flora, la fauna, el suelo y el agua, integrando estos elementos en un plan de desarrollo sustentable podremos aumentar la posibilidad de rehabilitación de las tierras existentes. (Ruíz, 2015).

Al momento de hacer recomendaciones para la rehabilitación de las tierras debemos tener en cuenta que la erosión ha existido y existirá de manera natural, lo que se debe modificar son las acciones del hombre al momento de explotar los recursos naturales, pues debido a sus prácticas insostenibles degrada los recursos. También mencionar que la acción técnica del hombre no es la solución de la conservación, sino el estudio social y político,

para entender los procesos de aceptación y adopción por parte de los individuos que trabajan la tierra. (Cotler et al, 2014)

Para la planificación de los recursos se tiene que empezar entendiendo que no todas las recomendaciones son válidas para los mismos sitios, ya que cada uno tiene necesidades y estados de conservación diferentes. Se comienza por: 1) Acopio de información es decir si hay zonas agroecológicas, aspectos climáticos, topográficos, edáficos y saber cuáles son los usos de suelo. 2) Análisis de la información recopilada 3) Análisis de la dimensión de los problemas actuales 4) Disponibilidad de recursos humanos, infraestructura y económicos. 5) Aproximación de los posibles modelos. 6) Realización de la estrategia definitiva. (Ruíz, 2015).

Para realizar adecuadas prácticas de conservación es necesario conocer la situación y posibilidades del desarrollo del lugar, según Ruiz, en 2015, los trabajos de conservación deben adaptarse y evitar la explotación intensiva de la tierra, pensando siempre en mejorar la fertilidad y prevenir la erosión eólica e hídrica bajo el principio conservacionista: el manejo de la vegetación nativa con la máxima protección del suelo, por el mayor tiempo posible y con un beneficio económico.

4. ANTECEDENTES

En 2003, López y colaboradores realizaron un análisis de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la subcuenca de Zapotitlán Salinas, en donde menciona que los principales factores y procesos que favorecen la degradación es la deforestación, desmontes quema y extracción de la cobertura vegetal, el cambio del uso de suelo. Menciona además que las comunidades vegetales que se encuentran en las terrazas fluviales son algunas de las más conservadas, pero también son sistemas bióticos muy frágiles del área, además de ser las tierras con mayor vocación productiva.

En 2006, Montaño y colaboradores investigaron la relación entre la cobertura del mezquite en un ecosistema semiárido en Hidalgo y las propiedades del suelo, concluyendo que la composición vegetal de los sitios con mezquite es importante para la conservación de la fertilidad y la calidad de los suelos, también menciona que las islas de fertilidad son importantes para ayudar a aumentar los nutrimentos en las prácticas de conservación en la calidad de los sitios, ya que al acumular nutrimentos benefician a otras especies vegetales, además de comunidades microbianas que a su vez sirven de almacén y ayudan a la disponibilidad de los nutrimentos.

En 2008, Muñoz Iniestra comienza el monitoreo de las propiedades físicas y químicas del suelo en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, a partir de este monitoreo realizado por cuatro años concluye que la materia orgánica es el factor que marca la calidad de los suelos en los sitios conservados y los degradados. Además, menciona que, al ser un sitio poblado desde hace mucho tiempo, los abusos de la agricultura comenzaron el proceso de degradación al modificar el uso de suelo y la sobreexplotación. Por último, concluye que cuatro años no son suficientes para entender la dinámica edáfica.

En 2013 la CONAFOR--UACH en su Informe Final de la Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación, menciona que una de las mayores causas de degradación del suelo son la pérdida de los recursos bióticos referidos al estado de la cobertura general, entre los que se encuentra el cambio de uso de suelo, degradación de

cubierta vegetal y zonas deforestadas, con ayuda de sistemas de información geográfica evalúan el estado de la vegetación en el país y mencionan que solo el 48% de la superficie del país aún presentan vegetación primaria, mientras que el 7% vegetación secundaria arbórea, 14 % arbustiva y solo el 0.1 % vegetación herbácea.

En 2014, Escalante realizó un análisis de degradación de suelo en diferentes coberturas en un suelo aluvial también en el municipio de Zapotitlán Salinas, encontrando que los sitios donde no hay cobertura vegetal tienen mayor degradación del suelo; menciona que la deforestación de los sitios es la causa principal para iniciar la degradación.

En 2014, Barrera evaluó el efecto de las costras biológicas del suelo en la infiltración del agua en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, menciona que el comportamiento de las costras depende principalmente de la compactación del suelo, de la porosidad y la cantidad de líquenes, que en conjunto forman una capa impermeable que limita la infiltración y aumenta el riesgo de erosión del suelo.

En 2015, Ferreira realizó una evaluación del nivel de degradación química y biológica del suelo en dos terrazas de Zapotitlán Salinas, Puebla, encontrando que en los sitios con menor cobertura vegetal hay mayor degradación, y una menor fertilidad. Aunque las terrazas evaluadas tienen una fertilidad media, las de mayor cobertura vegetal presentan mayor puntaje según los índices de fertilidad de Pearson.

En 2016, Hernández evaluó el impacto de diferentes coberturas y usos de la tierra en la calidad de los suelos en una zona semiárida en el estado de Hidalgo, observando que el uso de suelo sí afecta en la calidad del suelo, encontrando que la mejor calidad fue donde había un mayor aporte de materia orgánica por parte de la vegetación. Por otra parte, menciona que la peor calidad se encuentra en zonas de mezquital abierto, en donde hay mayor presencia de costras físicas en la superficie.

En 2016 Cabral realizó una documentación sobre las actividades productivas que se han realizado en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas y su relación con la posible desertificación, encontró que las principales actividades fueron la extracción de leña, el pastoreo y la agricultura y están provocando un cambio en la composición de la vegetación, debido al deterioro que causan, pero no se puede afirmar que estén en un proceso de desertificación, ya que se necesita mucho tiempo para poder analizar, además de tener muestras más grandes. También menciona que son la extracción de leña y el

pastoreo las actividades que afectan en mayor medida, ya que, al retirar las ramas, el suelo está más expuesto a la radiación, además de generar más compactación y menos infiltración del agua, evitando así el crecimiento de la vegetación. La pobreza es el círculo vicioso de esta degradación, ya que estas actividades son la que dan economía a los pobladores del lugar.

5.ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Descripción del área de estudio

Las terrazas fluviales se encuentran en la porción central de la cuenca del río Zapotitlán, entre las coordenadas 18°19'08" y 18°19'45" latitud norte y 97°27'00" y 97°27'40" longitud oeste, al sur de Puebla en el Municipio de Zapotitlán Salinas, cubriendo un área de 1455 ha. La zona pertenece a la provincia fisiográfica de la Alta Mixteca y al sistema ecográfico Sierra de Zapotitlán que presenta un relieve irregular con múltiples formas como cerros, laderas, escarpes, lomeríos, barrancas y las terrazas fluviales constituyen parte del sistema terrestre valle aluvial, que es el más dinámico de la cuenca (Ferreira, 2015).

El sistema de terrazas fluviales se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 28 y pertenece en su mayor parte a la cuenca alta del Río Papaloapan; al mismo tiempo está insertado en la subcuenca fluvial del Río Salado, que es parte del Río Zapotitlán (López-Galindo et al, 2003). Las terrazas se distribuyen sobre los márgenes del río Zapotitlán, que es un río intermitente que corre de oeste a este y tiene una longitud de 32.25 km, con una altitud mínima de 1430 msnm y máxima de 1600 msnm; su pendiente promedio es de 1 grado.

Las terrazas son una interface entre las corrientes de agua y la porción terrestre, formando planicies de inundación causadas por movimientos tectónicos. En el caso de las terrazas de Zapotitlán Salinas, fueron formadas en el Cuaternario, bajo condiciones climáticas más húmedas, donde se dieron fenómenos extraordinarios de erosión y depositación que permitieron que el río transportara grandes cargas de sedimentos (Muñoz-Iniestra, 2008). Por ello, presentan varios mantos aluviales de espesor variable, con estratificaciones de arcilla, limo, arena muy fina y gruesa, cantos rodados y gravas. Su naturaleza litológica es variada e incluye elementos clásticos derivados del intemperismo y la erosión de calizas, lutitas y areniscas, así como de materiales ígneos basálticos y metamórficos del tipo esquistos micaceos y gneises. Las unidades de suelos identificadas en las terrazas son: Fluvisol y Regosol calcáricos, que son suelos jóvenes y profundos (Muñoz-Iniestra et al, 2009).

El clima que prevalece en la región está determinado por la presencia de la Sierra de zongólica (Sierra Madre Oriental), que detiene a los vientos húmedos que vienen del

Golfo de México, generando un efecto de sombra orográfica, por lo que en la zona de estudio la precipitación pluvial es escasa (Valiente-Banuet, 1991). De acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García (1973) el clima es seco semicálido, con lluvias de verano (BSohw), con poca oscilación térmica que varía entre 5 y 7°C, y la temperatura media fluctúa entre 17.6 y 23.7°C. El mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano, con régimen de lluvias de verano, presencia de una canícula a mitad del período de lluvias y con una precipitación media anual de 412.4 mm (Muñoz- Iniestra 2008).

La vegetación dominante es Mezquital de *Prosopis laevigata*, denominado mezquite. La característica que lo distingue es la presencia de árboles de dos a siete metros de altura que conservan hojas durante todo el año y en gran proporción presentan espinas. Como especies acompañantes, se encuentran tres tipos de cactáceas columnares: *Myrtillocactus geomtrizans*, *Pachycereus marginatus* y *Stenocereus pruinosus*. Debido que los suelos con esta vegetación son aptos para la agricultura, y para la extracción de leña, la población de mezquites se ha reducido drásticamente (Valiente-Banuet et al, 2009).

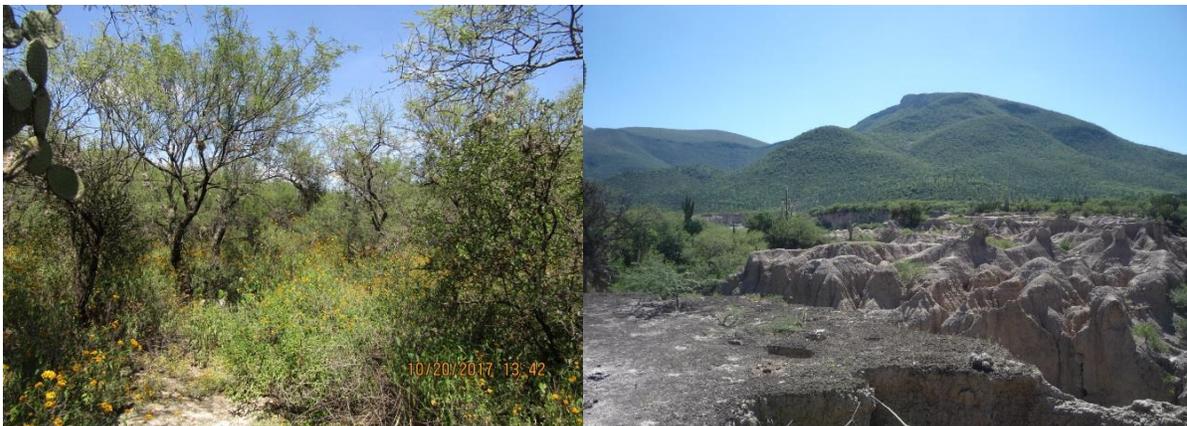


Figura 1. Vista panorámica de las terrazas fluviales de Zapotitlán, Salinas, Puebla.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Etapa prospectiva

Para iniciar el proyecto se realizó una revisión bibliográfica sobre la temática del mismo, para profundizar en el marco conceptual y metodológico. Además, se consultó cartografía temática e imágenes satelitales de alta resolución, para conocer la zona de estudio. Con ello se identificaron las diferentes condiciones de cobertura del terreno de las zonas de las terrazas fluviales evaluadas previamente por Muñoz-Iniestra et al. (2009).

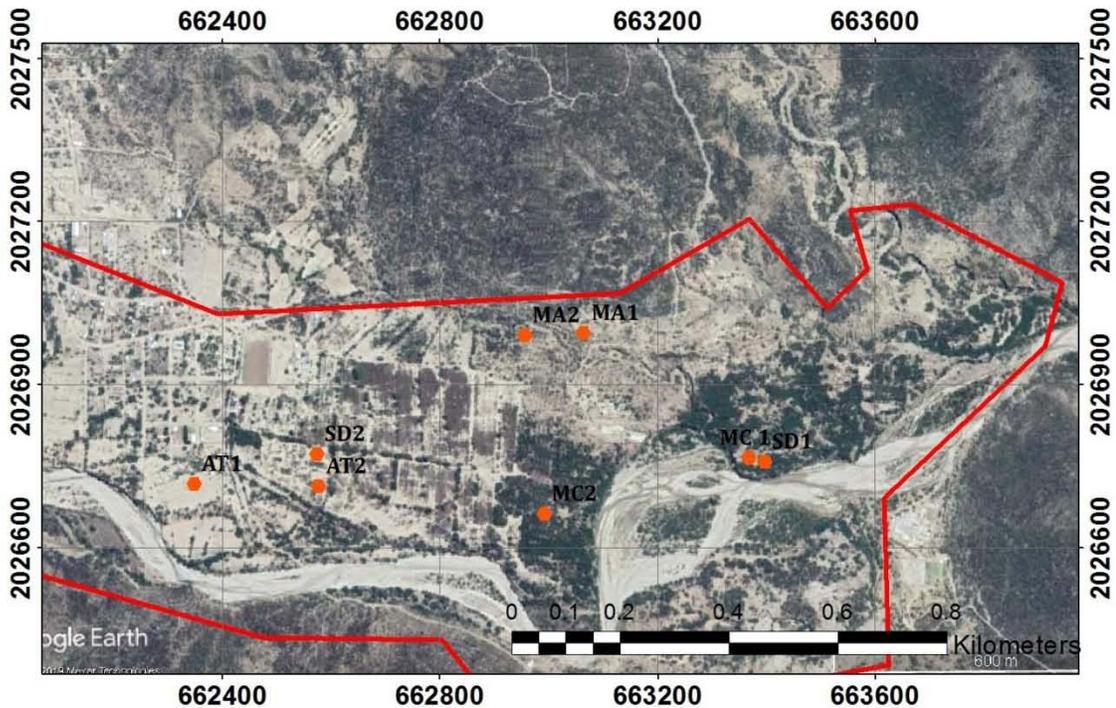
6.2 Selección de los sitios de muestreo

Se eligieron 4 condiciones de coberturas del suelo de las terrazas: matorral cerrado (MC), matorral abierto (MA), suelo desnudo (SD) y agricultura temporal (AT). A partir de esto, se identificaron dos sitios que presentaran cada condición de cobertura y se georreferenció cada sitio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización de los sitios de muestreo en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas (Coordenadas proyectadas UTM, Datum WGS84)

Cobertura del suelo	Clave	Este (metros)	Norte (metros)
Matorral Cerrado	MC1	663369	2026764
Matorral Cerrado	MC2	662993	2026662
Matorral Abierto	MA1	663065	2026994
Matorral Abierto	MA2	662957	2026990
Suelo Desnudo	SD1	663397	2026758
Suelo Desnudo	SD2	662575	2026772
Agricultura Temporal	AT1	662349	2026717
Agricultura Temporal	AT2	662578	2026713

Localización de los sitios de muestreo en las terrazas de Zapotitlán Salinas, Puebla.

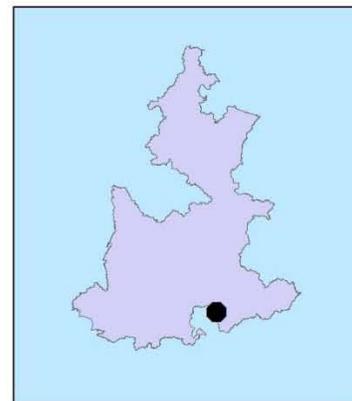
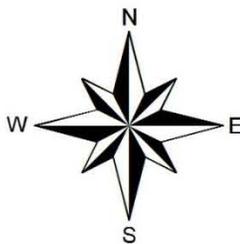


- **Puntos de muestreo**
- ▭ **Limite de las terrazas fluviales.**

Proyección: Tránsversal de Mercator

Datum: WGS84

Cordenadas: UTM



Elaborado por: Zuleyma Espinoza Velez.
Revisó: Mayra Mónica Hernández Moreno
12 de agosto del 2019

Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo de las terrazas fluviales, al sur del Jardín Botánico Helia Bravo Hollis, al sureste de Zapotitlán Salinas, Puebla.

6.3 Etapa de campo

En octubre de 2017 se realizó una salida al campo para coleccionar las muestras de suelo superficial (0 - 20 cm). En cada una de las terrazas se seleccionaron los sitios donde los suelos presentaban las distintas condiciones de cobertura del terreno definidas para el estudio: matorral cerrado (MC), matorral abierto (MA), suelo desnudo (SD) y agricultura temporal (AT) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Condiciones, sitios y muestras coleccionadas en Zapotitlán Salinas, Puebla.

Condición	Sitio	Muestra
MC	MC1	MC1A, MC1B, MC1C
	MC2	MC2A, MC2B, MC2C
MA	MA1	MA1A, MA1B, MA1C
	MA2	MA2A, MA2B, MA2C
SD	SD1	SD1A, SD1B, SD1C
	SD2	SD2A, SD2B, SD2C
AT	AT1	AT1A, AT1B, AT1C
	AT2	AT1A, AT1B, AT1C

En cada sitio se obtuvieron tres submuestras, con una barrena se coleccionó siempre el mismo volumen, que se depositó en bolsas de polietileno etiquetadas para analizarlas en el laboratorio. Además, se registraron los datos ambientales asociados a los sitios de muestreo y se midieron los siguientes indicadores de campo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Indicadores medidos en campo y su instrumento de medición

Indicador	Instrumento de medición
Infiltración	Método del cilindro de PVC (USSDA, 1999)
Compactación	Penómetro
Profundidad útil	Se empleó una cinta métrica
Humedad de campo	Higrómetro

Cuadro 3. Vista de los sitios muestreados.

MC1	MC2
 <p>A close-up photograph of a columnar cactus with several arms, situated in a wooded area with dense green foliage and tree branches. A timestamp in the bottom right corner reads "10/19/2017 18:40".</p>	 <p>A photograph showing a cactus in a field of yellow flowers, with trees in the background under a clear blue sky. A timestamp in the bottom right corner reads "10/20/2017 18:42".</p>
MA1	MA2
 <p>A photograph of a cactus in a field with mountains in the background. The ground is covered with dry vegetation and a small white object is visible. A timestamp in the bottom right corner reads "10/19/2017 17:27".</p>	 <p>A photograph of a cactus in a field with a dirt path in the foreground and mountains in the background. A timestamp in the bottom right corner reads "10/20/2017 17:30".</p>

SD1



SD2



AT1



AT2



6.4 Etapa de laboratorio y análisis estadísticos

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Edafología de la FES Iztacala donde se evaluaron las siguientes propiedades (Cuadro 5), siguiendo el manual de métodos de análisis de suelos de Muñoz-Iniestra et al (2013b).

Cuadro 5. Propiedades del suelo que fueron medidas y las técnicas utilizadas

Propiedad	Técnica	Propiedad	Técnica
Color	Tablas Munsell (1975)	Porosidad	Cálculo mediante densidades
Textura	Método de Bouyoucos (1963)	Densidad aparente	Método de cilindro de PVC (USDA, 1999)
pH	Potenciómetro	CIC	Método de Schollenberger y Simon (1945)
Humedad relativa	Por diferencia de peso	Capacidad de campo	Método gravimétrico
Calcio y Magnesio intercambiables	Método desarrollado por Chen y Bray (1951)	Carbonatos	Método gasométrico desarrollado por Morton y Newson (1953)
Materia orgánica	Método de Walkley y Black (1947)	Sodio y Potasio intercambiables	Método de U S Salinitylaboratory staff (1954)

6.5 Análisis estadístico de las muestras

Dado que se tienen múltiples variables dependientes se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para conocer si existían diferencias significativas entre los sitios; este análisis, permite ver diferencias entre los sitios con base en las propiedades edáficas, sin embargo no muestra que propiedades son las que más influyen en la variación de los sitios, para esto se realizó un análisis de componentes principales (ACP) (Sánchez, 2009)

Con el análisis de componentes principales se pudo identificar a las propiedades que más contribuyen en la variación de los datos, así que se tomaron las propiedades del primer componente principal y se les aplicó una prueba de Tukey (García et al, 2001) para saber cuáles fueron los sitios entre los que existían diferencias significativas.

Por último, se realizó un análisis de clasificación Clúster de distancias Euclidianas, (De la Fuente, 2011) para identificar cuáles sitios tenían mayores similitudes y cuáles más diferencias. Los anteriores análisis se realizaron con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 20.

7. RESULTADOS

7.1 Propiedades físicas

El Cuadro 6 muestra los resultados de algunos indicadores de las condiciones físicas del suelo de las terrazas fluviales, en donde se observa que predominan los colores pardo pálido y gris claro, y las texturas franco arcillosas y limosas, pues el contenido de limos es elevado (25-45%).

Cuadro 6. Resultados textura y color del suelo en los sitios muestreados de las terrazas fluviales de Zapotitlán, Salinas, Puebla.

Sitio	% Arenas	% Limos	% Arcillas	Clase textural	Color en seco (Notación Munsell y Nombre)	Color en Húmedo
MC1	28.21	42.13	29.47	Franco arcilloso	10YR 6/3 Pardo pálido	10YR 4/3 Pardo oscuro
MC2	25.06	39.87	35.07	Franco arcilloso	10YR 6/2 Gris Pardo Pálido	10YR 5/4 Pardo amarillento
MA1	19.33	47.87	32.8	Franco arcillo-limoso	2.5Y 7/2 Gris claro	2.5Y 5/4 Pardo olivo claro
MA2	52.4	25.73	22.33	Franco-arcillo arenoso	2.5Y 7/4 Amarillo pálido	2.5Y 5/4 Pardo olivo claro
SD1	52.13	22.8	25.07	Franco arcillo-arenoso	10YR 7/3 Pardo muy pálido	10YR 5/3 Pardo
SD2	15.86	45.33	38.80	Franco arcillo-limoso	2.5Y 7/2 Gris claro	2.5Y 5/4 Pardo olivo claro
AT1	17.86	47.20	34.93	Franco arcillo-limoso	2.5Y 7/2 Gris claro	2.5Y 5/4 Pardo olivo claro
AT2	14.67	47.73	37.6	Franco arcillo-limoso	2.5Y 7/2 Gris claro	2.5Y 5/4 Pardo olivo claro

En la figura 3 se observa que prácticamente todos los sitios tiene menos del 30% de arenas (19 a 28%), excepto MA2 y SD1, que sobrepasan el 50%, encontrándose que estos sitios presentan un porcentaje muy similar de los tres tamaños de partículas. Por su parte, SD2 tuvo un comportamiento semejante a los sitios de agricultura temporal, pues tienen la misma clase textural: franco arcillo-limoso. El contenido de arcillas se encuentra en un rango del 22 al 39%, siendo, los sitios con agricultura temporal, aquellos en donde hay mayor contenido de arcilla.

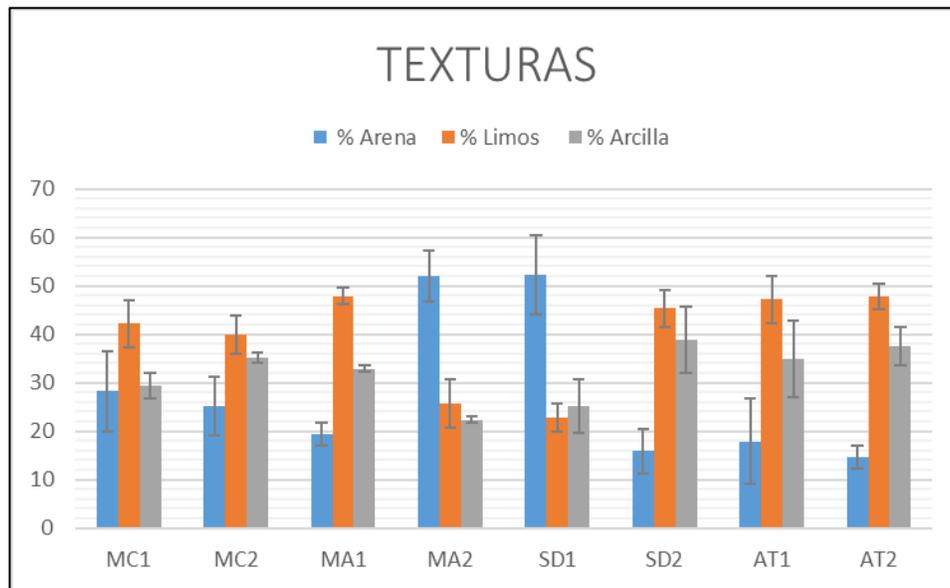


Figura 3. Representación gráfica del porcentaje de arenas, limos y arcillas registradas en los suelos de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

La profundidad útil estuvo en un intervalo de 8 a 26cm, en la figura 4 se muestra que en los sitios de matorral cerrado y abierto, así como de suelo desnudo, es menor de 15 cm, mientras que los sitios destinados al uso agrícola de temporal (AT1 y AT2) es hasta de 26 cm.

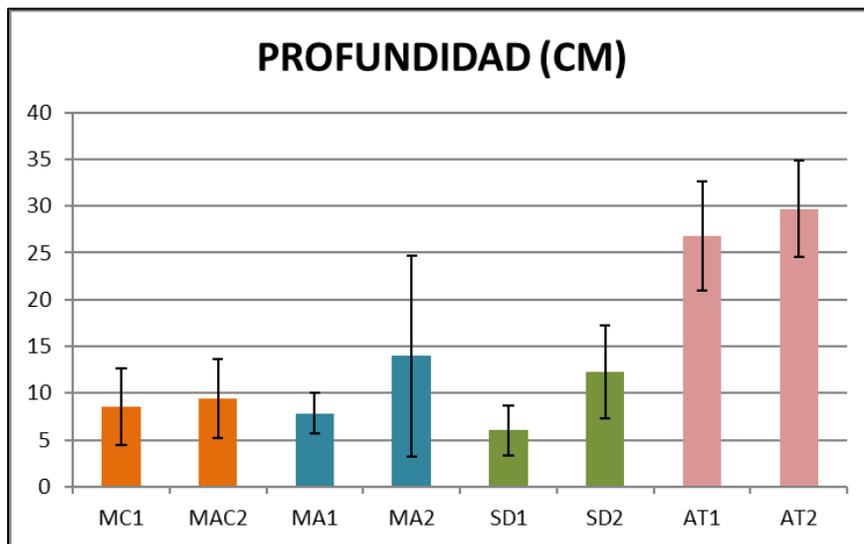


Figura 4. Representación gráfica de la profundidad del suelo de las terrazas fluviales en Zapotitlán, Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

La densidad aparente presenta un comportamiento similar en los 4 tipos de cobertura estudiados, encontrándose valores entre 0.9 y 1.5 g/cm³. Los sitios MC2, MA1, MA2, AT1, AT2 y SD1, SD2 presentan valores superiores a 1, que se consideran medios (figura 5), mientras que MC1 obtuvo un valor menor a 1, por lo que se le considera de baja densidad. Por su parte, la porosidad se encontró entre 28 y 61%. En todos los tipos de cobertura fue menor al 40% (media), excepto en MC1 que fue del 60% (alta).

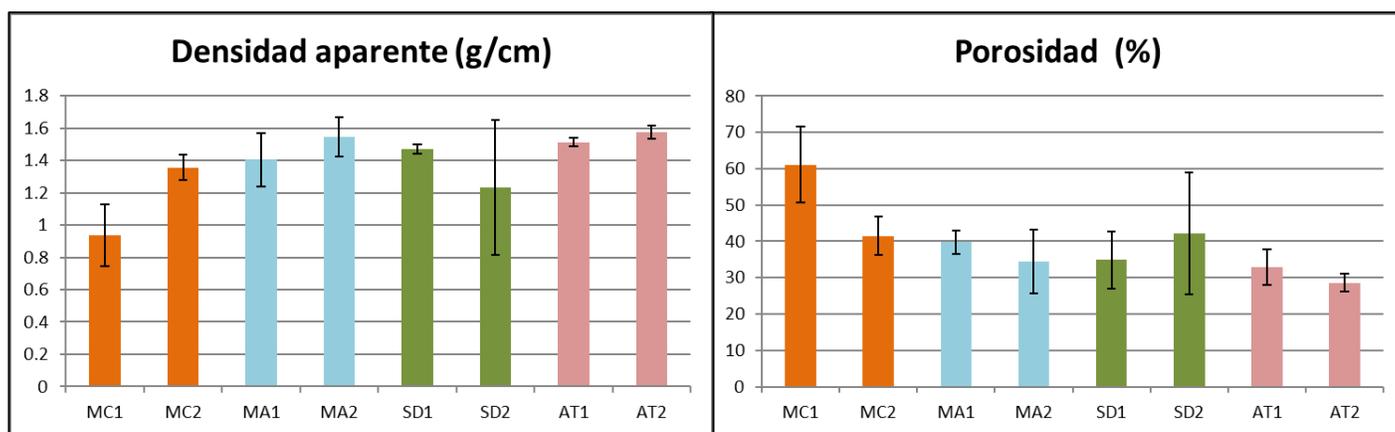


Figura 5 . Comportamiento de la densidad aparente y porcentaje de porosidad de las terrazas fluviales en Zapotitlán, Salinas Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

La compactación del suelo registró valores entre 140 y 305 PSI, en la Figura 6 se observa que MC1 y AT1 son los menos compactados, ya que se encuentran por debajo de los 200 PSI. Los demás sitios presentan valores cercanos a 300.

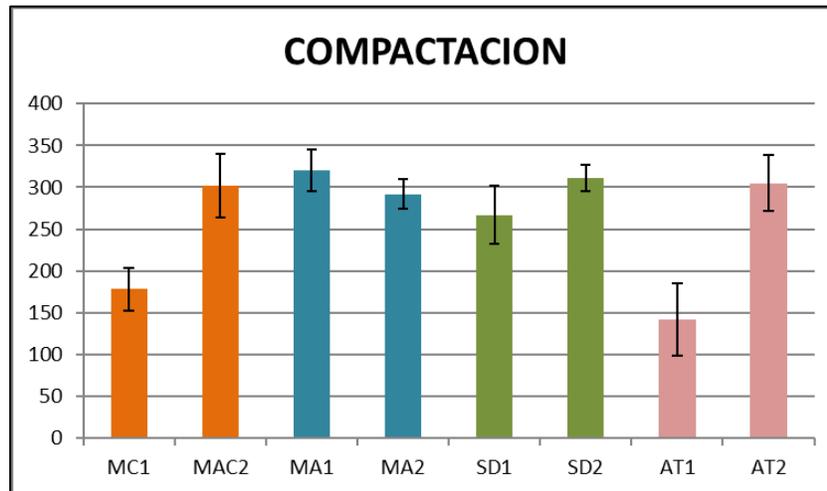


Figura 6. Gráfica que muestra el nivel de compactación del suelo en los distintos sitios de las terrazas fluviales en Zapotitlán, Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

En cuanto a la infiltración, todos los sitios presentan una velocidad moderada, que se encuentra entre 5 y 57 cm/hr. La figura 5 muestra que los sitios con mayor velocidad fueron MC2, con 10.52cm/h, seguido por el suelo desnudo, que se encuentra entre 6 y 8 cm/h; y el matorral abierto fue el sitio con la menor velocidad de infiltración (5 y 7 cm/H).

En cuanto a la humedad de campo (figura 7) los valores van del 42.7 al 83.3%, encontrándose que los sitios destinados a la agricultura de temporal resultaron con el mayor contenido de humedad 58.7 y 83.3%, y, a pesar de que se esperaba que los sitios de matorral abierto y suelo desnudo tuvieran menor cantidad de humedad, no fue así.

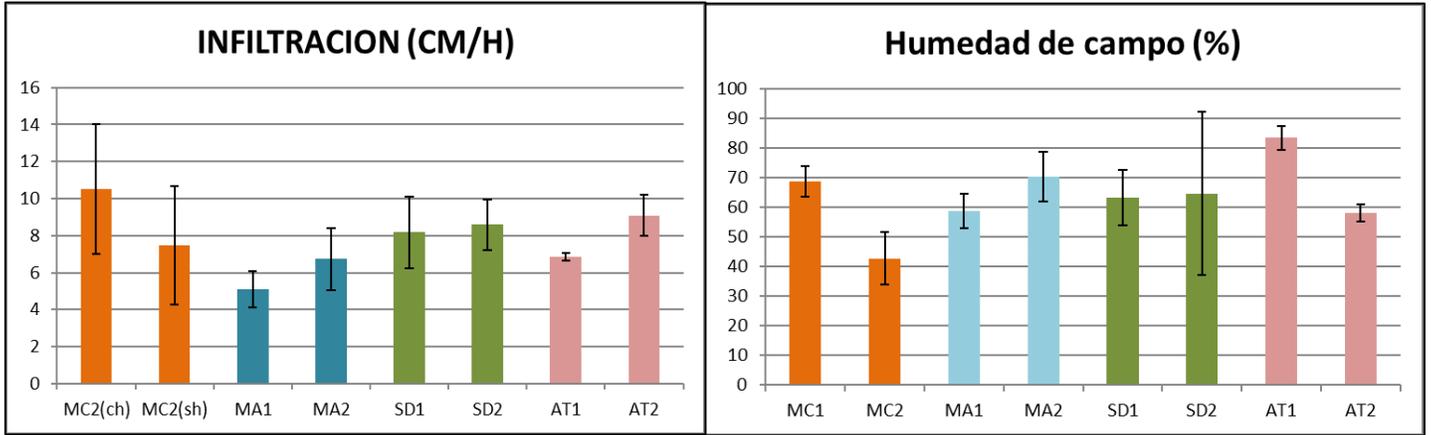


Figura 7. Variación de la velocidad de infiltración del suelo y humedad de campo del suelo de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal).

La capacidad de campo registró valores entre 26 y 55% (Fig. 8), siendo la condición de MC los sitios con valores alrededor del 50% y MA2 y SD1 los sitios con los menores valores. La humedad capilar que se registró está entre el 25 y 54%, siendo MC1 el sitio que tuvo mayores valores de humedad aprovechable y, nuevamente MA2 y SD1 tuvieron valores similares, siendo los más bajos de todas los sitios evaluados.

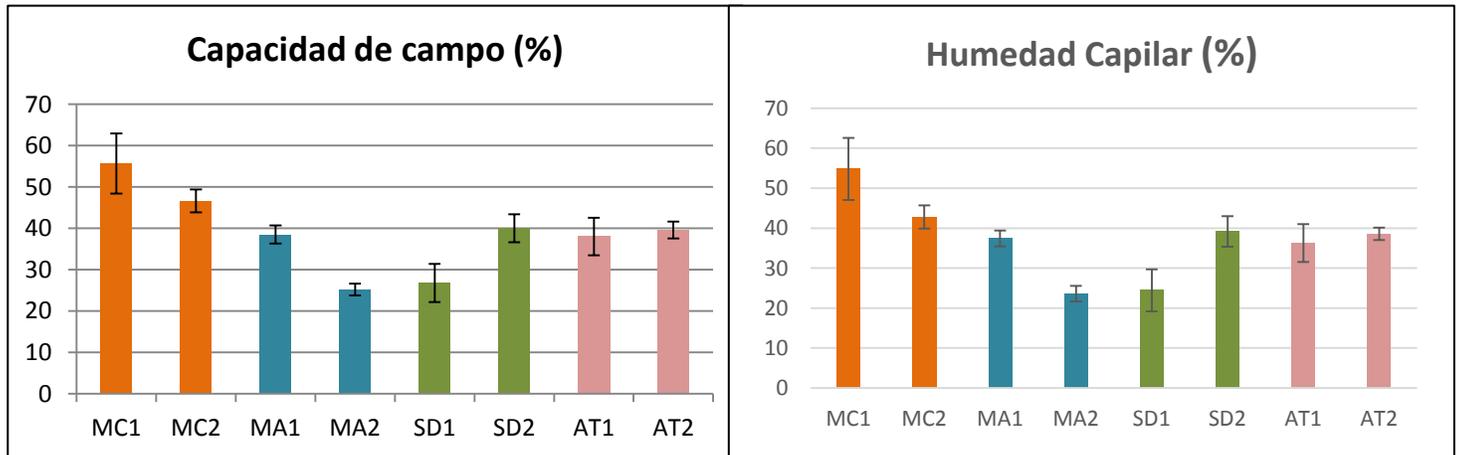


Figura 8. Representación gráfica de la humedad de campo y Capacidad de campo de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

7.2 Propiedades químicas

Los datos registrados de materia orgánica, están entre 1.1 y 8.86%. La figura 9 muestra que los sitios MC1 y MC2 tienen mayor cantidad de materia orgánica, que los demás sitios analizados, con un porcentaje por arriba de 5% (Alonso, 2019), que de acuerdo con Muñoz et al. (2013), entran en la categoría de suelos ricos en materia orgánica. De manera específica, el sitio MA1 resultó moderadamente rico (2.15%), mientras que MA2 y SD1 tienen un contenido pobre de materia orgánica (1.11 y 1.23%, respectivamente). Los demás sitios resultaron moderadamente pobres (1.6-1.7%).

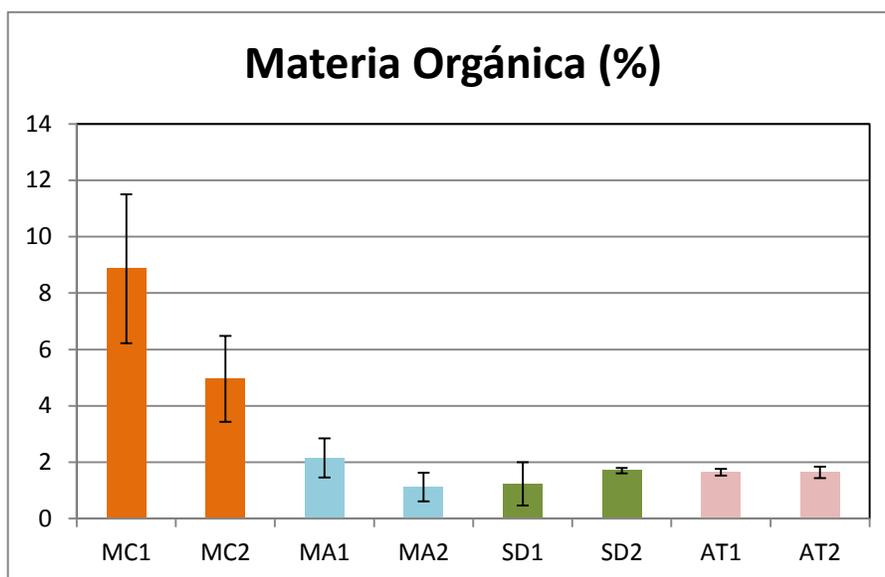


Figura 9. Gráfica del porcentaje de materia orgánica en los distintos sitios de muestreo de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

Respecto al pH se encontraron valores que van de 7.97 a 8.62 (ligera a fuertemente alcalino), siendo el matorral abierto el sitio que tiene los niveles más altos (8.62); mientras que el suelo desnudo (SD) presenta los valores menos alcalinos (7.9 a 8.2) (Fig. 10). Relacionado con el pH, encontramos al porcentaje de carbonatos, cuyos valores van de 21 a 32% (alto), siendo AT1 el sitio con los valores más altos (32%) (Fig. 7).

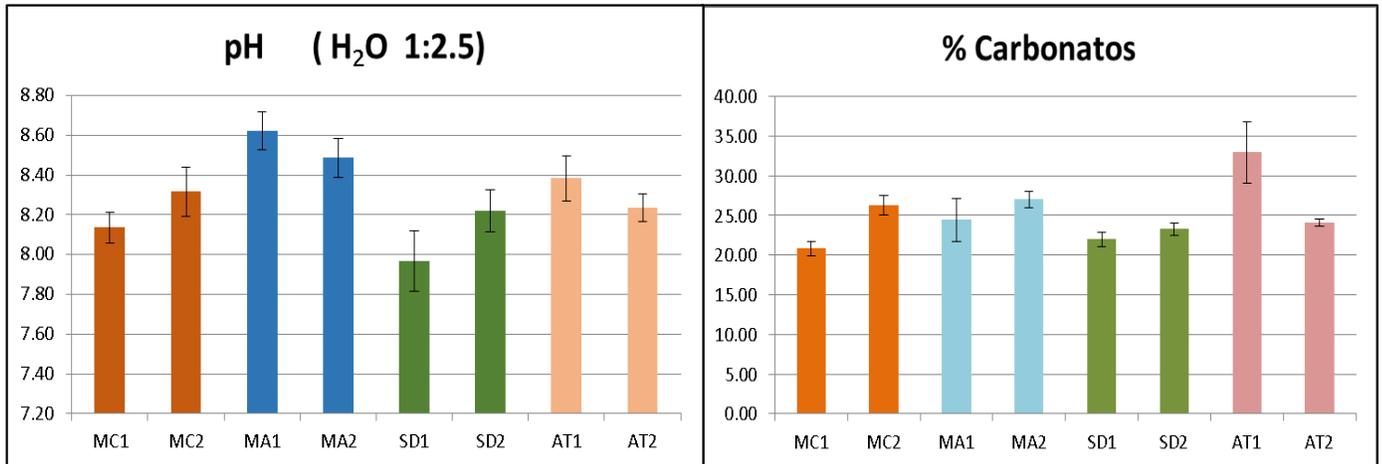


Figura 10. Comportamiento del pH y el porcentaje de carbonatos de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal).

En la Figura 11 se muestran los resultados obtenidos de capacidad de intercambio catiónico total (CIC). MC1, MC2, SD2, AT1 y AT2, se ubicaron en la categoría media, con valores entre los 22 y 25 cmol/kg^{-1} y los restantes en la baja, entre los 15 y 20 cmol/kg^{-1} .

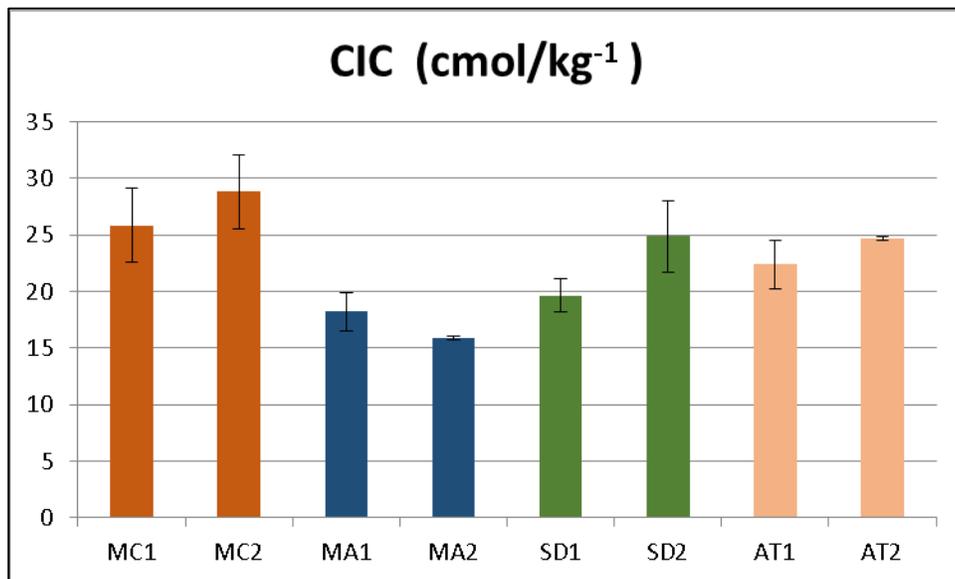


Figura 11. Variación de la capacidad de intercambio catiónico y contenido de calcio y magnesio intercambiables de los suelos de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

Respecto al contenido de calcio y magnesio intercambiables (Fig.12), se encontraron niveles bajos de calcio (3-5 cmol/kg^{-1}) y valores de magnesio menores a 2 cmol/kg^{-1} , excepto en el sitio MC1 y los dos sitios del suelo desnudo, que presentaron niveles medios, por encima de los 2.1 cmol/kg^{-1} (Anexo 1).

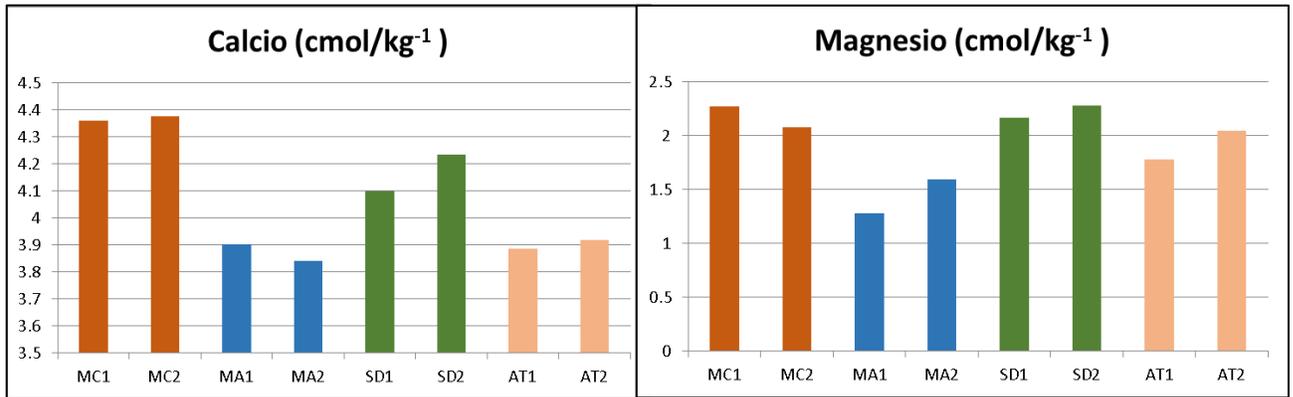


Fig.12. Concentraciones del calcio y magnesio($\text{cmol}^+/ \text{kg}^{-1}$) medido en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

La figura 13 muestra una diferencia notable en los sitios con suelo desnudo (SD1 y SD2) en cuanto al contenido de sodio, y también en el sitio AT2, pues registraron valores por arriba de 2.44 cmol/kg^{-1} ; los demás sitios se encontraron por debajo de 0.4 cmol/kg^{-1} . Para el contenido de potasio los resultados nos muestran que los sitios con matorral cerrado (MC1 y MC2) fueron los más altos, registrando por arriba de 1.18 cmol/kg^{-1} ; los demás sitios se encontraron por debajo de 0.5 cmol/kg^{-1} .

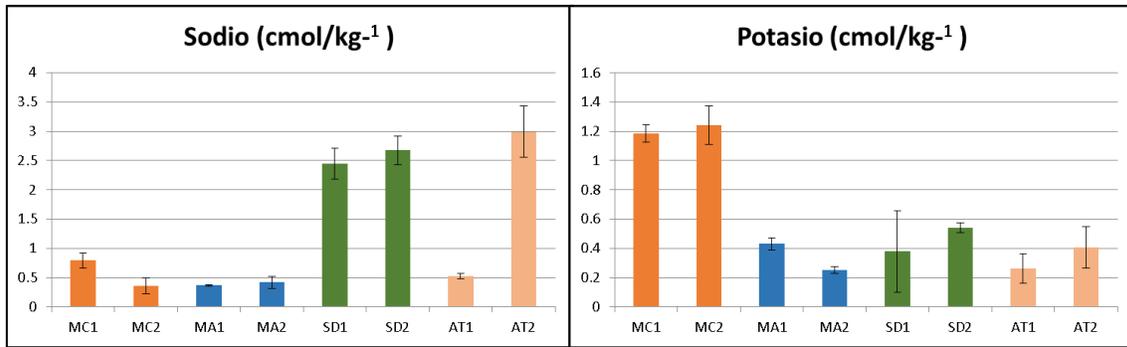


Figura 13. Representación gráfica del sodio y potasio (cmol+/kg⁻¹) medido en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

En la figura 14 se observa el porcentaje de los cationes intercambiables, referidos al intercambio cationico total (Muñoz et al., 2013), hallando que el Calcio se localiza alrededor del 15%, magnensio menor al 10% con una proporción Ca:Mg 2:1. Potasio y sodio se encontraron por debajo de un 5%. Se registró un bajo porcentaje de sodio, excepto en SD1,SD2 y AT donde se observa que exceden el 10%.

Por otra parte se notó que hay un antagonismo entre el calcio y potasio, ya que al aumentar los niveles de potasio disminuye el contenido de calcio.

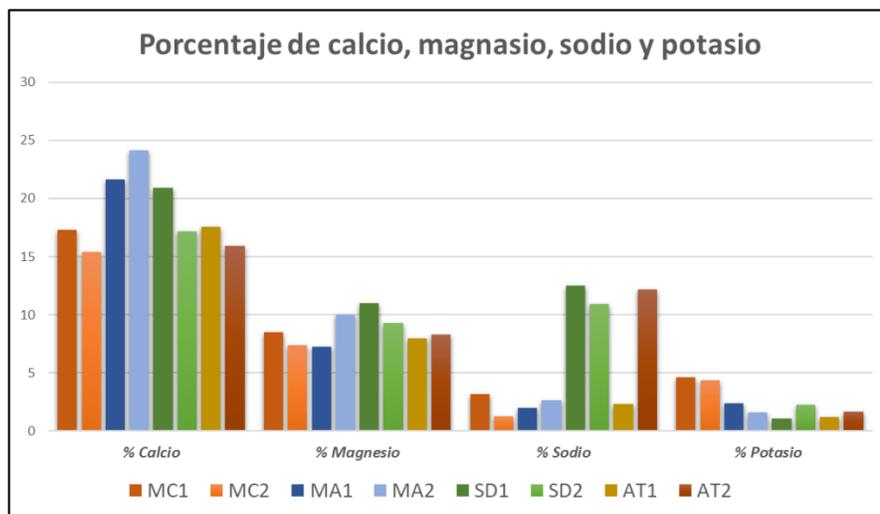


Fig.14. Comportamiento de las bases intercambiables en los distintos sitios de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas Puebla. (MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal)

7.3 El análisis estadístico ANOVA

Los resultados del análisis estadístico ANOVA (Cuadro 7), muestra que existen diferencias significativas entre los sitios, con base en el análisis de la mayoría de las propiedades, excepto el calcio y magnesio. El valor de la F determina la proporción de la varianza explicada con respecto a la varianza no explicada. El valor de P es el nivel de significancia.

Cuadro 7. Resultados de la prueba ANOVA de las pruebas aplicadas
*Diferencias significativas con 0.05

Prueba	F	P	Prueba	F	P
Arenas (%)	13.963	.000*	Humedad de campo (%)	4.204	.009*
Limos (%)	13.104	.000*	Capacidad de campo	12.337	.000*
Arcillas (%)	3.427	.020*	Humedad capilar (%)	11.025	.000*
Profundidad útil (cm)	13.796	.000*	Materia orgánica (%)	16.301	0.00*
Densidad Aparente(g/cm ³)	4.016	.010*	Carbonatos (%)	12.579	.000*
Porosidad(g/cm ³)	4.168	.009*	pH	7.363	.000*
Compactación (PSI)	48.191	.000*	CICT(cmol+/kg-1)	7.365	.000*
Velocidad de infiltración(cm/hr)	6.893	.001*	Calcio(cmol+/kg-1)	1.922	.132
Magnesio(cmol+/kg-1)	1.106	.406	Sodio(cmol+/kg-1)	38.926	.000
Potasio(cmol+/kg-1)	18.925	.000			

7.4 Análisis de Tukey

En el cuadro 8 se observa que existen diferencias significativas entre MC1 con respecto a todas las propiedades, y el resto de los sitios, y, como se observa, MA2 es en donde existen mayores diferencias, en cuanto a la materia orgánica. Además, MC1 tuvo diferencias significativas con todos los sitios excepto con MC2, tomando en cuenta a la capacidad de campo; y se observa que el sitio con el que tuvo más diferencias fue SD1.

El mismo análisis nos muestra que MC1 y MC2 tienen diferencias significativas con los demás sitios, en función del contenido de potasio, y, con base en la densidad aparente se aprecia que, salvo por MC2 y MA1, los demás sitios tienen diferencias significativas con el matorral cerrado 1 (MC1).

Cuadro 8. Prueba de Tukey realizada al primer componente conformado por materia orgánica, capacidad de campo, potasio y densidad aparente.

Materia orgánica				Capacidad de campo				
Tipo de cobertura	Subconjunto			Tipo de cobertura	Subconjunto			
	1	2	3		1	2	3	4
MA2	1.116			SD1	26.224			
SD1	1.233			MA2	27.054	27.054		
AT1	1.643			AT1	38.004	38.004	38.004	
AT2	1.643			MA1	38.473	38.473	38.473	
SD2	1.703	1.703		AT2	39.572	39.572	39.572	
MA1	2.15	2.15		SD2		40.004	40.004	
MC2		4.956		MC2			46.59	46.591
MC1			8.863	MC1				55.623

Potasio			Densidad aparente		
Tipo de cobertura	Subconjunto		Tipo de cobertura	Subconjunto	
	1	2		1	2
MA2	0.251		MC1	0.939	
AT1	0.261		SD2	1.233	1.233
SD1	0.379		MC2	1.357	1.357
AT2	0.407		MA1	1.404	1.404
MA1	0.43		SD1		1.47
SD2	0.54		AT1		1.512
MC1		1.183	MA2		1.546
MC2		1.241	AT2		1.574

7.5 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales agrupó las variables en 5 componentes (Cuadro 9) que explicaron el 79.89% de la variación entre los sitios (Cuadro 10). El primer componente explica el 31.49% de los resultados, siendo la materia orgánica, la capacidad de campo, el contenido de potasio y la densidad aparente las variables más significativas. En el segundo componente se explica el 17.79%, siendo la clase textural (arcilla, limos y arenas) la variable que mayor aporte hace, mientras que, en el tercer componente, se encuentra la compactación, el contenido de sodio y la humedad de campo, explicando el 13.18% de la variación. El cuarto componente registra al pH y al contenido de magnesio; y por último, el quinto componente lo integran la densidad real y el contenido calcio, con un 7.43% de la explicación de la variación entre los sitios (Cuadro 10).

Cuadro 9. Matriz del análisis de componentes principales.

	Componente				
	1	2	3	4	5
Materia Orgánica	.892	-.015	.246	-.225	-.097
Capacidad de campo	.861	.417	-.006	-.116	-.084
Potasio	.837	-.132	-.062	-.229	.330
Densidad aparente	-.807	-.003	-.108	-.066	.410
Humedad relativa	.780	.026	.085	-.161	.036
Porosidad	.769	-.074	.281	-.037	-.238
CICT	.672	.169	-.281	.290	.314
Infiltración	.667	-.169	.338	.173	.255
Calcio	.649	-.045	-.151	-.169	-.448
Arena	-.286	-.848	.352	-.092	-.119
Limos	.252	.808	-.203	.005	.263
Arcillas	.257	.704	-.475	.192	-.119
Profundidad	-.352	.642	.401	.334	.064
Carbonatos	-.430	.590	.350	-.015	.054
Compactación	-.259	-.234	-.743	-.433	-.041
Sodio	-.054	-.242	-.641	.594	-.147
Humedad de campo	-.154	.228	.602	.522	-.420
pH	-.367	.562	.142	-.610	.122
Magnesio	.360	-.328	-.117	.597	.438
Densidad real	.112	-.289	.475	-.100	.510

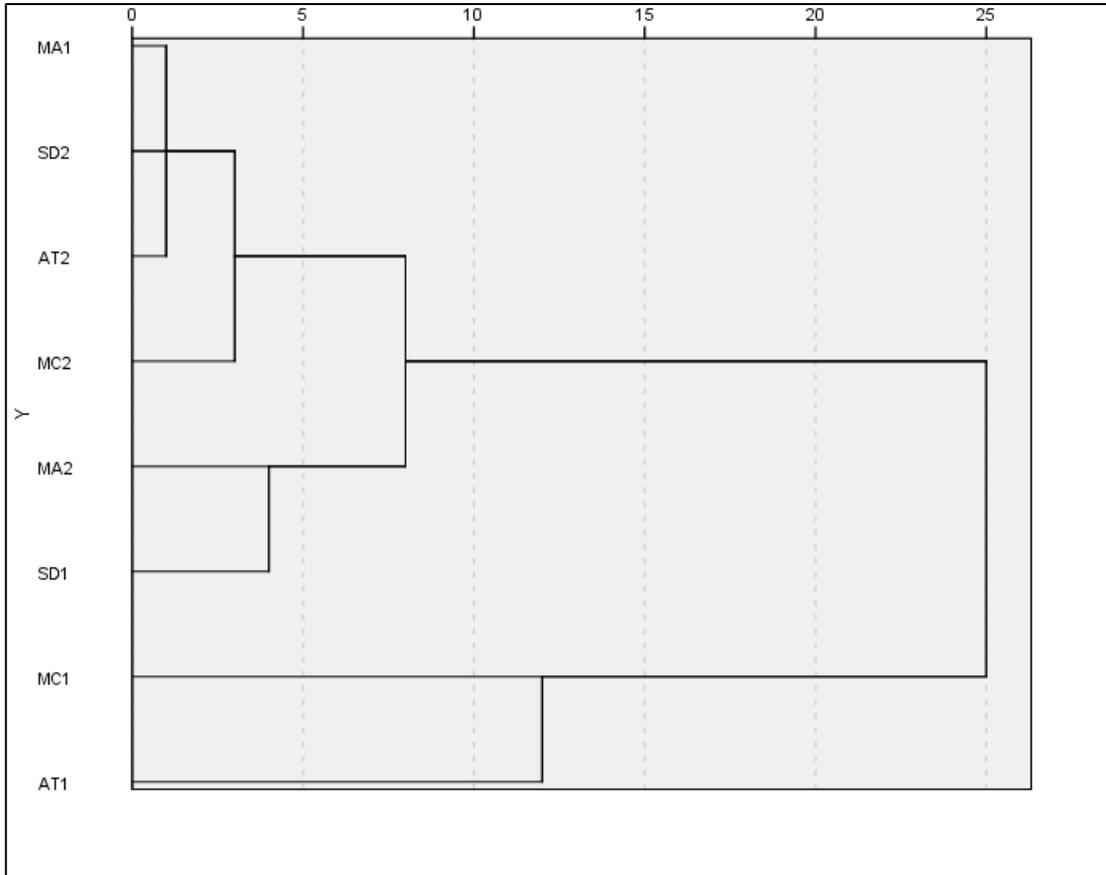
Cuadro 10. Componentes del análisis de componentes principales, las propiedades y proporción que aportaron a cada componente.

Componente	Propiedades	Proporción (%)	Proporción acumulada (%)
1	Materia orgánica Capacidad de campo Potasio Densidad aparente	31.492	31.492
2	Arena Limos Arcillas	17.794	49.286
3	Compactación Sodio Humedad de campo	13.184	62.47
4	pH Magnesio	10	72.47
5	Densidad real Calcio	7.43	79.899

7.6 Análisis de clasificación clúster jerárquico

Con este análisis se formaron dos grupos en la estructura arborescente, el primero conformado por los sitios MC2, MA1, AT2, SD2, y SD1. En el segundo grupo solo observamos a MC1 y AT1 (Figura 15).

Figura 15. Análisis clúster por distanciaEuclidean



8. DISCUSIÓN

8.1 Propiedades del suelo

La variación espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, cuando son analizadas de forma integral, muestra el comportamiento y funcionamiento del suelo en el ecosistema. Una definición de la calidad del suelo es la habilidad para promover la productividad del ecosistema, sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Astier, 2002), por lo que, al analizar el estado de dichas propiedades, se puede tener indicios de la calidad del suelo y su funcionamiento. El presente trabajo analiza las propiedades físicas y químicas del suelo con respecto a cuatro condiciones de uso y tipo de vegetación.

Bajo este contexto, Rucks et al. (2004) mencionan que la importancia de estudiar el suelo, analizando propiedades, radica en que tanto las físicas como las químicas están relacionadas con el uso que se le puede dar; pues, las primeras determinan la facilidad con la que las raíces pueden penetrarlo, su capacidad de aireación, drenaje y almacenamiento del agua, además de la retención de los nutrientes. Mientras que las químicas, hacen referencia a los componentes, a la actividad fisicoquímica y a las reacciones, en especial la química de los coloides y las reacciones de superficie (Porta 2014), que permiten la nutrición vegetal.

El color, propiedad física, nos da una idea de los procesos de formación del suelo y depende de los constituyentes minerales del material parental; y en el caso de las terrazas fluviales, de los carbonatos que son los principales constituyentes del sitio. En ese sentido, el color pardo a gris oscuro registrado en los suelos bajo estudio, deriva de los procesos de polimerización y condensación de los carbonatos con la consecuente formación de ácidos húmicos (Gisbert, 2001), por ser los minerales que predominan en la zona.

Respecto a la clase textural, lo relevante en las terrazas es la abundancia de limos, aún en los sitios con matorral cerrado, ya que los porcentajes están cerca o arriba del 40%. Al respecto, Paz (2006) menciona que los suelos con estos porcentajes de este tamaño de partícula, tienen altas probabilidades de sufrir degradación por encostramiento y sellado, coincidiendo con Oldeman (1988) quien reporta que los limos son partículas vinculadas a la degradación física del suelo, ya que, al carecer de carga, tienden a moverse con mayor facilidad por efecto de la erosión eólica e hídrica. Por lo que el porcentaje registrado de este tamaño de partícula representa un problema en las terrazas bajo estudio. Al

respecto, Muñoz (2008) registró elevados contenidos de limo y una menor proporción de arenas en los suelos de las terrazas, sobre todo en los sitios con agricultura de temporal, asociándolo con las prácticas de manejo de los sistemas agrícolas como el barbecho o la mezcla de los horizontes. El mismo autor menciona que los limos son más abundantes en los sitios con suelo desnudo y actividad agrícola, lo que coincide de manera parcial con este estudio, debido a que, también las zonas de matorral abierto y cerrado presentaron altos contenidos de estas partículas; por lo que se puede decir que se está haciendo evidente la degradación de los suelos en las terrazas.

De acuerdo con los análisis estadísticos se observaron diferencias significativas entre MA2 y SD1 con respecto a los demás sitios, para el porcentaje de limos, lo cual puede atribuirse a la cantidad de costras biológicas que se encuentran en la superficie que retienen a las arenas y a las arcillas (Barrera, 2014); mientras que, los limos, al no tener carga, pueden moverse superficialmente por efecto de la erosión eólica o hídrica, provocando un reacomodo de las partículas.

Aunque en la literatura se conoce que los suelos de las terrazas son profundos (López et al., 2003, Oliveros, 2000), el presente trabajo se circunscribió al análisis de las propiedades del suelo en la capa superficial, valorándolas hasta la profundidad útil¹, en donde pudimos encontrar evidencias de compactación, pues todos los sitios evaluados, menos MC1 y AT1 presentaron niveles de compactación altos; además, los análisis estadísticos nos mostraron que existen diferencias significativas entre AT1 y los demás sitios (Figura 6). Se esperaba que los sitios con suelo desnudo tuvieran menor profundidad, por efecto de la erosión; sin embargo, presentaron una profundidad útil similar a los sitios con matorral cerrado y abierto. Esto puede ser debido a que las muestras de suelo desnudo 1 (SD1) se tomaron en sitios cercanos al matorral abierto, y las de suelo desnudo 2 (SD2), cerca del sitio de agricultura de temporal. La profundidad útil indica que, si un ambiente es propicio para el crecimiento de la vegetación, el almacenamiento de la humedad aprovechable y la acumulación de nutrientes en el suelo; es también un indicio del aumento en la compactación del suelo, pues al incrementarse la densidad aparente, disminuye la permeabilidad del agua y del aire, por lo que habrá una menor productividad en el suelo (Porta, 2014).

¹Que se refiere a la distancia entre la superficie y, hasta donde aparece un estrato rocoso que limite el crecimiento de las raíces de las plantas (INEGI, 2005),

Respecto a la densidad aparente los resultados muestran que esta fue menor y la porosidad mayor, en los sitios con matorral cerrado (MC1 y MC2), y la prueba de tukey nos mostró que existen diferencias significativas entre MC1 y el resto de los sitios, para ambas propiedades. Ferreira en 2015 y Muñoz en 2008 mencionan que en este tipo de cobertura hay mayor cantidad de vegetación que protege al suelo de los factores ambientales que lo erosionan, esto permite que el aporte de materia orgánica (MO) sea mayor, y, dado que la MO pesa poco y ocupa mucho volumen, entonces, la densidad aparente disminuye y hay mayor espacio poroso. Como sabemos, la MO mejora la calidad de las propiedades físicas y químicas del suelo, ya que, al unirse, forman el espacio poroso, disminuyen la densidad y favorecen el movimiento del agua y la velocidad de infiltración; además de retener nutrientes y ponerlos disponibles para las plantas, y en combinación con las arcillas, promueve un ambiente adecuado para la actividad de los microorganismos. Bajo este contexto, Jaurixje (2013) menciona que la densidad aparente aumenta cuando se hace labranza en los suelos, ya que el uso de maquinaria genera compactación, provocando que disminuya la microporosidad, y con ello, la actividad biológica, situación encontrada en el sitio AT2.

De acuerdo con lo anterior, se esperaría que los sitios con mayor porcentaje de arenas, tuvieran mayor porosidad y baja densidad, como son MA2 y SD1, sin embargo, resultaron con densidades altas, esto puede deberse al contenido tan bajo de materia orgánica que registraron.

La cantidad de agua en el suelo es una característica muy específica para el crecimiento vegetal y está determinada principalmente por la textura, el contenido de materia orgánica, el aporte de agua natural, y su consumo por la evapotranspiración (Jaramillo, 2002). Aunque es notable que en los sitios con matorral cerrado hay una mayor velocidad de infiltración, encontrándose diferencias significativas para matorral cerrado, asociado a la cantidad de materia orgánica, se esperaría que en los sitios con suelo desnudo se registraran los menores valores de velocidad de infiltración, lo que no se aprecia en los resultados; ya que fueron los sitios, después del matorral cerrado, con una mayor velocidad, lo que puede deberse a que tienen una porosidad y densidad aparente medias.

El muestreo se realizó en el mes de octubre, justo después de la época de lluvias, por lo que todos los sitios presentaron cantidades moderadas de humedad cuando se muestrearon en campo, a pesar de que el clima sea semiárido. El sitio AT1 fue el más alto, lo que puede estar relacionado con que la superficie del suelo estaba completamente

cubierta por una planta herbácea, que retiene la humedad; además de tener mayor cantidad de arcillas y que la infiltración fue medida por la mañana, antes de que la temperatura incrementara y el suelo empezara a perder humedad por efecto de la incidencia solar directa.

La capacidad de campo es la cantidad de agua en un suelo después de haber sido saturado de agua y de haber drenado libremente sin que haya pérdidas por evotranspiración (Silva et al., 2015). La baja capacidad de campo registrada en MA2 y SD1, se relaciona con el alto contenido de arenas, pues este tipo de partículas no pueden retener grandes cantidades de agua. Se esperaba que los sitios con matorral abierto y suelo desnudo tuvieran menor cantidad de humedad, en relación con MC y AT, sin embargo, esto no ocurrió, posiblemente debido a que el sitio donde se muestreó SD era muy cercano a la zona agrícola y a la presencia de costras biológicas en MA (Díaz, 2014); además, estadísticamente hubo diferencias entre los sitios con matorral cerrado y el resto de los sitios.

La característica más notable de las zonas áridas y semiáridas es la escasa precipitación y las altas temperaturas, que provocan altas tasas de evapotranspiración, con la consecuente acumulación de sales en el suelo que no logran disolverse y lixiviarse del todo, por lo que tienden a acumularse en la superficie; al respecto Bohn (1993), Fernández (2010) y Muñoz (2008) refieren que, en las terrazas fluviales, el pH es menos alcalino en los sitios más protegidos por la vegetación; sin embargo, en este estudio, aunque sí se encontraron diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA, no se identificó un patrón de variación entre los sitios. El pH es muy importante para el crecimiento de las plantas, ya que de este depende la disponibilidad de los nutrientes, pues determina su solubilidad y la actividad de los microorganismos, la concentración de iones tóxicos, y el intercambio catiónico (Ramírez, 1997); en ese sentido, los valores de pH encontrados favorecen principalmente la disponibilidad del potasio, nitrógeno, calcio y magnesio. Porta (2014) menciona que los suelos con un pH mayor a 7.5 también son característicos de las zonas semiáridas y áridas, condición que se asocia con el contenido de carbonato de calcio producto del intemperismo de las rocas calizas y dolomitas, que dominan el material que da origen a los suelos en estas regiones, y que es el agente que regula los cambios de pH.

La cantidad de carbonatos registrada en el matorral cerrado, cumplió con lo esperado, pues en estos sitios la infiltración es mayor, y como mencionan. Wezel et al. (2000) “los suelos protegidos por vegetación presentan menor evaporación y mayor entrada de agua, lo cual provoca un lavado más eficiente de las bases”. Por el contrario, en los sitios de suelo desnudo el agua se evapora más, lo que favorece el ascenso e incremento en la concentración de sales en la superficie. En los sitios AT se encontraron mayores concentraciones de carbonatos debido a las altas tasas de evapotranspiración y a la escasa vegetación, y de acuerdo con la prueba de tukey, AT1 fue el sitio que mostró diferencias significativas con respecto a los demás sitios. Sin embargo, aunque se esperaba que el suelo desnudo tuviera altas concentraciones de carbonatos, los resultados fueron menores, pero al observar que la velocidad de infiltración fue moderada, se observa una mejor movilidad del agua, lo que evita que las sales se concentren en la superficie del suelo, lo que se vio reflejado también en el pH. De acuerdo con lo anterior, se debe tener un nivel medio de carbonatos, ya que, si se encuentran en altas cantidades, cuando se endurecen suelen cristalizarse y forman capas o costras endurecidas que afectan el movimiento mecánico de las plantas (Muñoz-Iniestra, 2013b)

Aunque la cantidad de carbonatos registrada en los suelos fue alta, debido a que son suelos derivados de rocas calizas, los niveles de calcio en el suelo fueron de bajos a medios, pero, dado que la CIC fue baja, implica que no se está reteniendo el calcio (Bohn, 1993).

La capacidad de intercambio catiónico se comportó como se esperaba, ya que, esta propiedad depende mucho de la cantidad de materia orgánica en el suelo, y al ser más elevado el porcentaje de materia orgánica, la CIC aumenta; es por esto que los sitios con mayor vegetación tuvieron los valores más altos. Ramírez en 1997 menciona que el intercambio catiónico y la fotosíntesis son los dos procesos más importantes para las plantas, por lo que a valores altos de CIC, hay mayor disponibilidad de nutrientes. Estadísticamente el sitio MA2 tuvo diferencias significativas con la mayoría de los sitios de MC y SD.

Los cationes intercambiables calcio y magnesio no mostraron diferencias significativas, por lo que se observó que no hubo una variación entre las condiciones del suelo y la cantidad de estos cationes. Al respecto, se registró una alta cantidad de sodio en SD1, SD2 y AT2, lo que puede deberse a que la muestra SD2 fue colectada cerca de la parcela AT2, que última presenta altos contenidos de sodio. Por otro lado, en SD1 se registró la

presencia de costras biológicas y ausencia de cobertura vegetal, por lo que la evapotranspiración es mayor, lo que provoca que las sales se acumulen en la superficie. Esto puede representar un problema, pues Muñoz en 2013 (b) menciona que si el contenido de sodio es elevado puede producirse un efecto de dispersión de las partículas arcillosas y de materia orgánica, aumentando la compactación y el encostramiento.

Por otro lado, se encontró una relación inversa entre el contenido de calcio y potasio intercambiables; al respecto, MC1 y MC2 registraron el menor contenido de calcio, y los niveles más altos de potasio. Estas relaciones antagónicas las reportaron Santaella y González en 1965. Por otra parte, Jaramillo en 2002 menciona que la materia orgánica favorece la sustitución de Na^{++} por Ca^{++} , por lo que los sitios con menor contenido de materia orgánica tienden a tener más sodio. Lo anterior representa un problema en los sitios de suelo desnudo, ya que el exceso de este catión interfiere con el crecimiento de las plantas, pues aumenta la presión osmótica impidiendo la absorción de nutrientes y disminuyendo la capacidad de retención de humedad del suelo (Muñoz, 2013b)

8.2 Análisis estadísticos

El análisis ANOVA es una prueba de dependencia, esto significa que existe una relación entre las variables dependientes y las independientes (Aveldaño et al, 2014). Como se esperaba la mayoría de las propiedades mostraron diferencias significativas, siendo el matorral cerrado el sitio que tuvo las mejores condiciones para el funcionamiento del suelo. Lo que no se esperaba es que no hubiera diferencias entre los demás sitios. Dado que el suelo desnudo no tiene protección contra los factores erosivos, es decir, se esperaba que presentara peores condiciones; sin embargo, se comporta de forma similar al matorral abierto y a la agricultura de temporal; aunque ninguno de los tres sitios presenta las mejores condiciones para un adecuado funcionamiento. Las dos únicas propiedades que no mostraron diferencias significativas fueron el calcio y el magnesio, lo cual puede estar relacionado con la naturaleza del material parental que se encuentra en la misma cantidad en todas las condiciones, pues son suelos de origen calcáreo.

El objetivo del análisis de componentes principales (ACP) es reducir una cantidad grande de variables, a pocos componentes que ayudan a explicar todo el conjunto. Busca combinaciones lineales de las variables originales que mejor representen la variabilidad de los datos. Utilizando como medida de información a la varianza (Sánchez, 2009). En el análisis de componentes principales la materia orgánica formó parte del primer componente, pues es la propiedad que más influye en el comportamiento de otras; la densidad aparente, la capacidad de campo y el contenido de potasio, también se registraron en el primer componente, lo cual confirma lo que menciona Jaramillo en 2002, respecto a que el potasio y la densidad aparente son propiedades del suelo que tienen alta relación espacial con la presencia de vegetación; lo cual explica que se encontraran diferencias significativas entre el matorral cerrado y los demás sitios. El segundo componente prácticamente estuvo conformado por la textura (arenas, limos y arcillas), lo cual coincide de manera parcial con el trabajo de Muñoz (2008) quien encuentra a la textura en el primer componente principal, como variable explicativa de la variación entre los sitios.

En el análisis de clasificación, aunque se esperaba que los grupos se formaran con base en el tipo de cobertura del terreno, no hubo un patrón específico. Una posible explicación de la formación del primer grupo (MC1 y AT1) es que ambos tenían una alta cobertura vegetal, aunque muy diferente en su estructura, lo que hizo que se agruparan como sitios similares con base en sus propiedades. Por otro lado, la razón por la cual MC2 se agrupó con las demás condiciones, puede ser debido a su menor contenido de materia orgánica y al mayor grado de compactación.

9. CONCLUSIÓN

Se encontró que el matorral cerrado presenta las mejores condiciones físicas y químicas, en comparación con los otros sitios. Lo anterior está relacionado con un mayor aporte de materia orgánica, por parte de la vegetación.

El análisis de varianza mostró que hay diferencias significativas en todas las propiedades, excepto en el calcio y el magnesio, y la prueba de Tukey mostró que MC1 fue el único diferente a los demás.

De acuerdo con el análisis de componentes principales, de las 16 propiedades edáficas evaluadas, la materia orgánica, la capacidad de campo, el potasio intercambiable y la densidad aparente explican el 31.49% de la variación de los datos, seguidas por las arenas, los limos y las arcillas, que constituyen la clase textural, con un 17%; es decir, con este conjunto de variables se explica el 48.5% de la variación de los datos.

Con el análisis de clasificación se observó que no existe un patrón de similitud entre los sitios, puesto que solo se formaron dos grupos, uno de los cuáles está constituido por MC1 y AT1; y, aunque no comparten el mismo tipo de cobertura vegetal, la capa superficial del suelo se encuentra protegida por vegetación, al menos durante la época de lluvias.

Se identificaron problemáticas asociadas con un contenido mayor al 40% de limos en todos los sitios, lo que puede derivar en procesos de degradación por encostramiento y sellado, evitando el libre movimiento del agua y de las raíces. Lo anterior concuerda con la baja retención de agua, asociada a una alta cantidad de arenas.

Se encontraron evidencias de compactación, asociados con niveles medios y altos de densidad aparente, salvo en MC1 y AT1.

Se registraron valores de pH característicos de las zonas semiáridas y áridas, relacionados con el material calcáreo que da origen a los suelos en estas regiones, y que favorecen la disponibilidad del potasio, el nitrógeno, el calcio y el magnesio.

Otra problemática identificada, fueron los altos contenidos de sodio, principalmente en los sitios con suelo desnudo, lo que produce un efecto de dispersión de las partículas arcillosas y de materia orgánica, aumentando la compactación y el encostramiento; situación que interfiere con el crecimiento de las plantas, pues aumenta la presión osmótica, impidiendo la absorción de nutrientes y disminuyendo la capacidad de retención de humedad del suelo.

De acuerdo con lo anterior, se puede decir que la condición del suelo de las terrazas evaluadas presenta evidencias de degradación física y química que requiere ser evaluada, mediante el uso de índices de degradación. Además, es necesario implementar una serie de medidas de manejo y conservación del suelo en las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, con la finalidad de evitar, en lo posible, una tasa acelerada de degradación.

10. PROPUESTAS DE PRÁCTICAS DE MANEJO Y ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Los resultados abordados en el presente estudio muestran que uno de los problemas importantes que presentaron las terrazas fluviales bajo estudio, es la compactación, proceso que puede estar relacionado con las actividades de aprovechamiento, y que de acuerdo con Cabral (2016), son la extracción de leña, el pastoreo y la agricultura.

Los sitios con matorral abierto son los que están más expuestos a la degradación debido a que es donde se lleva a cabo el pastoreo de ganado y la recolección de leña, y fueron los que presentaron mayores problemas y condiciones del suelo poco favorables, en comparación con el matorral cerrado. En el matorral cerrado se realiza la extracción de leña y las zonas de agricultura temporal se usan una vez al año, durante temporada de lluvias para sembrar maíz, sorgo y trigo.

Para tomar la decisión de implementar prácticas de manejo y conservación del suelo se debe tener en cuenta que la sensibilización y participación de la población es fundamental, ya que, si los habitantes y usuarios del territorio desconocen los daños que pueden sufrir sus tierras, ningún esfuerzo de recuperación o conservación, valdrá la pena.

Bajo este contexto, es importante mencionar que cuando se habla de manejo y conservación de recursos naturales (suelo, agua, aire, rocas, minerales, biodiversidad), debe ser bajo el contexto del manejo de los ecosistemas considerado un enfoque que permite un mejor entendimiento de las interacciones y los procesos ecológicos, así como de las reglas de interacción social y los procesos de cooperación que conducen al ordenamiento, la conservación, el uso y la restauración sustentables de los ecosistemas(Christensen et al., 1996;Maass, 2003; Dávila et al., 2014).

Con base en lo anterior, y considerando las condiciones en que se encuentran los suelos de las terrazas fluviales de Zapotitlán Salinas, se presentan algunas recomendaciones para el manejo del suelo, con base en lo planteado por Ruíz (2015) y Lored (2005), que proponen prácticas de conservación para suelos de zonas semiáridas.

Prácticas para la conservación de suelos con vegetación establecida.

Las prácticas vegetativas consideran el desarrollo y manejo de la vegetación para mejorar la productividad y disminuir la erosión del suelo. A continuación, se mencionan algunas:

Abonos verdes: implica la incorporación de cobertera para incrementar la fertilidad del suelo.

Sistemas agroforestales: son sistemas de producción que integran árboles, arbustos, cultivos y ganado en el mismo terreno. Una propuesta de especies aprovechables para Zapotitlán Salinas es *Agave potatorum* Zucc, mejor conocido como Maguey mezcalero, ya que a partir de este se obtienen muchos materiales aprovechables y mejora las condiciones del suelo, favoreciendo la retención de agua y posteriormente el establecimiento de otras especies vegetales.

Incremento de la rugosidad del suelo: se debe evitar remover los residuos de la cobertura vegetal, pues ayudan al control de la erosión, ya que amortigua el impacto de las gotas de lluvia y evita el escurrimiento; beneficiando a las propiedades físicas del suelo.

Terrazas de formación sucesiva: implica construir bordos para el momento en que los eventos lluviosos aparezcan y se con ello se evita el desprendimiento del suelo.

Zanjas trincheras: se abren zanjas en el suelo, en forma discontinua sobre las curvas de nivel, para favorecer la captación de agua y la recarga de los mantos acuíferos, además reduce el escurrimiento y el agua puede ser utilizada para la reforestación.

Implementación de viveros de especies nativas de la región y posteriormente la reforestación de los sitios (acompañado de planes de ordenamiento territorial).

Conservación de los suelos en áreas ganaderas y agrícolas

Una parte difícil en la conservación de los suelos es que implica pagar un costo económico, social y ambiental, lo que requiere tiempo para los agricultores. La agricultura convencional en los últimos años tuvo un gran impacto negativo en la conservación del suelo, ya que el uso de maquinaria, pesticida y fertilizante aumentó la degradación del suelo. El presente trabajo no obtuvo los datos de las condiciones actuales de manejo de las zonas dedicadas a la agricultura de temporal (AT), pero una posibilidad es la agricultura orgánica, que es un sistema de producción que fomenta y mejora la salud de

los ecosistemas, mantiene la biodiversidad, los ciclos biológicos y actividad biológica del suelo. Este sistema se basa en evitar el uso de fertilizantes sintéticos, pesticidas, reguladores y hormonas de crecimiento, aditivos y colorantes. En lugar de esto la opción es usar el suelo de forma extensiva, con prácticas como: la rotación de cultivos, aplicación de residuos de cosecha, el uso de estiércol de animales, la siembra de leguminosas, la aplicación de abonos verdes, y desechos orgánicos, labores mecánicas mínimas, y técnicas de control biológico de plagas y enfermedades (USDA 1971)

Otras de las opciones de conservación de la agricultura se muestran en el siguiente diagrama:

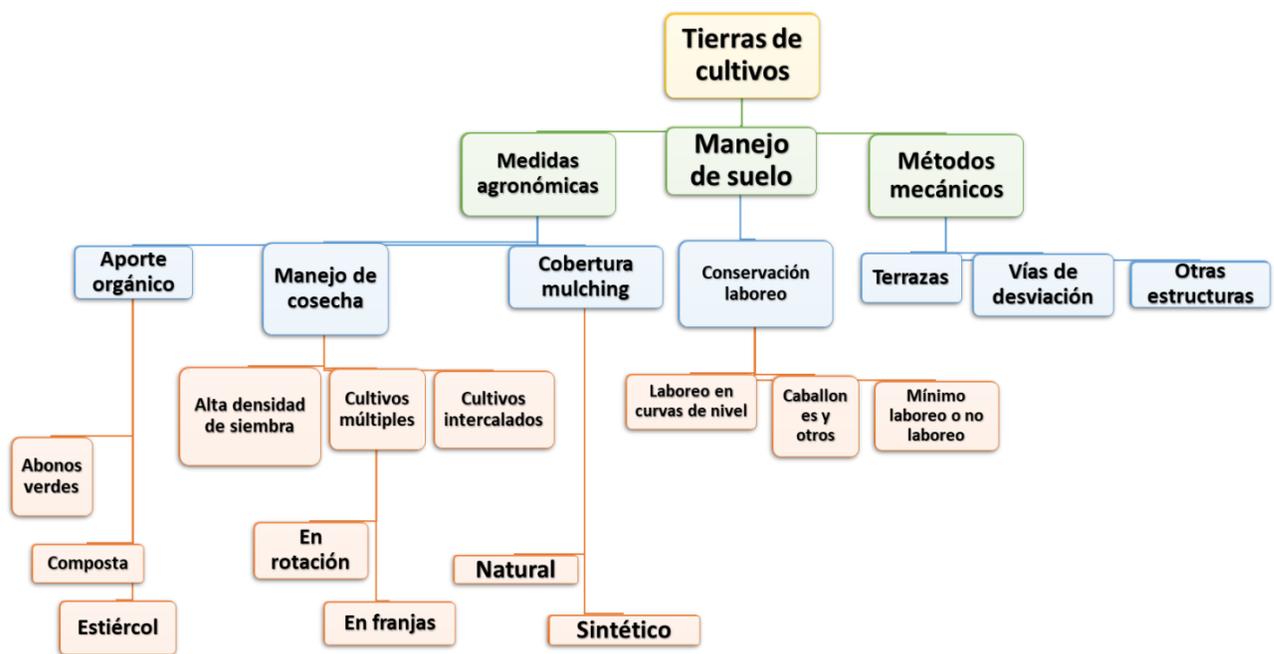


Figura 12. Estrategias para la conservación de suelos agrícolas frente a procesos erosivos (Ruíz, 2015)

- En cuanto la conservación en suelos con actividad ganaderas, las prácticas recomendadas son:
- Plantación de árboles y arbustos en los potreros.
- Establecer bordos y barreras en curvas de nivel
- Establecimiento de cercos vivos con plantas nativas. Una propuesta para Zapotitlán Salinas son: Venenillo(*Castela tortuosa Liebm*), *Esfacelalate*, (*Agave*

macroacantha Zucc), *Gallinita* (*Agave stricta* Salm-Dyck), *Copalito* (*Bursera galeottiana* Englem), *Garambullo* (*Myrtillocactus geomentrizans*),.

- Descompactación de los suelos.
- Captación de agua y conservación de humedad.
- Establecimiento de cercos perimetrales.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aveldaño, P.B.L., Aveldaño, P.G., Cruz, W., Cardenas-Aveldaño, A. (2014). Guía de referencia para investigadores no expertos en el uso de la estadística multivariada. *Diversitas*, 10(1) 46-72.
- Alonso, C.A.S. (2019). Impacto del tipo de uso y cobertura vegetal sobre la calidad del suelo de una región semiárida del estado de Puebla, Méx. UNAM. México.
- Astier, C.M., Mass, M.M., Etchevers, B.J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36.605-620.
- Barrera, Z.E., J.E. (2014). Influencia de las costras biológicas en la infiltración del agua en Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- Bohn, H., McNeal, B.L., O'Connor, G.A. (1993). *Química del suelo*. México Grupo Noriega
- Cabral, S.I.V. (2016). Relación entre actividades productivas y desertificación: el caso de las terrazas fluviales de Zapotitlán salinas, Puebla. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- Christensen, N.L., A.N. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H. Peterson, M.G. Turner y R.G. Woodmansee. 1996. ThereportingoftheEcologicalSocietyofAmericaComitteeonthescientificbasisforecosy stemmanagement. *EcologicalApplications* 6:665-691. TheEcologicalSocietyOfAmerica. EE.UU.
- Cotler, H., Cram, S., Martínez, T.S., Bunge, V. (2014). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trincheras. *Investigaciones geográficas. Instituto de Geografía*, 88, 6-18
- CONAFOR-UACH. 2013. Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación. Informe final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma de Chapingo. Zapopan Jalisco.
- Dávila, A.P., H. Macías-Cuellar, M. de la Puente-Martínez de Castro, M. Hernández-Moreno, L. Sánchez-Paredes, M. Pickering-López, E. Benítez-Maca. (2014). Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano: construcción de una red de proyectos comunitarios para el manejo regional sustentable de ecosistemas en México. *Investigación ambiental*. 6(2):139-150.

- De la Fuente, F.S. (2011). Análisis de componentes principales. Universidad autónoma de Madrid. Recuperado de: http://www.estadistica.net/MasterEconometria/Componentes_Principales.pdf
- Díaz, G.R. (2014). Efecto de las costras microbóticas en las propiedades físicas y químicas de dos suelos en las terrazas aluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla. Seminario de titulación por tesina Licenciatura. UNAM. México.
- Dokuchaev, V.V. (1967). Selected works of V.V. Dokuchaev, V-Russian Chernozem. Translated from Russian by N. Kaner, Israel Program of Scientific Translations, Jerusalem, 419 p.
- Dregne, H.E. (2002). Land degradation in the drylands. *AridLand Res. Manage.* 16: 99-132.
- Escalante, A.I.B. (2014). Evaluación del impacto del uso de terreno sobre el nivel de degradación física de un suelo aluvial en una zona semiárida. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- Fernández, G.J. (2010). Los recursos suelo-agua en medio áridos y semiáridos. En González, R., J.L., Chueca, S., A. Editorial Consejo Superior de Investigaciones Científicas. *C4 y CAM Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas. Homenaje del doctor Julio López Gorgé.* 200 p.p. España.
- Ferreira, R.M. (2015). Evaluación del nivel de degradación química y biológica del suelo, en dos terrazas aluviales de una zona semiárida. Tesis. Licenciatura en Biología. FES Iztacala. UNAM. México.
- García, J.A., Castillo, M.A., Ramírez, G.M.E., Rendón-Sánchez, G., Larqué, S. M.U. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencia*, 35,(1), 79-86
- Gisbert, J.M.; Ibáñez, S. (2001). Génesis de Suelos. Universidad Politécnica de Valencia. 222 p.p.
- Hana, A. y. Jauffret, S. (2008). Are long-term vegetation dynamics useful in monitoring and assessing desertification processes in the arid steppe, southern Tunisia. *Arid Environ.* 72: 557-572
- Hernández, G.D.E. (2016). Impacto de diferentes coberturas y usos de la tierra, en la calidad del suelo de una zona semiárida. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2005). Guía para la interpretación de cartografía. Uso potencial del suelo. INEGI. México.

- IUSS, Grupo de Trabajo WRB. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización (2007). Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO. Roma.
- Jaramillo, J.D.F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., Contreras, J., N. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, estado Lara. *Bioagro*, 25(1). 47-56.
- Krasilnikov, P., Jimenez, N.F.J., Reyna, T.T., Garcia, C.N.E. (2001). *Geografía de suelos de México*. Las prensas de ciencias UNAM.
- López-Galindo, F., Muñoz-Iniestra, 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*, 56(1). 19-41.
- Lored, O.C. (2005). Prácticas de conservación del suelo y en agua en zonas áridas y semiáridas. *INIFAP-CIRNE-campo*. Libro técnico número 1. 187.
- Maass, M. 2003. Principios generales sobre manejo de ecosistemas. CIEco-UNAM. México. 36 pp.
- Montaña-Arias, N., García-Sánchez, R., Ochoa-de la Rosa, G., Monroy-Ata, A. (2006). Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra Latinoamericana*, 24 (2), 193-205
- Muñoz-Iniestra, D. J., López G, F., Hernández, M.M., Soler, A.A., López. G, J. (2009). Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. *Terra Latinoamericana* 27: 237-246.
- Muñoz-Iniestra, J., Ferreira-Ramírez, M., Escalante-Arriaga, I., López-García, J. (2013a). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana*, 31:3, 201-210.
- Muñoz-Iniestra, D, J., Soler, A.A., López, G.F., Hernández, M, M.M. (2013b). *Edafología. Manual de métodos de análisis del suelo*. México. UNAM.
- Muñoz-Iniestra, D, J. (2008). Monitoreo de propiedades físicas y químicas de un suelo aluvial de un ambiente semiárido del sur de México, para la búsqueda de

indicadores que se relacionen con el estado de conservación y/o degradación del suelo. Tesis de Doctorado en Geografía. Facultad de Filosofía y letras. UNAM. México.

- Oldeman, L.R. (1988). *Global assessment of soil degradation. (GLASOD): Guidelines for general assessment of the status human-induced soil degradation*. ISRI. Wageningen, The Netherlands.
- Oliveros, G.O. (2000). Descripción estructural de las comunidades vegetales en las terrazas fluviales del río el Salado, en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- Paz, M.J., Sánchez, J., Visconti, F., (2006). Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in Spanish Mediterranean Region. *Journal of Environmental Management*, 79. 150-162
- Porta, J., López-Acevedo, R.M., Ponce, A. (2014). Edafología. *Uso y protección de los suelos*. México. Mundi-Prensa.
- Ramírez, C.R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Bogotá, Colombia. Produmedios.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo-Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía.
- Ruíz, F.J.F. (2015). *Conservación y rehabilitación de tierra degradadas. Una visión holística. Parte 1*. México. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Sánchez, J., Boluda, R., Morell, C., Colomer, J. C., Artiago, A., Tébar, J. I. (1997). Assessment of soil degradation in desertification threatened areas: A case study in Castilla-La Mancha. En: F. M. de Santa Olalla M. (ed.). EFEDA-II Subgrupo II: vegetation, soil physics, inventory and impacts. Final report: Desertification processes in the Mediterranean area and their interlinks with the global climate. Toledo, España.
- Sánchez, S.C. (2009). Análisis de componentes principales. Master en técnicas estadísticas. Análisis multivalente. http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP/MATERIALESMATER/Mat_14_master0809multi-tema5.pdf
- Santaella, G.G., González, M.A. (1965). Influencia del carbonato de calcio en las propiedades químicas de un suelo de la terraza de Villa-Rica. Cauca. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Colombia.

- SEMARNAT y CP. (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México.
- SEMARNAT. (2012). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Cap. 3. Suelos. México.121-127 p.p.
- SEMARNAT.(2014). Suelos. Degradación de suelos en las tierras secas de México. Recuperado de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/03_suelos/3_3.html
- Silva,C.P.,Silva,R.H., Garrido,S.M.,Acevedo,H,E.(2015).*Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Facultad de ciencias agronómicas.
- Singh, M. J.,yKhera, K, L. (2009). Physical indicators of soil quality in relation to soil erodibility under different land uses.*Arid Land Res. Manage.* 23: 152-167.
- UNCCD. Elaboración de una Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África. (1994).Texto Final de la Convención.
- USDA.(1971).Soil erosion effects on soil productivity: a research perspective J.soil and Water cons. 36:82-90.Estados Unidos.
- Valiente-Banuet,A. (1991). Patrones de precipitación en el valle semiárido de Tehuacán, Puebla. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- Valiente-Banuet,A., Solís,L., Dávila,P., DelCoro,A.M., Silva, P, C., Ortega-Ramirez, J., Treviño, C,J., Rangel-Landa,S., Casas,A.(2009). *Guía de la vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. México. UNAM-CONABIO-INAH-Universidad autónoma de Tamaulipas-Fundación para la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán.
- Van Lynden,G.W.J.,yKuhlman,T. (2002). *Review of degradation assessment methods*. Roma Italia. FAO.
- Wezel,A.J.,Rajot,I,Herbrig,C.(2000).Influence shrubs onsoil characteristics and ther function in ahelian agroecosystems in semi-arid Niger. *Juornal of rid Environments.* 44:383-398.

- Zavala-Cruz,J., Palma-López,D,J., Fernández,C.R., López,A,C., Shirma, T. (2011). Degradación y conservación de los suelos en la Cuenca del Rio Grijalva, Tabasco. *Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX*. México. 90 p.

Anexo 1

Valores promedio y desviación estándar de las propiedades evaluadas (a), propiedades de medidas en campo,(b) propiedades físicas y (c) químicas. MC= Matorral cerrado, MA= Matorral abierto, SD= Suelo desnudo, AT= Agricultura temporal.

Cobertura vegetal	Velocidad de Infiltración (cm/hr)	Compactación (PSI)	Profundidad (cm)	HC (%)
MC1	57.11 ± 33.40	178.5 ± 25.61	8.5 ± 4.08	68.67 ± 5.03
MC2	10.52 ± 3.49	301 ± 38.24	9.4 ± 4.27	42.67 ± 8.74
MA1	7.48 ± 3.19	320 ± 24.94	7.8 ± 2.17	58.67 ± 5.77
MA2	5.09 ± 0.97	292 ± 17.51	14 ± 10.74	70.33 ± 8.39
SD1	6.73 ± 1,69	267 ± 34.33	6.05 ± 2.67	63.25 ± 9.32
SD2	8.18 ± 1.94	311 ± 15.95	12.3 ± 4.97	64.50 ± 27.57
AT1	8.58 ± 1.37	142 ± 42.90	26.8 ± 5.79	83.33 ± 4.04
AT2	6.86 ± 0.23	305 ± 33.75	13.6 ± 5.13	58 ± 3

a)

(HC= Humedad de campo)

b)

Cobertura vegetal	Arena (%)	Limos (%)	Arcilla (%)	C.C (%)	D.R (g/cm ³)	D.A (g/cm ³)	Porosidad (g/cm ³)
MC1	28.21±8.26	42.13 ±4.91	29.47 ±2.64	55.62 ± 7.27	2.49 ±0.60	0.94 ±0.16	61.02 ±8.53
MC2	25.06 ±6.07	39.87 ±4.03	35.07 ±1.0	46.59 ± 2.79	2.26 ±0.09	1.36 ±0.07	41.53 ±4.03
MA1	19.33 ±2.41	47.87 ±1.80	32.80 ±0.65	38.47 ± 2.19	2.33 ±0.13	1.40 ±0.13	39.85 ±2.64
MA2	52.40 ±5.30	25.6 ±4.99	22 ±0.61	25.16 ± 1.45	2.37 ±0.11	1.55 ±0.10	34.55 ±7.16
SD1	52.13 ±8.16	22.80 ±2.99	25.07 ±5.51	26.71 ± 4.61	2.27 ±0.13	1.47 ±0.02	34.95 ±5.56
SD2	15.86 ±4.57	45.33 ±3.81	38.80 ±6.78	40 ± 3.37	2.11 ±0.11	1.23 ±0.34	42.26 ±13.67
AT1	17.86 ±8.83	47.20 ±4.90	34.93 ±7.87	38 ± 5.55	2.26 ±0.11	1.51 ±0.02	32.89 ±4.08
AT2	14.67 ±2.29	47.73 ±2.64	37.60 ±3.97	39.57 ± 2.05	2.21 ±0.02	1.57 ±0.03	28.59 ±2.01

(H.R=Humedad relativa, C.C=Capacidad de campo, D.R=Densidad real, D.A=Densidad

Cobertura vegetal	M.O (%)	pH	Carbonatos (%)	CICT (cmol+/kg-1)	Calcio (cmol+/kg-1)	Magnesio (cmol+/kg-1)	Humedad capilar (%)
MC1	8.86 ± 2.63	8.14 ± 0.08	20.81 ± 0.93	25.87 ± 3.27	4.36 ± 0.25	2.27 ± 0.82	54.8 ± 7.76
MC2	4.95 ± 1.52	8.32 ± 0.12	26.26 ± 1.26	28.86 ± 3.28	4.38 ± 0.38	2.08 ± 0.24	42.75 ± 2.90
MA1	2.15 ± 0.59	8.62 ± 0.09	24.44 ± 2.73	18.24 ± 1.71	3.90 ± 0.23	1.28 ± 0.42	37.39 ± 1.97
MA2	1.11 ± 0.50	8.49 ± 0.10	27.02 ± 1.01	15.91 ± 0.16	3.84 ± 0.06	1.59 ± 0.25	25.59 ± 2.38
SD1	1.23 ± 0.76	7.97 ± 0.15	21.97 ± 0.84	19.65 ± 1.47	4.10 ± 0.17	2.17 ± 0.38	24.43 ± 4.62
SD2	1.7 ± 0.09	8.22 ± 0.11	23.28 ± 0.75	24.89 ± 3.14	4.23 ± 0.19	2.28 ± 0.17	39.16 ± 3.85
AT1	1.64 ± 0.20	8.38 ± 0.11	32.93 ± 3.84	22.38 ± 2.13	3.89 ± 0.13	1.78 ± 0.37	36.26 ± 4.70
AT2	1.64 ± 0.20	8.24 ± 0.07	24.09 ± 0.40	24.66 ± 0.25	3.92 ± 0.25	2.05 ± 0.74	38.56 ± 1.57

aparent

C)

(CICT=Capacidad de intercambio catiónico total)