



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA



**Efecto de las costras microbióticas en las propiedades
físicas y químicas de dos suelos en las terrazas aluviales de
Zapotitlán de las Salinas, Puebla.**

SEMINARIO DE TITULACIÓN

TÓPICOS SELECTOS EN BIOLOGÍA

TESINA QUE PARA OBTENER EL

TÍTULO DE BIÓLOGO PRESENTA

RENATA DÍAZ GONZÁLEZ

DIRECTORA DE TESINA

DRA. C. TZASNÁ HERNÁNDEZ DELGADO



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.

Agradecimientos

A la Dra. Tzasna Hernández Delgado, asesora de esta tesina, por sus sugerencias y comentarios pero principalmente, por su amabilidad y confianza en todo momento.

Al Dr. Daniel Muñoz Iniestra forjador de este proyecto, generador a la par de los resultados obtenidos en este trabajo. Sin sus enseñanzas, comentarios, sugerencias, apoyo pero sobre todo confianza, no hubiera sido posible la culminación del mismo. Gracias maestro Daniel.

Al los integrantes del laboratorio de Edafología, UBIPRO. Especialmente a Mayra Hernández Moreno, con quien compartí no sólo vivencias académicas sino personales, simplemente el ser madres. Un abrazo siempre Mayra.

A la M. en C. Josefina Vázquez Medrano porque a lo largo de mi trayectoria académica, compartió sus conocimientos y experiencias y lo máspreciado, su amistad. Jamás dejaré de afirmar que eres una gran mujer, te abrazo desde cualquier espacio.

A Melanie Salgado por su solidaridad y apoyo en la revisión del texto.

Xantil y Danilo, nunca dejaré de luchar por una vida digna, libre de injusticias, llena de juegos y sonrisas.
Los amo.

A quien encuentro no sólo al mirarle a los ojos.
Te amo Memo.

Índice General

I.	Resumen	1
II.	Introducción	2
	Localización de las costras microbióticas	3
	Morfología externa	3
	Costras lisas	4
	Costras rugosas	4
	Estructura interna de las costras biológicas y su relación con el suelo	5
	Funciones de los organismos que conforman la costra biológica	6
	Funciones de las costras biológicas	6
	Influencia de las costras biológicas sobre las plantas vasculares	7
	Propiedades físicas y químicas del suelo y circulación del agua en presencia de la costra biológica	7
	Relación de las costras físicas y las costras biológicas	8
	Antecedentes	9
	Área de estudio	11
	Localización	11
III	Metodología	13
	Delimitación de la zona de estudio	13
	Descripción de la Terraza A	13
	Descripción de la Terraza D	14
	Descripción de la toma de muestras	15
	Trabajo de laboratorio	15
	Micromorfología de la interfase suelo-costra biológica	15
IV	Resultados y Discusión	16
	Descripción de la morfología de la costra microbiótica	16
	Terraza A. Secuencia morfológica del suelo de la Terraza A sitio M2-D	16
	Micromorfología de la interfase suelo costra. Terraza A sitio M2-D	17
	Micromorfología de la interfase suelo costra. Terraza A sitio M2-C	18
	Terraza D. Secuencia morfológica del suelo de la Terraza A	18
	Micromorfología de la interfase suelo costra. Terraza D sitio M1-D	18
	Micromorfología de la interfase suelo-costra microbiótica	19
	Micromorfología de la interfase suelo-costra microbiótica. Terraza D sitio M4-CD	20
	Micromorfología de la interfase suelo-costra microbiótica. Terraza D sitio M5 C y D	21
	Comportamiento de los parámetros físicos	21
	Color	21
	Textura	21
	Densidad real, densidad aparente y porosidad	23
	Densidad aparente	24
	Infiltración	26
	Comportamiento de los parámetros químicos	27
	pH	27
	Materia orgánica	28
	Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT)	28
	Calcio y Magnesio Intercambiables	29
	Potasio	30
	Nitrógeno	31
	Fósforo	32

V	Conclusión	33
VI	Literatura citada	34

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Tipos de costras microbióticas. Elaboración: Belnap y Lange, 2001.	4
Cuadro 2.	Descripción morfológica de la interfase suelo-costra microbiótica.	16
Cuadro 3.	Secuencia morfológica del suelo de la Terraza A sitio M2-C (terrazza "A" zona conservada con vegetación).	17
Cuadro 4.	Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M1-C (zona muy perturbada con parches de vegetación).	18
Cuadro 5.	Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M1-D (zona muy perturbada, área desprovista de vegetación)	19
Cuadro 6.	Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M4-CD (zona perturbada, intermedia con escasas islas de fertilidad)	20
Cuadro 7.	Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M5-BL-C y D (zona perturbada, intermedia con escasas islas de fertilidad).	21
Cuadro 8.	Variación de la porosidad en la condición de costra.	25
Cuadro 9.	Variación de la porosidad en la condición de suelo adyacente.	25
Cuadro 10.	Variación de la porosidad en la condición de suelo 20 cm.	26

Índice de figuras

Figura 1.	Localización del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Ubicación de las terrazas A y D (Tomado de Montoya <i>et al.</i> , 2004).	12
Figura 2.	Sitios de muestreo. Elaboración: Laboratorio de Edafología, UBIPRO, FES Iztacala, UNAM.	14
Figura 3.	Variación de la arena, limo y arcilla del suelo adyacente y el suelo a 20cm en los diferentes sitios.	23
Figura 4.	Variación de la densidad real en la condición de costra y en la condición de suelo adyacente a la costra.	24
Figura 5.	Variación de la densidad real en la condición de suelo a 20 cm.	24
Figura 6.	Variación de la densidad aparente en la condición de costra y en suelo adyacente.	25
Figura 7.	Variación de la densidad aparente en la condición de suelo 20 cm.	26
Figura 8.	Valores de infiltración en los distintos sitios y las condiciones que se están comparando.	27
Figura 9.	Comportamiento del pH en el suelo adyacente a la costra y el suelo a 20 cm de profundidad en los diferentes sitios.	27
Figura 10.	Fluctuación de la materia orgánica en el S-ADY y S-20 cm.	28
Figura 11.	Gráfico que muestra el comportamiento de C.I.C.T del suelo	29

	adyacente y suelo a 20 cm.	
Figura 12.	Variación del Ca intercambiable.	30
Figura 13.	Comportamiento del Mg de intercambio.	30
Figura 14.	Comportamiento del potasio entre el S-ADY y el S-20cm, en los diferentes sitios y distintas condiciones.	31
Figura 15.	Variación del Nitrógeno entre el suelo adyacente y el suelo a 20cm de profundidad.	31
Figura 16.	Variación fósforo (P) ppm entre el suelo adyacente y el suelo a 20cm en los diferentes sitios.	32

Efecto de las costras microbióticas en las propiedades físicas y químicas de dos suelos en las terrazas aluviales de Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

I. Resumen

Las costras microbióticas son minúsculas comunidades de organismos que pueden incluir cianobacterias, algas, musgos, líquenes y entre otros organismos; los cuales se encuentran asociados íntimamente con las partículas minerales de la superficie del suelo, creando una capa delgada, cohesiva y horizontal. Estas comunidades son comunes en ecosistemas con alta entrada de luz (zonas áridas) hacia la superficie del suelo. Poco se conoce sobre las relaciones funcionales que las costras microbióticas tienen con el suelo; por lo que se han dejado de lado los aspectos relacionados con la influencia de las costras en las propiedades físicas y químicas del suelo; así como su desempeño en procesos como la infiltración, erosión, escorrentía y la estabilización de los suelos. A través de este estudio se pretende realizar una interpretación sobre el papel que las costras biológicas juegan en los procesos funcionales del suelo como son: la infiltración del agua, la estabilización de la estructura y la fertilidad. Dicha interpretación resultará de suma valía si se considera que la zona de estudio es semiárida, y por ello se encuentra expuesta a factores como una radiación solar intensa, elevada evaporación y baja disponibilidad de agua, entre otros.

Se trabajó en dos tipos de suelo en las terrazas aluviales de Zapotitlán de las Salinas, Puebla; específicamente en las terrazas denominadas como A y D. La primera terraza se caracteriza por ser una de las zonas más conservadas y la segunda, una de las más deterioradas en el Valle. El muestreo se llevó a cabo durante los meses de julio del 2002 y marzo del 2003. En ambas terrazas se seleccionaron sitios con cobertura vegetal y sin cobertura vegetal pero con presencia de costras microbióticas. Para el suelo adyacente a la costra y el suelo a 20 cm de profundidad, se determinaron los siguientes parámetros: color, textura, densidad real y aparente, porosidad, infiltración, pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico total, calcio, magnesio, fósforo y nitrógeno total.

Los resultados mostraron que la infiltración de los suelos ante la presencia de la costra microbiótica se impide o disminuye. Posiblemente porque los organismos presentes en la costra microbiótica bloquean la entrada de agua por la acumulación de partículas finas en su superficie.

De los parámetros evaluados, la materia orgánica y el nitrógeno mostraron relación con la presencia de las costras microbióticas debido a su composición biológica. Con el resto de los parámetros no se observa mayor relación.

II. Introducción

Alrededor del mundo la vegetación que se encuentra presente en las regiones áridas y semiáridas, generalmente, se distribuye en forma esparcida, es decir, genera parches o fragmentos de diferentes formas y tamaños. No obstante, en los espacios abiertos que cuentan con agrupaciones vegetales, la superficie del suelo, por lo general, no se encuentra libre de vida autótrofa ya que está cubierta por comunidades de organismos altamente especializados. Estas comunidades constituyen a las costras biológicas o criptogámicas, criptobióticas, microbióticas o costras del suelo microfíticas. Está demostrado que en las zonas áridas y semiáridas, las costras biológicas forman un límite entre la biosfera y la atmósfera (Belnap y Lange, 2001).

Las costras biológicas ocupan extensas superficies del suelo de las regiones secas. La composición o estructura de las costras depende de un conjunto de variables entre las que destacan: la textura y estructura del suelo, humedad, temperatura, niveles de precipitación y la historia del sitio (Belnap y Lange, 2001).

Dependiendo de las características del suelo, las costras biológicas pueden incrementar o reducir la entrada de agua a éste. Al tornarse una superficie áspera, éstas pueden reducir los escurrimientos y, a la vez, incrementar la infiltración con lo que se genera una mayor disponibilidad de agua para las plantas. Algunos microorganismos presentes en las costras biológicas pueden aumentar el contenido de nitrógeno y otros nutrientes en el suelo. En ecosistemas semiáridos, las costras biológicas pueden proveer una significativa cantidad de nitrógeno durante el desarrollo de las plantas. La germinación de las plantas puede fomentarse o inhibirse dependiendo de la naturaleza de las costras microbióticas y de las especies de plantas que ahí habiten (Belnap y Lange, 2001).

La mayoría de los estudios que a la fecha se han realizado con respecto a las costras biológicas, se han enfocado a la descripción de los organismos que las componen, y en pocas ocasiones se han estudiado las relaciones funcionales que tienen con el suelo; por lo que se han dejado de lado los aspectos relacionados con la influencia de las costras en las propiedades físicas y químicas del suelo; así como su desempeño en procesos como la infiltración, erosión, escorrentía y la estabilización de los suelos. Pese a la falta de estudio de este tema, diversos autores mencionan que las costras biológicas favorecen la infiltración del agua e incrementan la escorrentía y disminuyen la erosión.

Debido a lo anterior, el interés de este trabajo se enfoca, principalmente, en conocer las propiedades físicas y químicas del suelo que se encuentra relacionado directamente con las costras microbióticas. Se ha considerado que este estudio permitirá realizar una interpretación sobre el papel que las costras biológicas juegan en los procesos funcionales del suelo como son: la infiltración del agua, la estabilización de la estructura y la fertilidad. Dicha interpretación resultará de suma valía si se considera que la zona de estudio es semiárida, y por ello se encuentra expuesta a factores como una radiación solar intensa, elevada evaporación y baja disponibilidad de agua, entre otros.

El objetivo general del trabajo fue evaluar el efecto de las costras microbióticas en las propiedades físicas y químicas en dos tipos de suelo en las terrazas aluviales de Zapotitlán de las Salina, Puebla.

Localización de las costras microbióticas

Las costras microbióticas son un complejo mosaico de cianobacterias, algas verdes, líquenes, musgos, hongos y otras bacterias. Éstas se encuentran presentes en todas las regiones secas, tanto en las que son calientes o templadas como en las frías y han sido reconocidas por tener una influencia importante en el funcionamiento de los ecosistemas de éstas regiones (Belnap y Lange, 2001). No obstante, las costras microbióticas también pueden presentarse en diversos ecosistemas, desde las regiones tropicales hasta las polares; sin embargo, su mejor desarrollo se da en regiones secas donde la baja disponibilidad de agua impide que las plantas superiores desarrollen densas masas, lo que permite que grandes extensiones de la superficie del suelo se encuentren expuestas directamente a la radiación solar (Evans y Johansen, 1999). En dichas regiones, las costras microbióticas pueden llegar a cubrir arriba del 70% de la superficie del suelo.

Morfología externa

De acuerdo a su morfología y estructura, se ha elaborado una clasificación de las costras biológicas (Evans y Johansen, 1999). La clasificación se basa en aspectos que pueden distinguirse fácilmente los cuales, incluso, pueden influir en el funcionamiento de diversos ecosistemas. A su vez ésta clasificación se basa en un gradiente potencial de evapotranspiración (PET). Se han reconocido cuatro grupos de costras: lisas, rugosas, rodantes y pinaculosas (Belnap y Lange, 2001).

Las costras lisas se localizan en zonas áridas e hiperáridas; es decir, en desiertos calientes con altos valores de PET. Mientras que las costras rugosas se encuentran en desiertos áridos con bajos niveles de PET. Por su parte, las costras pinaculadas se encuentran en zonas áridas, semiáridas y desiertos fríos en los cuales los suelos ocasionalmente se cubren de hielo y presentan un bajo PET, debido a esto soportan una alta biomasa de musgos y líquenes. Por último, las costras rodantes se presentan en zonas frías semiáridas y desérticas; donde los suelos se congelan en invierno y presentan bajos valores de PET, por lo que soportan largas biomásas de musgos, líquenes y plantas vasculares (Evans y Johansen, 1999).

Este sistema de clasificación es muy generalizado ya que las cuatro clasificaciones mencionadas representan una continuidad; por ello se pueden encontrar algunos tipos de costras intermedias entre estos grupos. Esta clasificación también se basa en los estados sucesionales de las costras. Con frecuencia se pueden observar costras lisas y rugosas en áreas perturbadas de cualquier región geográfica (Evans y Johansen, 1999 en Belnap y Lange, 2001) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipos de costras microbióticas. Elaboración: Belnap y Lange, 2001.

MICRORELIEVE SUPERFICIAL	ESPESOR	ORGANISMOS INVOLUCRADOS	REGIONES
Lisas	0-1 cm	Cianobacterias, algas, etc. dentro del suelo. No líquenes ni musgos.	Hábitats sin suelos congelados, hiperáridos, puede haber incrustaciones físicas y químicas.
Rugosas	1-3 cm	Notables parches de líquenes y musgos (en adición organismos dentro del suelo).	Hábitats sin suelos congelados; hábitats con un estado sucesional con respecto a la temperatura
Rodantes	3-5 cm	Generalmente cubiertas de líquenes y musgos (en adición organismos dentro del suelo).	Hábitats con inviernos fríos, con frecuencia suelos arcillosos cubiertos por muchos musgos y líquenes.
Pinaculadas	5-15 cm	Cianobacterias, algas, etc; dentro del suelo con o sin líquenes y musgos.	Hábitats con inviernos helados, áreas con baja cantidad de musgos y líquenes.

A continuación se revisarán las características particulares de los diferentes tipos de costras que existen.

Costras lisas

En este tipo de comunidades, generalmente, se encuentran cianobacterias, algas y hongos. La superficie del suelo cuenta con partículas minerales y es extremadamente plana. En este tipo de suelos las cianobacterias se asocian con las partículas de arena, dando una apariencia lisa a la superficie. Las costras lisas se encuentran en las zonas hiperáridas y regiones áridas, en donde la precipitación es muy baja, la temperatura es muy alta y los suelos nunca se congelan. Este tipo de costras se encuentran, usualmente, en áreas que sufrieron un proceso de perturbación (Evans y Johansen, 1999 en Belnap y Lange, 2001).

Costras rugosas

Se encuentran en zonas áridas y semiáridas; es decir, en regiones con bajo PET, con frecuencia se asocian a costras lisas; casi siempre presentes en regiones en donde no se congelan los suelos. En este tipo de formaciones predominan las cianobacterias, algas verdes y hongos, éstos a su vez contienen parches esparcidos de líquenes y musgos que crecen cerca de éstas o sobre la superficie. Estas costras se presentan en lugares como el desierto de Sonora y Mojave, entre otros. Las costras rugosas sólo se presentan en donde ocurren estados sucesionales; aquí también pueden aparecer musgos y filamentos de algas. Estos tipos de costras se han encontrado en

vegetaciones del mediterráneo, zonas abiertas y estepas de Europa (Evans y Johansen, 1999).

En el área de estudio el Valle de Zapotitlán, mayoritariamente se ha encontrado costras lisas y rugosas (Rivera, Manuell y Godínez, 2004).

Otro de los factores que influyen en la morfología de las costras es la química y la textura del suelo. Estas propiedades pueden determinar parcial o totalmente la morfología externa de las costras. En las costras localizadas en climas con las mismas especies y en suelos de textura fina, predominan las cianobacterias en su superficie. En suelos derivados de calcitas, los polisacáridos que producen las costras pueden combinarse con los componentes minerales para formar agregados estables que protegen al suelo de la erosión. Por otra parte, los suelos con alto contenido de carbonatos pueden soportar gran cantidad de líquenes y musgos, y esta superficie rugosa del suelo suele estar adyacente a suelos con bajo contenido de carbonatos; de tal manera que algunas costras rugosas posiblemente funcionan como indicadores de la presencia de carbonatos en el suelo (Belnap y Lange, 2001).

Existe otra propuesta de clasificación de las costras microbióticas que se basa en la posición que tienen con respecto al suelo, dicha clasificación puede ser utilizada para todos los tipos de costras biológicas y se compone de los siguientes grupos: i) costras hipermórficas (arriba del suelo) encontradas en sustratos de suelos estables, compuestas principalmente por musgo; ii) costras perimórficas distribuidas arriba y abajo de la superficie del suelo, este grupo suele estar formado de costras escuamulosas y foliosas y algas endodáficas y epidáficas y; iii) costras criptomórficas (debajo del suelo) que son tolerantes a la perturbación, compuestas por cianobacterias, algas eucarióticas y filamentos de hongos microscópicos (Eldridge y Greene, 1994).

Estructura interna de las costras biológicas y su relación con el suelo.

La morfología externa de las costras biológicas está determinada por múltiples factores, el clima es probablemente uno de los más importantes seguido por la textura del suelo y, como se mencionó anteriormente, la química del mismo. La morfología de las costras biológicas determina la susceptibilidad del suelo a la perturbación. La morfología también puede influir en las funciones del ecosistema relacionadas con la retención y movimiento de agua, el establecimiento de plantas vasculares y erodabilidad del suelo por el viento. (Belnap y Lange, 2001).

Muchas veces la estructura interna de las costras en los desiertos es provista por los largos filamentos de cianobacterias. Otra contribución son los micro-hongos y las estructuras de musgos y líquenes (Belnap y Lange, 2001).

En los suelos de los desiertos, los largos filamentos de cianobacterias (especies que dominan), proveen una matriz en la cual otros componentes de la costra biológica pueden involucrarse. Los filamentos de las cianobacterias conectan a las partículas de suelos formando una “funda” la cual se observa como una fibra que confiere una

tensión en el suelo. Con la humedad las cianobacterias se tornan túrgidas, y le dan esa apariencia a la superficie del suelo. Esto hace que se reduzcan las posibilidades de que el suelo se erosione (Belnap y Lange, 2001).

Los largos filamentos de las cianobacterias están conformados por un grupo de filamentos que está rodeado por polisacáridos, los cuales hacen que se conforme esta “funda” y, cuando el suelo está seco, los filamentos se retraen en ella. Las proporciones de filamentos que quedan expuestas secretan material adicional de polisacáridos. Cuando el suelo se seca, los filamentos de las cianobacterias quedan completamente encapsulados en estas fundas. (Belnap y Lange, 2001).

Funciones de los organismos que conforman la costra biológica.

Las costras microbióticas están compuestas por múltiples organismos no emparentados que pueden localizarse en la superficie del suelo. Las bacterias pueden ser autótrofas (al sintetizar compuestos de carbón provenientes de fuentes inorgánicas) o heterótrofas (al utilizar carbón contenido en los sustratos es decir, de la materia orgánica de los suelos). Muchas bacterias contribuyen a la fertilidad de los suelos por la fijación del nitrógeno. (Belnap y Lange, 2001).

Las micorrizas tienen una función de descomposición, y contribuyen substancialmente a la biomasa de los suelos. Las hifas de los hongos, pueden interactuar con las partículas de los suelos incrementando el contenido de agua disponible para las plantas. (Belnap y Lange, 2001).

Las cianobacterias fotosintetizan bajo condiciones anaerobias; por lo tanto fijan el nitrógeno atmosférico de tal manera que sea viable para las plantas superiores. Cuando existe un alto contenido de cianobacterias puede observarse la superficie del suelo demasiado rugosa. Las algas verdes, organismos fotosintéticos, pueden localizarse o no y tener funciones fisiológicas concretas (Belnap y Lange, 2001).

Funciones de las costras biológicas.

El desempeño de las costras microbióticas se ha estudiado y descrito desde el aspecto “funcional”, estructural y de composición. Funcionalmente el papel que desempeñan las costras biológicas es la estabilización de suelos ya que los filamentos de las cianobacterias actúan como cementante con las partículas minerales, lo anterior confiere a los suelos cierta cohesión que a su vez incrementa la estabilidad de los mismos y reduce el riesgo de erosión. La estabilización que confieren las cianobacterias y otros organismos que se localizan en la costra se presenta gracias a la cubierta que se forma al estar relacionadas las partículas pequeñas con las grandes. Esta cubierta se logra gracias a la cubierta física del suelo dada por la relación de las partículas con los filamentos y la adhesión del mucilagino secretado por los filamentos de las cianobacterias y por la relación de las partículas con varios sitios a lo largo de la pared celular de las cianobacterias (Bar-Or y Danin, 1989 en Eldridge y Leysw, 2003). La cubierta incrementa el contenido de materia orgánica en la costra (Daninn, 1989 en

Eldridge y Leysw, 2003) lo cual incrementa la resistencia del suelo a la erosión (Eldridge y Leysw, 2003).

Además de la fijación del nitrógeno atmosférico (cianobacterias) y el aporte de materia orgánica que las costras biológicas aportan a los suelos; existe un aumento de humedad y un incremento de la viabilidad de nutrientes por el contenido de elementos esenciales como el nitrógeno fijado por las cianobacterias. Por otra parte se piensa que las costras microbióticas aumentan la infiltración del agua y previenen los escurrimientos. Sin embargo, hay quien reporta todo lo contrario. La absorción del agua por el material biológico y la retención del agua por fuerzas de capilaridad son el camino por el cual las costras biológicas regulan la infiltración del agua y promueven los escurrimientos cuando llueve (Malam *et al.*, 1999).

Influencia de las costras biológicas sobre las plantas vasculares.

La presencia de las costras biológicas puede cambiar significativamente las características químicas y físicas del suelo. Estas alteraciones pueden afectar la germinación, sobrevivencia y el estado nutricional de las plantas vasculares. Se han encontrado relaciones negativas entre las costras biológicas y el establecimiento de plantas vasculares (West, 1990; Johansen, 1993, en Belnap y Lange, 2001). Con base en esto, algunos autores han concluido que los organismos de las costras limitan la germinación y establecimiento de las plantas vasculares (Savory, 1988 en Belnap y Lange, 2001). Algunos autores también han reportado que no hay una correlación entre las plantas vasculares y las costras biológicas (Anderson, 1982; Beymer y Klopatek, 1992; Jeffries and Klopatek, 1987; Kleiner y Harper, 1972,1977 en Belnap y Lange, 2001).

Propiedades físicas y químicas del suelo y circulación del agua en presencia de la costra biológica.

Eldridge en 1993 menciona que las costras regulan la entrada de agua e incrementan la macroporosidad del suelo. Esta situación se relaciona con el hecho de que las hifas y cianobacterias ayudan a la infiltración. Alternamente ellas mismas pueden reducir la infiltración a través de los siguientes mecanismos: 1. Las costras biológicas pueden crear una superficie hidrofóbica ya que es posible que excluyan al agua por ocupar la matriz de poros; 2. Las costras también pueden excluir el agua y reducir la infiltración cuando las fundas de las cianobacterias se hinchan, y, 3. Otros resultados indican que la macroporosidad se rompe y declina la productividad potencial del suelo (Belnap y Lange, 2001).

Otras hipótesis sugieren que las diferencias en la infiltración se deben a la composición de las costras o diferencias en el estatus de humedad de la misma. En los lugares que llueve demasiado, las costras pueden aumentar la infiltración por los efectos de la microtopografía y la rugosidad de la superficie (Eldridge y Greene, 1994 en Belnap y Lange, 2001).

Por otra parte, las costras, frecuentemente, forman asociaciones cerradas en la superficie del suelo en el que juntan y cementan las partículas, además cierran los poros, lo cual limita la entrada de agua durante la temporada de lluvias.

Relación de las costras físicas y las costras biológicas.

Las costras microbióticas en ocasiones pueden asociarse a las costras físicas del suelo, las cuales pueden ser divididas en tres grandes grupos de acuerdo a su mecanismo de formación: i) costras estructurales formadas *in situ* por el impacto y salpicadura de las gotas de agua; ii) costras de depósito, formadas por el depósito de partículas transportadas por el agua provenientes de alguna locación originaria, y iii) costras por erosión, formadas por la erosión causada por agua y viento (Malam *et al.*, 1999).

La presencia de costras físicas y/o químicas altera las características de la superficie del suelo y pueden jugar un papel definitivo en muchos ecosistemas. Las costras físicas pueden sellar y dar una apariencia lisa a la superficie por lo que reducen la infiltración e incrementan el volumen y la velocidad del agua con relación a los escurrimientos (Summer y Stewar, 1992 en Belnape y Lange, 2001). Algunas veces, las costras físicas, inhiben el establecimiento de semillas de plantas vasculares. Las costras biológicas lisas y las costras físicas pueden controlar la hidrología local con el alisamiento y el sellado de la superficie del suelo (Kidron y Yair, 1997 en Belnap y Lange, 2001).

En contraste, se ha reportado que las costras biológicas pueden incrementar la infiltración por lluvias, decrementar el volumen y la velocidad del agua con relación a los escurrimientos y retener las semillas y la materia orgánica. Con todo esto, si se entienden los factores de control de las costras físicas y biológicas, es esencial la interpretación de la manera en que la presencia de éstas puede influir en las funciones de los ecosistemas (Müller, 1988 en Belnape y Lange, 2001). Las costras físicas con frecuencia son colonizadas por costras biológicas.

En suelos que presentan gran cantidad de costras físicas, la morfología y funcionamiento de la superficie está controlada por las características físicas y químicas del suelo; los componentes biológicos solamente tienen un efecto limitado sobre la apariencia de las costras. Si únicamente están presentes cianobacterias, las costras son lisas. Si la costra está colonizada por líquenes, la superficie de la costra es rugosa. Las costras pinaculadas pueden presentarse en suelos que tengan una presencia baja de costras físicas (Müller, 1988 en Belnape y Lange, 2001).

Antecedentes

El tema de las costras microbióticas ha sido trabajado en pocas ocasiones, sin embargo estos han resultado muy importantes para los avances en los conocimientos de su función.

Evans y Johansen en 1999, elaboraron y publicaron un compendio de información de las costras microbióticas y los procesos que éstas desempeñan dentro del ecosistema. En dicho compendio señalaron que los organismos en las costras biológicas capaces de fijar el nitrógeno pueden dominar las fuentes de este componente que se encuentra presente en muchos ecosistemas, aunque algunos rangos se ven limitados por la disponibilidad del agua, la temperatura y la pérdida de nitrógeno de la costra. También destacaron que las costras biológicas atrapan partículas del suelo y confieren un incremento significativo en la estabilidad de los agregados y resistencia a la erosión; además apuntaron que las costras biológicas posiblemente aumentan la germinación de semillas y la sobrevivencia de las mismas. Ya en este estudio se señalaba que las costras microbióticas son extremadamente susceptibles al fuego y el removerlas puede disminuir la fertilidad y estabilidad de los suelos dando una baja disponibilidad de nutrientes para las plantas vasculares y una pérdida de suelos en los ecosistemas.

Karnieli y col (1999), analizaron sistemáticamente, a través de espectros VIS, NIR y SWIR, las características espectrales de las cianobacterias de las costras biológicas bajo diferentes condiciones de humedad.

Malam y col, en 1999, realizaron un trabajo de morfología y microestructura de costras microbióticas en una secuencia llamada tiger bush en Niger, Sahel. Por medio de este estudio reconocieron costras del suelo en forma de bandas en las cuales dominaban los filamentos de cianobacterias del género *Schizothrix* y otros géneros importantes como *Scytonema*, *Lyngbys*, *Microcoleus*, *Nostoc* y *Phormidium*. Los filamentos de los microorganismos fueron observados junto con partículas de arcilla y arena presentes en la superficie de los suelos. Estos autores enfatizan el desempeño de las costras biológicas en la cohesión del suelo y la resistencia a la erosión; además, mencionan que las costras incrementan la porosidad ya que los filamentos de las cianobacterias delinean la periferia de las costras y esto genera poros grandes que ayudan a la retención de agua y nutrientes.

Eldridge y col en el 2000, contrastaron la tasa de infiltración en tres lugares en Negev, Israel examinando el papel de las costras biológicas en el proceso de infiltración. Estos autores compararon sitios en el norte, centro y centro-este de Negev, Israel, concluyeron que al eliminar las costras biológicas se incrementa la infiltración; así mismo, la eliminación de éstas en los tres sitios implicó redistribución de escurrimientos de agua lo cual es esencial para mantener estables los suelos del desierto. Durante su estudio de campo encontraron efectos marcados en la germinación, establecimiento y sobrevivencia de plantas vasculares y la biota del suelo, ligado a la desertificación.

Zaady y col, en el 2000, determinaron que los cambios en la proporción de CO₂ pueden ser utilizados como indicadores del estado de desarrollo y la composición de las especies de las costras biológicas en diferentes estados de sucesión; para esto, cuantificaron los cambios en la proporción de CO₂ a través de la asimilación de éste en la respiración y fotosíntesis. En las dos zonas de estudio encontraron un incremento en los cambios de CO₂ en los sitios en los que predominan organismos fotosintéticos.

En la obra publicada por Belnap y Lange, en el 2001, se muestra un amplio panorama de las costras biológicas: estructura, función y manejo. El libro se enfocó en la apreciación de las costras biológicas en zonas áridas debido a la presencia de impactos antropogénicos.

Por otra parte Harper y Belnap (2001) reportaron por primera vez la influencia de las costras biológicas en los elementos bio-esenciales en seis semillas de plantas pertenecientes al desierto de Utha. En este estudio se determinó que la presencia de cianobacterias (*Collema*) alteran significativamente los elementos bio-esenciales presentes en las plantas. Se trata de elementos como el N en plantas y asociado a ellas; éstos incrementan el contenido de Cu, K, Mg y Zn (70%).

Maestre y col, en el año 2002 elaboraron un estudio de la infiltración, penetración y resistencia en la composición de costras biológicas en micro-sitos del Mediterráneo (sureste de España). En su estudio analizaron los efectos de *Stipa tenacissima* en la composición de costras biológicas, la compactación de la superficie del suelo y la infiltración. Encontraron que existe una diferencia en la composición de las costras entre sitios con plantas vasculares distribuidas en montículos de hierbas y sitios con suelo desnudo, en estos últimos se presenta una mayor cobertura de musgos y en los sitios abiertos predominan las cianobacterias y líquenes. La compactación de la superficie de los suelos fue alta en los micrositios abiertos. Las variables con relación a la infiltración mostraron que se requiere de menos tiempo para que las primeras gotas se filtren en los sitios de montículos de hierbas. Determinaron que la infiltración es baja en los sitios que presentan montículos de hierbas y alta en los sitios desnudos con cobertura de cianobacterias.

Por último, Eldridge y Leysw, en el 2003, realizaron una investigación con la finalidad de examinar la relación entre el recubrimiento que propician las costras biológicas y la agregación del suelo; para cumplir con su trabajo. Utilizaron un modelo empírico desarrollado en dos sitios en donde predominaban estas comunidades. Esta investigación se llevó a cabo con la finalidad de predecir los impactos de las estrategias de manejo sobre las costras y la agregación relacionada con los procesos de erosión por el viento.

Área de estudio

Localización

El Valle de Zapotitlán se considera una región semiárida localizada al sureste del estado de Puebla y zonas adyacentes al noroeste de Oaxaca. Se ubica geográficamente entre las coordenadas 97°24' y los 97°35' de longitud O; 18°12' y los 18°23' de latitud N. La región está comunicada por medio de la carretera federal No. 125 que va de Tehuacán a Huajapan de León, Oaxaca. Los límites naturales del valle de Zapotitlán son: hacia el Norte los cerros Chacateca, El Pajarito y Tarántula; en el Sur el límite se establece por la cota de los 2000 m y correspondiente a la zona montañosa de la formación Matzitzí donde se encuentra la población Los Reyes Metzontla. Hacia el Este el límite lo forma la Sierra de Mihuatepec y rumbo al Oeste el valle de de san Juan Raya y Santa Ana (Figura 1).

Por su fisiografía, el Valle de Zapotitlán pertenece a la región seca de la provincia de la Alta Mixteca y al Sistema ecogeográfico Sierra de Zapotitlán. Posee un relieve muy heterogéneo integrado por elevaciones tectónicas, piedemontes y planicies acumulativas. El clima que prevalece es es BSo hw" (i')g que es un clima seco, semi-cálido con una temperatura media anual de 21.0°C, con una oscilación térmica entre los 5° y 7°C, el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano; el régimen de lluvias es de verano; existe una sequía en la mitad del periodo de lluvias (canícula). La precipitación total anual promedio es de 420 mm. Los suelos de la cuenca del río Zapotitlán presentan una morfología poco diferenciada del material parental, son calcáreos y de profundidad variable para todo el valle. López *et.al.*, 2003) identificaron cuatro grupos de suelo: Leptosoles, Regosoles, Fluvisoles y Calcisoles (FAO, 1998). Los Leptosoles y Regosoles son los que más extensión cubren.

Particularmente, las terrazas en donde se realizó el presente estudio se localizan en la parte más baja del valle en la planicie de Zapotitlán sobre las márgenes o riberas del río Zapotitlán, corriente intermitente que corre por la parte meridional de la cuenca entre las coordenadas 18° 19'08" y 18° 19'45" de latitud norte y los 97° 27'00"y 97° 27'40"de longitud Oeste. Las terrazas fluviales no forman un sistema continuo a lo largo del río, ya que en algunos lugares no hubo condiciones para su formación. El presente estudio se realizó sólo en dos fragmentos de terrazas denominado A y D (Figura 1).

La cubierta vegetal de las terrazas está conformada por un matorral espinoso de mezquite (*Prosopis laevigata*) y palo verde (*Parkinsonia praecox*), el cual se distribuye de manera irregular y forma manchones que se alternan con parcelas agrícolas de temporal y áreas con vegetación secundaria.

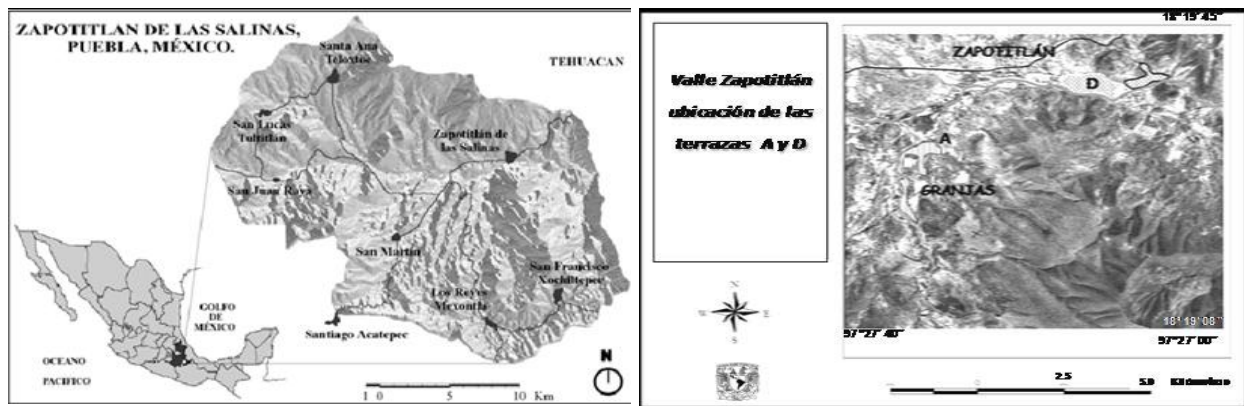


Figura 1. Localización del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Ubicación de las terrazas A y D
(Tomado de Montoya *et al.*, 2004).

Las terrazas aluviales estudiadas se han formado por la acumulación de sedimentos transportados por corrientes fluviales en eventos pluviales excepcionales esporádicos y violentos que se han dado a lo largo del Holoceno Buitrón (1970) y Barceló (1978). Primero se formó una gran planicie acumulativa o de inundación, misma que posteriormente fue cortada por el río Zapotitlán el cual se encajó sobre los mantos de sedimentos dando lugar a la formación de las terrazas. Actualmente se encuentran en proceso de degradación, lo que ha determinado la formación de un patrón recurrente de fragmentos o islas que presentan distintos usos y condiciones de degradación y/o conservación, esto se manifiesta por la presencia de fragmentos en buen estado protegidos por la vegetación natural. También hay superficies alteradas con escasa o nula cobertura vegetal, en donde el suelo está cubierto sólo por costras microbióticas las cuales se alternan con áreas agrícolas y sitios con erosión extrema (Muñoz *et al.*, 2009).

Los suelos de las terrazas son profundos de tipo de Fluvisol y Regosol, según García (2001) se presentan dos series, de acuerdo a la composición mineralógica y la secuencia granulométrica de los primeros horizontes. La primer serie es la Zapotitlán, que se distribuye en la mayoría de las terrazas aluviales (porción centro y norte de la cuenca). Los suelos de esta serie se formaron de sedimentos fluviales ricos en carbonato de calcio, se distinguen por presentar color gris parduzco; texturas franco arcillo limosas y franco arcillosas; estructuras con agregación laminar masiva, dura y compacta, de reacción alcalina (pH de 8.0 a 8.5) y contenidos de materia orgánica que van de pobres a moderados, a esta serie pertenece la terraza D. La otra serie denomina Granjas; se distribuyen en el área de influencia del sistema montañoso Cerro Grande con suelos de color pardo o pardo amarillo; de textura franco arenosa; moderados contenidos de carbonatos con importante presencia de minerales de hierro (hematita); estructura granular e individual en los primeros horizontes; el subsuelo es pedregoso y muy compacto, a esta serie pertenece la terraza. (Muñoz *et al.*, 2009).

III. Metodología

Delimitación de la zona de estudio

Se trabajó con el sistema de terrazas aluviales de Zapotitlán Salinas, Puebla específicamente en las terrazas denominadas como A y D, la primera se caracteriza por ser una de las zonas más conservadas y la segunda una de las más deterioradas en el valle. El muestreo se llevó a cabo durante los meses de julio del 2002 y marzo del 2003. En cada zona se han delimitado sitios específicos para llevar a cabo el presente estudio.

Descripción de la Terraza A

Se ubica en la barranca Boqueró. Cerca de la terraza se encuentran granjas avícolas; tiene una superficie aproximada de 5 ha, una altitud de 1500 m y una altura con respecto al cauce de 5 m. La coordenada del punto central es 18°18'32.2 Lat. N y 97°29'08 Long. W. La terraza A está constituida por una franja de terreno bien conservado, en el cual dominan las condiciones naturales típicas. No existen evidencias claras de deterioro y los sistemas presentan sus elementos y procesos en situación normal. Los rasgos fisiográficos están representados por una terraza aluvial típica, con relieve llano o ligeramente inclinado; los materiales geológicos (sedimentos aluviales) aún conservan su estructura original con nula o poca alteración; los suelos presentan una morfología completa con horizontes superficiales en buenas condiciones; son suelos de tipo Regosol calcárico, con texturas arenosas y franco arenosa; también se presentan suelos de tipo Fluvisol calcárico (UBIPRO, 2000).

La vegetación muestra una estructura fisonómica bien definida, con una marcada estratificación vertical, mayor diversidad y riqueza específica; el tipo de vegetación dominante es el matorral espinoso, con asociaciones de *Prosopis laevigata* con *Parkinsonia praecox* y *Myrtillocactus geometrizan*. Bajo estas condiciones se observan pocas islas de fertilidad, en las que se desarrollan diversas especies de cactáceas, herbáceas, pastos y crasuláceas. La presencia de elementos arvenses o especies oportunistas se restringe al periodo de lluvias pero en las partes donde si existe perturbación como lo son los caminos y veredas frecuentados por personas y ganado. Los procesos e interrelaciones ecológicas naturales son los que marcan la dinámica del sitio. Las actividades humanas son reducidas, el pastoreo es bajo; el grado de erosión es de bajo a medio dependiendo de la cobertura vegetal e inclinación del terreno (UBIPRO, 2000).

Dentro de esta terraza se delimitaron dos sitios uno con suelo desnudo, es decir sin vegetación sólo con presencia costras microbióticas denominado M2-D y otro protegido por una cubierta vegetal densa y sin costras microbióticas el cual se identificó con la clave M2-C (figura 2).

Descripción de la Terraza D

La terraza D se localiza en la porción media oriental de la cuenca teniendo como coordenada del punto central 18°19'33" Lat. N. y 97°27'17.4" Long. W, con una altitud de 1444 m. Con respecto al cauce, esta terraza tiene una altura de 17 m. Incluye aquellas áreas en las que se observan los mayores niveles de degradación y que son producto del cambio del uso del suelo; en la actualidad son parcela, que por la pérdida de fertilidad natural y escasa precipitación no permiten la obtención de una producción normal, por lo que se encuentra en niveles muy bajos; suelen encontrarse dentro de este grupo terrenos abandonados o en los que el desmonte ha sido muy intenso. También se incluyen sitios en los cuales de forma natural y por efecto de la erosión eólica e hídrica, se han eliminado en su totalidad las comunidades bióticas establecidas o solamente quedan reminiscencias; aquí la diversidad, estructura y procesos ecológicos se han perdido totalmente.

El suelo es de tipo aluvial con textura franco arcillo limosa y franco arcillosa, de color pardo grisáceo, de pH alcalino y con abundante contenido de carbonatos. El suelo manifiesta procesos de erosión vertical lo que provoca colapsamiento y fragmentación de la terraza. Esto ha dado lugar a la formación de un paisaje de pináculos e islas creados por erosión, deslizamiento y derrumbes de grandes masas de sedimentos, abarrancamiento, fosas y depresiones con el desarrollo de una serie de canales o redes de avenamiento muy reticuladas que favorecen el drenaje superficial pero que limitan la infiltración, incrementando el proceso de degradación física y química hasta formar paisajes conocidos como "Tierras Malas" (Bad Lands) (M5), por esta razón se presenta una limitación muy severa en el establecimiento y desarrollo de una cobertura vegetal. Los sistemas naturales tienden a desaparecer o han sido reemplazados por parcelas de agrícolas; algunos terrenos se usan para la ganadería extensiva o han servido para edificar sistemas de producción de "sal gema" (UBIPRO, 2000).

Dentro de esta zona (figura 2) se delimitaron seis sitios de muestreo: tres con suelo sin vegetación sólo con presencia de costras microbióticas (M1-D, M4-D y M5-D) y otros tres con suelo protegido por vegetación sin costras microbióticas (M1-C, M4-C y M5-C).

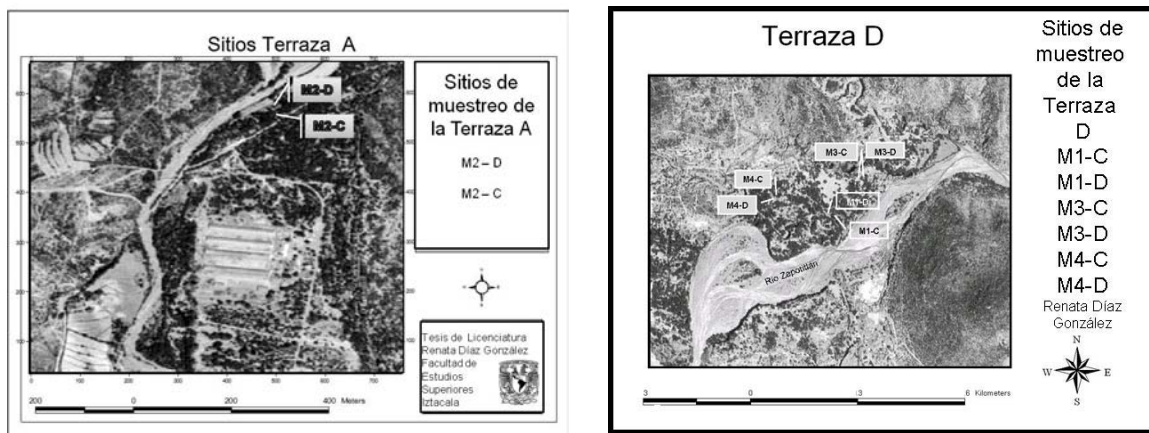


Figura 2. Sitios de muestreo. Elaboración: Laboratorio de Edafología, UBIPRO, FES Iztacala, UNAM.

Descripción de la toma de muestras

En los sitios sin vegetación sólo con presencia de costras microbióticas de ambas terrazas, se tomaron muestras de suelo adyacente a la costra (0-5 cm) y de suelo hasta una profundidad de 20 cm. En los lugares protegidos por vegetación pero sin costras microbióticas de las dos terrazas, se tomaron muestras compuestas sólo del suelo superficial (0- 20 cm).

La toma de las muestras de suelo adyacente a las costras microbióticas se realizó con ayuda de espátula entre 2 y 5 cm de profundidad con la finalidad de tomar únicamente el suelo que está relacionado a la costra; el área que se tomo fue de 12 cm² (medidas de la espátula) hasta acumular 1 kg de muestra. Las costras fueron depositadas en cajas *petri* y el suelo adyacente aún con todo y costra en bolsas de plástico etiquetadas.

En el laboratorio, se tamizaron las muestras de suelo adyacente a la costra con la finalidad de recuperar únicamente el suelo; el residuo que pasó por el tamiz fue el que se empleó para la determinación de las propiedades edafológicas. Del mismo modo, el suelo tomado a 20 cm de profundidad fue tamizado.

Trabajo de laboratorio

Para la determinación de las propiedades físicas se utilizaron las siguientes técnicas analíticas: La determinación del color se realizó mediante la técnica de comparación con Tablas de Color (Munsell, 1975). La textura se determinó a través del método de Bouyoucus, (1962), La densidad aparente por el método de la parafina; para la densidad real se utilizó el método del Picnómetro (Aguilera y Domínguez, 1980). La infiltración por el método de anillos concéntricos (citadas en Muñoz et al., 2000).

Para la determinación de las propiedades químicas se utilizaron las siguientes técnicas analíticas: La determinación del pH se realizó mediante el método potenciométrico utilizando una relación suelo agua de 2.5:1. La materia orgánica se determinó por el método de Oxidación con Ácido Crómico y Ácido Sulfúrico, Walker y Black, 1947 (Tomado de Muñoz, et al. 2000). El nitrógeno total se cuantificó a través del método de Micro-Kjeldahl (modificado por Bremner, 1965). Para la determinación de potasio y sodio; calcio y magnesio intercambiables se utilizó el método del espectrofotómetro de flama (desarrollado por el U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954) y Método volumétrico del Versenato (Desarrollado por Cheng y Bray, 1951; Cheng y Krutz, 1960) respectivamente. Para la evaluación del intercambio catiónico se empleó el método volumétrico del Versenato (Desarrollado por Schollenberg y Simon, 1945). El fósforo asimilable se determinó con el método de Ulsen (citadas en Muñoz et al., 2000).

Micro-morfología de la interfase suelo-costra biológica

Por medio de cortes delgados de los primeros centímetros del suelo con costra y observaciones en un microscopio estereoscópico, se realizó una descripción de la morfología de acuerdo al manual para la descripción de secciones delgadas de suelos, (Bullock et al., 1985).

IV. Resultados y Discusión

Descripción de la morfología de la costra microbiótica

De acuerdo con la clasificación de Eldridge y Greene, 1994, la costra microbiótica de los suelos de Zapotitlán por su posición con respecto al suelo se considera hipermórfica por encontrarse únicamente en la superficie de éste. De acuerdo a la clasificación de Evans y Johansen (1999) basada en su morfología y estructura son del tipo rugoso; dominan las cianobacterias, algas verdes y hongos, pero en adición, contiene parches esparcidos de líquenes y musgos creciendo cerca de éstas o sobre la superficie. La estructura de polígono irregular comprimido con espesor promedio de 3mm, con estructura fibrosa muy fina constituida por fibras inorgánicas de hongos actinomicetos y cianobacterias que envuelven intrínsecamente a las partículas minerales del suelo constituidas por minerales arcillosos y carbonatos de calcio. Se observan abundantes microporos muy finos de tipo vesicular, contienen escasas raíces finas. Inmediatamente debajo de la costra se encuentra el contacto con el suelo, el cual por lo general muestra una estructura laminar de poco espesor (2 a 4 mm) y baja estabilidad formada por una secuencia interlaminar de sedimentos, lo que denota su origen acumulativo. Debajo de la costra, la estructura del suelo cambia a poliédrica subangular de tamaño pequeño y mediano, donde cada *ped* está constituido por un conjunto de subunidades pequeñas reparadas por poros de fisura, la porosidad interna es abundante. La estabilidad de estas unidades varía de moderadamente a muy estables, las paredes son rugosas e irregulares, con frecuentes raíces finas y pasos de raíces.

Terraza A

Secuencia morfológica del suelo de la Terraza A sitio M2-D (Parche de suelo desnudo en una zona conservada).

Cuadro 2. Descripción morfológica de la interfase suelo-costra microbiótica.

Capa u Horizonte	Profundidad (cm)	Morfología
Costra Microbiótica	0.2	Costras rugosas asociadas a islas de fertilidad y costras lisas delgadas en suelo completamente desnudo. Aproximadamente el 60% de la superficie del suelo desnudo presenta costra biológica. La costra biológica conformada principalmente por cianobacterias y líquenes (ficolíquenes) y en algunos casos helechos.
Horizonte A1	0.2 - 15	Coloración pardo grisáceo; compactación ligera, estructura que incluye partículas elementales gránulos y poliedros subangulares de tamaño pequeño débilmente desarrollados. Textura franco arenosa. Residuos orgánicos frecuentes moderadamente descompuestos. Raíces finas abundantes sobre todo en la base del horizonte y escasas en la parte superficial. La reacción a los carbonatos es moderada.
Horizonte AC	15 - 30	Compactación moderada, estructura poliédrica subangular tamaño medio, medio desarrollada frecuentes raíces moderadamente descompuestas dentro de los agregados. Las raíces frecuentes de tamaño mediano. Color pardo grisáceo, textura franco arenosa.

Micromorfología de la interfase suelo costra. Terraza A sitio M2-D.

Los agregados presentan una fábrica granular de puentes de arena donde la proporción de granos gruesos y finos (G/F) es del orden de 80/20. Los componentes básicos son arenas revestidas de material fino. Se observan macrocristales y mesocristales. El espesor de la costra biótica con frontera irregular difusa; la frecuencia de arenas grandes es de 50-30%; la ordenación y selección de partículas es pobre. La estabilidad de los agregados es muy baja debido a las uniones débiles que presenta y la escasez de coloides, los poros no son muy abundantes y están en un empaquetamiento complejo. Los filamentos de la costra penetran débilmente los agregados del suelo.

Cuadro 3. Secuencia morfológica del suelo de la Terraza A sitio M2-C (terrazza “A” zona conservada con vegetación)

Capa u Horizonte	Profundidad (cm)	Morfología
Horizonte O	0 – 0.4	Capa suelta constituida de residuos orgánicos: hojas, ramas, semillas y frutos aun reconocibles (ligeramente descompuestos). No es tan evidente la presencia de costra biológica en la superficie, por lo cual es necesario remover la hojarasca para localizarla.
Costra Microbiótica	0.4 – 0.7	La costra biológica se compone principalmente por cianobacterias en su mayoría, algunos musgos y escasos líquenes. El grosor de la costra es de 3 a 4 mm aproximadamente. Debajo de ella se observa una capa muy fina compacta.
Horizonte	0.7 -15	Debajo se presenta un horizonte mineral de consistencia suelta, compactación ligera, estructura granular de migajón y poliédrica, mediana y fina pobremente desarrollada. Color pardo grisáceo, textura franco arenosa. Los agregados presentan abundantes raíces finas y restos de raíces moderadamente descompuestos. Los residuos orgánicos también son abundantes con avanzado grado de descomposición.
Horizonte	15 - 24	Compactación moderada con estructura poliédrica subangular desarrollada con concreciones de carbonatos y frecuentes raíces finas. El contenido de raíces en general es abundante dominando las de tamaño medio. La reacción a los carbonatos es violenta, es importante destacar también la presencia de fauna del suelo. Color pardo grisáceo, textura franco arenosa.

Micromorfología de la interfase suelo costra. Terraza A sitio M2-C.

En la superficie se presenta una costra rugosa delgada, el contacto con el suelo es difuso y con frontera irregular. Los agregados presentan una proporción de G/F de 70/30; los componentes básicos son arenas y material fino; se observan macrocristales de varias formas y tamaños; la frecuencia de arenas es de 70-50% (abundantes);

presenta una buena ordenación con superficie rugosa. La agregación se considera poliédrica subangular, moderadamente desarrollada. Los poros están en un empaquetamiento complejo no muy abundantes.

Terraza D

Cuadro 4. Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M1-C (zona muy perturbada con parches de vegetación)

Capa u Horizonte	Profundidad cm	Morfología
Horizonte O	0 – 0.5	La superficie del suelo esta cubierta por una capa orgánica suelta, constituida de residuos orgánicos ligeramente descompuestos. Residuos gruesos formados principalmente por hojas de mezquite, ramas y vainas.
Costra Microbiótica	0.5 – 0.8	La costra se encuentra por debajo de la hojarasca no es continua ya sólo se encuentra en ciertas partes. La costra es lisa muy delgada (3 mm), formada principalmente por cianobacterias y líquenes.
Horizonte A1	0.8 – 3	Compacto, coherente que en su porción más superficial muestra una estructura laminar de tamaño fino y mediano, formada de interlaminaciones muy finas de baja estabilidad lo que denota su origen sedimentario, escasa raíces y escasos poros finos, sin pedregosidad. Coloración pardo pálido y textura franca.
Horizonte	3 -	Compacto, con estructura de agregados poliédricos subangulares de tamaño fino y medio, moderadamente estables mezclados con gránulos migajosos. Los residuos orgánicos están marcadamente descompuestos y son de tamaño fino. La reacción a los carbonatos es muy violenta, sin embargo no se observan manchas polvosas ni concreciones. Coloración pardo pálido y textura franca.

Micromorfología de la interfase suelo costra. Terraza D sitio M1-D.

La costra biótica presenta un límite gradual y difuso con el suelo mineral, las hifas y filamentos de cianobacterias penetran muy someramente al suelo, estas se encuentran recubiertas de material fino. La proporción de G/F es de 60/40; los componentes básicos son arenas y material fino y por consiguiente la masa basal está representada principalmente por una densa masa de material fino incrustada por macrocristales de minerales primarios; el espesor de los agregados laminares de la superficie es delgado; la frecuencia de arenas es de 50-30%; moderadamente ordenado con superficie rugosa. Los agregados poliédricos presentan una masa basal o matriz fina que incluye a frecuentes macrocristales con distribución irregular. Los poros están en un

empaquetamiento complejo y no son muy abundantes dominando los de forma vesicular y de tubo.

Cuadro 5. Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M1-D (zona muy perturbada, área desprovista de vegetación)

Capa u Horizonte	Profundidad cm	Morfología
Costra Microbiótica	0 – 0.4	La costra biológica dominante es la lisa aunque también hay algunos sitios con costra rugosa (25%). Descansa directamente sobre una costra física. La costra física y la biológica sellan casi por completo la superficie del suelo. Un 90 % de la superficie del suelo desnudo esta cubierto de costras. La costra biológica se compone mayoritariamente de cianobacterias y líquenes. El grosor oscila entre 2 y 3 mm.
Horizonte A1	0.4 – 0.8	Costra física de color pardo pálido formada de agregados laminares de poco espesor y baja estabilidad. Escasas raíces y residuos orgánicos. Textura franca.
Horizonte A2	0.8 -	Por debajo de la costra física se encuentra una capa mineral de color pardo pálido, muy compacta y dura con estructura de macroagregados poliédricos subangulares de tamaño medio y fino, estables y coherentes, de consistencia firme en húmedo y dura en seco. Textura franca. Las raíces son escasas presentándose sólo algunas de tamaño fino, los residuos orgánicos también son escasos moderadamente descompuestos. La reacción a los carbonatos es muy violenta, no obstante no se observan concreciones ni manchas.

Micromorfología de la interfase suelo-costra microbiótica

El espesor de las costras biótica y física fluctúa entre 4 y 8 mm, el suelo que esta en contacto con las costras presenta una gran masa coloidal de arcillas y carbonatos con escaso componente orgánico. Con inclusiones de distribución irregular de macrocristales de arena y limos recubiertos irregularmente por material fino; la frecuencia de arenas es de 50-30%; La proporción de G/F es de 60/40; presenta una ordenación moderada la superficie de los peds es rugosa. Los agregados están integrados por subunidades de la misma forma moderadamente estables Los poros son vesiculares y tubulares, están en un empaquetamiento complejo y son frecuentes en cuanto a cantidad.

Cuadro 6. Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M4-CD (zona perturbada, intermedia con escasas islas de fertilidad)

Capa u Horizonte	Profundidad cm	Morfología
Costra Microbiótica	0 – 0.5	La superficie del suelo presenta un pavimento de costras biológicas de aspecto rugoso y cavernoso que forma un microrelieve irregular. Por debajo del pavimento de costras se encuentra el suelo mineral. La costra se compone de cianobacterias, musgos y algunos líquenes. Su grosor es de 2-3 mm. La costra biótica es su base presenta una gran red filamentosa que atrapa y envuelve a una gran cantidad de partículas del suelo, muchas de las estructuras filamentosas están irregularmente recubiertas por material mineral fino.
Horizonte A	0.5 -	Compactación de 3 a 20 cm. Color gris claro. Estructura poliédrica subangular fuertemente desarrollada. Consistencia friable, plástica, adhesiva, textura franca, escasas raíces medias y finas, sin intrusiones, reacción violenta al HCl.
Horizonte	20-43	Compacta. Estructura poliédrica subangular de tamaño medio y fino fuertemente desarrollado. Textura franco limosa, adhesivo, muy plástico, muy friable. Raíces escasas medias y finas. Sin intrusiones. Reacción al HCl violenta. Color gris claro en seco y gris en húmedo. Agregados muy porosos.
Horizonte	43-80	Moderadamente compacto. Color gris claro en seco. Estructura poliédrica subangular de tamaño fino, medio y grande; moderadamente desarrollado. Agregados muy porosos y con escasas raíces. Muy plástico y muy adhesivo. Arcillo-limoso. Friable. Raíces raras de tamaño fino. Sin intrusiones. Reacción violenta al HCl
Horizonte	80-120	Muy compacta. Estructura poliédrica angular muy fuertemente desarrollada de tamaño medio y fino. Textura franco arcilloso. Adhesivo, plástico. Consistencia friable. Fragipán. Reacción al HCl violenta.

Micromorfología de la interfase suelo-costra microbiótica. Terraza D sitio M4-CD.

La costra biótica es su base presenta una gran red filamentosa que atrapa y envuelve a una gran cantidad de partículas del suelo, muchas de las estructuras filamentosas están irregularmente recubiertas por material mineral fino, el espesor de la costra es un poco mayor que en los otros sitios. La proporción de G/F es de 50/50; los componentes básicos son arenas y material fino; se observan macrocristales y mesocristales; las arenas son frecuentes presentando una ordenación moderada. La superficie de las caras de los agregados es rugosa, la agregación se considera granular y poliédrica desarrollada. Los poros son frecuentes de forma vesicular y tubular están en un empaquetamiento complejo.

Cuadro 7. Secuencia morfológica del suelo de la Terraza D sitio M5-BL-C y D (zona perturbada, intermedia con escasas islas de fertilidad)

Capa u Horizonte	Profundidad cm	Morfología
Horizonte O	0 – 0.4	La superficie está cubierta por una delgada capa de residuos orgánicos; también se observa la presencia de musgo mismo que contribuye a la formación de costras biológicas. Se trata de una capa orgánica, mezcladas con agregados granulares y poliédricos de tamaño fino.
Costra Microbiótica		El los suelos con horizonte O, la presencia de la costra biológica es conspicua, presentándose principalmente la del tipo liso. En las áreas desprovistas de vegetación abundan las costras bióticas rugosas, conformadas principalmente por cianobacterias y líquenes.
Horizonte A	7-24	Compacta, muy cementada, poliédrica angular de tamaño medio y fino bien desarrollado. Muy plástico, adhesivo, friable. Textura franco limosa. Raíces finas y frecuentes. Reacción violenta al HCl.
Horizonte	24-50	Fragipán. No cementado. Muy compacto. Consistencia dura en seco y firme en húmedo; muy plástico y adhesivo. Textura franco-arcillo-limosa. Reacción violenta a los carbonatos.

Micromorfología de la interfase suelo-costra microbiótica. Terraza D sitio M5 C y D.

La costra lisa se encuentra debajo de la hojarasca es muy delgada y no continua, las estructuras filamentosas penetran débilmente al suelo mineral, encerrando pequeños agregados y recubriéndose de material mineral fino. Los agregados del suelo presentan paredes rugosas irregulares, en el interior esta una gran masa interrumpida por frecuentes poros vesiculares. Los componentes básicos son arenas y material fino; la proporción de G/F es de 70/30; la masa basal es más homogénea y fina que en los sitios anteriores, en su interior se presentan arenas que se observan como macrocristales y mesocristales; la frecuencia de arenas es moderada; con ordenación regular. La agregación es de forma granular estable. Los poros están en un empaquetamiento complejo y son abundantes.

Comportamiento de los parámetros físicos

Color

Los sitios ubicados en la terraza D presentaron el mismo color de suelo, las variaciones son mínimas. El color que predomina en el suelo adyacente y el suelo a 20 cm en ausencia de humedad es 2.5 Y 5/3 pardo olivo claro. En algunos sitios como el M1-C, el color del suelo a 20 cm es ligeramente más oscuro. Con respecto a la variación del

color con el factor tiempo, se tiene que durante el período de sequía el color que predomina en esta misma terraza D es el pardo amarillento claro (2.5 Y 6/3), lo cual puede atribuirse a la disminución de la materia orgánica.

Los sitios ubicados en la terraza A presentaron una coloración diferente al de la D, sin embargo la coloración suelo adyacente y el suelo a 20 cm es la misma: pardo (10 YR 4/3 y 10 YR 5/3). Igual a lo que ocurre en la terraza D, el color es ligeramente más claro. De acuerdo al comportamiento observado en este parámetro, se puede decir que el color del suelo adyacente a la costra está determinado básicamente por el suelo más profundo y no por la costra a pesar de los organismos que ésta presenta. Los factores que determinan esta coloración son la composición mineralógica, el contenido de materia orgánica y las reacciones de transformación que se dan de manera natural. A pesar de que en cada sitio existen condiciones con suelo desprovisto de vegetación la coloración es similar a los que sí la tienen. La coloración del suelo en todos los sitios dentro de las dos zonas bajo las condiciones de costra y suelo adyacente a la costra y suelo profundo fue la misma, lo cual indica que la presencia de los organismos no influye mucho en procesos pedogenéticos, particularmente en los relacionados con la coloración del suelo.

Textura

La textura del suelo es la proporción relativa de los distintos tipos de tamaños de partículas minerales del suelo. Como se puede apreciar en la figura 3, no se presentan diferencias entre el suelo adyacente a la costra y el suelo a 20 cm; los porcentajes de las partículas no varían con la profundidad. Se esperaba, que la costra microbiótica no interviniera en la textura del suelo. Se aprecian variaciones en la textura entre las terrazas y entre los distintos sitios. La terraza A (M-2), resultó ser más arenosa que la D; en donde dominan los limos y las arcillas. La textura del suelo es una propiedad determinada en gran medida por el origen del suelo y por la naturaleza de la fracción mineral. La costra microbiótica, no determina la clase textural de los suelos ya que en este caso particular, donde se trabajo con suelos de origen fluvial, la variación textural es consecuencia de la variación del régimen fluvial, de las formas de depósito de las cargas sedimentarias y de la naturaleza de los sedimentos que llega a la terraza. La distribución horizontal de las partículas esta en función de su tamaño, entre más pequeña sea la partícula esta puede viajar mayores distancias (Derrau, 1981).

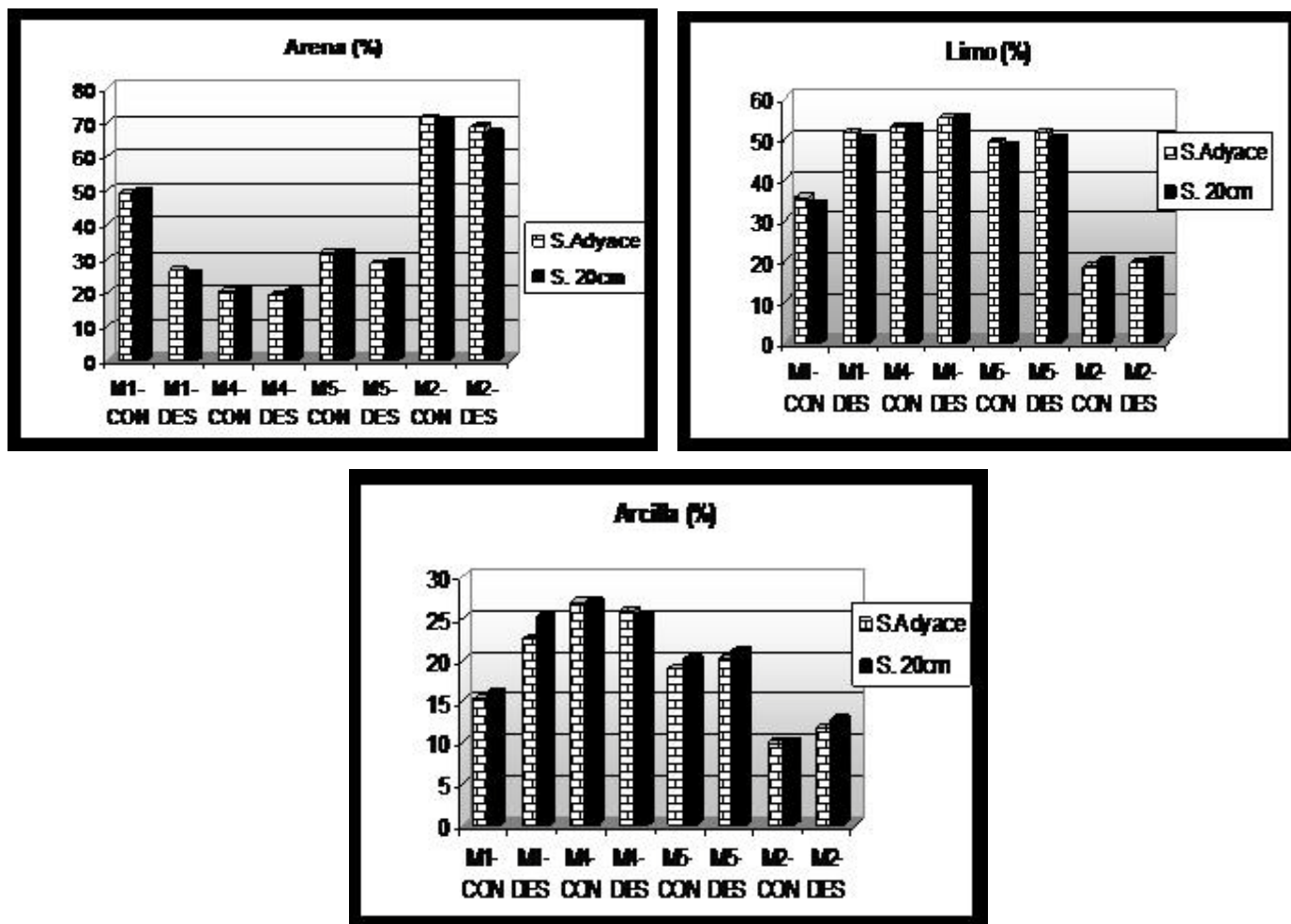


Fig. 3. Variación de la arena, limo y arcilla del suelo adyacente y el suelo a 20cm en los diferentes sitios.

Densidad real, densidad aparente y porosidad

La figura 4, muestra los resultados del comportamiento de la densidad real en las dos fechas de muestreo de los tres elementos estudiados (costra, suelo adyacente y suelo a hasta una profundidad de 20cm); en las dos terrazas y bajo las distintas condiciones (conservado-degradado). La densidad real de la costra para el muestreo de julio y siempre en la condición de suelo desnudo independientemente de la ubicación del sitio, presentó los valores más altos en comparación con los suelos conservados. Posiblemente en la mayoría de los sitios los suelos que se encuentran desnudos se caracterizan por presentar casi en la totalidad, una gran presencia de costras biológicas. En general la terraza A (M-2), tiene valores de densidad real más elevados que la terraza D.

El valor máximo fue de 2.82 y se dio en el mes de julio en el sitio M-2 bajo la condición de suelo desnudo y los más bajos en el M-5 en las dos condiciones.

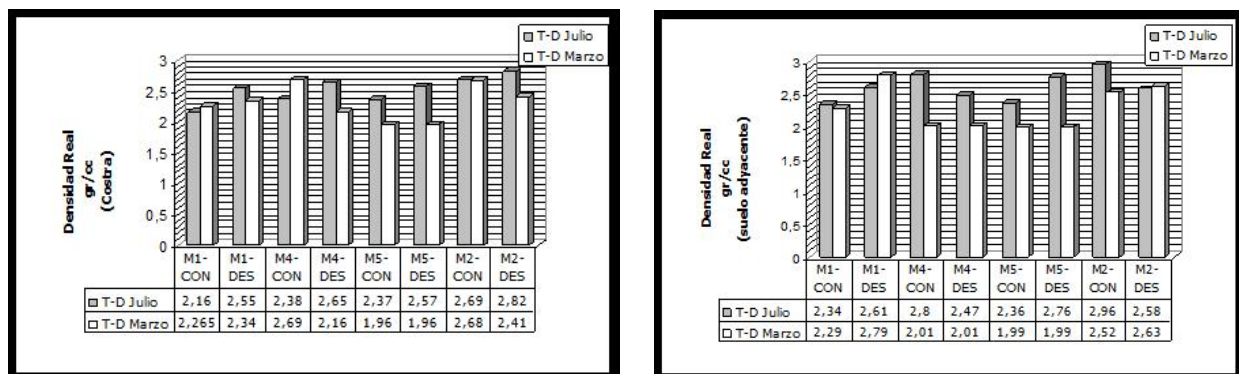


Figura 4. Variación de la densidad real en la condición de costra y en la condición de suelo adyacente a la costra.

En el caso del suelo adyacente (figura 4), las densidades reales del mes de marzo fueron en general menores que las de julio; probablemente el hecho de que no lloviera durante este mes, repercute en la densidad del suelo que está en contacto directamente con la costra. Los valores máximos se presentaron en M1-Desnudo (marzo) y en julio en los sitios M-4 y M-2 conservado y el M5 desnudo.

Para el suelo a 20cm (figura 5), los valores presentan poca variación. En general los sitios con suelo desnudo presentaron densidades mayores que los conservados y el valor máximo extremo fue de 3.0 gr/cc se presentó en la condición de suelo adyacente en el sitio M2 conservado de la terraza A.

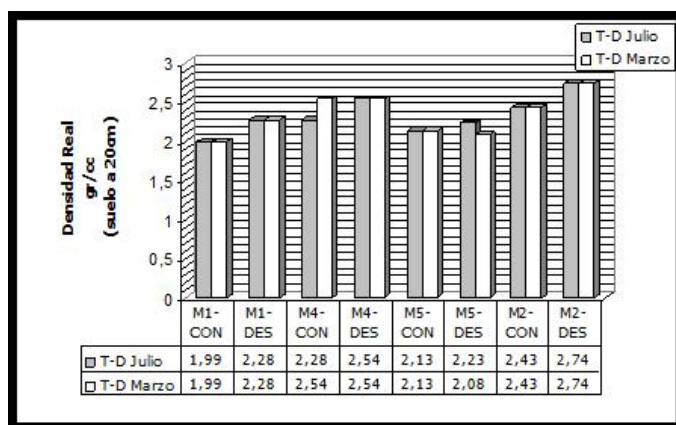


Figura 5. Variación de la densidad real en la condición de suelo a 20 cm.

Densidad aparente

En el caso de la costra (figura 6) para la mayoría de los sitios en la terraza D excepto el M4 los valores de densidad aparente durante el mes de julio fueron mayores que los de marzo. Durante marzo, los valores no presentaron una variación muy notoria. En la terraza A en el sitio M2 en suelo desnudo fue el valor más alto (1.95). Ante la presencia

de la costra biológica el suelo suele tener un contenido más alto de materia orgánica por lo que la densidad tiende a disminuir.

Respecto a la porosidad durante el mes de julio en la terraza D hay una variación en los valores lo cual se debe al agua que penetra en la costra. Los sitios conservados presentan los valores más elevados de porosidad tanto para julio como marzo, recordando que en ellos la presencia de vegetación y residuos es escasa y que en la mayoría de ellos son las costras biológicas los que cubren su superficie.

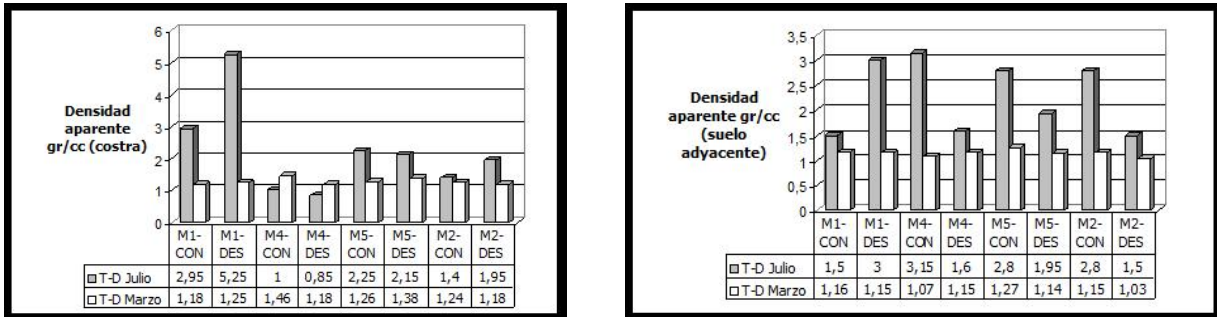


Figura 6. Variación de la densidad aparente en la condición de costra y en suelo adyacente.

Cuadro 8. Variación de la porosidad en la condición de costra.

	M1-CON	M1-DES	M4-CON	M4-DES	M5-CON	M5-DES	M2-CON	M2-DES
T-D								
julio	90.17	48.94	41.93	32.06	94.69	83.69	51.90	69.05
T-D								
mzo.	51.87	53.17	64.58	54.16	63.91	70.17	46.33	48.65
							T-A	T-A

Cuadro 9. Variación de la porosidad en la condición de suelo adyacente.

	M1-CON	M1-DES	M4-CON	M4-DES	M5-CON	M5-DES	M2-CON	M2-DES
T-D								
julio	63.97	76.39	76.78	64.77	84.45	70.58	67.55	58.07
T-D								
mzo.	50.65	41.64	49.92	57.03	63.81	57.07	45.73	39.05
							T-A	T-A

En el caso del suelo adyacente los valores más altos se presentaron durante el mes de julio (figura 6). En la terraza D el sitio con el valor más alto (3.15 gr/cc) fue el M4 conservado y el de menor (1.5gr/cc) el M1 conservado. La presencia de la costra influye en la porosidad. Durante la temporada en la que hay más agua es notoria la diferencia de los valores. En la terraza A durante el mes de julio el valor más alto fue de 2.8 en el sitio M-2 conservado, mientras que en marzo ambos valores son semejantes.

Para el suelo a 20 cm (figura 7), se encontró que la terraza D tres de sus sitios presentaron altos valores de densidad aparente siendo el M5 desnudo el más alto (1.63

gr/cc), en el resto de los sitios existe una similitud de resultados en ambas fechas y bajo las dos condiciones. En la terraza A el sitio conservado en marzo presentó el valor más alto y durante julio el desnudo.

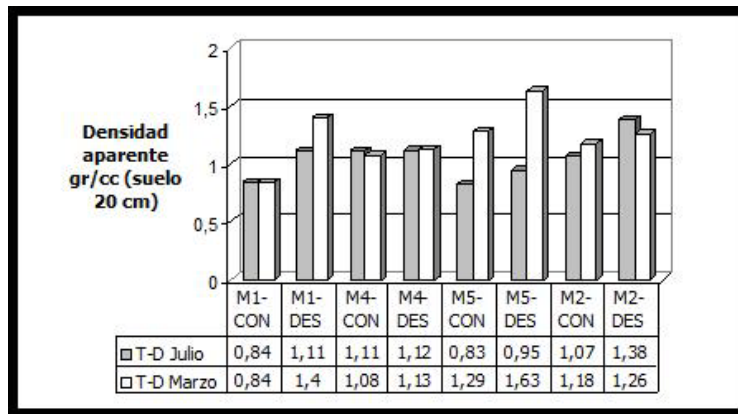


Figura 7. Variación de la densidad aparente en la condición de suelo 20 cm.

Cuadro 10. Variación de la porosidad en la condición de suelo 20 cm.

	M1-CON	M1-DES	M4-CON	M4-DES	M5-CON	M5-DES	M2-CON	M2-DES
T-D								
julio	42.21	48.68	48.68	43.95	38.8	42.5	44.03	50.25
T-D								
mzo.	42.41	62.09	42.30	44.15	60.16	78.47	48.29	45.99
							T-A	T-A

Es evidente que durante el mes de julio y en los elementos costra y suelo adyacente, en ambas terrazas y bajo las dos condiciones del suelo (desnudo y conservado) la densidad aparente es mayor por lo que se piensa que es probable que la presencia de la costra biológica incida en estos resultados, sin embargo es necesario llevar a cabo estudios que apoyen esta suposición. Se dice que las costras biológicas influyen en la porosidad y densidad del suelo ya que al presentarse una gran cantidad de organismos existe una acumulación por parte de la costra de partículas finas del suelo, secreciones de polisacáridos, estructuras de raíces, filamentos de cianobacteria y algas atascadas en el suelo, y líquenes que pueden bloquear la porosidad de los suelos (Belnap y Lange, 2001).

Infiltración

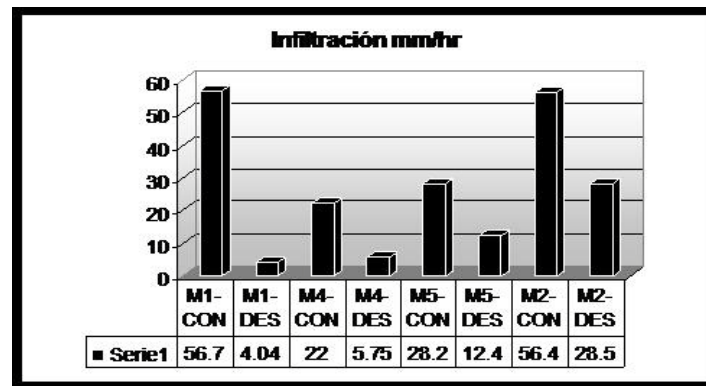


Figura 8. Valores de infiltración en los distintos sitios y las condiciones que se están comparando.

En la figura 8 se observa que en los sitios sin vegetación y con costra biológica, la infiltración es mucho menor que en los sitios que presentan vegetación. En contraste con Belnap y Lange (2001), quienes encontraron una correlación positiva entre la costra y la infiltración, sugiriendo que la relación entre la costra y la infiltración depende de las condiciones particulares de cada sitio y que en sitios con buenas condiciones, la infiltración ocurre principalmente a través de macroporos y a través microporos en sitios degradados; los resultados indican que la presencia de la costra biológica impide o disminuye la entrada de agua al suelo lo cual contrapone a lo sugerido por los autores antes mencionados.

Comportamiento de los parámetros químicos

pH

Los valores de pH fluctúan entre 7.2 y 8.2 (fig. 9), van de ligeramente alcalinos a alcalinos. Como se sabe, las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por presentar suelos de pH con tendencia alcalina, no obstante hipotéticamente se esperaba que cuando menos el suelo adyacente a la costra tendría un pH ligeramente menos alcalino por el efecto residual ácido que tiene la materia orgánica (Douchafour 1984; Tamhane *et. al.* 1978). En la mayoría de los sitios el pH del suelo adyacente a la costra fue más alcalino que el suelo más profundo, lo que indica que el pH es un parámetro que no está determinado por la costra microbiótica, ya que otros factores como la composición geoquímica del suelo y la condiciones climáticas sobre todo en lo que se refiere a la relación precipitación/evapotranspiración determinan el comportamiento de éste parámetro.

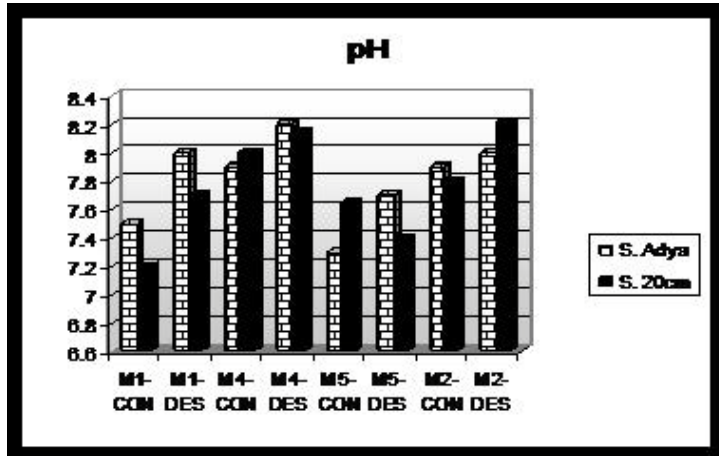


Figura 9. Comportamiento del pH en el suelo adyacente a la costra y el suelo a 20 cm de profundidad en los diferentes sitios.

Materia orgánica

El intervalo de variación va de a 1.17 a 6.58 %. Los resultados de este parámetro se observan en la figura 10. Como se esperaba los sitios protegidos por una cobertura vegetal presentan un contenido mayor de materia orgánica independientemente de la presencia de la costra microbiótica. Las diferencias entre el suelo adyacente y el suelo a 20 cm, son mínimas en todos los sitios de ambas terrazas. La materia orgánica de los sitios con suelo desnudo fluctúa entre 1.17 y 2.91 %, en realidad se esperaban valores mucho menores (>1%) ya que prácticamente no tiene vegetación; la única fuente de materia orgánica proviene de las costras macrobióticas, en este caso las costras representa un aporte adicional de materia orgánica al suelo. Las costras biológicas contribuyen significativamente en la cantidad de carbón orgánico de los suelos áridos (Beymer y Klopatek, 1991). La contribución puede relacionarse con el decremento de materia orgánica o la secreción de polisacáridos por parte de las cianobacterias (Burns y Davies, 1986 tomado de Belnap y Lange, 2001).

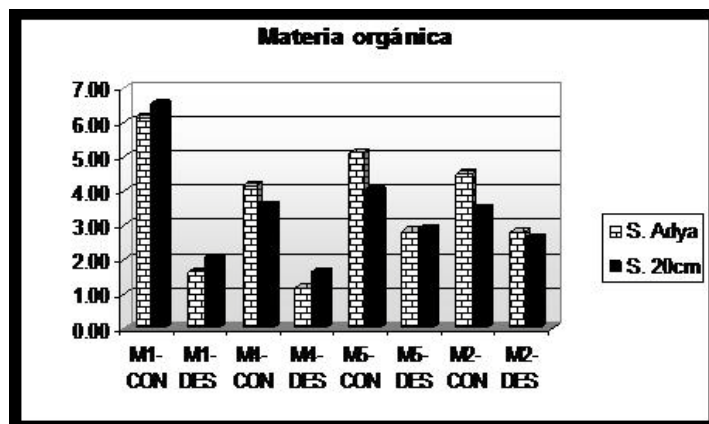


Figura 10. Fluctuación de la materia orgánica en el suelo adyacente y suelo a 20cm de profundidad.

No se afirma que la costra está incrementando el contenido de materia orgánica en el suelo (adyacente); si observamos existe una similitud en los resultados generados en el suelo adyacente y en el suelo a 20 cm de profundidad. Posiblemente al incorporarse restos de organismos en el suelo e incluso al considerar la descomposición por parte de los microorganismos, el contenido de materia orgánica dentro de la costra es alto debido a la presencia mayoritariamente de cianobacterias y líquenes.

Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT)

La capacidad de intercambio catiónico total, representa el total de sitios con carga eléctrica negativa disponibles en los coloides del suelo, en donde pueden retenerse cationes y moléculas de agua, esta capacidad depende de la cantidad y tipo de arcillas y del contenido de humus del suelo. Los valores del intercambio catiónico encontrados en los distintos sitios presentan poca fluctuación ya que varían entre 16.18 y 22.82 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (figura 11) en general son considerados como medios bajos. Estos resultados van muy acorde con el contenido de arcillas y de materia orgánica de los sitios estudiados. Por lo que refiere a las diferencias entre el suelo adyacente a la costra y el suelo a 20 cm, en todos los casos con excepción del M1-C, el suelo a 20cm tiene valores más altos de intercambio que el suelo adyacente a la costra; esto demuestra que para los suelos estudiados, la costra microbiótica no tiene influencia en la capacidad de intercambio catiónico.

Hipotéticamente se esperaba que la costra microbiótica incrementara el intercambio catiónico al aportar materia orgánica adicional al suelo, sin embargo los resultados obtenidos no corroboran esta hipótesis. El subsuelo tiene mayor intercambio catiónico porque ahí se concentran más los coloides del suelo. Por otro lado, llama la atención el sitio M1-C porque es el único donde el C.I.C.T. del suelo adyacente es más elevado que el del suelo a 20 cm, este comportamiento esta muy relacionado con el de la materia orgánica, donde el suelo adyacente tiene un poco más de M.O. que el suelo a 20 cm, lo que repercute en el incremento del intercambio catiónico.

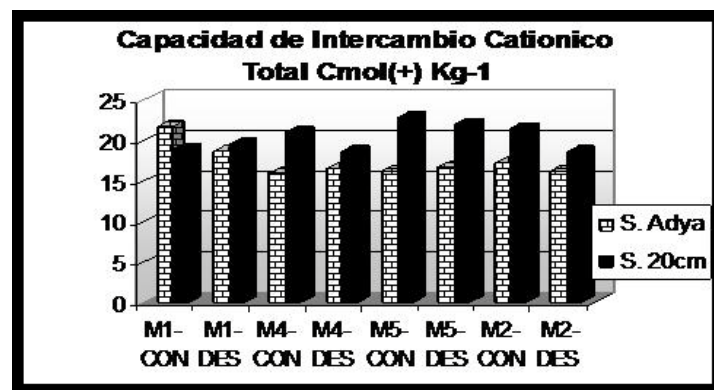


Figura 11. Gráfico que muestra el comportamiento de C.I.C.T del suelo adyacente y suelo a 20 cm.

Como se sabe el intercambio de cationes en el suelo está afectado por una serie de factores, tales como la naturaleza misma de cada catión, la concentración de cada uno de ellos en relación con otros cationes existentes y el pH de la solución del suelo entre otros. (Muñoz, *et al* 2000).

Calcio y Magnesio Intercambiables

Los valores del calcio oscilan entre 10.30 a 18.89 Cmol(+) Kg⁻¹. Son considerados como medios bajos (fig. 12). Para el magnesio están entre 0.63 y 3.66 Cmol(+) Kg⁻¹, considerados como bajos; no obstante ambos intervalos van acorde con los valores del intercambio catiónico (figura 13). De acuerdo a estos resultados se puede observar que los cationes calcio y magnesio ocupan > del 80% de los sitios del intercambio, el resto de los sitios (20%) están siendo ocupados por el K, Na y el hidrogenión. Esto indica de acuerdo Tamhane y col (1978) y Ortiz (1980), que hay un balance normal de bases y una correspondencia total con los suelos de zonas semiáridas. Con respecto a las diferencias del calcio entre el suelo adyacente y el suelo a 20cm (figura 12), se puede observar que en todos los sitios con excepción del M5-CON, los valores de calcio intercambiable del suelo a 20 cm, son mayores que los del suelo adyacente, por lo cual la costra microbiótica no está aportando mucho calcio al suelo. Es posible que el poco calcio que libera la costra se deposite en el suelo a 20cm, por el proceso de lixiviación.

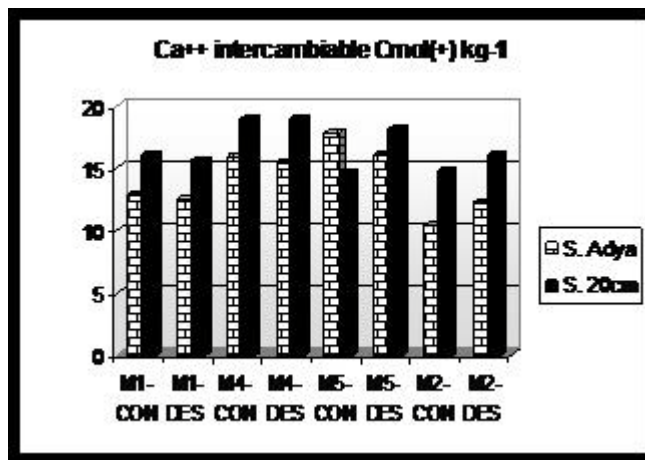


Figura 12. Variación del Ca intercambiable

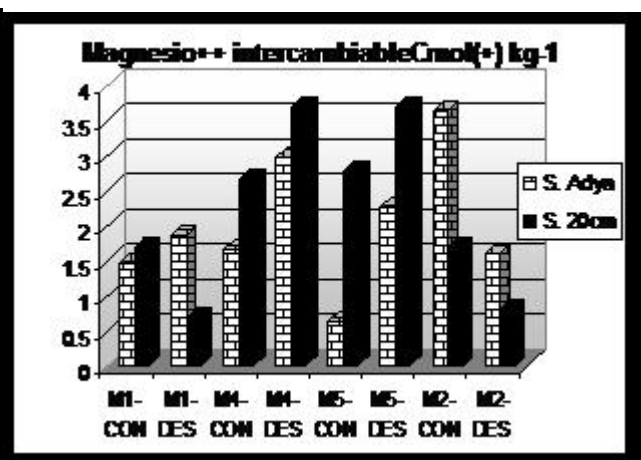


Figura 13. Comportamiento del Mg de intercambio

Con relación al magnesio (fig. 3) los valores son bajos pero con muchas fluctuaciones entre un sitio y otro. El magnesio de intercambio presenta un comportamiento muy irregular sin que se pueda observar tendencia alguna, los sitios con más contenido de magnesio son el M4 y el M5 de la terraza D, lo cual está relacionado con el origen y la composición geoquímica de los sedimentos de la terraza.

De acuerdo a Belnap y Harper, 1995 en Evans y Johansen, 1999 la costra biológica tiende a concentrar elementos esenciales en la superficie del suelo y a su vez las cianobacterias contienen altas concentraciones de elementos esenciales; sin embargo los resultados no muestran esta tendencia.

Potasio

El potasio es un nutriente esencial e imprescindible para las plantas. Los valores de potasio encontrados en los distintos sitios tanto en el suelo adyacente como en el suelo a 20 cm son considerados como bajos ya que fluctúan entre 0.14 y $1.13 \text{ Cmol}(+)\text{Kg}^{-1}$. El comportamiento del potasio intercambiable entre el suelo adyacente y el suelo a 20cm es muy claro y contundente ya que en todos los sitios, el potasio del suelo más profundo es notoriamente mayor que el del suelo adyacente a la costra. Por otra parte sólo en los sitios M1 (terrazza D) y M2 (terrazza A) se observan diferencias del potasio entre la condición de suelo desnudo y suelo protegido. Según Belnap y Harper, 1995 en Evans y Johansen, 1999 las concentraciones de N, P y K en el suelo aumentan cuando hay costras biológicas sin embargo, los resultados muestran totalmente lo contrario. Por ello se puede afirmar que cuando menos para los sitios estudiados, la presencia de la costra biológica y la vegetación no intervienen en la concentración de potasio en el suelo.

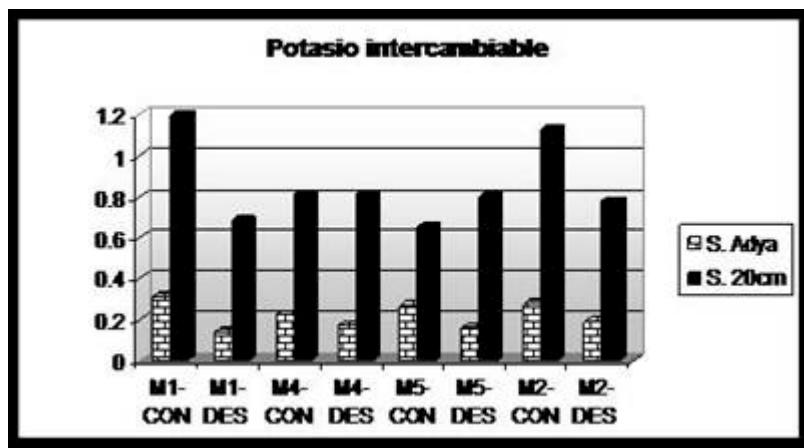


Figura 14. Comportamiento del potasio entre el suelo adyacente y suelo a 20cm, en los diferentes sitios y distintas condiciones.

Nitrógeno

El nitrógeno es otro de los macronutrientes primordiales, las concentraciones del nitrógeno total tanto en el suelo adyacente como el suelo a 20 cm en los diferentes sitios y condiciones varía ampliamente ya que van desde 0.055% (pobre) hasta 0.452% (muy rico). El nitrógeno presenta un comportamiento totalmente opuesto al potasio, ya que en todos los casos la concentración en el suelo adyacente a la costra es significativamente mayor que la del suelo a 20cm (figura 15). Aun en los suelos

desnudos que no tienen plantas ni hojarasca, hay cantidades importantes de N, lo cual solo puede atribuirse a la presencia de la costra microbiótica, estos resultados concuerdan con lo encontrado por Calison y Brotherson, 1985; Cameroin y Fuller, 1960; Fletcher y Martin, 1948; Shilda *et al.*, 1957 en Evans y Johansen, 1999, que señalan que existe alto contenido de nitrógeno en suelos que presentan costras macrobióticas.

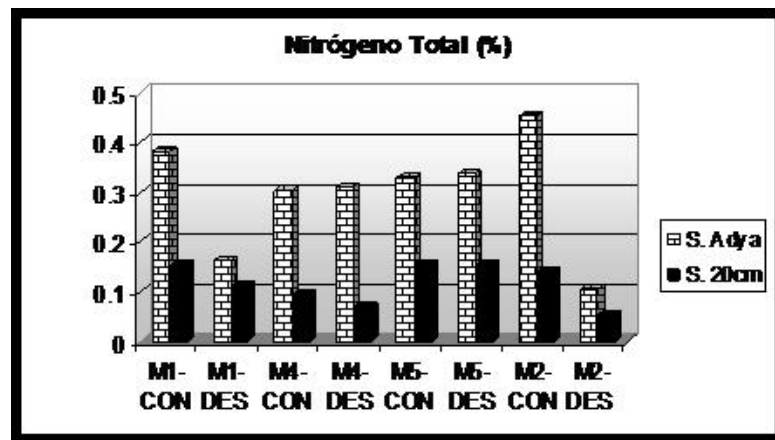


Figura 15. Variación del Nitrógeno entre el suelo adyacente y el suelo a 20cm de profundidad.

Por otra parte, aunque solamente en los sitios M1-CON y M2-CON, se aprecia claramente la influencia de la vegetación en el incremento de nitrógeno en el suelo, es claro que las plantas son muy importantes en el aporte de nitrógeno. Es evidente que la vegetación influye en el contenido de nitrógeno debido que la materia orgánica del suelo depende de la vegetación a través del ciclo de nitrógeno. En muchos ecosistemas las costras microbióticas son contribuyentes importantes en el ciclo del nitrógeno, debido a que las cianobacterias y bacterias fijadoras de nitrógeno que se encuentran viviendo libremente como simbiotes de líquenes y son responsables de la fijación de nitrógeno. Generalmente muchos de los sitios que presentan costras biológicas se encuentran perturbados. Belnap y Lange, 2001 indican que la relación carbón-nitrógeno disponible en los suelos protegidos por vegetación, es otro de los aspectos que puede estar regulado por la actividad metabólica de las costras microbióticas.

Fósforo

Como se sabe, el fósforo es otro de los macronutrientes indispensables para las plantas. Los valores del fósforo en suelo adyacente y suelo a 20 cm de todos los sitios fluctúan entre 5.3 a 7.8 ppm (figura 16). El fósforo presenta un comportamiento muy similar al potasio, ya que en todos los casos la concentración del subsuelo supera a la del suelo adyacente a la costra microbiótica; sin embargo, en este caso, las diferencias no son tan contundentes como en el potasio. Estos resultados indican que en los sitios estudiados, la costra microbiótica no tiene mucha participación en la concentración de fósforo, como lo señalan otros autores, las costras aportan nutrientes al suelo pero en cantidades muy limitadas (Cameroin y Fuller, 1960; Fletcher y Martin, 1948; Shilda *et al.*, 1957 en Evans y Johansen, 1999).

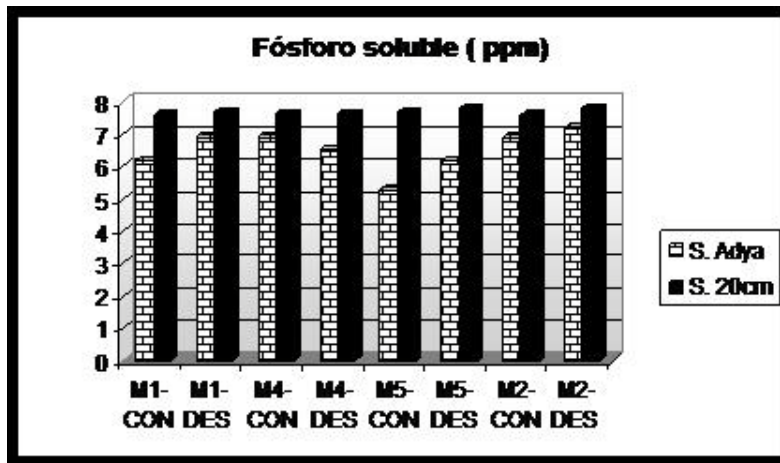


Figura. 16. Variación fósforo (P) ppm entre el suelo adyacente y el suelo a 20 cm en los diferentes sitios.

El fósforo no es un elemento muy abundante, además es poco soluble. Sin embargo se presenta en algunos minerales. Por otra parte el suelo está en constante acumulación de minerales y otras partículas, además algunos óxidos y carbonatos compuestos que constituyen la fracción inorgánica funcionan como moléculas secuestradoras del P.

V. Conclusiones

El análisis micromorfológico determinó que las costras microbióticas son hipermórficas y rugosas. Por debajo de todas las costras indistintamente del lugar y condición, se presenta un ensamble del suelo tipo laminar que puede originar la formación de una costra física. Aun no se sabe si la presencia de esta costra física, es un precursor indispensable para la formación de la costra biológica.

La coloración del suelo como la textura en ambas zonas fue semejante, lo cual indica que la presencia de la costra no influye en los procesos pedogenéticos, particularmente en los relacionados con estos parámetros. La textura básicamente está determinada por el origen fluvial de los suelos.

La infiltración de los suelos ante la presencia de la costra microbiótica se impide o disminuye. Esto se atribuye a que los organismos presentes en la costra microbiótica bloquean la entrada de agua por la acumulación de partículas finas en su superficie.

De los parámetros evaluados, la materia orgánica y el nitrógeno mostraron mayor relación con la presencia de las costras microbióticas debido a su composición biológica. Con el resto de los parámetros no se observa mayor relación.

Como una conclusión general del estudio, se considera que la presencia de la costra biológica no determina directamente las propiedades del suelo, puede intervenir en

ellas; sin embargo, deben considerarse otros de los muchos factores que se encuentran relacionados a éste. Si bien es cierto que existen parámetros en los que la costra biológica modifica los valores de los mismos como son la materia orgánica, el nitrógeno, y la infiltración; es necesario elaborar estudios mucho más detallados que puedan hacer aún más evidente la influencia de las costras biológicas en las propiedades del suelo y por consiguiente en lo que a él se relaciona. En este trabajo se abordó de manera general el análisis de algunos parámetros que se suponía podían modificarse ante la presencia de la costra microbiótica.

VI. Literatura citada

Aguilera, H. N y Domínguez, V. I. 1980. Metodología de análisis fisicoquímicos de los suelos. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Barceló-Duarte, J., 1978, Estratigrafía y Petrografía Detallada del Área de Tehuacán-San Juan Raya, Edo. de Puebla: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis profesional, 143 p.

Belnap, J y Gillette, D. A. 1998. Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: the influences of crust development, soil texture, and disturbance. *Journal of Arid Environments* 39: 133–142

Belnap, J y Lange, O. L. 2001. Biological soil crust: structure, function and management. Springer. Alemania. 503 p.

Beymer, R. J., and J.M. Klopatek, 1991, Potential contribution of carbon by microphytic crusts in pinyon-juniper woodlands: *Arid Soil Research and Rehabilitation* v. 5, p. 187-198.

Buitrón, B.E., 1970, Equinoides del Cretácico inferior de la región de San Juan Raya-Zapotitlán, Estado de Puebla: *Paleontología Mexicana*, 30, 46 p.

Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Turisina, T. 1985. Handbook for soil thin section description. Waine research. Mount pleasant, Beamish lane, Albrighton, Wolverhampton. Inglaterra.

Derrau, M., 1981. Geomorfología. *Edit. Ariel, Barcelona, España*. 294-329

Douchafour, 1984. Edafogénesis y clasificación. Ed. Masson, Barcelona, España

Eldridge, D. J. Cryptogams vascular plants, and soil hydrologicals relation: Some preliminary results from the semiarid woodlands lands of eastern Australia. *Great Basin Naturalist*. 53: 48-58.

Eldridge, D. J. 1998. Trampling of microphytic crusts on calcareous soils, and its impact on erosion under rain-impacted flow. *Catena* 33: 221-239.

Eldridge, D. J; Zaady, E. y Shachak, M. 2000. Infiltration through three contrasting biological soil crust in patterned landscapes in the Negev, Israel. *Catena* 40. 323-336.

Eldridge D. J. y Leysw J. F. 2003. Exploring some relationships between biological soilcrusts, soil aggregation and wind erosion. *Journal of Arid Environments* 53: 457–466.

Eldridge, D. y Greene, R. 1994. Microbiotic soil crust: A review of their roles in soil and ecological processes in the Rangelands of Australia. *Australian Journal Soil Research*, 32, 389-415.

Evans, R. D. y Johansen, J. R. 1999. Microbiotic Crusts an Ecosystem Processes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 18(2):183-225.

Food and Agricultural Organizations of the United Nations, Educational, Scientific and Cultural Organizations (FAO-UNESCO), 1998, *The World Reference Base for Soil Resources*: Roma, International Society of Soil Science, International Soil Reference and Information Centre, World Soil Resources Report 84, 163 p.

García, M. M. G. 2001. Mapeo y caracterización de las terrazas Aluviales del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Lic. Biología. UNAM Fes Iztacala. Los reyes Iztacala, Tlalnepantla, Edo. de México.

Harper K. T. y Belnap, J. 2001. The influence of biological soil crusts on mineral uptake by associated vascular plants. *Journal of Arid Environments* 47: 347–357

Karnieli, A; Kidron, G. J; Glaesse, c y Ben-Dor, E. 1999. Spectral characteristics of Cyanobacteria Soil Crust in Semiarid Environments. *Remote Sens. Environ.* 69:67-75.

López, G. F; Muñoz, I. D; Hernández, M, M; Soler, A. A; Castillo, L, M; Hernández, A. I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo LVI. No. 1. México.

Maestrete, T. F; Huesca, M; Zaady, E; Bautista, S. y Cortina, J. 2002. Infiltration, penetration and resistance an microphytic crust composition in contrastesd microsites within a Mediterranean semi-arid steppe. *Soil. Biology & Biochem.* 34: 895-898.

Malam Issa, O; Trichet, J; Défarge, C; Couté, A; Velentin, C. 1999. Morphology and microstructure of microbiotic soil crusts on a tiger bush sequence (Niger, Sahel). *Catena* 37: 175-196.

Montoya, A. R; García, P. J. C y Padilla, R. J. 2004. Utilización de un SIG para la determinación del impacto ambiental generado por actividades agrícolas, ganaderas e industriales: El caso del Valle de Zapotitlán en la Reserva de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la A.G.E.* N.º 38 - 2004, págs. 115-129.

Munsell (1975): *Soil Color Charts*. Munsell Colour Co. USA.

Muñoz, I. D; Mendoza, C. A; López, G, F; Soler, A, A; Hernández, M. M. 2000. Edafología. *Manual de Métodos de Análisis de Suelo*. UNAM-Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Tlalneptla, Edo. de México.

Muñoz, I. D; López, G, F; Hernández, M. M; Soler, A. A. 2009. Impacto de la pérdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. *Tierra Latinoamericana*. Vol. 27, No. 3 237-246.

Ortiz S. y Cuanalo, H. E. 1980. Introducción al levantamiento de los suelos. Colegio de Posgraduados de Chapingo. México.

Rivera, A. V; Manuell, C. I y Godínez, A. H. 2004. Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias*. Julio-septiembre. No. 075. UNAM. México, D. F.

Tamahane, R. V. 1978. Suelos, su química y fertilidad en zonas tropicales. Ed. Diana. México.

Zaady, E; Kuhn, U; Wilske, B; Sandoval-Soto, L y Kesselmeier, J. 2000. Patterns of CO₂ exchange in biological soil crusts of successional age. *Soil Biol. & Biochem.* 32: 959-966.