

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

IZTACALA

COLEGIO DE POSTGRADUADOS EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



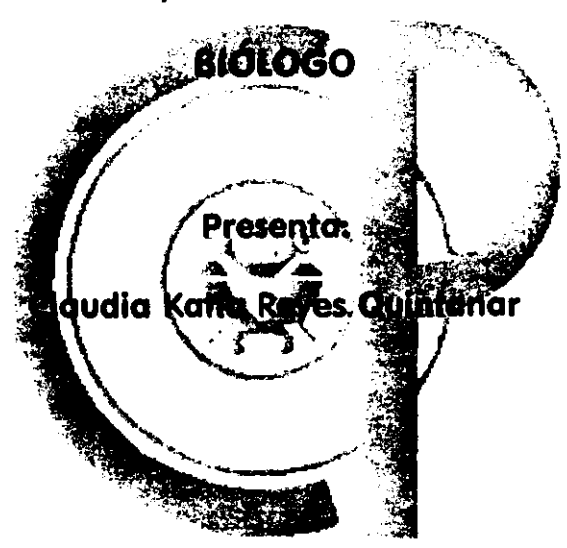
“Estudio microbiológico de la rizosfera e interrizosfera de la relación entre *Neobuxbaumia tetetzo* y dos leguminosas de la familia *Mimosaceae*.”

Que para obtener el título de:

BIÓLOGO

Presenta:

Guadalupe Karla Reyes Guzmán



México, D.F.2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

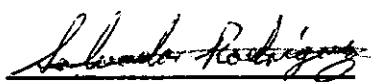
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AGRICULTURA Y PESQUERA
CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRICULTURA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PESQUERA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ZOOTECNIA
CARRERA DE INGENIERÍA EN GANADERÍA

La presente tesis fue realizada en el Área de Microbiología, Especialidad de Edafología, del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, IRENAT., Montecillo, Méx. Bajo la dirección, co-dirección y asesoría de:



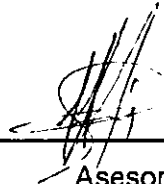
Director:

Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza



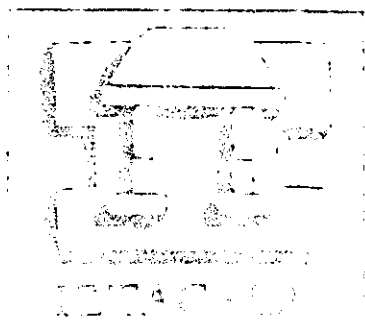
Co-Director:

Dr. Ronald Ferrera-Cerrato



Asesor:

M en C. Alejandro Alarcón



Agradecimientos

Al Dr. Ronald Ferrera Cerrato, por su incondicional apoyo, paciencia y los conocimientos que me brindó para la realización de éste trabajo.

Al Dr. Salvador Rodríguez Zaragoza, porque confió en mí y por todo el apoyo que me brindó para la realización del presente trabajo.

Al M en C. Alejandro Alarcón, por su invaluable amistad y cariño; así como por todo el apoyo y conocimientos brindados a lo largo de ésta investigación.

A la Dra. Lucía Varela Fregoso, por el apoyo para la continuación del presente trabajo.

A la Ing. Ma. de Jesús Manjarres Martínez, por el apoyo que me brindó en los momentos que la necesité.

A **Dios**, por haberme permitido conocer y apreciar a las personas antes mencionadas; de las cuales espero conservar su amistad y aprecio para toda la vida.

También deseo agradecer y al personal técnico del laboratorio de la Sección de Microbiología, los Sres. Lorenzo Viana Monsalvo, Edmundo Martínez Galán, Martín Godínez Herrera y Manuel Solano Díaz; y a las secretarías Ma. del Rosario Galicia López y Rosalva García Reyes.

D e d i c a t o r i a

A la mujer que más admiraré toda mi vida, mi madre. Porque con su apoyo, fuerza y valor me ha enseñado como seguir adelante y de su cariño he aprendido a querer a los demás.

A la memoria de mi padre. Porque su recuerdo me da la fuerza para superarme.

A mi hermana, la D.G. Mónica Reyes Quintanar. Por ser mi amiga, apoyarme y ayudarme siempre que la necesito. Te quiero mucho.

A mi tía, la Sra. Agustina Quintanar Hernández. Por ser como mi segunda madre y quererme como si lo fuera.

A mi primo, José Anibal Torres Quintanar. Por ser como mi hermano menor y porque en su vida profesional hay un futuro brillante, y en su vida personal el futuro de un gran hombre. Te quiero mucho.

A mi mejor amiga la Biol. Nelly Romero Moreno, por su amistad y cariño.

INDICE

Resumen	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1 Diversidad florística de las zonas áridas	4
2.2 Flora del Valle de Tehuacan, Puebla	5
2.3 Importancia de <i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	6
2.4 Importancia de las leguminosas arbóreas	7
2.5 Sistema nodriza	7
III. DEGRADACIÓN DEL SUELO	
3.1 Erosión pluvial	9
VI. ACTIVIDAD MICROBIANA EN LA RIZÓSFERA Y SU IMPORTANCIA	
4.1 Grupos microbianos importantes	12
4.1.1 Bacterias	12
4.1.2 Actinomicetos	13
4.1.3 Hongos del suelo	14
V. FACTORES QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD MICROBIANA	
5.1 Temperatura	15
5.2 Humedad	15
5.3 Acidez	16
5.4 Aireación	16
5.5 Luz	16
5.6 Materia Orgánica	16
5.7 Pesticidas	16

VI. HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

6.1	Importancia de la micorriza arbuscular	17
6.1.1	Proceso de colonización	18
6.2	La micorriza en Ambientes Perturbados	20
6.2.1	Sequía	21
6.2.2	Erosión	21
6.3	Micorrizas en zonas áridas.	21
6.4	Micorriza arbuscular en cactáceas	22

VII. JUSTIFICACIÓN

VIII. HIPÓTESIS

IX. OBJETIVOS

X. MATERIALES Y MÉTODOS

10.1	Descripción del área de estudio	25
10.1.1	Descripción de las zonas muestreadas	26
10.2	Época y zonas de muestreo	27
10.2.1	Metodología de Campo	27
10.3	Análisis físico y químico del suelo	27
10.4	Estudio microbiológico	27
10.4.1	Metodología para los grupos microbianos	27
10.4.1.1	Método de dilución y rastrilleo en placa	28
10.4.2	Evaluación de la colonización endomicorrízica	30
10.4.2.1	Clareo y tinción de raíces	30
10.4.2.2	Determinación del porcentaje de colonización endomicorrízica	31
10.4.2.3	Conteo de esporas en suelo	32

XI. RESULTADOS

11.1 Frecuencia de especies vegetales	34
11.2 Características físicas y químicas de las zonas	35
11.3 Análisis microbiológico por zonas y por estaciones	36
11.4 Variación de las poblaciones de microorganismos en las dos épocas	38
11.5 Variación de las poblaciones en los diferentes microambientes de ambas zonas en las rizosferas de leguminosas arbóreas, <i>N. tetetzo</i> e interrizosfera	40
11.6 Colonización micorrízica	43
A) Por zonas no erosionada y erosionada	43
B) Por estaciones	44
C) Por microambiente	44
D) Por zonas en ambas épocas	45
E) Por cuadrante en cada zona	48

XII. DISCUSIÓN

12.1 Poblaciones de microorganismos	49
12.2 Colonización Micorrízica	56
12.3 Comparación entre Cuadrantes	61

XI. CONCLUSIONES 64

XII. BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

ANEXO

Anexo de fotografías

Anexo de Soluciones utilizadas

INDICE DE CUADROS Y GRÁFICAS

Cuadro 1. Frecuencia de leguminosas arbóreas, <i>N. tetetzo</i> y su interrizzosfera en los Cuadrantes de la zona no erosionada	34
Cuadro 2. Características físicas y químicas de las zonas no erosionada y erosionada	35
Cuadro 3. Cantidad de microorganismos UFC por g ¹ de suelo seco en la zona no erosionada y erosionada	36
Cuadro 4. Cantidad de microorganismos UFC por g ¹ de suelo seco en zona erosionada y no erosionada en época de Secano	37
Cuadro 5. Cantidad de microorganismos UFC por g ¹ de suelo seco en zona erosionada y no erosionada época de lluvias	37
Cuadro 6. Cantidad de microorganismos UFC por g ¹ de suelo seco en épocas de secano y lluvias	38
Cuadro 7. Cantidad de microorganismos UFC por g ¹ de suelo seco en la zona no erosionada en época de secano y lluvias	39
Cuadro 8. Cantidad de microorganismos UFC por g ¹ de suelo seco en la zona erosionada en época de secano y lluvias	39
Cuadro 9. Cantidad de microorganismos UFC por g ¹ de suelo seco en las rizosferas de leguminosas arbóreas, <i>N. tetetzo</i> e interrizzosfera	40
Cuadro 10. Cantidad de microorganismos por muestra en UFC por g ¹ de suelo seco en las zonas no erosionada y erosionada	41

Cuadro 11. Cantidad de microorganismos por muestra UFC por g ⁻¹ de suelo seco en época de secano y lluvias	43
Cuadro 12. Porcentajes de colonización micorrízica por efecto de las zonas no erosionada y erosionada	44
Cuadro 13. Porcentajes de colonización micorrízica por efecto de las épocas de secano y lluvias	44
Cuadro 14. Porcentajes de colonización micorrízica por efecto de microambiente	45
Cuadro 15. Porcentajes de colonización micorrízica de ambas zonas en épocas de secano y lluvias	47
Cuadro 16. Porcentajes de colonización micorrízica en la zona no erosionada y erosionada, por efecto de cuadrante muestreado	49
Gráfica 1. Porcentajes de colonización total en época de secano	46
Gráfica 2. Porcentajes de colonización total en época de lluvias	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agrupación de cactáceas ("tetechera") de <i>N. tetetzo</i> en la zona de estudio.	5
Figura 2. Relación de nodricismo entre <i>Mimosa luisana</i> y <i>N. tetetzo</i> en la zona de estudio	8
Figura 3. Zona con erosión pluvial, en Zapotitlán de las Salina, Puebla.	9
Figura 4. Diferentes regiones que forman la rizosfera	10
Figura 5. Fotografía de un arbúsculo	18
Figura 6. Proceso de colonización micorrízica	19
Figura 7. Fotografía del Valle de Tehuacan en época de lluvias	25
Figura 8. Método de dilución y rastrilleo en placa	29
Figura 9. Procedimiento para el clareo y tinción de raíces	30
Figura 10. Procedimiento del montaje de laminillas	31
Figura 11. Procedimiento de tamizado y decantación	33

RESUMEN :

El nodricismo que se presenta en las zonas áridas favorece el establecimiento exitoso y crecimiento de plántulas de cactáceas, de modo que se asegura la supervivencia de éstas. Tal es el caso de las leguminosas arbóreas, que protegen a plántulas de *Neobuxbaumia tetetzo* y forman "islas" de fertilidad debido a su relación con bacterias fijadoras de nitrógeno. Las zonas erosionadas se caracterizan por su bajo índice de fertilidad y aún se desconoce mucho de la respuesta de la micorriza arbuscular (MA) en este ambiente. Los estudios microbiológicos en estas asociaciones son escasos, por ello es importante conocer la diversidad y beneficios de los microorganismos en zonas áridas y la importancia de la MA en la asociación de *N. tetetzo*-leguminosas arbóreas en dos zonas contrastantes. Los objetivos de éste trabajo fueron comparar la cantidad de microorganismos y su variación estacional, en la asociación *N. tetetzo*-leguminosas arbóreas, así como la presencia de la MA en suelos erosionados y no erosionados en una cuenca del río Salado de Zapotitlán de las Salinas Puebla. Se realizaron dos muestreos en época de secano y dos en época de lluvias en ambas zonas. Se tomaron suelo rizosférico y raíces de la cactácea y dos leguminosas arbóreas muestreadas indistintamente (*Prosopis laevigata* y *Mimosa luisana*), aisladas y en asociación. Se determinaron poblaciones de bacterias totales (BT), bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), actinomicetos (Ac) y hongos filamentosos (HF), cultivados en placa de agar con medio específico para cada grupo microbiano. Además se evaluó la colonización micorrízica y sus estructuras (arbusculos, vesículas y esporas). En la zona no erosionada, la muestra de leguminosas arbóreas presentó las poblaciones mayores de BT ($448.1 \text{ UFC} \times 10^3$) y HF ($19.60 \text{ UFC} \times 10^3$). En cuanto a la interrizarosfera presentó mayor población de BFN ($318.73 \text{ UFC} \times 10^4$) y Ac ($188.62 \text{ UFC} \times 10^4$). En contraste en la zona erosionada la muestra de leguminosas arbóreas presentó mayor población de BFN ($64.55 \text{ UFC} \times 10^4$), Ac ($55.0 \text{ UFC} \times 10^3$) y HF ($35.7 \text{ UFC} \times 10^2$); mientras que la interrizarosfera obtuvo los valores menores. Con respecto a la estacionalidad, las poblaciones de microorganismos disminuyeron en la época de lluvias. Por ejemplo, la población de BT fue de $436.8 \text{ UFC} \times 10^5$ en las leguminosas arbóreas en época de secano, mientras que en época de lluvias fue de $159.3 \text{ UFC} \times 10^4$. Las BFN presentaron mayor población en la interrizarosfera en época de secano ($319.7 \text{ UFC} \times 10^4$) en comparación con la cuantificada para *N. tetetzo* ($28.26 \text{ UFC} \times 10^4$) en época de lluvias. En cuanto a la época seca en la zona no erosionada, la interrizarosfera presentó el mayor porcentaje de colonización (55.50%), vesículas (4.55%) y número de esporas ($15.895/100\text{g}^{-1}$). En tanto que en la zona erosionada, la mayor colonización se presentó en *N. tetetzo* (65.00%), así como en número de esporas ($6.424/100\text{g}^{-1}$) y las leguminosas arbóreas el mayor porcentaje de vesículas (33.25%); y la interrizarosfera presentó los valores menores. En época de lluvias, la zona no erosionada presentó los mayores porcentajes de colonización (66.50%), vesículas (4.79%) y arbusculos (5.98%); sin embargo, la interrizarosfera presentó mayor número de esporas ($18.965/100\text{g}^{-1}$) así como en la zona erosionada ($2.509/100\text{g}^{-1}$). En esta zona *N. tetetzo* presentó los mayores porcentajes de colonización (67%), vesículas (8.43%) y arbusculos (0.55%). La zona no erosionada presentó mayor cantidad de nutrimentos que la erosionada, por lo que en ésta hubo marcada disminución de las poblaciones microbianas. La colonización micorrízica, fue mayor en la zona no erosionada que en la erosionada ($P < 0.05$), aunque en ésta zona no fue significativamente diferente a la no erosionada, este efecto se puede atribuir a la disminución de exudados radicales (tanto en cantidad como calidad) por modificación y diferencias de las características físicas y químicas del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

La flora de México se considera una de las más ricas y variadas del mundo. Esta diversidad de especies es consecuencia de la situación geográfica, lo accidentado de la fisiografía y la presencia de climas variados en el país; además de su notable grado de endemismo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

El Valle de Tehuacan, localizado en la parte centro-sur de México, es una región con una alta heterogeneidad fisiográfica. En ésta región se encuentran los bosques de cactáceas columnares más densos de Norteamérica, en los cuales, *Neobuxbaumia tetetzo* constituye un elemento dominante de un tipo de vegetación conocido como tetechera que ocupa cerca de 400 km². Este tipo de vegetación está restringido a laderas con suelos derivados de calizas y lutitas; rodeado por otros tipos de comunidades de plantas con las que conforman un complejo mosaico de vegetación (Godínez-Alvarez y Valiente, 1997). Los patrones de análisis de la comunidad indican que el establecimiento de diversas cactáceas columnares y pequeñas cactáceas globosas están asociadas con arbustos perennes que actúan como nodrizas de las plántulas de cactáceas. Se nota, en el caso de las cactáceas columnares, un patrón de reemplazamiento de las nodrizas por los cactus, fenómeno que no ocurre con los cactus globosos porque estos pueden vivir debajo del dosel la mayor parte de su vida (Valiente-Banuet *et al.*, 1991a).

Actualmente sabemos que la asociación de plantas en climas áridos y semiáridos es muy común. Las plantas adultas proporcionan condiciones microclimáticas propicias para el establecimiento de las plántulas. Éste es el caso las leguminosas arbóreas, que además de proporcionar sombra y protección a las plántulas de *N. tetetzo*, forman "áreas" de fertilidad en la zona, debido a su capacidad de fijación de nitrógeno (N), en asociación con bacterias del género *Rhizobium*.

El grupo de plantas que más se benefician con estas relaciones es el de las cactáceas, pues esta asociación aumenta la probabilidad de su establecimiento y sobrevivencia exitosos, ante su lento crecimiento y la severidad del clima. Las leguminosas arbóreas aportan beneficios que son de gran ayuda para el establecimiento y, posiblemente, mejor crecimiento y desarrollo de los cactus, hasta llegar a una edad adulta donde tienen la capacidad suficiente para la retención de agua y eficiencia en la absorción de nutrimentos.

Las leguminosas arbóreas, por su parte, tienen importancia ecológica y económica en el lugar, ya que sus frutos se utilizan para el consumo humano y sirven como sustento de diversos insectos, aves, y pequeños mamíferos que se alimentan de los frutos, por lo que es importante su conservación.

En cuanto al estudio microbiológico del suelo, han sido pocas las investigaciones encaminadas al entendimiento de la influencia de diversos microorganismos en este tipo de asociaciones; ya que no se ha documentado su importancia en esta relación ecológica. Sin embargo, existen numerosas revisiones de la actividad que desempeñan los microorganismos en las cercanías de las raíces de las plantas y el efecto que desempeñan en la nutrición de éstas.

Uno de los grupos de microorganismos más comunes de la rizosfera son las bacterias, que cuentan con fimbrias con las que se adhieren a las raíces (Campbell y Greaves, 1990); e influyen en la nutrición de las plantas haciéndoles accesibles los nutrientes del suelo. Bajo sistemas de rotación de cultivos, los hongos endomicorrízicos y las bacterias fijadoras de nitrógeno presentan una considerable actividad, lo que trae como consecuencia una alta productividad; favoreciendo el crecimiento y nutrición de las plantas (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1990; Ferrera-Cerrato, 1995). Por ejemplo, las plantas de *Acacia saligna* inoculadas con micorriza del género *Glomus* sp. Zac 8, absorben mayor cantidad de nitrógeno y fósforo, manifestándose su contenido en la parte aérea de las plantas, a diferencia de plantas inoculadas con *Rhizobium* y plantas con fertilizantes comerciales (Gardezi y Ferrera-Cerrato, 1989).

El establecimiento de la simbiosis micorrízica origina cambios en los exudados de la raíz, los cuales alteran la composición microbiana en la rizosfera del suelo. Del mismo modo, la microbiota del suelo influye en la formación y función de las micorrizas. Estas interacciones microbianas en la "micorrizosfera" intervienen, a su vez, en el crecimiento y la salud de las plantas. Algunas asociaciones de bacterias específicas, en conjunto con las micorrizas pueden incrementar el crecimiento vegetal debido a los efectos del hongo sobre el metabolismo y la actividad bacteriana (Linderman, 1993).

Las poblaciones de microorganismos son muy altas en la región de los pelos absorbentes de las raíces debido a los exudados de la raíz, que son su fuente de alimento. Las poblaciones de microorganismos pueden variar en el tipo y la cantidad, dependiendo de la edad de la raíz, así como de los diferentes tipos de sustrato en el que se encuentren (Campbell y Greaves, 1990). Entre los grupos de organismos que pueden afectar el crecimiento de la

planta están: a) hongos micorrízicos, b) bacterias fijadoras de vida libre en asociación y en simbiosis, c) microorganismos que afectan los nutrimentos disponibles, d) patógenos, e) agentes de biocontrol antagonistas, f) bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento, g) artrópodos, nemátodos y protozoarios y h) otras rizobacterias que producen sustancias reguladoras del crecimiento. En el establecimiento de muchos de éstos microorganismos, la micorriza arbuscular (MA) juega un papel de rotación en su mantenimiento y función (Linderman, 1993).

En las leguminosas colonizadas con cepas compatibles de hongos micorrízicos arbusculares existe mayor población de bacterias fijadoras de nitrógeno que en aquellas colonizadas con cepas no compatibles o no colonizadas. Se sabe que la doble inoculación con hongos MA y bacterias solubilizadoras de fósforo (P), incrementa el crecimiento vegetal en mayor grado que con un solo organismo (Linderman, 1993).

Puesto que los microorganismos también juegan un papel importante para el establecimiento y desarrollo de las plantas y como el estudio de su impacto en la relación de nodricismo es muy escaso, este trabajo pretende ofrecer un avance en el conocimiento de los grupos funcionales de microorganismos en las zonas áridas, y la importancia de los hongos micorrízicos arbusculares para el desarrollo de la asociación *N. tetetzo* – leguminosas, en sitios considerados con poca perturbación ecológica y lugares con grado considerable de erosión natural en el Valle de Zapotitlán de las Salinas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Diversidad florística de las zonas áridas

Las xerófitas son los elementos fundamentales de la flora que se establecen en extensas regiones áridas y semiáridas, cuyos antecesores, fueron plantas mesófilas que, a fines del terciario, habitaban regiones con clima subtropical más o menos cálido y húmedo y que adquirieron gradualmente sus características xerófilas al ir disminuyendo la humedad a medida que los desiertos se formaban (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Las cactáceas son componentes muy importantes y numerosos de la flora xerófila mexicana, apenas superados en cantidad por las familias *Leguminosae*, *Compositae* y *Gramineae*. Las cactáceas son nativas del Continente Americano, en el que actualmente se encuentran distribuidas desde Canadá, a una latitud de 56°N, hasta el Estrecho de Magallanes en América del Sur (Brávo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

2.2 Flora del Valle de Tehuacan

En los últimos años la región fitogeográfica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán ha llegado a ser reconocida como una de las zonas cactológicas más importantes a nivel mundial y como una de las más importantes de América. Aún cuando la riqueza específica de cactáceas es baja, con un 5.4% del total de especies existentes en México, su gran atractivo es, por un lado, que la distribución de una cuarta parte de sus 81 especies se encuentra restringida al Valle, y por otro lado, que las cactáceas son los elementos dominantes de varias comunidades vegetales (Valiente-Banuet y Arias, 1997).

La vegetación en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán incluye diferentes tipos de bosques o selvas como son la Selva Baja Caducifolia, Selva Baja Espinosa Perennifolia, el Bosque de Encinos (*Quercus*), Izotales, Pastizales y Matorrales Caducifolios que al estar constituidos preponderantemente por cactáceas de tipo columnar reciben otros nombres de manera local, como son los cardonales, tetecheras, jiotillales, etc., y están referidos a los nombres comunes con que se han designado a diferentes géneros de cactáceas.

Entre éstos tipos de vegetación se encuentran las tetecheras o agrupaciones de diferentes especies del género *Neobuxbaumia*; conjunto de especies que alcanzan grandes densidades en el Valle (Figura 1); entre las que destacan *N. tetetzo*, *N. mezcalaensis* y *N. macrocephala*. Son matorrales de fisonomía particular, con densidades muy altas de cactáceas columnares.

Así, *N. tetetzo* es un cactus arborescente con individuos mayores a 12m de alto (Figura 1), y llegan a tener densidades de hasta 1200 individuos por hectárea en la región de Zapotitlán (Valiente-Banuet y Arias, 1997).

Las especies estudiadas en el presente trabajo están representadas en el tipo de vegetación tetechera cardonal; esta vegetación se desarrolla sobre suelos derivados de lutitas en contacto con calizas, donde encontramos una mezcla de cactáceas columnares pertenecientes a: *Neobuxbaumia tetetzo* y *Cephalocereus columna-trajani*. También existen



Figura 1. Agrupación de cactáceas ("tetechera") de *N. tetetzo* en la zona de estudio.

gran variedad de especies presentes en el estrato arbóreo y arbustivo sobresaliendo: *Acacia coulteri*, *Mimosa luisana*, *Fouquieria formosa*, *Caesalpinia melanadenia*, *Prosopis laevigata* y *Cercidium praecox*, entre otras. Los tipos de vegetación que constituyen a cardonales, tetecheras y algunas zonas de transición (tetechera-cardonal) se encuentran prácticamente en las zonas con pendientes que van del 10 al 40%, a diferentes altitudes (1450-650 m) y con diferentes litologías superficiales como son calizas y lutitas. Lo sobresaliente es que los componentes dominantes desaparecen en las zonas planas de cerros bajos como el del Jardín Botánico de Zapotitlán, los cuales constituyen remanentes del fondo de la Cuenca. En éstas zonas se concentran suelos más antiguos que los de las laderas, las cuales se formaron por erosión (Osorio y Valiente-Banuet, 1996).

Osorio y Valiente-Banuet (1996) señalan que en zonas áridas y bajo una misma condición climática los suelos derivados de diferentes litologías, tienen diferentes capacidades de retención de agua ocasionando marcadas diferencias florísticas. Estos trabajos hacen evidente que la distribución de especies puede responder a los diferentes umbrales de humedad necesaria para la germinación y la supervivencia.

2.3 Importancia de *Neobuxbaumia tetetzo*

A estas cactáceas columnares se les considera como especies de gran importancia en el mantenimiento de la diversidad de invertebrados y vertebrados, especialmente insectos, aves y murciélagos nectarívoros y frugívoros (Valiente-Banuet *et al.*, 1996); por las densidades que estas plantas llegan a alcanzar en las distintas comunidades. Esta especie es muy importante como lugar de anidación de aves y para el establecimiento y desarrollo de diferentes organismos. Además, durante la primavera y el verano, estas especies de cactus producen cientos de flores por hectárea que, en su mayoría, tienen antésis y producción nocturna de néctar, el cual sirve de alimento para murciélagos, aves e insectos. En ésta época se encuentran, en Tehuacan, por lo menos 91 especies de aves, de las cuales 10 son endémicas al Valle (Arizmendi y Espinosa de los Monteros, 1996; Valiente-Banuet y Arias, 1997).

En cuanto a su importancia económica, el aprovechamiento se limita a la localidad de Zapotitlán de las Salinas; en donde se utiliza como leña en sustitución de las leguminosas arbóreas; sus frutos, semillas y flores son comestibles. Tiene importancia de tipo ornamental, ya que las semillas también se utilizan para propagación y venta de cactáceas en el vivero de la localidad.

2.4 Importancia de las leguminosas arbóreas

Las leguminosas arbustivas y/o arbóreas presentes en zonas áridas y semiáridas de diferentes regiones del mundo, constituyen uno de los recursos forestales con mayor distribución en dichas zonas, las cuales abarcan más del 60% de territorio nacional (Martínez, 1994). Su éxito para prosperar en estos ambientes se debe a adaptaciones que poseen para obtener y hacer uso eficiente del agua, destacando su sistema radical profundo que los hacen casi independientes del agua superficial. Desde el punto de vista ecológico, son un elemento importante en la vegetación, ya que por ser freofitas desempeñan una función importante en la modificación del ambiente extremoso, característico de las zonas áridas, permitiendo que prosperen otras especies de plantas anuales y herbáceas (Flores, 1993).

La comunidad rural ejerce fuerte presión sobre éstos recursos al extraer forraje para todo tipo de animales domesticados, fruto para consumo humano, miel, leña, madera, carbón, productos apícolas, medicinales, etc.; y a pesar de la gran diversidad de usos que poseen y su amplia distribución territorial; no han sido objeto de una investigación sistematizada que permita su domesticación y su posterior uso como cultivo. Se caracteriza, también, por su papel en la formación de islas de fertilidad al crear condiciones ambientales benéficas para otros componentes del ecosistema, como lo es la vegetación asociada. De éste último aspecto, se ha estudiado la variación de nutrientes del suelo y el microclima; sin embargo, las características microbiológicas de éstos ambientes edáficos han sido poco abordados (Frias *et al.*, 1996).

2.5 Sistema Nodriza

Se le denomina nodricismo a la relación que existe entre dos tipos de plantas, donde una de ellas proporciona condiciones microambientales favorables para el establecimiento de la otra planta (Figura 2).

Las relaciones de tipo nodriza fueron detectadas por observaciones de patrones de distribución de cactus con respecto a arbustos perennes en la comunidad, y por características del microhábitat debajo de arbustos en términos de temperatura y fertilidad de suelo (Valiente-Banuet *et al.*, 1991a). Como ejemplo está el desarrollo del zacate navajita [*Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. Ex Steud.] influido por varias nodrizas vegetales, entre ellas *Prosopis laevigata*. Los resultados de ésta investigación mostraron que, en relación con el tamaño promedio de las

plántulas, debajo del dosel de *P. laevigata* se observaron las mayores alturas de *B. gracilis*, además de que la temperatura que se presentó debajo de cada nodriza fue inversamente proporcional a la humedad, siendo *P. laevigata* la nodriza que presentó menor temperatura y mayor humedad debajo de su dosel (Aviles *et al.*, 1995).



Figura 2. Relación de nodricismo entre *M. luisana* y *N. tetetzo* en la zona de estudio.

En un papel paralelo están el tetecho cactus columnar gigante (*Neobuxbaumia tetetzo*), y el 'arbusto nodriza' *Mimosa luisana*, donde *N. tetetzo* tiene una asociación muy frecuente con el arbusto (Figura 2), pero esta situación se revierte cuando el cactus alcanza una talla de 2-3 m de altura (Valiente-Banuet *et al.*, 1991b).

Las observaciones acerca de la necesidad de un microclima protector fueron realizados en el saguaro (*Carnegiea gigantea*); se dedujo que es indispensable la asociación con árboles y arbustos de la vegetación de zonas áridas, tales como el palo verde *Cercidium microphyllum*, el mezquite *Prosopis juliflora* var. *velutina* y otros, para aumentar el porcentaje de germinación de semillas del cacto y durante el lento crecimiento de las plántulas (5 a 10 años), en tanto forman el tejido de almacenamiento del agua que les permita resistir a la sequía. La sombra que proyectan dichos árboles y arbustos atenúa los efectos de la insolación, altas temperaturas, y desecación por viento que causan la pérdida de grandes cantidades de plántulas, pues sólo los individuos adultos que ya han desarrollado sus tejidos de almacenamiento de agua, pueden seguir viviendo sin esta protección. Además, ésta asociación también les provee a las plántulas mayor retención de suelo y agua, protección contra heladas, mayor contenido de materia orgánica, protección de depredadores, así como probablemente la transferencia de nutrimentos entre las raíces de ambas plantas, mediada por hongos micorrízicos arbusculares

(Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Bethlenfalvay *et al.*, 1991; Huerta, 1995).

Aparte de los procesos físicos antes mencionados, también intervienen procesos fisiológicos que se relacionan con la presencia de microorganismos benéficos, tanto para ambas plantas en su asociación, como en forma individual. La diversidad de microorganismos, incluye bacterias, hongos filamentosos, hongos endomicorrízicos arbusculares, protozoarios, nemátodos, etc. Éstos microorganismos, en su conjunto, hacen posible la asimilación de nutrimentos para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas; de ahí la importancia de su estudio en climas tan extremos como las zonas áridas.

III. DEGRADACIÓN DEL SUELO

3.1 Erosión Pluvial

El movimiento del suelo por el agua ocurre en tres etapas. En la primera, las partículas y pequeños agregados son separados del suelo. En la segunda etapa, las partículas y agregados son transportados sobre la superficie. En la tercera etapa, éstos son depositados como sedimento en un nuevo lugar (Troeh *et al.*, 1980).

En las zonas áridas, la degradación del suelo, comúnmente es ocasionada por la variabilidad de la precipitación pluvial anual (a veces mayor a 250 mm) (Allen, 1999) (Figura 3).



Figura 3. Zona con erosión pluvial, en Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

Las intensas tormentas ocasionan un exceso de agua y causan erosiones severas aún cuando el suelo está cubierto por su vegetación nativa, o cuando ésta es escasa (Troeh *et al.*,

1980). Un elemento importante para evitar la degradación del suelo es la vegetación. Durante una tormenta, parte del agua cae directamente al suelo donde no hay vegetación y otra parte es interceptada por el dosel de las plantas o la hojarasca depositada debajo del dosel. Esto evita que el agua desprenda y arrastre las partículas y agregados del suelo (Morgan, 1986).

La remoción de la vegetación en las zonas semiáridas, ocasiona un rápido decremento en el contenido de carbono orgánico y el porcentaje de agregados estables en el suelo (Albaladejo, 1998). La porción del suelo que contiene la materia orgánica y es más fértil se pierde, los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas son removidos, la textura cambia y la estructura del suelo se deteriora (Troeh *et al.*, 1980).

IV. ACTIVIDAD MICROBIANA EN LA RIZOSFERA Y SU IMPORTANCIA

Hiltner (1904), definió la rizosfera como la zona alrededor de las raíces de las leguminosas, donde se estimula el crecimiento de las bacterias. Esta definición se ha ido ampliando a través del tiempo, en la actualidad se reconocen las siguientes zonas (Figura 1): 1) ectorrizosfera, zona alrededor de la raíz; 2) rizoplano, zona de la superficie de la raíz y 3) endorrizosfera, que involucra la epidermis y las células corticales de la raíz (Ferrera-Cerrato 1995).

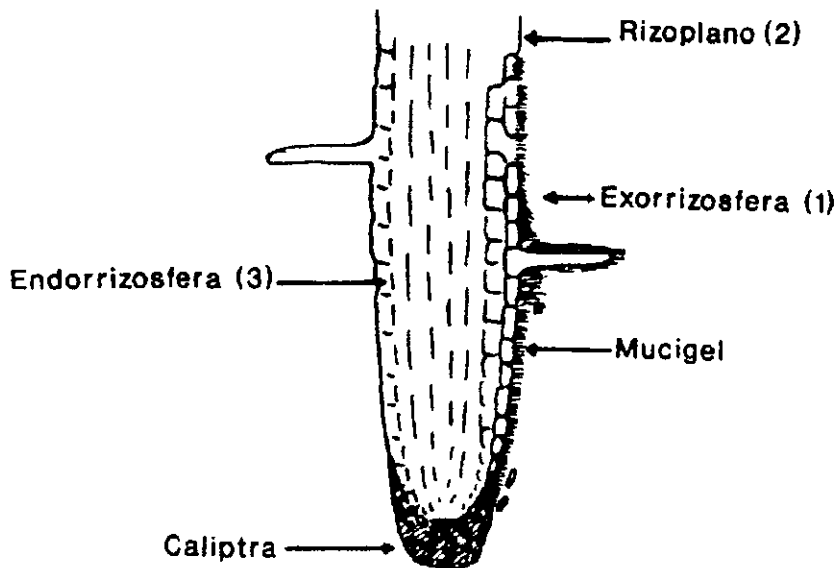


Figura 4. Diferentes regiones que forman la rizosfera. Tomado de Ferrera-Cerrato, 1995.

En la rizosfera de las plantas, se llevan a cabo importantes procesos que definen el desarrollo y la producción de las plantas. Existe un flujo de compuestos, producto de la fotosíntesis, que son exudados por la raíz en forma de carbohidratos, aminoácidos, vitaminas, enzimas, nucleótidos, etc. Esto hace, de éste sitio, una zona ideal para el crecimiento de una gran variedad de microorganismos que, al establecerse, tienen diferentes funciones relacionadas con las plantas. Gracias a estos organismos existe la disponibilidad de nutrimentos por la liberación del P, K, la fijación biológica de N₂, la producción de hormonas, la simbiosis con hongos formadores de la micorriza y el control biológico natural. Los tipos de exudados que frecuentemente se encuentran son: carbohidratos del tipo de los monosacáridos, disacáridos, trisacáridos y oligosacáridos. Como exudados importantes también se encuentran factores de crecimiento que son necesarios para el desarrollo tanto de hongos, bacterias, actinomicetos y algas, como para la microfauna (protozoos, nemátodos e insectos) (Barber, 1984; Ferrera-Cerrato, 1995).

Se ha mencionado que la rizósfera es una estructura continua, que incluye a la población microbiana que penetra en el cortex de la raíz. La colonización del cortex comienza en la caliptra y en los mucílago de la pared primaria de las células epidérmicas; después, el cortex entero es colonizado y también las partes maduras de la raíz a través de agujeros que los microorganismos hacen en la pared de las células epidérmicas o a través de heridas ocasionales. Entre éstos se encuentran los hongos filamentosos y los endomicorrízicos arbusculares; de éstos los hongos filamentosos de raíces sanas han sido poco estudiados (Medina, 1990).

La población de microorganismos en la rizosfera incluye actinomicetos, bacterias, hongos, algas, microartrópodos y protozoarios. La biomasa microbiana es considerada una fracción importante de la materia orgánica del suelo y responde fácilmente a los cambios físicos y químicos del mismo (Curl, 1992; Merck y Martin, 1987, citado en Medina, 1990.). Los organismos que componen dicha masa microbiana han sido investigados intensamente por medio de microscopía óptica, técnicas bioquímicas y de cultivo. Las características microscópicas son de considerable valor, porque además de mostrar los tipos de microorganismos presentes, también se aprecia la asociación física con la superficie de los tejidos exteriores de la raíz. Las técnicas usadas en la investigación de la rizosfera son numerosas y están diseñadas para medir un cambio específico llevado a cabo por la planta o la microflora (Alexander, 1981).

4.1 Grupos microbianos importantes

4.1.1 Bacterias

Las bacterias son los microorganismos más pequeños y abundantes en el suelo. Son organismos con una estructura relativamente simple. Es difícil estimar el número de bacterias en el suelo, dependiendo del método que se utilice. Hay un gran número de bacterias presentes en el suelo que son viables, pero que no pueden crecer en los medios convencionales. Es importante recordar que la mayoría de nuestro conocimiento sobre las bacterias del suelo está basado en los organismos que pueden ser cultivados en laboratorio (Wood, 1995).

Las bacterias no están uniformemente distribuidas en el perfil del suelo, ni en los horizontes de éste, pero generalmente se observa que su distribución aumenta donde hay materia orgánica. Las bacterias forman pequeñas colonias, usualmente asociadas a sustratos orgánicos como fuentes de energía, como por ejemplo, las raíces de las plantas. Son capaces de crecer rápidamente y de descomponer una gran variedad de sustratos naturales (Wood, 1995).

La actividad de las bacterias en el suelo es importante para llevar a cabo ciclos de nutrientes como el nitrógeno (N) y azufre (S), que son derivados de la materia orgánica y son responsables de casi todos los cambios químicos y biológicos en los ambientes que contienen poco o nada de O₂. Las bacterias del género *Rhizobium* spp., forman nódulos en las raíces de las leguminosas donde llevan a cabo la fijación de nitrógeno (Wood, 1995).

Las bacterias están presentes incluso en suelos que están extremadamente secos, como los desiertos, donde predominan los bacilos formadores de esporas, lo cual es de esperarse, ya que las condiciones para el desarrollo vegetativo son desfavorables (Alexander, 1981).

En cuanto a los nutrientes del suelo, el nitrógeno juega un papel muy importante, se necesitan relativamente grandes cantidades de este elemento para la síntesis de aminoácidos y proteínas, purinas, pirimidinas y algunas vitaminas. Los átomos de nitrógeno están presentes en la naturaleza en varios estados de oxidación, cada uno de los cuales puede ser aprovechado por diferentes microorganismos. El ion nitrato (NO₃⁻) puede ser utilizado por algunas algas y hongos, pero no tan excesivamente como algunas bacterias. Ciertas bacterias, incluyendo las cianobacterias, pueden llegar a aprovechar el nitrógeno molecular (N₂). Los

componentes nitrogenados orgánicos son utilizados por muchos microorganismos como fuentes de nitrógeno que, al descomponerlos, producen amonio (Richards, 1987).

La bacteria *Azospirillum* es una eficiente fijadora de nitrógeno para las plantas (Bashan *et al.*, 1993), además participa en varias transformaciones en el ciclo del nitrógeno en el suelo y está relacionada con la regulación hormonal de las plantas. Sin embargo, no se ha podido demostrar que el principal efecto de *Azospirillum* sea promover el crecimiento. La actividad de *Azospirillum* en conjunto con otros microorganismos, es de una bacteria "cooperadora", ya que su principal efecto es el de incrementar el desarrollo radical, aumenta la superficie de la raíz, el crecimiento de pelos absorbentes e incrementa la excreción de exudados radicales (Bashan *et al.*, 1993).

4.1.2 Actinomicetos

Los actinomicetos representan un diverso grupo de bacterias con propiedades de crecimiento de tipo ramificado o "filamentoso". Su morfología incluye células únicas o ramificadas, con hifas rudimentarias cortas, y con un micelio ramificado extenso (0.05-2mm de diámetro). Su nombre deriva de la forma de su colonia radial y parecida a un hongo. En general, son aerobios, mesófilos saprófitos, y un pequeño porcentaje son patógenos para los humanos, animales y plantas. Este tipo de microorganismos del suelo son importantes por su capacidad degradativa. A pesar de su lento crecimiento, son extremadamente importantes en la mineralización de un amplio rango de componentes de la materia orgánica del suelo (ej: celulosa); además, son particularmente bien conocidos por su capacidad de producir antibióticos (ej: estreptomicina, tetraciclina), siendo muy usados en la industria con este propósito (Hunter-Cevera y Eveleigh, 1990).

El tamaño de las poblaciones de actinomicetos en el suelo depende del contenido de humedad y aereación, materia orgánica, pH, rizósfera y vegetación, profundidad y tipo del suelo. Las esporas de los actinomicetos son resistentes a la desecación y pueden germinar en un rango bajo de humedad relativa; con esto, la sobrevivencia y crecimiento de los actinomicetos se ven favorecidos por el bajo contenido de humedad en comparación con las bacterias. Sin embargo, la poca aereación del suelo produce una disminución o hasta una ausencia completa de las poblaciones de estreptomicetos (Hunter-Cevera y Eveleigh, 1990).

Muchos actinomicetos no toleran un pH menor de 5.0, por lo que en medios ácidos los actinomicetos solo son una pequeña porción de la microbiota. Ocasionalmente, en suelos

alcalinos se han reportado que los actinomicetos son un componente dominante de la microbiota del suelo. El número de actinomicetos es alto en suelos ricos en materia orgánica o humus, pero su número difiere dependiendo del tipo de vegetación presente (Hunter-Cevera y Eveleigh, 1990).

Tanto en terreno virgen como en terreno cultivado, los actinomicetos constituyen del 10 al 50% de la comunidad total, determinado por el método de placa. En áreas alcalinas, y especialmente cuando hay sequedad, se desarrollan mejor que las bacterias y su abundancia relativa es especialmente alta. En comparación con las bacterias verdaderas, los actinomicetos son menos comunes en áreas húmedas que en áreas secas. Además, la población es mayor en suelos orgánicos no muy ácidos, pastizales y en suelos de pastoreo que en suelos cultivados y la frecuencia en suelos de cultivo generalmente sobrepasa la de los sitios vírgenes adyacentes (Alexander, 1981; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990).

Los actinomicetos pueden tener mucha importancia en la formación de ácidos húmicos derivados de la materia orgánica. Algunos actinomicetos forman relaciones simbióticas como los del género *Frankia* spp., que forman nódulos actinorrízicos en las raíces de un amplio rango de árboles y arbustos perennes (Wood, 1995).

4.1.3 Hongos del Suelo

Los hongos predominan en suelos con adecuada aereación y constituyen gran parte del protoplasma microbiano total. Los hongos producen un micelio filamentosos formado por hifas individuales, de 0.5-10 μm de diámetro, que pueden estar subdivididas por septos y aportan una parte significativa de la biomasa microbiana debido a la extensa red de micelio que conforman. Del 1 al 75% del total de hifas están activas dependiendo de las condiciones del suelo. Los hongos predominan en el protoplasma microbiano que se encuentra en el lecho de descomposición, particularmente en los estratos orgánicos de los suelos boscosos o selváticos, pero, en general, son los principales agentes de descomposición en ambientes ácidos. Todos son heterótrofos aerobios, la morfología de sus cuerpos fructíferos varía según el tipo de hongo. (Alexander, 1981; Wood, 1995).

La función de los hongos del suelo está determinada por sus características morfológicas y fisiológicas. Siendo organismos heterótrofos, los hongos pueden ser saprobios, parásitos o simbiotes, y juegan un papel que afecta indirectamente a la producción primaria, debido a su función como descomponedores de materia orgánica y como agentes importantes

en el ciclo de los nutrimentos.

La distribución de los hongos en el suelo puede ser afectada por la distribución de materia orgánica adecuada, la humedad disponible y la temperatura. Los hongos del suelo existen en una gran variedad de formas, ya sea como esporas o como hifas en varios estadios fisiológicos. Las hifas están morfológicamente adaptadas para ramificar y penetrar en los sustratos de materia orgánica y para la absorción de nutrimentos solubles (Bryce y Parkinson, 1990)

La abundancia y la actividad fisiológica de la flora fúngica en diferentes hábitat varía considerablemente, y la comunidad y sus actividades bioquímicas, en un sitio determinado, sufren una variación apreciable con el tiempo. Tanto los diversos géneros, cantidad de especies y el tamaño de la flora, varían con el tipo de suelo y sus características físicas y químicas (Alexander, 1981).

V. FACTORES QUE AFECTAN LA ACTIVIDAD MICROBIANA

Las condiciones ambientales determinan la densidad y composición de la población microbiana en el suelo. Entre las variables principales del ambiente que influyen sobre las bacterias, actinomicetos y hongos del suelo están la humedad, aireación, temperatura, materia orgánica, acidez y suministro de nutrimentos inorgánicos. Otras variables tales como el cultivo, la estación del año, la profundidad y la composición de la vegetación tienen indudable significado, pero su influencia proviene de la combinación de las variables principales, ya mencionadas (Alexander, 1981; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990).

5.1 Temperatura

La óptima para el desarrollo de la mayoría de los microorganismos es considerablemente más alta que aquellas que prevalecen en el suelo, aun en verano. De un modo general los límites de las funciones microbiológicas se alcanzan hasta una temperatura de 80°C. Para la mayoría de los microorganismos del suelo la temperatura óptima es alrededor de 35°C.

5.2 Humedad

La cantidad de óptima de agua para la mayoría de los organismos está entre 50 y 70% de la capacidad de retención del suelo. Para los actinomicetos los niveles de materia orgánica, pH, humedad y temperatura son los determinantes ecológicos principales.

5.3 Acidez .

El grado de acidez o alcalinidad es de particular importancia en las actividades y abundancia relativa de los diferentes grupos de organismos del suelo. La proporción de hongos. La proporción de hongos a bacterias y actinomicetos es mayor en suelos ácidos que neutros. Generalmente, los actinomicetos se desarrollan mejor en un pH de 7.0 a 7.5, las bacterias y protozoarios de 6.0 a 8.0 y los hongos de 4.0 a 5.0.

5.4 Aireación

El desarrollo y las actividades de los organismos del suelo son grandemente afectados por la concentración y abastecimiento de O₂, CO₂ y N. El O₂ es requerido para los procesos de oxidación, el CO₂ como fuente de Carbono para los organismos autotróficos y el N para los organismos fijadores de nitrógeno.

5.5 Luz

La luz directa del sol es altamente perjudicial para la mayoría de los microorganismos del suelo. La luz difusa parece tener un efecto de inhibición para la mayoría de las bacterias, pero muy escaso sobre los hongos; sin embargo, el desarrollo de las algas es estimulado por la luz difusa.

5.6 Materia Orgánica

Tiene gran influencia en los microorganismos del suelo, sobre todo en condiciones de humedad. Los suelos con mayor cantidad de materia orgánica cuentan con una población microbiana más densa. También influye en la estructura, aireación, retención de agua y temperatura del suelo. El carbono aprovechable afecta directamente a los actinomicetos y se presentan en cantidades especialmente grandes en terrenos con abundante materia orgánica (Alexander, 1981; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990).

5.7 Pesticidas

Muchos pesticidas suprimen el crecimiento de bacterias heterotróficas, hongos y actinomicetos; sin embargo, los microorganismos actúan como el mayor mecanismo en la biodegradación de herbicidas y pesticidas en el suelo. Algunos de éstos químicos son tóxicos a los microorganismos, los cuales, afortunadamente, pueden repoblar el suelo rápidamente aun después de adiciones fuertes de pesticidas tóxicos (Donahue *et al.*, 1981).

VI. HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

6.1 Importancia de la micorriza

El término micorriza es utilizado para describir la asociación simbiótica entre el micelio de un hongo y las raíces de una planta. La micorriza arbuscular (MA) es la simbiosis planta-hongo más difundida en la Tierra; está constituida por hongos del suelo del orden *Glomales* y las raíces de la mayoría de las plantas terrestres (Kling y Jackobsen, 1998). Su abundancia y su influencia es de gran trascendencia fisiológica y ecológica para el buen funcionamiento y estabilidad de las comunidades vegetales (Alarcón, 1993; Kling y Jakobsen, 1998).

La endomicorriza se establece en el 90% de las plantas; usualmente está asociada con herbáceas y árboles. En la mayoría de los ecosistemas, el acoplamiento de plantas con procesos microbianos de la rizosfera es optimizado por hongos micorrízicos. El hongo simbiote se convierte en una conexión entre el suelo y la planta; y sus hifas se extienden de la corteza de la raíz hacia el exterior, dentro del suelo, donde interactúan con partículas de éste y funcionan como estructuras absorbentes de elementos minerales y agua (Linderman, 1993; Alarcón, 1993; Varela y Estrada-Torres, 1999).

La formación de la micorriza produce ligeros cambios en la morfología de las raíces, su efecto significativo se da mediante cambios fisiológicos en la planta hospedante, de modo que favorece su crecimiento y respuesta en tolerancia a ambientes de estrés en comparación con plantas no micorrizadas. Las micorrizas arbusculares tienen especial importancia en la vida de las plantas porque mejoran sustancialmente la absorción de nutrimentos, principalmente el fósforo, y de agua, además, estimulan el crecimiento, desarrollo y nutrición de la planta, especialmente en suelos de baja y moderada fertilidad (Azcón *et al.*, 1980; Linderman, 1993).

Los hongos micorrízicos arbusculares obtienen el carbono necesario de la planta. La micorriza arbuscular utiliza del 10 al 20% del CO₂ asimilado por las plantas, y de esa manera juega un papel en la distribución de carbono de la planta al suelo. Las plantas reciben, a cambio, nutrimentos minerales como fósforo (P), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn) y cobre (Cu) del hongo. El transporte de fósforo del suelo a la planta, a través del hongo, es de particular importancia ya que el hongo aumenta la accesibilidad de este mineral de baja movilidad (Kling y Jakobsen, 1998). Esta eficiencia se manifiesta de manera especial, cuando el fósforo se encuentra en concentraciones bajas; se ha demostrado

que el flujo de nutrimentos, principalmente el fósforo, es mayor en plantas micorrizadas en comparación con plantas no micorrizadas (Ayling *et al.*, 1997).

Los hongos micorrízicos arbusculares (MA) se desarrollan inter e intracelularmente en las raíces de las plantas. Las hifas del hongo penetran en las células de la corteza formando arbusculos (Figura 5), donde se lleva a cabo el intercambio de nutrimentos, formando una extensa área de contacto entre el hongo y la planta (Kling y Jakobsen, 1998).



Figura 5. Fotografía de un arbusculo (Brundrett *et al.*, 1996)

La principal función ecológica de la micorriza es el acceso de nutrimentos hacia la planta, ya sea directamente o a partir de formas no disponibles para la raíz. Con respecto a esto último, la nutrición del fósforo es uno de los elementos más importantes; en contraste, está menos documentado su relación con el agua (Rundel y Nobel, 1991).

La colonización por hongos MA, influye en la transferencia de nutrimentos entre los sistemas radicales de plantas asociadas. El caso de la micorriza arbuscular como mediadora en la transferencia de carbono (C), N, y P entre las plantas, ha sido bien documentada, mediante el uso de rastreo de isótopos. Sin embargo, aún tiene que ser demostrado que el flujo de nutrimentos sea de magnitud suficiente para causar cambios cuantitativos importantes en el crecimiento de la planta o en su nutrición. Las implicaciones potenciales de éste fenómeno para el entendimiento de la estructura de comunidades vegetales es muy importante y sugiere un concepto de distribución de recursos en comunidades vegetales, optimizado por el movimiento de nutrimentos a lo largo de gradientes de concentración entre la micorriza arbuscular entre plantas donadoras y plantas receptoras (Bethlenfalvay *et al.*, 1991).

6.1.1 Proceso de Colonización

El proceso de colonización comienza cuando: 1.) una hifa en el suelo establece contacto con una raíz creciendo a lo largo de su superficie. 2.) la penetración de la hifa ocurre cuando una o más hifas forman un apresorio pasando por en medio de dos células epidérmicas y/o penetrándolas. 3.) las hifas penetran a la hipodermis y llegan a las células de la corteza, donde se bifurcan. 4.) las hifas se desarrollan en ambas direcciones a partir del punto de entrada.

5.) los arbusculos se desarrollan, dentro de las células de la corteza a partir de ramificaciones de hifas internas. 6.) se desarrollan vesículas acumulando productos de reserva (lípidos), éstas se desarrollan poco después de los primeros arbusculos, pero continúan su desarrollo aún cuando éstos han desaparecido y 7.) los arbusculos se colapsan (comenzando por las ramificaciones más finas). Las hifas de la corteza desarrollan septos en sus hifas mas viejas (Brundrett *et al*, 1996) (Figura 6).

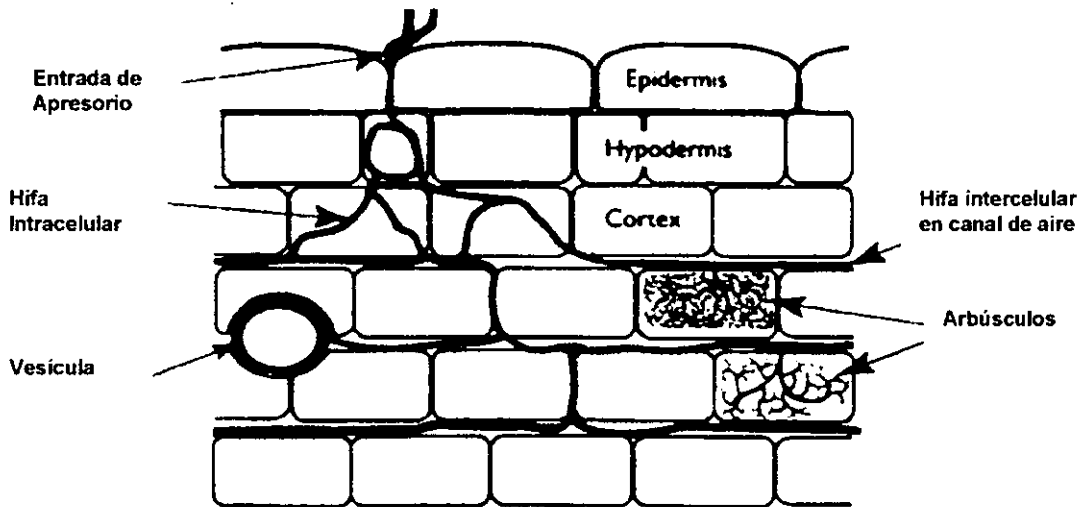


Figura 6. Proceso de colonización, según Brundrett *et al.* 1996

El desarrollo de la colonización en el interior de la corteza está acompañado por un desarrollo de micelio extrarradical externo, el cual se extiende varios centímetros a partir de la superficie de la raíz. Una gran cantidad de esporas, junto con el micelio extrarradical y las partes de la raíz micorrizada constituyen los propágulos infectivos de los hongos micorrízicos arbusculares en el suelo (Azcón *et al.*, 1980; Kling y Jakobsen, 1998).

El micelio externo, que constituye el sistema de absorción de nutrientes del suelo hacia la planta, consta de una red tridimensional de hifas; unas de 8-30 micrómetros de diámetro, que son consideradas la base permanente del micelio, y otras más delgadas (2-7 μ m), de posible función rizoidal, más efímeras que las anteriores. Sobre el micelio externo se forman grandes esporas vegetativas que van madurando hasta convertirse en clamidosporas; determinadas especies desarrollan también esporocarpos (Azcón *et al.* 1980).

6.2 La Micorriza en Ambientes Perturbados

6.2.1 Sequía

Cualquier factor que pueda influir el buen desarrollo de las plantas, creciendo en condiciones de estrés, es realmente valioso, porque da como resultado mayor productividad y estabilidad en la vegetación. La micorriza incrementa la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés, como temperaturas extremas y sequía (Ferrera-Cerrato, 1983; Sylvia y Williams, 1992).

En zonas semiáridas la colonización micorrízica, puede aminorar la resistencia de transporte de agua en la planta completa hasta en un 50% y como consecuencia aumentar la conductividad de ésta en hojas, así como aumentar su capacidad fotosintética (Rundel y Nobel, 1991).

La mayoría de los experimentos con hongos micorrízicos arbusculares se han realizado en ambientes de vivero o en cámaras de crecimiento y existe relativamente poca información de la función de la micorriza arbuscular en ambientes naturales.

6.2.2 Erosión

La micorriza arbuscular es un contribuyente importante para la estabilidad del suelo; incrementa la movilidad de nutrimentos, mejora la cobertura de la planta y la proliferación de raíces. También produce grandes cantidades de hifas que ayudan a mantener unidas las partículas del suelo (Sylvia y Williams, 1992).

La pérdida del suelo por erosión es el resultado de efectos perjudiciales a las propiedades químicas, físicas y de microorganismos del suelo. Los cambios drásticos en el ambiente, como los asociados a suelos utilizados para la minería o a suelos erosionados, pueden disminuir de una manera importante la formación de la micorriza. Las capas que son removidas del suelo principalmente por erosión pluvial, decrecen drásticamente el número de propágulos del hongo micorrízico arbuscular, así como la colonización de los hongos arbusculares. Es probable que los bajos niveles de colonización de plantas que crecen en suelo erosionados reflejen lo inconveniente de éste tipo de suelos para el crecimiento de las plantas, así como la disminución de propágulos. La restauración de las poblaciones de los hongos micorrízicos dependerá de la disponibilidad de recursos, la presencia de propágulos y las condiciones de los suelos perturbados para el crecimiento de las plantas y los hongos (Abbott y Robson, 1991). Los suelos erosionados tienen niveles muy bajos de fertilidad, limitando el potencial benéfico de la inoculación micorrízica. A pesar de lo anterior, se ha propuesto la inoculación con hongos

micorrízicos arbusculares para ayudar a la rehabilitación de éstas áreas. Como conclusión de un trabajo donde se cuantificaron los efectos de interacción entre la inoculación micorrízica y la fertilidad del suelo, en el establecimiento de plantas en sitios erosionados, los hongos micorrízicos junto con fertilizantes aplicados al inicio del cultivo incrementaron el establecimiento de las plantas en suelos erosionados (Sylvia y Williams, 1992).

6.3 Micorrizas en Zonas Áridas

La importancia de las micorrizas en la nutrición de las plantas vasculares está bien documentada. Sin embargo hay muy pocas investigaciones con respecto a la ecofisiología de los hongos micorrízicos en ecosistemas desérticos y semidesérticos. La extensa distribución de la simbiosis micorrízica es evidente, ya que las esporas de los hongos micorrízicos sobreviven en ambientes extremos de sequía y temperatura que caracteriza a los suelos desérticos (Rundel y Nobel, 1991). Las plantas viven bajo condiciones de tensión ambiental en zonas áridas y semiáridas, por lo que en éstos ecosistemas la micorriza es fundamental (Ferrera-Cerrato, 1983), dada su importancia en la nutrición de las plantas.

Otro aspecto importante, es la profundidad a la que las raíces pueden mantener la simbiosis micorrízica; por ejemplo, se encontró micorrización en raíces del género *Prosopis* con una profundidad de 12 m (Rundel y Nobel, 1991).

En las zonas áridas y semiáridas, la micorriza que más predomina es la endomicorriza arbuscular (Ferrera-Cerrato, 1983). Este tipo de hongo varía en algunos cultivos según las estaciones y otros efectos del ambiente, como la diversidad de la vegetación y la explotación intensiva de la misma. Los grados de perturbación pueden alterar la microbiota asociativa, por lo que es conveniente conocer el grado de dependencia micotrófica de las plantas de esos ecosistemas ya que de eso dependerá la recuperación y desarrollo de las plantas en esas áreas (Ferrera-Cerrato, 1983).

En algunas regiones perturbadas del oeste de los Estados Unidos, ubicadas en las zonas semiáridas, se ha encontrado que menos del 1% de las plantas que cubren estas zonas están micorrizadas, en comparación con ecosistemas no perturbados, en los que el 99% presentan micorrización (Reeves *et al.*, 1979; citado en Ferrera-Cerrato, 1983).

La micorriza arbuscular es una asociación que se ha encontrado relacionada con las raíces de varias familias de plantas vasculares, entre ellas la familia Cactaceae. Esta simbiosis mutualista puede ser ventajosa para aquellas plantas que habitan zonas áridas (Nava *et al.*, 1997), ya que se sabe que el fósforo (P) es fijado por las partículas coloidales de la arcilla. La arcilla y coloides orgánicos son las porciones más activas del suelo tanto física como

químicamente. Las arcillas que presentan una superficie específica grande son, por lo general, de mayor carga eléctrica y de mayor capacidad de absorción e intercambio de cationes. Los cationes intercambiables son una fuente importante de nutrimentos para las plantas (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990).

Los estudios de la asociación micorrízica en plantas de zonas áridas mexicanas han sido limitados, por lo que poco se conoce acerca de la relación de estas plantas con los hongos micorrízicos arbusculares (Nava *et al.*, 1997).

6.4 Micorriza Arbuscular en Cactáceas

La aparición de micorrizas y su influencia benéfica en el crecimiento de las plantas de diferentes géneros, ha sido bien documentado (Harley y Smith, 1983; Allen, 1991; Rincón *et al.*, 1993). Sin embargo, el estudio de las micorrizas de ecosistemas áridos y tropicales ha recibido muy poca atención. Éste es el caso de los cactus, y en particular de los cactus del bosque deciduo tropical (Rincón *et al.*, 1993).

Se sabe poco acerca del papel de la micorriza en el establecimiento de las plántulas de los cactus en el bosque tropical deciduo de Norte América. Según estudios de la influencia de la micorriza arbuscular (MA) en la producción de biomasa de la cactácea *Pachycereus pecten-aboriginum*, se pudo determinar que el tamaño de las raíces de cactus inoculados con la micorriza, fue significativamente más grande que aquellas que no fueron inoculadas. La longitud de la raíz es importante en la adquisición de agua y nutrimentos minerales y, al parecer, uno de los efectos de la micorriza arbuscular en el cactus fue incrementar el potencial de explotación de los recursos, al cual se favorece por la cantidad de biomasa radical con mayor capacidad de exploración del suelo. Al parecer, la micorriza aumenta en general el vigor del cactus, favoreciendo la absorción de agua y nutrimentos. Puede asumirse que bajo éste régimen climático el establecimiento de plántulas ocurre durante la temporada húmeda, cuando el agua y los nutrimentos no son drásticamente limitados. En éste caso, es razonable suponer que las micorrizas pueden coadyuvar en el éxito del establecimiento, junto con los recursos de luz, suelo, agua y disponibilidad de nutrimentos (Rincón *et al.*, 1993).

Bashan *et al.*, (2000) concluyeron que la densidad en el inóculo de hongos micorrízicos arbusculares no es el principal factor para el establecimiento de semillas de cactus y los factores edáficos son más importantes. Carrillo-García *et al* (1999) obtuvieron resultados de alta micorrización en la cactácea *Opuntia cholla*; sin embargo en otras cactáceas (*Lemaireocereus schottii*, *Machaerocereus gommosus*, *Pachycereus pringlei*, *L.thurberi*) asociadas con plantas nodrizas obtuvieron porcentajes menores al 10% de colonización micorrízica.

VII. JUSTIFICACIÓN

La presencia de microorganismos benéficos interviene en procesos fisiológicos que se relacionan tanto con la relación de ambas plantas, como con cada una de ellas. La diversidad de microorganismos, incluye a los diferentes grupos de bacterias, hongos filamentosos, hongos endomicorrízicos arbusculares, protozoarios, nemátodos, etc., que, en su conjunto, hacen posible la asimilación de nutrimentos y el buen desarrollo de las plantas, de ahí la importancia de su estudio en climas tan extremos como las zonas áridas.

Las leguminosas arbóreas, aportan beneficios para el establecimiento y crecimiento de las cactáceas, entre ellas *Neobuxbaumia tetetzo*. Aunque el aprovechamiento de *N. tetetzo*, se limita a la localidad de Zapotitlán de las Salinas; éstas especies tienen importancia ecológica y económica en todo el valle, por lo que es importante determinar la importancia de su microbiota asociada en la sobrevivencia de éstas especies con la finalidad de restaurar el sistema donde éste casi ha desaparecido por causa de la explotación del suelo u otra actividad humana.

La degradación del suelo por erosión pluvial es común en zonas áridas, ya que las intensas tormentas causan un exceso de agua y erosiones severas. La porción fértil del suelo que contiene la materia orgánica se pierde, así como también los nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas. Dada la importancia de los microorganismos para el crecimiento de las plantas, es importante determinar la situación microbiológica de ambas zonas. A través de esto, se puede conocer el grado de deterioro de la zona erosionada y las posibilidades de su futura restauración.

VIII. HIPÓTESIS

En la zona erosionada se encontrará una menor cantidad de hongos filamentosos, actinomicetos, bacterias totales, bacterias fijadoras de nitrógeno y colonización de hongos micorrízicos arbusculares, así como menor variabilidad poblacional, que en la zona no erosionada en la rizosfera e interrizosfera de leguminosas arbóreas y *Neobuxbaumia tetetzo*.

En época de secano se encontrará una menor cantidad de hongos filamentosos, actinomicetos, bacterias totales, bacterias fijadoras de nitrógeno y colonización de hongos micorrízicos arbusculares, así como menor variabilidad poblacional, que en la época de lluvias en la rizosfera e interrizosfera de leguminosas arbóreas y *Neobuxbaumia tetetzo*.

IX. OBJETIVOS

GENERAL

Comparar la variación estacional de las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, bacterias totales, actinomicetos, hongos filamentosos y la colonización micorrizica de *Neobuxbaumia tetetzo*, leguminosas arbóreas, y su interrzosfera entre un sitio erosionado y otro no erosionado en la cuenca baja del Río Salado de Zapotitlán de las Salinas, Puebla.

ESPECIFICOS

* Determinar la variación estacional de las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, bacterias totales, actinomicetos y hongos filamentosos en la rizosfera e interrzosfera de *N. tetetzo* y leguminosas arbóreas en una zona no perturbada y una zona erosionada.

* Determinar la variación estacional de la colonización micorrizica en la rizosfera e interrzosfera de *N. tetetzo* y leguminosas arbóreas en una zona no perturbada y una zona erosionada.

* Determinar la variación estacional de la cantidad de propágulos micorrízicos en la rizosfera e interrzosfera de *N. tetetzo* y leguminosas arbóreas en una zona no perturbada y una zona erosionada.

X. MATERIALES Y MÉTODOS

10.1 Descripción del área de estudio

La provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán pertenece a la región xerofítica mexicana y se localiza en la parte sureste del estado de Puebla y noroeste de Oaxaca, entre los 17°39' y 18°53' de latitud norte y los 96°55' y 97°44' de longitud oeste, con una superficie aproximada de 10,000 km². Incluye varios valles, entre los que destacan Coxcatlán, Cuicatlán, Tehuacán, Tepelmeme y Zapotitlán, así como algunas barrancas y cañones como Morelos, Tomellín, Río Hondo, Río Grande y Río Salado, separados por numerosas serranías. Los principales límites orográficos del Valle son: al este y noreste la Sierra Madre oriental, llamada localmente Sierra de Zongolica, al norte la serranía de Tecamachalco y al sur la Sierra Juárez (Valiente-Banuet y Arias, 1997). En la región existe un clima semiárido, con temperatura alta y régimen de lluvias de verano (Figura 7).



Figura 7. Fotografía del Valle de Tehuacan en época de lluvias.

Las condiciones de aridez existentes se deben al efecto de sombra orográfica que produce la Sierra Madre Oriental (Sierras de Juárez y Zongolica) y a la desecación paulatina de los mantos freáticos (Villaseñor *et al.*, 1990; citado en Valiente-Banuet y Arias, 1997), principalmente en el Valle de Zapotitlán. Geológicamente, el Valle presenta afloramientos de diferentes edades y orígenes, por lo que la región es un mosaico heterogéneo de diferentes litologías que forman parte de la provincia geológica de Tlaxiaco. La zona centro-norte de Tehuacán presenta afloramientos del Cretácico Medio y la región centro-sureste de la zona,

que comprende desde Tehuacán hasta la zona de Teotitlán del Camino, presenta afloramientos del precámbrico, así como del Jurásico Inferior Marino. La franja comprendida por la Sierra de Juárez, que se encuentra al sur del Valle de Tehuacán-Cuicatlán hasta Quiotepec, presenta afloramientos de rocas metamórficas del Paleozoico; en las partes más bajas afloran sedimentos del Terciario continental y del Cuaternario (López, 1981; citado en Valiente-Banuet y Arias, 1997).

10.1.1 Descripción de las zonas muestreadas.

La zona no erosionada se dividió en cuatro cuadrantes de 10 x 10 m, de los cuales se obtuvieron las siguientes características:

En el cuadrante uno, se observó una inclinación suave (menor a los 10°), la dominancia de las cactáceas pudiera deberse a que la superficie del suelo era poco pedregosa, y el desarrollo radical de la cactácea es superficial (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991); la mayoría se encontraban aisladas. Se encontraron escasas relaciones de nodricismo entre los tetechos y las leguminosas del lugar.

El cuadrante dos, tuvo una inclinación mayor a los 30°, con un suelo más o menos pedregoso y en apariencia arenoso; en la parte baja se pudieron observar relaciones de nodricismo muy marcadas de leguminosas con *N. tetetzo*. Se encontraron cactáceas de diversos tamaños.

En el cuadrante tres, la pendiente fue de alrededor de 10°, con un suelo muy pedregoso y con presencia de rocas fosilíferas, el suelo era muy duro y en apariencia menos arenoso y la zona presentó más vegetación que la zona anterior. Abundaban los matorrales de *Mimosa* y *Prosopis* y se encontraron tetechos de varias alturas. La mayoría de las cactáceas encontradas fueron de 1.5 a 2 m de alto.

En el cuadrante cuatro, se observó un suelo con similar pedregosidad y dureza al cuadrante tres, sin embargo, no se encontraron rocas fosilíferas. La vegetación era más espaciada y los arbustos de *Mimosa* y *Prosopis* eran escasos a diferencia de los cuadrantes anteriores.

En la zona erosionada, debido a la poca cantidad de vegetación presente (Figura 3), no fue posible hacer cuadrantes, por lo que se realizó el muestreo dirigiéndose a las plantas por separado y asociaciones encontradas en el lugar. La zona se caracterizó por tener islas de fertilidad en donde algunas plantas podían subsistir. Éstas estaban mantenidas por

asociaciones de leguminosas arbóreas y cactáceas. Ocasionalmente se encontraban aisladas y esparcidas por la zona. En éstas islas, las raíces de leguminosas como *Prosopis*, *Cercidium* y *Mimosas* entre otras, retienen el suelo evitando su erosión.

La zona presentaba una pérdida del suelo apreciable a simple vista. La cobertura vegetal estaba reducida a algunas plantas.

10.2 Época y zonas de muestreo

10.2.1 Metodología de campo

Se realizaron dos muestreos en época de secano y dos en época de lluvias, en una zona no erosionada y una zona erosionada, ubicadas al Sureste del Jardín Botánico de Zapotitlán de las Salinas.

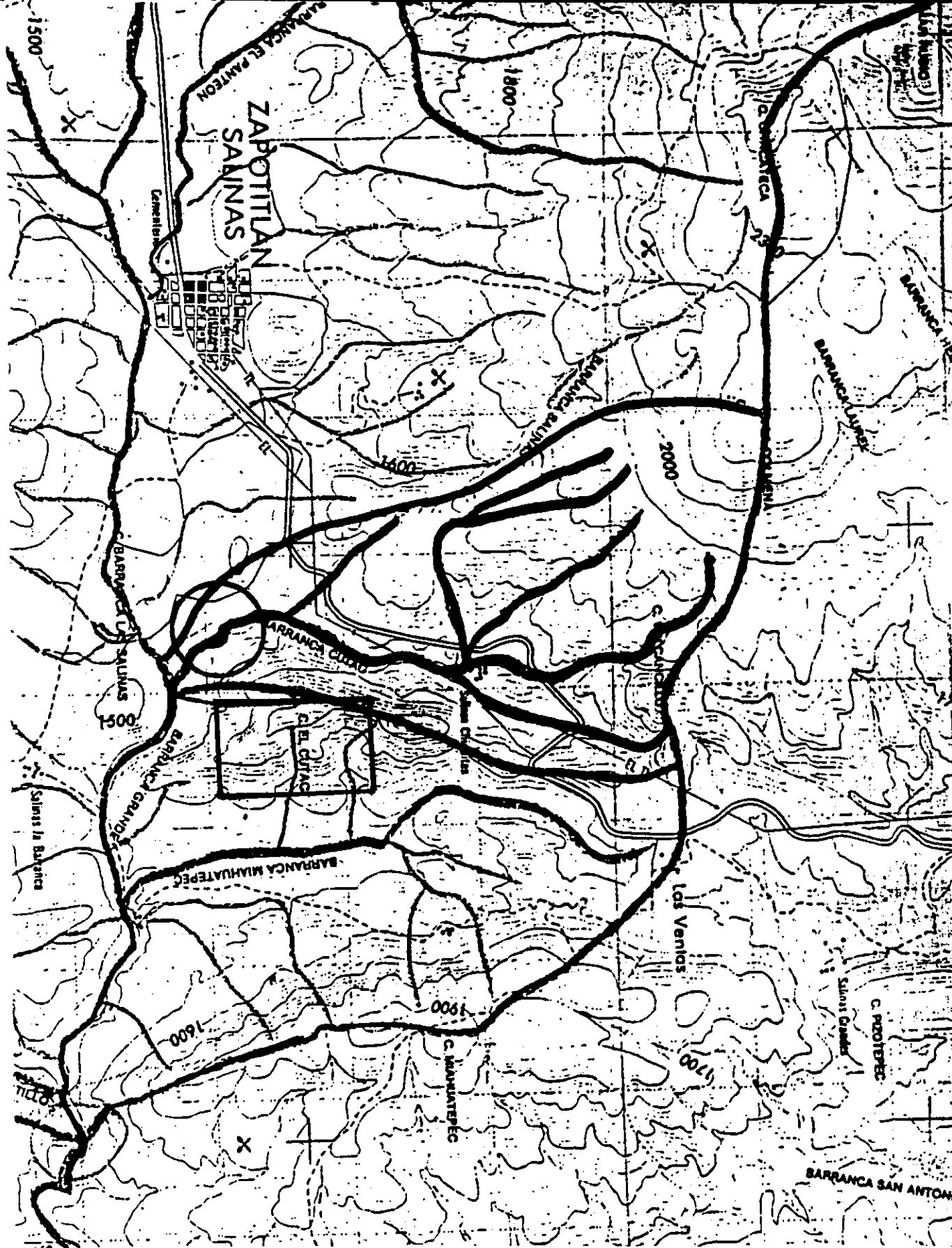
En la zona no erosionada, se muestrearon cuatro cuadrantes de 10x10 m, en laderas donde se encuentra la comunidad de tetecheras. Se tomaron muestras de suelo rizosférico y de raíces de individuos elegidos en cada cuadrante, como son *N. tetetzo*, *Prosopis laevigata*, *Mimosa luisana* y la relación de nodricismo de la cactácea con las leguminosas a una profundidad de 30 cm aproximadamente. De acuerdo con la dificultad de tener individuos homogéneos de una sola especie de leguminosas arbóreas en algunos cuadrantes, al momento del muestreo se colectaron raíces de éstas de manera no específica, aisladas y en asociación con la cactácea. Se marcaron a los organismos y se realizó un conteo por cada cuadrante para calcular su frecuencia.

En cuanto a la zona erosionada se realizó un muestreo dirigido y se tomaron muestras de dos organismos de *N. tetetzo*, leguminosas arbóreas y la relación de nodricismo, seleccionando las cactáceas de entre 0.5 y 3 metros de altura, asociadas con las leguminosas. Se tomaron muestras de suelo rizosférico y raíces a una profundidad de 10 cm, aproximadamente. Se marcaron los individuos para los siguientes muestreos.

Todas las muestras fueron guardadas en bolsas de plástico para su transportación y posterior procesamiento de las raíces y suelo.

10.3 Análisis físicos químicos del suelo

Se realizó una mezcla de siete muestras compuestas de la zona erosionada y 10 de la zona no erosionada, las que se analizaron en el laboratorio de Fertilidad de Suelos, del Colegio de Postgraduados-IRENAT, con los métodos normalizados (Etchevers, 1988). Se realizó la



La zona de estudio se localiza en el sudeste del estado de Puebla y noroeste de Oaxaca entre los 17°39' y los 18°53' de latitud Norte y los 96°55' y 97°44' de longitud Oeste.



Zona no erosionada



Zona erosionada

determinación de pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno estimado, fósforo, potasio, calcio y textura.

10.4 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico de tipo factorial. Un análisis de varianza y prueba de Tukey con un α del 0.05

10.5 Estudio microbiológico

10.5.1 Metodología para los grupos microbianos

Se realizó la mezcla de las muestras de plantas afines de los cuatro cuadrantes en la zona no erosionada; así como en las muestras de la zona erosionada, con el fin de que la muestra compuesta fuera representativa de cada zona. Esta mezcla se realizó con el fin de que los resultados del análisis microbiológico dieran una visión general de la microbiota de cada zona y esto pudiera relacionarse con el grado de fertilidad en cada una de ellas.

La determinación de las poblaciones de bacterias totales, bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos y hongos filamentosos, se realizó mediante la técnica de dilución y rastrilleo en placa (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1993).

Los medios de cultivo utilizados fueron: medio de Rennie (1981) para bacterias fijadoras de nitrógeno, agar nutritivo para bacterias totales, agar Czapeck-Dox (marca MERCK®) para actinomicetos y agar de papa dextrosa para hongos filamentosos (marca MERCK®).

Una vez realizados los medios se procedió a seguir la siguiente metodología:

10.5.1.1 Método de dilución y rastrilleo en placa.

Se pesaron 10 g de suelo rizosférico y se agregaron a una botella de dilución con 90 mL de agua destilada estéril. Se agitó por un periodo de 10 minutos y se hicieron diluciones de 10^{-2} hasta 10^{-6} . Se inoculó 0.1 mL de las siguientes diluciones por quintuplicado en los medios correspondientes:

- A) Medio PDA-rosa de bengala para hongos, con diluciones de 10^{-2} a 10^{-4}
- B) Medio Czapek-Dox para actinomicetos, con diluciones de 10^{-3} a 10^{-5}
- C) Medio carbón combinado para bacterias fijadoras de Nitrógeno, con diluciones de 10^{-3} a 10^{-5}
- D) Medio Agar nutritivo para bacterias totales*, con diluciones de 10^{-4} a 10^{-6}

Se distribuyó homogéneamente la alicuota con una varilla de vidrio con un ángulo de 90°, al extremo se flameó la varilla con alcohol al 95% antes de hacer una nueva distribución de la alicuota (Figura 8). Las placas se mantuvieron en incubación a una temperatura de 28°C de 3 a 7 días para su revisión y cuenta de las colonias desarrolladas. En las placas de medio Czapek-Dox, para actinomicetos, la cuenta se realizó a los 7 días de incubación. Las placas con los medios PDA, agar nutritivo y carbón combinado, se incubaron de 3 a 5 días, porque si se prolonga el período de incubación las colonias presentan la tendencia a confluir.

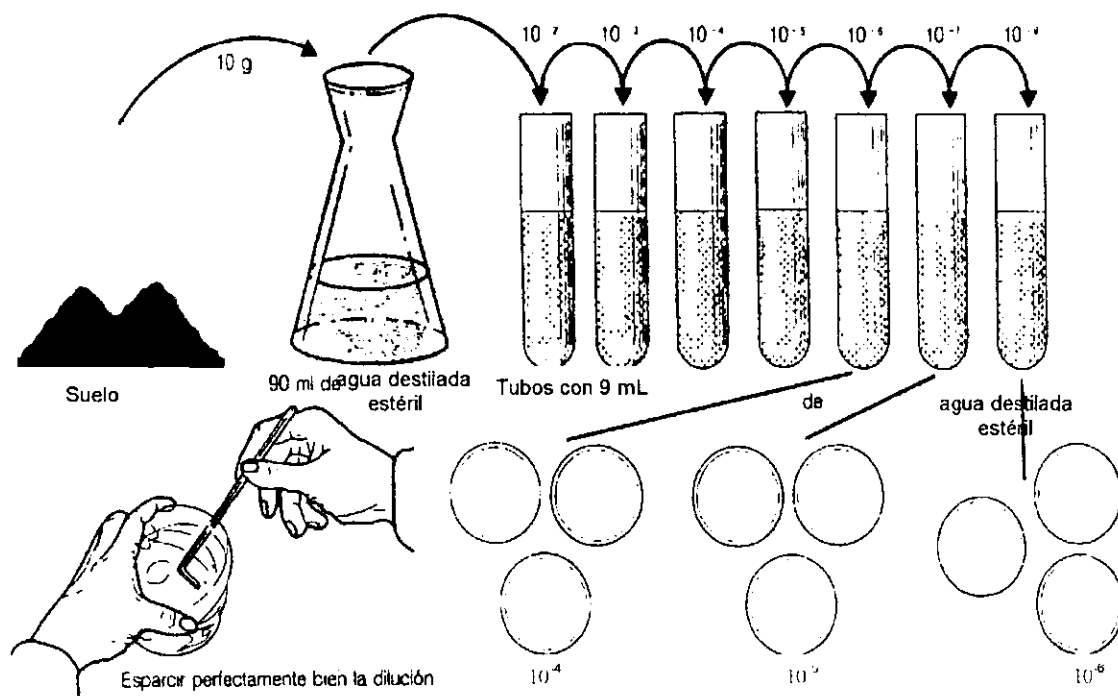


Figura 8. Método de dilución y rastrilleo en placa, según Ferrera-Cerrato *et al.* 1993.

Las placas seleccionadas para hacer las cuentas de colonias fueron aquellas que tuvieron entre 30 y 80 colonias por placa (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1993).

* Se manejó el término de Bacterias Totales como sinónimo del número de unidades formadoras de colonia en el medio Agar nutritivo.

* Las poblaciones microbianas fueron determinadas con base a gramos de suelo seco. Para esto, se determinó el porcentaje de humedad de las muestras. Se pusieron 10 g de suelo de cada muestra en estufa a 110°C por 72 hrs. Posteriormente se transformaron los datos por la siguiente fórmula:

$$(n \text{ UFC} \times 10^n) 10 / n \text{ g suelo seco} = n \text{ UFCg}^{-1} \text{ suelo seco}$$

n = número que puede variar según la cantidad de la muestra

$\times 10^n$ = número exponencial que puede variar según la muestra a utilizar

UFC = unidad formadora de colonia

UFCg⁻¹ = unidad formadora de colonia en gramo de suelo seco

10.5.2 Evaluación de la Colonización Endomicorrízica

La colonización micorrízica se evaluó de acuerdo con la metodología de clareo y tinción descrita por Phillips y Hayman (1970).

10.5.2.1 Clareo y tinción de raíces

Las raíces de cada muestra, se lavaron con agua corriente y se colocaron en cápsulas esterilizables en un vaso de precipitados al que se agregó suficiente KOH al 10% para cubrir las. Se procedió a calentarlas por 10 minutos bajo 10 libras de presión (clareo). Las raíces de la cactácea fueron teñidas y clareadas en frío, se utilizó KOH al 5% y se alargaron los tiempos en cada proceso, ya que, por su consistencia, tienden a deshacerse con el calor.

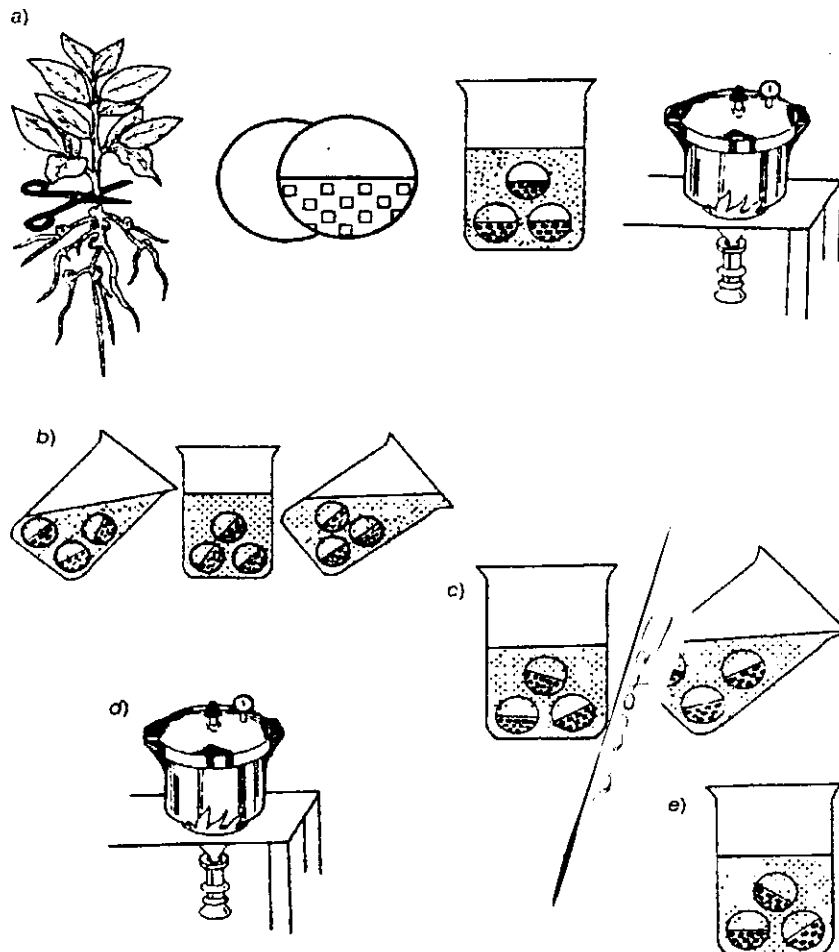


Figura 9. Procedimiento para el clareo y tinción de raíces, según Ferrera-Cerrato *et al.* 1993.

a) Clareo; b) Blanqueo; c) Acidificación; d) Tinción; e) Decoloración

El KOH se retiró y las cápsulas con las raíces se enjuagaron con agua corriente. Se agregó H₂O₂, grado comercial, en suficiente cantidad para que cubriera las raíces durante diez minutos, pasado ese tiempo, se procedió a enjuagar con agua destilada (blanqueo). Las raíces se cubrieron con HCl al 10% (acidificación) por tres a cinco minutos, se eliminó el ácido y, sin enjuagar, se procedió a la tinción. Las cápsulas que contenían las raíces se cubrieron con la solución colorante (azul tripano 0.05% en lactoglicerol) y se calentaron por 10 minutos a 10 libras de presión (tinción). El colorante se eliminó y se decoloraron las raíces con lactoglicerol limpio (decoloración) (Figura 9).

10.5.2.2 Determinación del porcentaje de colonización endomicorrízica

Se colocaron raíces aclaradas y teñidas en cajas de Petri con suficiente lactoglicerol. En un portaobjetos y con agujas de disección se colocaron 30 segmentos aproximadamente de 1 cm, en forma paralela. Sobre las raíces se adicionaron gotas de lactoglicerol, se colocaron los cubreobjetos y se eliminaron las burbujas (Figura 10).

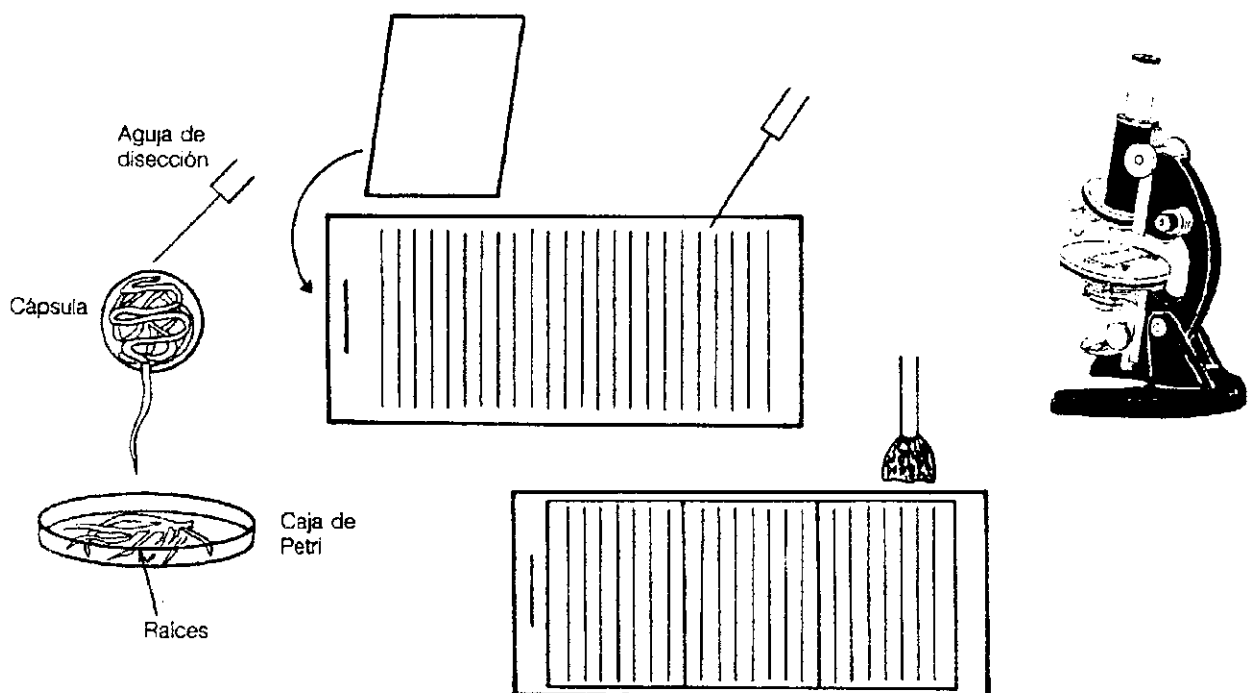


Figura 10. Procedimiento del montaje de laminillas, según Ferrera-Cerrato *et al*, 1993.

Para realizar la evaluación al microscopio con el aumento de 100x se efectuaron tres pasajes equidistantes por laminilla. Al revisar el campo óptico donde se encontró un segmento que contenía hifas, vesículas y/o arbusculos, independientemente de la intensidad de micorrización se dio el valor de uno para la evaluación total y por estructuras.

El porcentaje de colonización endomicorrizica por estructuras y el total, se obtuvo mediante las siguientes ecuaciones:

Porcentaje de colonización total	= $\frac{\text{número de segmentos colonizados}}{\text{numero de segmentos totales}} \times 100$
Porcentaje de colonización por vesículas	= $\frac{\text{numero de segmentos con vesículas}}{\text{numero de segmentos totales}} \times 100$
Porcentaje de colonización por arbusculos	= $\frac{\text{número de segmentos con arbusculos}}{\text{numero de segmentos totales}} \times 100$

Determinación de la colonización endomicorrizica por el método de Phillips y Hayman (1970).

10.5.2.3 Cuenta de esporas por 100 gramos de suelo

La cuantificación de esporas se realizó mediante el método de tamizado y decantación de Gerdemann y Nicholson, (1963) (Figura 11).

Se diluyeron 100 g de suelo rizosférico en 1000 mL de agua, se agitó mecánicamente durante tres minutos. Se dejó reposar de 10 a 15 minutos con la finalidad de eliminar partículas grandes por sedimentación. La suspensión se pasó a través de una serie de tamices de 325, 150 y 30 micrómetros. Se agregó agua al decantado y la operación se repitió de tres a cuatro veces mas. La fracción de suelo obtenida en cada tamiz se filtró y depositó en papel filtro cuadrículado para su cuantificación en microscopio estereoscópico.

El resultado se dio en número de esporas por cien gramos de suelo seco.

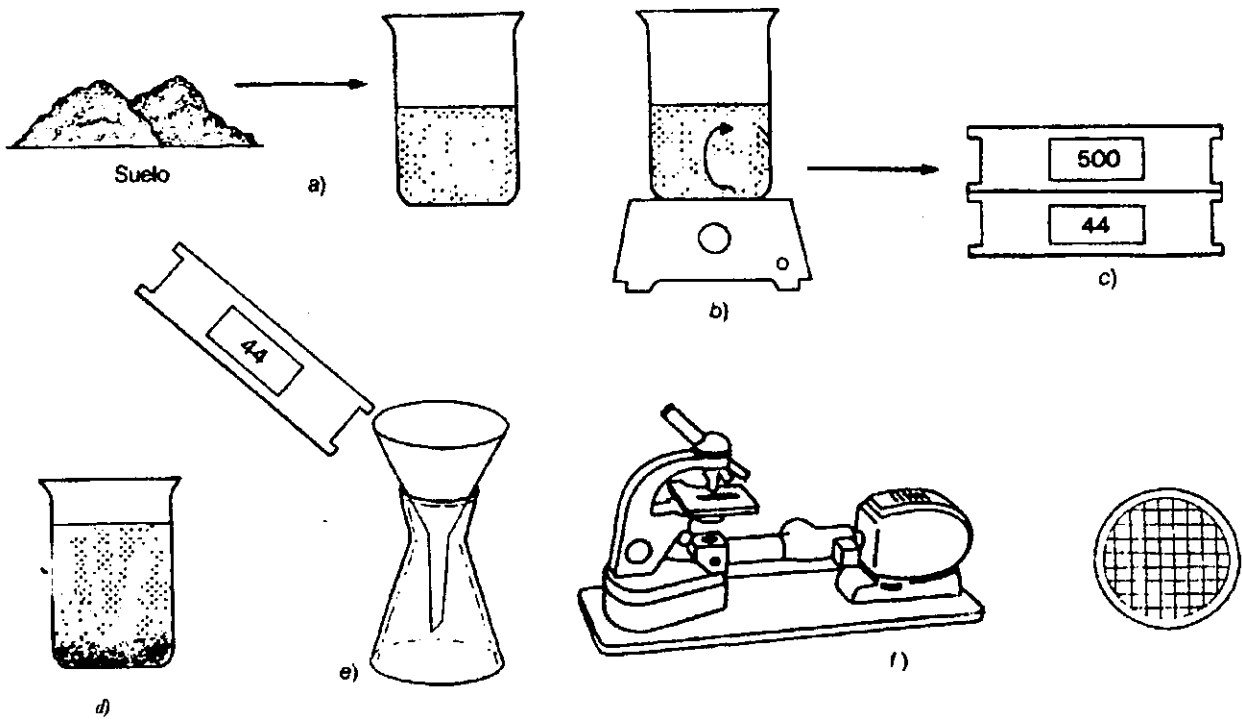


Figura 11. Procedimiento de tamizado y decantación. a) se pesan 100g de suelo y se agregan a 1000 ml de agua b) agitación y decantación por 15 min. c, d) el decantado se pasa por una serie de tamices e) el tamizado se filtra en papel filtro cuadrado f) se realiza la cuenta en microscopio estereoscópico (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1993)

XI. RESULTADOS

Debido a que se encontró una alta variabilidad en los datos, la interpretación de éstos se basó más en los resultados que en el análisis estadístico.

11.1 Frecuencia de Especies Vegetales

En el cuadro 1, podemos observar que en todos los cuadrantes el número de cactáceas fue mayor. En el cuadrante uno, la cantidad de leguminosas arbóreas fue intermedia y únicamente se encontraron dos relaciones de nodricismo. La vegetación era mas espaciada y los arbustos de *Mimosa* y *Prosopis* eran escasos a diferencia de los otros cuadrantes. Se pudo observar una superficie del suelo poco pedregosa. Dominaban las cactáceas de *N. tetetzo* de tamaños grandes, algunos de ellos de más de 4 m, la mayoría se encontraron aislados.

Cuadro 1. Frecuencia de leguminosas arbóreas (La.), *N. tetetzo* y su relación en los cuadrantes de la zona no erosionada.

Cuadrante	Muestra	No. de Individuos
1	Leguminosas arbóreas	8
	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	21
	La. + <i>N. tetetzo</i>	2
2	Leguminosas arbóreas	17
	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	16
	La. + <i>N. tetetzo</i>	5
3	Leguminosas arbóreas	14
	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	33
	La. + <i>N. tetetzo</i>	14
4	Leguminosas arbóreas	8
	<i>Neobuxbaumia tetetzo</i>	27
	La + <i>N. tetetzo</i>	6

En el cuadrante 2, se encontraron cinco relaciones de nodricismo. Este cuadrante tuvo un suelo más o menos pedregoso y en apariencia arenoso; en la parte baja se pudieron observar relaciones muy marcadas de leguminosas arbóreas con *N. tetetzo*. En ésta zona se encontraron cactáceas de *N. tetetzo* de diversos tamaños.

En el cuadrante 3, el número de leguminosas arbóreas fue el mismo que el de relaciones de nodricismo. En este cuadrante se observó un suelo con similar pedregosidad y dureza que el cuadrante 4. No se encontraron rocas fosilíferas y la zona presentó más vegetación que el cuadrante anterior. Abundaban los matorrales de *Mimosa* y *Prosopis*, y se encontraron tatechos de varias alturas.

En el cuadrante 4, las leguminosas arbóreas obtuvieron el valor intermedio y se encontraron 6 relaciones de nodricismo. En éste caso la pendiente del cuadrante fue de alrededor de 10°, con un suelo muy pedregoso y con presencia de rocas fosilíferas, el suelo era duro y de apariencia menos arenoso. La mayoría de las cactáceas encontradas fueron de 1.5 a 2 m de alto.

11.2 Características Físicas y Químicas del Suelo.

En el Cuadro 2 se pueden observar marcadas diferencias entre ambas zonas; en él se muestra que en todas la determinaciones realizadas, la zona no erosionada obtuvo valores mayores que en la zona erosionada, con excepción en los contenidos de arena y limo, en donde la zona erosionada obtuvo los mayores porcentajes. El pH de ambas zonas fue alcalino; sin embargo, la zona no erosionada fue aún más alcalina que la zona erosionada. El contenido de materia orgánica y nitrógeno estimado también fueron mayores en la zona no erosionada.

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los suelos de zonas no erosionada y erosionada.

Identificación	pH 1:2 H ₂ O	CE 1:5 H ₂ O (dSm ⁻¹)	M.O. (%) Walkley -Black	N* (%)	P Olsen mg Kg ⁻¹	K NH ₄ Oac 1 N pH 7 meq/100g	Ca	Textura			Clasificación Textural
								arena	limo	arcilla	
Zona no erosionada	8.8	1.15	4.8	0.24	9	0.4	25.0	13	36	51	Arcilla
Zona erosionada	7.8	0.13	1.1	0.05	7	0.2	16.6	17	48	35	Franco arcillo limoso

* Estimado.

11.3 Análisis Microbiológico por zonas y en épocas de secano y lluvias.

En general se observó una drástica disminución en la cantidad de microorganismos de la zona erosionada en comparación con la zona no erosionada (Cuadro 3). Las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno y bacterias totales fueron mayores en la zona no erosionada. Lo mismo sucedió con la cantidad de actinomicetos, mientras que la cantidad de hongos fue menor.

En cuanto a la zona erosionada, se puede observar que las poblaciones de bacterias totales y fijadoras de nitrógeno fueron mayores en comparación con las poblaciones de hongos y actinomicetos. Se observó que en la zona erosionada la población de microorganismos es mucho menor que en la zona no erosionada. Esta situación no varió cuando se analizaron los valores correspondientes a la época de secano y lluvias por separado (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 3. Cantidad de microorganismos UFC por g⁻¹ de suelo seco en zonas erosionada y no erosionada.

Zonas	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
No Erosionada*	210.9 x 10 ⁵ a	253.4 x 10 ⁴ a	172.23 x 10 ⁴ a	13.72 x 10 ³ a
Erosionada**	4.90 x 10 ⁵ b	28.65 x 10 ⁴ b	3.97 x 10 ⁴ b	2.89 x 10 ³ b
DMS	166.26	91.13	44.91	4.57

DMS=Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales; B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno; UFC= unidades formadoras de colonias. *n=26, **n=30

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

En época de secano (Cuadro 4), la población de bacterias totales fue mayor (440.3×10^5) que la de actinomicetos (297.86×10^4) y hongos (13.57×10^3) dentro de la zona no erosionada, mientras que en la zona erosionada se repitió éste patrón, cuya disminución fue significativa ($P < 0.05$) para las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos y hongos.

Cuadro 4. Cantidad de microorganismos UFC por g⁻¹ de suelo seco en zonas erosionada y no erosionada, en época de Secano.

SECANO				
Zonas	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
Zona No Erosionada*	440.3 x10 ⁵ a	475.0 x10 ⁴ a	297.86 x10 ⁴ a	13.57 x 10 ³ a
Zona Erosionada**	5.70 x10 ⁵ b	9.79 x10 ⁴ b	4.93 x10 ⁴ b	1.47 x10 ³ b
DMS	330.84	105.25	46.98	3.54

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales; B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno; UFC= unidades formadoras de colonias. *n=12, **n=15
 Tukey α =0.05 Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la zona erosionada, en época de lluvias (Cuadro 5), se observó que la población mayor fue la de bacterias fijadoras de nitrógeno (47.52x10⁴) seguida por la población de bacterias totales (41.3x10⁴) y hongos (4.30x10³), en este caso la población de actinomicetos fue la menor (3.01x10⁴). Únicamente las poblaciones de bacterias totales y actinomicetos fueron significativamente diferentes (P<0.05) entre ambas zonas en época de lluvias. En tanto, en la zona no erosionada se observó que la población de bacterias totales fue la mayor (143.1x10⁴), seguida por la cantidad de actinomicetos (25.66x10⁴), bacterias fijadoras de nitrógeno (15.91x10⁴), y la población de hongos fue la menor (13.90x10³).

Cuadro 5. Cantidad de microorganismos UFC por g⁻¹ de suelo seco en zonas erosionada y no erosionada, en época de lluvias.

LLUVIAS				
Zonas	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
No Erosionada*	143.1 x 10 ⁴ a	15.91 x 10 ⁴ a	25.66 x 10 ⁴ a	13.90 x 10 ³ a
Erosionada**	41.3 x 10 ⁴ b	47.52 x 10 ⁴ a	3.01 x 10 ⁴ b	4.30 x 10 ³ b
DMS	45.2	32.27	6.34	7.34

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales; B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno; UFC= unidades formadoras de colonias. *n=14, **n=15
 Tukey α =0.05 Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

11.4 Variación de las poblaciones de microorganismos en las dos épocas.

En la época de secano (Cuadro 6), se encontró mayor población de microorganismos que en época de lluvias, siendo estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos. Además se observó que en época de secano, las poblaciones mayores fueron las de bacterias totales (198.85×10^5) y bacterias fijadoras de nitrógeno (242.43×10^4). Sin embargo, la población de hongos fue mayor en época de lluvias para ambas zonas, aunque los valores no fueron estadísticamente diferentes entre ellas ($P < 0.05$).

Cuadro 6. Cantidad de microorganismos UFC por g^{-1} de suelo seco en épocas de secano y lluvias.

Epoca	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
Secano*	198.85×10^5 a	242.43×10^4 a	146.34×10^4 a	7.31×10^3 a
Lluvias**	9.05×10^5 b	32.26×10^4 b	13.08×10^4 b	8.57×10^3 a
DMS	165.94	91.13	44.82	4.56

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales. B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno. UFC= unidades formadoras de colonias. *n=27, **n=29

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes

En el cuadro 7, se observa que en la zona no erosionada las poblaciones de microorganismos fueron mayores en época de secano, con excepción de la población de hongos filamentosos. En esta misma época, la mayor población correspondió a bacterias totales (440.3×10^5), seguida por la población de bacterias fijadoras de nitrógeno (475.07×10^4) y actinomicetos (297.86×10^4). La población de hongos fue la menor (13.57×10^3) en contraste, en la época de lluvias la cantidad de bacterias totales fue la mayor (14.3×10^5), seguida por las poblaciones de actinomicetos (25.67×10^4), bacterias fijadoras de nitrógeno (15.91×10^4); en éste caso, la población de hongos, también fue la menor (13.90×10^3). Únicamente la población de hongos no fue significativamente diferente ($P < 0.05$).

Cuadro 7. Cantidad de microorganismos UFC por g⁻¹ de suelo seco en la zona no erosionada, en épocas de secano y lluvias.

ZONA NO EROSIONADA				
Época	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
Secano*	440.30 x 10 ⁵ a	475.07 x 10 ⁴ a	297.86 x 10 ⁴ a	13.57 x 10 ³ a
Lluvias**	14.30 x 10 ⁵ b	15.91 x 10 ⁴ b	25.67 x 10 ⁴ b	13.90 x 10 ³ a
DMS	341.9	110.51	51.64	9.95

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales; B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno; UFC= unidades formadoras de colonias. *n=12, **n=14

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

La zona erosionada presentó mayor cantidad de bacterias totales (56.6×10^4) en época de secano (Cuadro 8), seguida de la población de bacterias fijadoras de nitrógeno (9.79×10^4) y actinomicetos (49.2×10^3). La población de hongos filamentosos fue la menor (14.7×10^2), también se observa que en época de lluvias la población de bacterias fijadoras de nitrógeno fue la mayor (47.52×10^4), seguida de la población de bacterias totales (41.3×10^4) y hongos filamentosos (43.0×10^2), mientras que la población de actinomicetos fue la menor (30.1×10^3).

Cuadro 8. Cantidad de microorganismos UFC por g⁻¹ de suelo seco en la zona erosionada en época de secano y lluvias.

ZONA EROSIONADA				
Época	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
Secano	56.6 x 10 ⁴ a	9.79 x 10 ⁴ b	49.2 x 10 ³ a	14.7 x 10 ² b
Lluvias	41.3 x 10 ⁴ b	47.52 x 10 ⁴ a	30.1 x 10 ³ a	43.0 x 10 ² a
DMS	11.1	29.34	21.4	10.6

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales; B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno. UFC= unidades formadoras de colonias. n=15.

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

11.5 Variación de las poblaciones en los diferentes microambientes de ambas zonas en las rizosferas de leguminosas arbóreas, *N. tetetzo* e interrizarosfera

Se encontró mayor número de microorganismos en la rizosfera de leguminosas arbóreas, en comparación con *N. tetetzo* y la interrizarosfera formada por la interacción de las raíces de ambas plantas; en especial, la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo mayor cantidad de bacterias totales (226.4×10^5) (Cuadro 9).

El número de microorganismos en la interrizarosfera fue intermedio, además de que el número de bacterias totales fue menor (14.1×10^5) (Cuadro 9). Sin embargo, las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno (161.43×10^4), hongos (79.5×10^2) y actinomicetos (85.06×10^4) también ocuparon un valor intermedio en comparación con las rizosferas de leguminosas arbóreas y *N. tetetzo*.

La cactácea sola obtuvo un valor intermedio de bacterias totales (47.2×10^5), pero en las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno (63.04×10^4), hongos (38.1×10^2) y actinomicetos (73.44×10^4), obtuvo el menor número de microorganismos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cantidad total de microorganismos UFC por g^{-1} de suelo seco en las rizosferas de leguminosas arbóreas, *N. tetetzo* e interrizarosfera

Muestra	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
Leguminosas arbóreas (La)*	226.4×10^5 a	189×10^4 a	87.20×10^4 a	11.58×10^3 a
<i>N. tetetzo</i> **	47.2×10^5 a	63.04×10^4 a	73.44×10^4 a	38.1×10^2 b
La + <i>N. tetetzo</i> **	14.1×10^5 a	161.43×10^4 a	85.06×10^4 a	79.5×10^2 a, b
DMS	244.52	134.18	66.05	67.2

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales; B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno; UFC= unidades formadoras de colonias. *n=20, **n=18

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes

En general, al comparar la zona no erosionada con la zona erosionada (Cuadro 10), en la erosionada las poblaciones de microorganismos disminuyeron drásticamente; principalmente la de actinomicetos. En la zona no erosionada, la muestra de leguminosas arbóreas, presentó mayor cantidad de UFC en la rizosfera, la población de bacterias totales (448.1×10^5) fue seguida de las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno (313.64×10^4), actinomicetos (168.90×10^4) y hongos filamentosos (19.60×10^3). En la muestra de *N. tetetzo*, la mayor población microbiana correspondió a bacterias totales (99.9×10^5), seguida por la población de

actinomicetos (160×10^4), bacterias fijadoras de nitrógeno (113.89×10^4), y hongos filamentosos (6.20×10^3). En cuanto a la muestra de la interrizosfera, se observó que las bacterias fijadoras de nitrógeno presentaron mayor densidad (318.73×10^4), seguida por las poblaciones de bacterias totales (25.5×10^5), actinomicetos (188.62×10^4) y hongos (13.91×10^3).

Si comparamos las muestras de leguminosas arbóreas, *N. tetetzo* y su interrizosfera, se observa que la muestra de leguminosas arbóreas, presentó mayores poblaciones de bacterias totales y hongos filamentosos, en cambio en las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos, obtuvo el valor intermedio. *N. tetetzo*, mostró las menores poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos y hongos filamentosos; y obtuvo el valor intermedio en bacterias totales. En cuanto a la interrizosfera, se observa con mayores poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos, mientras que en la población de hongos filamentosos obtuvo el valor intermedio y en la población de bacterias totales obtuvo menor número.

Cuadro 10. Cantidad de microorganismos UFC por g^{-1} de suelo seco en las zona no erosionada y erosionada.

	Muestra	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
ZONA NO EROSIONADA	La *	448.1×10^5 a	313.64×10^4 a	168.90×10^4 a	19.60×10^3 a
	<i>N. tetetzo</i> **	99.9×10^5 a	113.89×10^4 b	160.00×10^4 a	6.20×10^3 a
	La + <i>N. tetetzo</i> **	25.5×10^5 a	318.73×10^4 a	188.62×10^4 a	13.91×10^3 a
	DMS	508.5	163.8	76.81	14.80
ZONA EROSIONADA	La *	46.3×10^4 a	64.55×10^4 a	55.0×10^3 a	35.7×10^2 a
	<i>N. tetetzo</i> *	50.9×10^4 a	17.28×10^4 b	42.0×10^3 b,a	19.1×10^2 b
	La + <i>N. tetetzo</i> *	49.8×10^4 a	4.13×10^4 b	22.1×10^3 b	31.9×10^2 b a
	DMS	16.5	43.44	31.7	15.7

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales; B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno. UFC= unidades formadoras de colonias; La= leguminosas arbóreas *n=10, **n=8
Tukey $\alpha=0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

En la zona erosionada, la muestra de leguminosas arbóreas tuvo mayor población de bacterias fijadoras de nitrógeno, seguida por la población de bacterias totales, actinomicetos y hongos filamentosos (Cuadro 10). En la muestra de *N. tetetzo*, se observó que la mayor población correspondió a bacterias totales seguida por las poblaciones de bacterias fijadoras

de nitrógeno, actinomicetos y hongos filamentosos. En cuanto a la interrizosfera, las bacterias totales mostraron mayor población, seguida por las bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos filamentosos y actinomicetos.

Al comparar las tres muestras entre sí, se observa que la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo mayores valores en las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos y hongos filamentosos; sin embargo, obtuvo el valor menor en la población de bacterias totales. *N. tetetzo*, presentó mayor cantidad de bacterias totales, y valores intermedios de las poblaciones de actinomicetos y bacterias fijadoras de nitrógeno, además de presentar la menor cantidad de hongos filamentosos. La interrizosfera, presentó los valores intermedios de la densidad de bacterias totales y hongos filamentosos, así como los valores menores de bacterias fijadoras de nitrógeno y de actinomicetos.

En época de secano (Cuadro 11), la muestra de leguminosas arbóreas tuvo mayor densidad de bacterias totales (436.8×10^5), seguida de las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno (313.25×10^4), actinomicetos (158.80×10^4) y hongos (50.4×10^2). *N. tetetzo*, también obtuvo el mayor valor de bacterias totales (90.0×10^5), seguida por la cantidad de actinomicetos (127.81×10^4), bacterias fijadoras de nitrógeno (94.35×10^4) y hongos filamentosos (52.6×10^2). En la interrizosfera, se observa que las bacterias fijadoras de nitrógeno presentaron mayor población (319.68×10^4), seguida por el número de bacterias totales (23.9×10^5), actinomicetos (153.09×10^4) y hongos filamentosos (121.2×10^2).

Al comparar las muestras entre sí, la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo mayor número de bacterias totales (436.8×10^5) y actinomicetos (158.80×10^4), en la población de bacterias fijadoras de nitrógeno obtuvo el valor intermedio (313.25×10^4) y el valor menor en la cantidad de hongos filamentosos (50.4×10^2). *N. tetetzo*, obtuvo el valor intermedio en la densidad de bacterias totales (90.0×10^5) y hongos filamentosos (52.6×10^2) mientras que, en el número de bacterias fijadoras (94.35×10^4) y actinomicetos (127.81×10^4), obtuvo el menor valor. La interrizosfera obtuvo mayor cantidad de bacterias fijadoras (319.68×10^4) y hongos filamentosos (121.2×10^2); su población de actinomicetos fue intermedia y obtuvo el valor menor en la cantidad de bacterias totales (23.9×10^5).

En época de lluvias (Cuadro 11), la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo mayor valor de bacterias totales (159.3×10^4), seguido por las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno (64.94×10^4) y hongos (181.3×10^2); mientras que en los actinomicetos, su número fue menor (15.60×10^4). La cantidad de bacterias totales, en *N. tetetzo*, fue mayor (44.8×10^4), seguido por bacterias fijadoras de nitrógeno (28.26×10^4) y actinomicetos (5.48×10^4), en tanto que los hongos mostraron menor población (20.1×10^2). En la interrizosfera, la mayor población

correspondió a bacterias totales (62.7×10^4), seguida de los actinomicetos (17.03×10^4), hongos (37.8×10^2) y en éste caso, las bacterias fijadoras de nitrógeno obtuvieron la menor cantidad (3.18×10^4). Al comparar las muestras entre sí, se observa que la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo el valor mayor de bacterias totales (159.3×10^4), así como la cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno (64.94×10^4) y hongos (181.3×10^2). La cantidad de actinomicetos fue intermedia (15.60×10^4). *N. tetetzo* obtuvo los valores intermedios de bacterias totales (44.8×10^4) y bacterias fijadoras de nitrógeno (28.26×10^4) y obtuvo densidades más bajas de actinomicetos (5.48×10^4) y hongos (20.1×10^2). En cuanto a la interrizosfera, el mayor número se observó en los actinomicetos (17.03×10^4) y valores intermedios en la cantidad de bacterias totales (62.7×10^4) y hongos filamentosos (37.8×10^2). En la población de bacterias fijadoras de nitrógeno obtuvo el valor menor (3.18×10^4).

Cuadro 11. Cantidad de microorganismos UFC por g^{-1} de suelo seco en épocas de secano y lluvias.

	Muestra	Bac. Tot.	B.F.N.	Actinomicetos	Hongos
SECANO	La *	436.8×10^5 a	313.25×10^4 a	158.80×10^4 a	50.4×10^2 b
	<i>N. tetetzo</i> **	90.0×10^5 a	94.35×10^4 b	127.81×10^4 a	52.6×10^2 b
	La + <i>N. tetetzo</i> **	23.9×10^5 a	319.68×10^4 a	153.09×10^4 a	121.2×10^2 a
	DMS	489.51	155.83	69.64	52.5
LLUVIAS	La *	159.3×10^4 a	64.94×10^4 a	15.60×10^4 a	181.3×10^2 a
	<i>N. tetetzo</i> **	44.8×10^4 b	28.26×10^4 b a	5.48×10^4 b	20.1×10^2 b
	La + <i>N. tetetzo</i> *	62.7×10^4 b	3.18×10^4 b	17.03×10^4 a	37.8×10^2 b
	DMS	67.1	47.84	9.39	108.7

DMS = Diferencia mínima significativa. Bac.Tot.= bacterias totales B.F.N.=bacterias libres fijadoras de nitrógeno UFC= unidades formadoras de colonias. La= leguminosas arbóreas. *n=10. **n=9
 Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

11.6 Colonización micorrízica

A) Por zonas no erosionada y erosionada

El porcentaje de colonización micorrízica en la zona erosionada fue menor con respecto a la zona no erosionada, pero no son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Sin embargo hubo mayor cantidad de vesículas en la zona erosionada, y menor cantidad de arbusculos (0.09%). En general, los porcentajes de colonización, cantidad de vesículas y arbusculos no fueron

estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). La zona erosionada también tuvo menor cantidad de esporas que la zona no erosionada (Cuadro 12).

Cuadro 12. Porcentajes de colonización micorrizica por efecto de las zonas no erosionada y erosionada.

Zona	% Colonización	% Vesículas	% Arbusculos	No. Esporas
No Erosionada*	55.12 a	2.78 a	1.60 a	15 391 a
Erosionada**	51.50 a	8.29 a	0.09 a	2 847 b
DMS	9.63	6.68	1.83	6 891.6

DMS = Diferencia mínima significativa. * $n=24$, ** $n=12$

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

La cantidad de esporas esta estimada en 100 g^{-1} de suelo seco.

B) Por estaciones

En la época de secano, la colonización hifal fue menor (50.11%) a la encontrada en época de lluvias (57.72%) (Cuadro 13). Pero la cantidad de vesículas fue mayor en época de sequía (5.63%), mientras que la cantidad de arbusculos aumentó en época de lluvias (2.19%), ya que en época de secano no hubo arbusculos presentes. En cuanto al número de esporas, ambas épocas no fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 13. Porcentajes de colonización por efecto de las épocas de Secano y Lluvias

Época	% Colonización total	% Vesículas	% Arbusculos	No. Esporas
Secano	50.11 a	5.63 a	0.00 b	11 103 a
Lluvias	57.72 a	3.60 a	2.19 a	11 316 a
DMS	9.082	6.30	1.72	6 497

DMS = Diferencia mínima significativa. $n=18$

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

La cantidad de esporas esta estimada en 100 g^{-1} de suelo seco.

C) Por microambiente

Las raíces de *N. tetetzo* mostraron mayor porcentaje de colonización (56.16%). Las raíces del nodricismo entre *N. tetetzo* y leguminosas arbóreas obtuvo el porcentaje intermedio (53.16%) y en la muestra de leguminosas arbóreas se presentó el menor porcentaje de colonización (52.41%) (Cuadro 14). La muestra de leguminosas arbóreas obtuvo mayor

porcentaje de arbusculos (1.99%) y vesículas (7.54%); *N. tetetzo* mostró valores intermedios y la interrizarosfera presentó el menor porcentaje de vesículas (2.95%) y arbusculos (0.63%). En cuanto al número de esporas, *N. tetetzo* presentó la cantidad menor (9 573 en 100g⁻¹), la rizosfera de las leguminosas arbóreas presentó el valor intermedio (11 063 en 100g⁻¹) y la interrizarosfera mostró la mayor cantidad de esporas (12 992 en 100g⁻¹).

Cuadro 14. Porcentajes de colonización por efecto de microambiente

Muestra	% Colonización total	% Vesículas	% Arbusculos	No. Esporas
La	52.41 a	7.54 a	1.99 a	11 063 a
<i>N. tetetzo</i>	56.16 a	3.36 a	0.66 a	9 573 a
La + <i>N. tetetzo</i>	53.16 a	2.95 a	0.63 a	12 992 a
DMS	13.49	9.36	2.56	9 651

DMS = Diferencia mínima significativa; La= leguminosas arbóreas. n=12

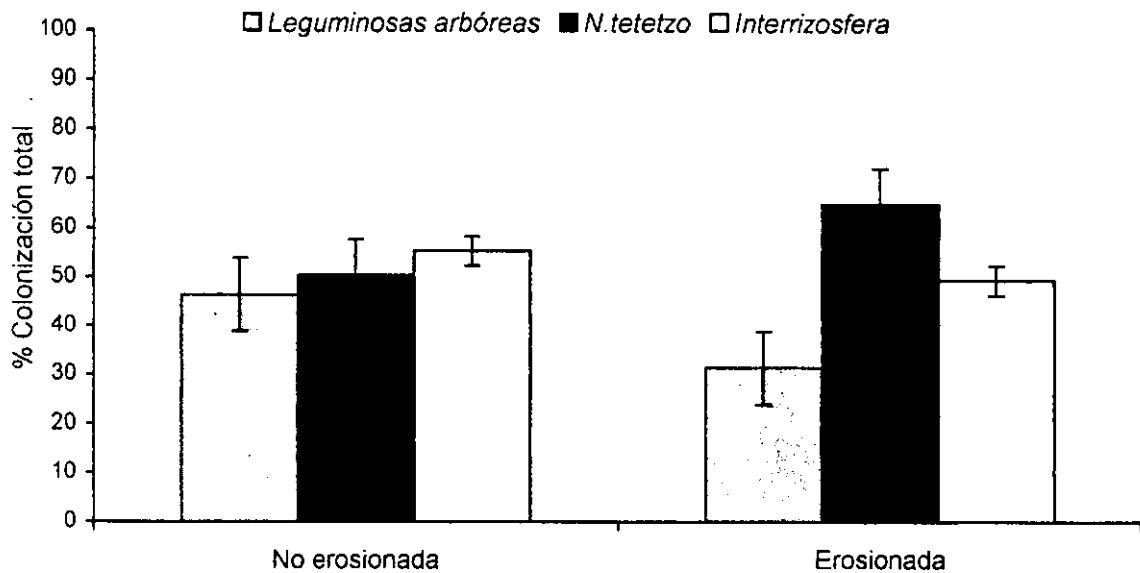
Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

La cantidad de esporas esta estimada en 100 g⁻¹ de suelo seco.

D) Por zonas en ambas épocas

En la zona no erosionada en época de secano, la interrizarosfera presentó mayores porcentajes de colonización (55.50%) y vesículas (4.55%), así como en el número de esporas (15,895 en 100g⁻¹). *N. tetetzo*, presentó los valores intermedios en porcentajes de colonización (50.50%) y vesículas (1.12%), mientras que el número de esporas determinadas presentaron el valor menor (13,503 en 100g⁻¹). La muestra de leguminosas arbóreas presentó el menor valor de colonización (46.50%) y vesículas (0.26%); sin embargo, mostró un valor intermedio en la cantidad de esporas (14,082 en 100g⁻¹). Cabe señalar que en ninguna de las muestras se encontraron arbusculos en ésta época (Cuadro 15 y Gráfica 1).

En la zona erosionada en época de secano *N. tetetzo* obtuvo mayor porcentaje de colonización (65%) y el mayor número de esporas (6,424 en 100g⁻¹). En la interrizarosfera se observaron valores intermedios de colonización (49.50%) y en el número de esporas (5,728 en 100g⁻¹); sin embargo no se encontraron vesículas en ésta muestra.



Gráfica 1. Porcentajes de colonización total en época de secano.

La muestra de leguminosas arbóreas obtuvo los valores menores en el porcentaje de colonización (31.50%) y el número de esporas (818 en $100g^{-1}$). Sin embargo, se cuantificó el mayor porcentaje de vesículas (33.25%), aunque no se encontraron arbusculos en ésta época (Cuadro 15 y Grafica 1).

En la zona no erosionada en época de lluvias, la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo los mayores porcentajes de colonización, vesículas y arbusculos, y el número de esporas fue intermedio. La interrizarosfera presentó porcentajes intermedios de colonización, vesículas y arbusculos; así como mayor en el número de esporas. *N. tetetzo* presentó menores porcentajes de colonización, vesículas y arbusculos, así como también el valor menor en el número de esporas (Cuadro 15 y Grafica 2).

Cuadro 15. Porcentajes de micorrización de ambas zonas en épocas de secano y lluvias.

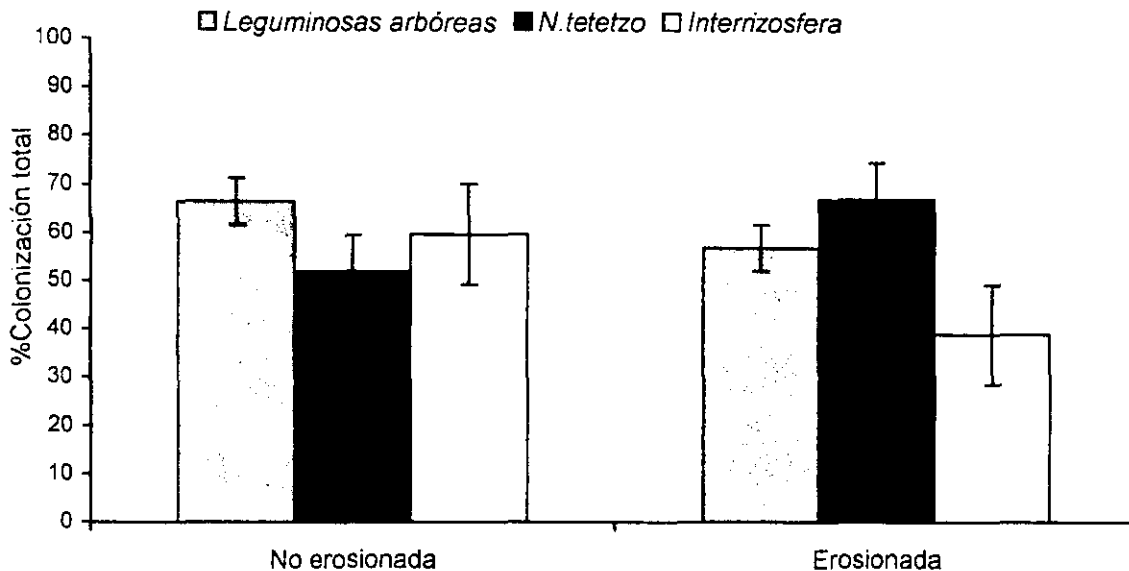
	Zona	Muestra	%Coloniz.total	% Vesículas	%Arbúsculos	No. Esporas
Época Seca		La	46.50 a	0.26 b	0.00 a	14 082 a
	Zona No Erosionada*	<i>N. tetetzo</i>	50.50 a	1.12 b	0.00 a	13 503 a
		La + <i>N. tetetzo</i>	55.50 a	4.55 b,a	0.00 a	15 895 a
		La	31.50 a	33.25 a	0.00 a	818 a
	Zona Erosionada**	<i>N. tetetzo</i>	65.00 a	5.60 b,a	0.00 a	6 424 a
		La + <i>N. tetetzo</i>	49.50 a	0 00 b	0.00 a	5 728 a
Época Lluvias		La	66.50 a	4.79 b,a	5.98 a	18 175 a
	Zona No Erosionada*	<i>N. tetetzo</i>	52.00 a	1 94 b	1.71 a	11 724 a
		La + <i>N. tetetzo</i>	59.75 a	4.03 b,a	1.90 a	18 965 a
		La	57.00 a	1 92 a	0.00 a	1 045 a
	Zona Erosionada**	<i>N. tetetzo</i>	67.00 a	8.43 b a	0.55 a	561 a
		La + <i>N. tetetzo</i>	39.00 a	0 56 b	0.00 a	2 509 a
	DMS		41.58	28.87	7.91	29 750

DMS = Diferencia mínima significativa; La = leguminosas arbóreas. *n=4, **n=2

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes

La cantidad de esporas esta estimada en 100 g^{-1} de suelo seco.

En la zona erosionada en época de lluvias, *N. tetetzo* presentó los porcentajes mayores de colonización (57%), vesículas (8.43%) y arbúsculos (0.55%); sin embargo, presentó el menor número de esporas (561 en 100 g^{-1}). La muestra de leguminosas arbóreas, obtuvo los porcentajes intermedios de colonización (57%), de vesículas (1.92%) y de número de esporas (1,045 en 100 g^{-1}). La interrizosfera, presentó los porcentajes menores de colonización (39%) y vesículas (0.56%). Sin embargo, obtuvo en mayor número de esporas (2,509 en 100 g^{-1}). No se detectaron arbúsculos en las muestras de leguminosas arbóreas ni en la interrizosfera (Cuadro 15 y Gráfica 2).



Grafica 2. Porcentajes de colonización total en época de lluvias.

È) Por cuadrante en cada zona

En el cuadro 16, se observa que las plantas que componen el cuadrante número uno, presentaron el mayor porcentaje de arbusculos (61%) y vesículas (4.47%). Sin embargo, en éste cuadrante no se encontraron arbusculos, y el número de esporas en 100 g de suelo, fue el menor (9,027 en 100g⁻¹). El cuadrante número dos, mostró mayor porcentaje de arbusculos (4.11%) y el segundo valor mayor de los porcentajes de vesículas (3.87%) y arbusculos (55.83%).

El cuadrante número tres, obtuvo el menor porcentaje de arbusculos (49.66%) y porcentajes intermedios de vesículas (1.69%) y arbusculos (0.58%). El número de esporas también fue intermedio (11,268 en 100g⁻¹). El cuadrante número cuatro, obtuvo el mayor número de esporas (27,707 en 100g⁻¹) y obtuvo porcentajes intermedios en arbusculos (54%) y arbusculos (1.70%), además de presentar el menor porcentaje de vesículas (1.09%).

En la cantidad de esporas se observó que el cuadrante cuatro fue estadísticamente diferente a todos los demás (P<0.05), ya que obtuvo la mayor cantidad de esporas. Los cuadrantes uno, dos y tres de la zona no erosionada no fueron estadísticamente diferentes entre sí (P<0.05), así como los cuadrantes uno y tres de la zona no erosionada y los cuadrantes uno y dos de la zona erosionada.

En el cuadro 16, se observa que en la zona erosionada, las plantas del cuadrante uno, presentaron el porcentaje de colonización mayor que las del cuadrante dos, así como el

número de esporas. Sin embargo, los porcentajes de vesículas y arbusculos fueron menores que en el cuadrante dos de esta zona.

Cuadro 16. Porcentajes de colonización en la zona erosionada y no erosionada, por efecto de cuadrante muestreado

Zona	Cuadrante	% Coloniz.total	% Vesículas	% Arbusculos	No. Esporas
No Erosionada	1	61.00 a	4.47 a	0.00 a	9 027 c,b
	2	55.83 a	3.87 a	4.11 a	13 561 b
	3	49.66 a	1.69 a	0.58 a	11 268 c,b
	4	54.00 a	1.09 a	1.70 a	27 707 a
Erosionada	1	53.50 a	4.05 a	0.00 a	2 977 c
	2	49.50 a	12.53 a	0.18 a	2 718 c
DMS		26.99	19.22	4.56	9 182

DMS = Diferencia mínima significativa. n=6.

Tukey $\alpha = 0.05$ Los resultados con la misma letra no son significativamente diferentes.

La cantidad de esporas esta estimada en 100 g^{-1} de suelo seco.

En la zona erosionada el muestreo fue dirigido debido a la escasez de plantas.

XII. DISCUSIÓN

12.1 Poblaciones de microorganismos

La mayor cantidad de nutrimentos y materia orgánica en la zona no erosionada se debe a que en ésta se encuentran presentes varios tipos de plantas, como son *Prosopis laevigata*, *Mimosa luisana*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Beaucarnea gracilis*, *Equinocactus bisnaga*, *Mammillaria elegans*, entre otras. Algunas de ellas, establecen relación con bacterias fijadoras de N, por lo que también se obtuvo mayor porcentaje estimado de nitrógeno (N) y fósforo (P), con respecto a la zona erosionada (Cuadro 2). Más del 99% del N total, del 33 al 67% del P total y alrededor del 75% del S total, se encuentran en la materia orgánica del suelo. La mayoría de los microorganismos obtienen su energía de la materia orgánica, así como el N para la formación de proteínas y otros micronutrimentos. De este mismo modo la materia

orgánica favorece las relaciones adecuadas de aire y humedad para muchos organismos del suelo (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). Los microorganismos del suelo, son influidos por los niveles de materia orgánica, este efecto se ve reflejado en los cuadros 3, 4, y 5 donde las poblaciones de microorganismos entre zonas siempre fueron mayores en la zona no erosionada que en la erosionada. Lo anterior se refleja en los resultados del contenido de materia orgánica y de textura pues se observó que en la zona no erosionada hubo mayor cantidad de materia orgánica en comparación con la zona erosionada, así como mayor cantidad de arcilla pero menores cantidades de arena y limo (Cuadro 2).

El contenido de arcilla en la zona no erosionada, fue mayor que en la zona erosionada, esto trae beneficios para el desarrollo de las plantas y microorganismos del suelo, por su capacidad de retención de agua, pero pueden inmovilizar importantes cantidades de fósforo (P) propiciando que no esté disponible para las plantas (Ruiz, 1995). Sin embargo, a pesar de esto, una de las funciones más importantes de los microorganismos es transformar éstos nutrimentos a formas disponibles para su absorción por las plantas. Esto indica que en esta zona, hay mayor disponibilidad de nutrimentos para las plantas que en la zona erosionada, lo que puede ser también una consecuencia de la diferencia en las cantidades de microorganismos encontrados en ambas zonas (Cuadros 3, 4 y 5). Conforme el contenido de arcillas aumenta, la capacidad de infiltración disminuye, esto favorece la pérdida del suelo por arrastre, especialmente en condiciones de lluvia muy intensa (Ruiz, 1995), aunque este proceso también ocurre cuando el suelo cuenta con escasa vegetación (Evans, 1980).

En el análisis físico y químico, los elementos analizados de la zona erosionada fueron menores en comparación con la zona no erosionada, esto puede ser consecuencia de la erosión pluvial que promueve la pérdida de fertilidad del suelo, principalmente por el arrastre de la materia orgánica, y con ello sales y nutrimentos necesarios para el desarrollo de la vegetación, y a su vez de los microorganismos del suelo.

La zona no erosionada resultó ser más alcalina que la zona erosionada. Debido a que en la zona erosionada las lluvias torrenciales se han llevado gran parte del suelo y las sales que contiene, así como también a la presencia de rocas fosilíferas de corales y bivalvos encontrados en la zona, lo que podría traer un aumento en la cantidad de sales como el calcio. Ruiz (1995), señala que los contenidos de calcio son generalmente mayores en suelos arcillosos que en suelos arenosos, lo que explica que el contenido de este elemento fuese mayor en la zona no erosionada ya que presentó mayor contenido de arcilla y menor contenido de arena en comparación a la zona erosionada (Cuadro 2).

Las poblaciones de bacterias totales (210.9×10^5) y bacterias fijadoras de nitrógeno

(253.40×10^4) fueron mayores en la zona no erosionada (Cuadro 3); esto puede atribuirse a que en ésta zona puede haber menor pérdida de humedad como consecuencia de la cantidad de vegetación en ella, así como de materia orgánica y textura menos arenosa del suelo (Alexander, 1981; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). Los residuos orgánicos en la superficie del suelo reducen el impacto en las gotas de lluvia y favorecen la infiltración lenta del agua. La escorrentía y la erosión se reducen, habiendo mayor cantidad de agua aprovechable para el mejor desarrollo de las plantas (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990) y de los microorganismos en general. La cantidad de materia orgánica en la zona (Cuadro 2) se debe a que ésta contiene mayor cobertura vegetal, lo que contribuye a una mejor disponibilidad de exudados radicales para los microorganismos, así como también a la actividad de la microfauna y microflora del suelo. Entre la microfauna del suelo se encuentran los protozoarios, éstos contribuyen en mantener mayor mineralización de la materia orgánica, a través de la depredación de bacterias (Rodríguez-Zaragoza, 1994). Por su parte, la microflora del suelo se alimenta de los exudados radicales producidos por las plantas de la zona, formándose así una cadena alimenticia. Cabe mencionar la presencia de los hongos micorrízicos en la zona (Cuadro 12); en este caso se sabe que los hongos micorrízicos arbusculares benefician a ciertas poblaciones bacterianas, ya que la micorriza promueve la agregación y estabilidad del suelo así como formar poros que suelen ser habitados por bacterias (Andrade *et al.*, 1998).

Por otra parte, en la zona no erosionada la cantidad de actinomicetos es alta (172.23×10^4); esto se debe a que las condiciones alcalinas favorecen su desarrollo vegetativo y las poblaciones son mayores en suelos con valores de pH de aproximadamente 6.5 a 8.0 (Cuadro 2) (Alexander, 1981). En contraparte, la cantidad de hongos fue menor (13.72×10^3); sin embargo, se sabe que son una parte significativa de la biomasa microbiana debido al diámetro de sus filamentos y a la extensa red de micelio que forman (Alexander, 1981; Wood, 1995).

En cuanto a la zona erosionada, se pudo observar que las poblaciones de bacterias totales y fijadoras de nitrógeno fueron mayores (4.9×10^5 y 28.65×10^4) en comparación con las poblaciones de hongos y actinomicetos. A pesar de que las condiciones alcalinas (Cuadro 2) favorecen el desarrollo vegetativo de las poblaciones de actinomicetos, se logró observar que en la zona erosionada (Cuadro 3) la población de éstos fue mucho menor (3.97×10^4) que en la zona no erosionada (172.23×10^4); esto pudiera atribuirse a la baja fertilidad de la zona (Cuadro 2) ya que ésta tuvo mayor cantidad de arena que favorece el incremento de la infiltración de agua (Cuadro 2), lo que pudiera ocasionar un lavado de nutrientes. La cantidad de hongos (UFC) varía directamente con el contenido de materia orgánica utilizable (Alexander, 1981), lo

cual explica la disminución de la población fúngica en la zona erosionada (2.89×10^3) en comparación con la zona no erosionada (13.72×10^3); ya que el contenido de materia orgánica, en la primer zona, es muy baja (Cuadro 2).

La drástica disminución en la cantidad de microorganismos de la zona erosionada, en comparación con la zona no erosionada (Cuadro 3), puede atribuirse a muchos factores, tales como diferencias físicas y químicas del suelo entre ambas zonas, así como por la presencia de mayor cantidad de materia orgánica y la textura del suelo en la zona no erosionada (Cuadro 2), lo que puede contribuir en la reducción de la pérdida de humedad en el suelo, así como también mayor grado de fertilidad. La materia orgánica es una de las principales fuentes de nitrógeno en el suelo y es una importante fuente de azufre, fósforo y otros micronutrientes, además de influir en la agregación de partículas del suelo, y mejorar su permeabilidad, aireación y resistencia a la erosión (Hasset y Banwart, 1992).

La escasez de materia orgánica en la zona erosionada y la textura del suelo (principalmente en la mayor y menor cantidad de arena y arcilla, respectivamente) contribuyen en mayor pérdida de humedad, así como disminución de la fertilidad en la zona, pues las pérdidas de agua por evaporación son mayores cuando se carece de residuos orgánicos en el suelo. Por otra parte, la retención de agua para suelos arenosos es menor que la de suelos arcillosos (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990), lo que contribuye también en menor disponibilidad de nutrientes para las plantas y los microorganismos en general, ya que ésta tuvo mayor cantidad de arena que favorece el incremento de la infiltración de agua (Cuadro 2). Esto pudiera ocasionar un lavado de nutrientes (Cuadro 8), ya que la cantidad de arena favorece la infiltración de agua (Cuadro 2). Todos estos factores de estrés, al que están expuestas las plantas ocasionan un desequilibrio en las poblaciones microbianas, lo que se reflejó en la disminución de las poblaciones de microorganismos; en la zona erosionada (Cuadro 3). Por el contrario, la cantidad de microorganismos de la zona no erosionada en época de secano fue mayor que en la zona erosionada (Cuadro 4).

En época de lluvias, la cantidad de microorganismos disminuyó en ambas zonas, en comparación con la época de secano, pero hubo un aumento de la cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno en la zona erosionada en comparación con la zona no erosionada (Cuadro 5). Las poblaciones de microorganismos restantes fueron mayores en la zona no erosionada. Esto pudiera deberse a la presión de depredación de otros microorganismos como los protozoarios sobre las poblaciones bacterianas, que pudo haberse suscitado en ambas zonas. Al comenzar la época de lluvias, las poblaciones de microorganismos comienzan a

reproducirse más rápidamente por el aumento en la de humedad en el suelo. El aumento de humedad, así como el desarrollo de las poblaciones bacterianas, ofrecen condiciones favorables para que las poblaciones de protozoarios aumenten por la disponibilidad de alimento. Se sabe que el mecanismo de depredación de protozoarios sobre bacterias de crecimiento explosivo (estrategas "r") provoca una disminución en las poblaciones bacterianas (Rodríguez-Zaragoza, 1999).

En cuanto a la cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno en la zona erosionada, cabe mencionar que estas poblaciones son bacterias denominadas de vida libre, ya que no están asociadas a ningún otro organismo. La alta cantidad de éstas en la zona erosionada puede, posiblemente, deberse a menor depredación por los protozoarios, ya que su selectividad de presas puede verse modificada por varias causas como el tamaño de las bacterias (Hahn & Höfle, 1999), entre otras. Se sabe que en algunos suelos bajos en nutrientes los microorganismos benéficos como *Azospirillum* y las micorrizas arbusculares, son importantes para el crecimiento de cactáceas como el cardón (*Pachycereus pringlei*) (Carrillo-García et al., 2000).

Cuando se compararon las poblaciones de microorganismos entre las dos épocas del año, hubo mayor cantidad de microorganismos en la época seca (Cuadro 6). Un factor que pudiera influir es la materia orgánica, ya que las cubiertas de residuos orgánicos bajan la temperatura del suelo en verano y lo conservan más caliente en invierno (Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990). Esto se reflejó en la cantidad de microorganismos encontrados, ya que las temperaturas de las zonas áridas son muy altas en época de secano, y sin embargo, la cantidad de microorganismos fue mayor (Cuadro 6). En cambio, en época de lluvias las temperaturas disminuyen y con el aumento de humedad en el suelo las poblaciones de bacterias se disparan en mayor cantidad; seguidas por las poblaciones de protozoarios. La cantidad de amibas que viven en la superficie radical cambia drásticamente entre estaciones, aumentando a más del doble después de las primeras lluvias (Rodríguez-Zaragoza y García, 1997). Los protozoarios (principalmente amibas de vida libre) son los principales depredadores de bacterias, principalmente cuando se encuentran en altas densidades (Rodríguez Zaragoza, 1994). Esto pudo influir en la cantidad de microorganismos encontrados, ya que fue menor en época de lluvias que en época de secano. Las mayores poblaciones correspondieron a de bacterias totales y bacterias fijadoras de nitrógeno. Por su parte, la población de hongos fue mayor en época de lluvias, aunque todas estas diferencias encontradas no fueron estadísticamente significativas. El mejoramiento en el estatus de humedad en el ambiente

favorece el número de hongos, de modo que el agua del suelo tiene un efecto directo sobre su abundancia y función (Alexander, 1981; Ortiz-Villanueva y Ortiz, 1990).

En la zona no erosionada, también hubo disminución de poblaciones de microorganismos en la época de lluvias (Cuadro 7), principalmente en bacterias totales, fijadoras de nitrógeno y actinomicetos.

Por muestra (Cuadro 9), se observó que hubo mayor número de microorganismos en la rizosfera de la muestra de leguminosas, que en la rizosfera de *N. tetetzo* y en la interrizarosfera formada por ambas plantas. Esto puede atribuirse a que se ha reportado mayor grado de fertilidad del suelo bajo la sombra de leguminosas arbóreas, que en los sitios adyacentes a éstos (Aggarwal *et al.* 1993; Carrillo-García *et al.*, 2000); haciendo de éste sitio un mejor lugar para el desarrollo de los microorganismos, a diferencia de la cactácea sola; en este caso, la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo mayor número de bacterias fijadoras de nitrógeno (189×10^4). La alta cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno se debe a que algunas de éstas establecen una simbiosis de tipo asociativa o no estricta, y que un efecto colateral además de fijar nitrógeno, sea también aumentar el número de pelos radicales. Estos se producen como respuesta a las sustancias promotoras de crecimiento secretadas por las bacterias colonizadoras de la raíz o por exudados radicales como reacción a la colonización (Okon y Kapulnik, 1986); lo que aumenta el volumen de exploración de suelo por raíces, facilitando la obtención de nutrimentos para la planta.

La cantidad de microorganismos en la interrizarosfera fue intermedia entre las leguminosas arbóreas y *N. tetetzo*, lo que pudiera deberse a un complemento de los productos exudados por ambas raíces. Otro factor que pudiera influir, es que al estar dos rizosferas de distintas especies en contacto, los tipos de exudados varíen en comparación con los de la rizosfera de la leguminosa sola, lo cual pudiese beneficiar, en mayor grado, a unas poblaciones de bacterias que a otras, lo que explicaría la baja población de bacterias totales encontradas (Cuadro 9). También el dosel de las leguminosas arbóreas proporcionan beneficios como aporte de materia orgánica (Cuadro 2), menor pérdida de humedad y un mayor grado de fertilidad y disponibilidad de nutrimentos.

En la interrizarosfera, la cactácea podría aumentar ligeramente la producción de exudados en su rizosfera, ya que las raíces de las cactáceas son almacenadoras de agua (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991) y alrededor de éstas pudiera aumentar, el porcentaje de humedad, así como la cantidad de materia orgánica que proporcionan las leguminosas arbóreas, provocando el incremento de las poblaciones de microorganismos. A su vez, todo lo anterior podría repercutir en la fisiología de las plantas, ocasionando así mayor cantidad de exudados

radicales, lo que propicia mayor actividad de los microorganismos de la interrzosfera. Se sabe que la materia seca y longitud de raíz del cardón (*Pachycereus pringlei*) aumentó según la calidad del suelo; y tuvo un mejor crecimiento cultivado en suelo de mezquite maduro (*Prosopis articulata*) (Carrillo-García *et al.*, 2000).

La cactácea sola obtuvo un valor intermedio de bacterias totales, pero obtuvo el valor menor en las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos y actinomicetos. Esto se debe, en parte, a su característica de almacenadoras de agua (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), por lo que el porcentaje de humedad pudiera aumentar ligeramente en la rizosfera alrededor de éstas, incrementando las poblaciones de bacterias. Cabe mencionar que en la base de las cactáceas, existen costras criptobióticas (asociaciones de briofitas y líquenes), éstas pueden mantener cierto equilibrio en la zona de la rizosfera, proporcionando protección y aumentando la estabilidad del suelo. Éstas previenen la evaporación del agua y disminuyen la temperatura de la superficie del suelo (Lange *et al.*, 1998; Zamfir *et al.*, 1999). Sin embargo, a pesar de haber un cierto equilibrio, tal vez la retención de humedad no sea suficiente, ya que la cactácea sola presentó menor población de fijadoras de nitrógeno, hongos y actinomicetos (Cuadro 9).

En la zona no erosionada, la muestra de leguminosas arbóreas obtuvo mayor población de bacterias totales y hongos filamentosos (Cuadro 10). Esto puede atribuirse a la cantidad de materia orgánica y menor pérdida de humedad debajo del dosel. La muestra de leguminosas arbóreas, obtuvo valores intermedios en la cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos. *N. tetetzo* mostró menores poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos y hongos filamentosos; la cantidad de bacterias totales obtuvo un valor intermedio. Esto puede atribuirse a que la cactácea sola puede estar sometida a mayor pérdida de humedad en su rizosfera; sin embargo, las diferencias en las poblaciones de microorganismos no fueron diferentes estadísticamente.

El mayor valor de bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos se obtuvo en la interrzosfera, el valor intermedio de hongos filamentosos y el menor en bacterias totales. Esto podría deberse a que al estar en contacto las raíces de la cactácea con las de la leguminosa, pudieran existir cambios en pH, cantidad y tipos de exudados. Así como también, tener mayor cantidad de materia orgánica debajo del dosel de las leguminosas, la actividad microbiana y cantidad de protozoarios activos pudiera ser mayor que en las rizosferas de éstas y la cactácea por si solas. Esto podría repercutir en mayor depredación de las bacterias por poblaciones de protozoarios (Rodríguez-Zaragoza, 1999), lo que explicaría la menor cantidad de bacterias totales.

Las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno, actinomicetos y hongos filamentosos fueron mayores en la rizosfera de las leguminosas arbóreas en la zona erosionada (Cuadro 10). Esto puede atribuirse, una vez más, a la importancia de la materia orgánica debajo del dosel; sin embargo, la cantidad de bacterias totales fue la menor de ambas zonas.

N. tetetzo obtuvo la mayor cantidad de bacterias totales, tal vez por un mayor porcentaje de humedad alrededor de sus raíces. Las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos fueron intermedias y la cantidad de hongos filamentosos fue la menor. En la interrzosfera, las poblaciones de bacterias totales y hongos filamentosos fueron intermedias, las de bacterias fijadoras de nitrógeno y actinomicetos fueron las menores. Esto pudiera atribuirse a que dadas las presiones ambientales de ésta zona, ambas rizosferas tienden a competir principalmente por el agua, lo que hace que se propicie menor grado de humedad y como consecuencia, menor desarrollo de las poblaciones de microorganismos.

En época de secano, las poblaciones de microorganismos fueron mayores en todas las muestras (Cuadro 11), excepto en la población de hongos filamentosos de la rizosfera de las leguminosas arbóreas. Esto puede deberse a que las leguminosas tengan exudados más ricos en carbohidratos como fuente de carbono para la mayoría de los microorganismos.

En época de lluvias hubo disminución en las poblaciones de microorganismos en comparación con los encontrados en época de secano en todas las muestras (Cuadro 11), excepto en la población de hongos filamentosos de la rizosfera de las leguminosas arbóreas. Esto pudiera atribuirse a la tasa de depredación de los protozoarios sobre las poblaciones de bacterias, ya mencionada anteriormente.

12.2 Colonización Micorrízica

Los porcentajes de micorrización en la zona no erosionada son ligeramente mayores que los de la zona erosionada (Cuadro 12), pero esta diferencia no es estadísticamente significativa. Esto indica, que las especies de hongos micorrízicos arbusculares de la zona erosionada pueden resistir no solo a las condiciones extremas del clima, sino también a la infertilidad, alta alcalinidad y estrés al que están sometidas las plantas hospederas. Esto puede atribuirse a que la micorriza arbuscular se desarrolla bien en suelos con concentraciones bajas de fósforo (Gianinazzi-Pearson y Azcón-Aguilar, 1991), de acuerdo como se muestra en el Cuadro 2.

En la zona no erosionada, la micorrizosfera está protegida por la acumulación de materia

orgánica (Cuadro 2) que favorece el desarrollo de la micorriza arbuscular (Johnson, 1998) y todos los beneficios ya mencionados. Por otra parte, en la zona erosionada se encontró que, al pie de la mayoría de las plantas de la zona, existen comunidades de costras criptobióticas, éstas contribuyen a mantener cierto equilibrio en la zona de la rizosfera, proporcionándoles cierta protección. Cabe hacer notar que en la zona erosionada hubo mayor cantidad de vesículas; esto pudiera atribuirse a que se ha reportado que la cantidad de vesículas es mayor cuando el suelo tiene menos humedad que cuando está saturado (Sigüenza *et al.*, 1996), considerándose esto, como respuesta de la micorriza a las condiciones de la zona erosionada, ya que por su contenido de arena (Cuadro 2), tiende a perder más humedad que la zona no erosionada. Sin embargo, la cantidad de arbusculos fue menor en la zona erosionada por la falta de humedad, pues se sabe que la humedad favorece la formación de arbusculos (Stevens y Peterson, 1996).

En la zona erosionada, hubo una disminución de la cantidad de esporas, en comparación con la zona no erosionada, siendo estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) (Cuadro 12). Sin embargo, Guadarrama *et al.*, (1999), establecieron que la perturbación no afecta la abundancia y riqueza de esporas y hongos micorrízicos arbusculares. Esto puede atribuirse a las características físicas y químicas del suelo ya mencionadas (Cuadro 2), así como por mayor pérdida de humedad y baja disponibilidad de nutrimentos en esta zona. La cantidad y el tipo de exudados de la raíz podrían variar debido al estrés al que están expuestas las plantas en esta zona, ocasionando así una limitante en el desarrollo y proliferación de microorganismos, entre ellos los hongos formadores de micorriza arbuscular. Los cambios asociados con erosión hídrica propician disminución en la cantidad de esporas de hongos micorrízicos (Abbott y Robson, 1991). Sin embargo, los porcentajes de colonización, vesículas y arbusculos no fueron estadísticamente diferentes. Según Abbott y Robson (1991), las poblaciones de micorriza arbuscular en ecosistemas naturales pueden ser capaces de ajustarse a cambios graduales del ambiente sin cambios drásticos en la extensión de la colonización.

Stevens y Peterson, (1996) encontraron que los niveles de colonización hifal y de cantidad de arbusculos fueron significativamente mayores en regiones secas que en regiones húmedas. Sin embargo, en el cuadro 13 podemos observar que en la época de secano la colonización total (hifal), fue menor a la encontrada en época de lluvias, y que la cantidad de vesículas fue mayor en época de secano que en época de lluvias. Esto pudiera deberse a que en época de secano la micorriza arbuscular almacena sus reservas dada la falta de humedad. Pero al llegar la época de lluvias, la disponibilidad de nutrimentos aumenta, y la micorriza arbuscular utiliza sus reservas almacenadas para poder desarrollar mayor cantidad de micelio,

por consiguiente el aumento en el porcentaje de colonización, lo cual se relaciona con la disminución del porcentaje de vesículas en época de lluvias. Al tener un aumento de colonización, también aumenta la absorción de nutrimentos del suelo por el micelio extramatricial y la transferencia de éstos hacia la planta huésped mediante los arbusculos, así como del micelio desarrollado entre las células corticales (Ayling *et al.*, 1997; Smith y Smith., 1997). En la época de lluvias, las condiciones de temperatura y humedad del suelo favorecen el crecimiento de raíces nuevas para la absorción de nutrimentos; y siempre es posible encontrar arbusculos si las muestras contienen raíces jóvenes (Brundrett *et al.*, 1996). Además, se sabe que los arbusculos son más abundantes en ésta época, cuando el suelo está húmedo (Sigüenza *et al.* 1996). Como consecuencia de esto, la cantidad de arbusculos aumentó en ésta época, ya que en el secano no se encontraron arbusculos presentes.

Se sabe que la variación estacional en el bosque tropical húmedo, afecta la riqueza y abundancia de esporas de hongos micorrízicos (Guadarrama *et al.*, 1999); sin embargo, en cuanto a la cantidad de esporas, ambas épocas no fueron significativamente diferentes. Esto permite sugerir que, en éste caso, la estacionalidad no ocasionó un cambio drástico en el aumento o disminución de la cantidad de propágulos.

Por muestra, en los porcentajes de micorrización (Cuadro 14), *N. tetetzo* fue la que obtuvo un porcentaje de colonización ligeramente mayor. Esto pudiera deberse a que las cactáceas cuentan con raíces carnosas y almacenadoras de agua (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), lo que proporciona una ventaja a la micorriza arbuscular, ya que el grado de humedad en la rizosfera y aún dentro de las raíces, pudieran ser mayores.

La interrizarosfera, fue la que obtuvo el porcentaje intermedio, esto pudiera deberse a que en la interrizarosfera la cantidad y tipos de exudados sean diferentes a las que producen por separado. El establecimiento de los hongos micorrízicos origina cambios en los exudados radicales, los cuales alteran la composición microbiana de la rizosfera; así como la microbiota influye en la formación y función de las micorrizas (Linderman, 1993). Cabe mencionar que especies de árboles boscosos pueden ser colonizados por varias especies de hongos micorrízicos a la vez y el micelio que se extiende entre las raíces de los árboles forman canales donde se llevan a cabo transferencias de nutrimentos entre ellos, como el carbono, nitrógeno, fósforo entre otros. Árboles que se desarrollan en suelos boscosos, pasan buena parte de su vida en un ambiente sombrío, donde no llega la luz del sol. Se dice que probablemente, buena parte del carbono que éstos necesitan como fuente de energía para su desarrollo, puede ser proporcionado por hongos micorrízicos que comparten la asociación con árboles adultos adyacentes. Se comprobó que el transporte de carbono se da en ambas direcciones, y puede

llevarse a cabo entre plantas de distinta especie (Bethlenfalvay *et al.*, 1991; Simard y Molina *et al.*, 1997; Read., 1997), por lo que éste también puede ser el caso de esta asociación de nodricismo, donde las raíces de leguminosas arbóreas y *N. tetetzo* tienen contacto y están colonizadas con hongos micorrízicos arbusculares.

Los porcentajes de arbusculos y vesículas en la interrizosfera fueron los más bajos, sin embargo esto no significa que la transferencia de nutrimentos sea menor. Se sabe que ésta transferencia también sucede a través de hifas intercelulares, aunque se tiene información limitada acerca de la magnitud del flujo de nutrimentos en las interfases simbióticas (Smith *et al.*, 1994; Ayling *et al.*, 1997; Smith y Smith., 1997). La baja cantidad de vesículas encontradas, pudiera deberse a que las condiciones debajo del dosel de las leguminosas, así como el tipo de exudados en la interrizosfera, pudieran favorecer la disponibilidad de los nutrimentos, por lo que tal vez los hongos MA no necesiten formar una gran cantidad de órganos de reserva.

La materia orgánica favorece el desarrollo de la micorriza arbuscular (Johnson, 1998); sin embargo, la muestra de leguminosas arbóreas fue la que obtuvo el menor porcentaje de colonización, así como las mayores cantidades de arbusculos y vesículas (Cuadro 14). Esto indica la posible mayor transferencia de nutrimentos del hongo hacia la planta a través de los arbusculos, en comparación con la cactácea sola y con la interrizosfera, que obtuvieron menor cantidad de éstos. En la rizosfera de las leguminosas arbóreas, la cantidad de vesículas indica que el hongo tiene una alta formación de órganos de reserva; esto puede atribuirse a que se han reportado fertilidades del suelo más altos bajo la sombra de *Prosopis* spp que en los sitios adyacentes a éstos (Aggarwal *et al.*, 1993; Carrillo-García *et al.*, 2000). En este sentido, en las leguminosas arbóreas, también se observó mayor cantidad de microorganismos en su rizosfera (Cuadro 5), en comparación con la interrizosfera y la cactácea sola.

N. tetetzo obtuvo los valores intermedios de vesículas y arbusculos. Al haber obtenido el mayor porcentaje de colonización, indica que el micelio del hongo está mucho más desarrollado que sus órganos de reserva y arbusculos. Como se había mencionado, la transferencia de nutrimentos también puede llevarse a cabo a través de hifas intercelulares, pero se tiene información limitada acerca de la magnitud del flujo de nutrimentos (Smith *et al.*, 1994; Ayling *et al.*, 1997; Smith y Smith., 1997).

En la zona no erosionada (Cuadro 15), se pudo observar que la interrizosfera de los organismos asociados, obtuvo los mayores porcentajes de colonización, vesículas y número de esporas, en la época de secano. Esto pudiera deberse a un complemento de los beneficios ya mencionados por la materia orgánica; en éste caso la densidad de la vegetación pudiera influir en la diseminación de los hongos micorrízicos por la zona, pues la materia orgánica favorece el

desarrollo de la micorriza (Johnson, 1998), aunado a los beneficios de las raíces almacenadoras de agua de las cactáceas. Esto podría repercutir aumentando la producción de exudados radicales por ambas plantas, lo que beneficiaría a la colonización. Esto a su vez, puede traer como consecuencia mayor cantidad de exudados radicales, aumento en la cantidad de microorganismos así como en la actividad microbiana, mayor cantidad de materia orgánica, menor pérdida de humedad en el suelo, modificación de algunas características físicas y químicas del suelo (Cuadro 2) y un buen equilibrio en el funcionamiento de los microorganismos rizosféricos y las raíces de las plantas, lo que también influye en la formación y función de los hongos micorrízicos y viceversa (Linderman, 1993). Otra de las ventajas es el número de propágulos (esporas) cuantificados, ya que estas pueden determinar el rango de colonización micorrízica; entre mayor cantidad de esporas se encuentren en el suelo, la probabilidad de que una planta recién establecida sea colonizada por la micorriza arbuscular es mayor.

El porcentaje de micorrización en la zona erosionada, en época de secano, fue más alto en raíces de la cactácea debido a que su sistema radical es superficial, además de las características de almacenamiento de agua ya mencionadas. Esto proporciona una ventaja a la MA en mayor capacidad de colonización y penetración en las raíces. Sin embargo, esto también nos muestra el grado de dependencia de la planta hacia el hongo para su supervivencia, pues con esta asociación aumenta al máximo la eficiencia de su sistema radical para la obtención de nutrimentos y agua, al tiempo que aumenta el grado de exploración del volumen del suelo. Por ser una planta cuya raíz es almacenadora de agua, esto pudiera influir en la colonización micorrízica, ya que las hifas del hongo tienen acceso a los espacios intra e intercelulares de la corteza de la raíz, y puede obtener el agua necesaria para su sobrevivencia y desarrollo. Además, el grado de humedad en la rizosfera y la cantidad de productos exudados pudieran aumentar ligeramente. Se sabe que la micorriza arbuscular estimula el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas, especialmente en suelos de baja y de moderada fertilidad (Cuadro 2); dichos efectos, se deben a que la micorriza mejora sustancialmente la absorción de nutrimentos y agua para la planta, donde el principal nutrimento es el fósforo que se encuentra en baja disponibilidad (Cuadro 2) (Azcón y Barea, 1980; Nava *et al.*, 1997).

Cabe mencionar que las cactáceas de la zona erosionada no rebasaban los 3 m de altura. El suelo era menos duro en la parte superficial, pero muy pedregoso después de los primeros 10 cm. Esta zona se encuentra en constante presión ambiental por la pérdida de material durante la época lluviosa. A pesar de ser una zona erosionada, se obtuvieron

porcentajes de micorrización intermedios y no fueron significativamente diferentes a los de la zona no erosionada ($P < 0.05$), esto puede estar relacionado con la existencia de costras de asociaciones de briofitas y líquenes encontradas al pie de las plantas y los beneficios de protección ya mencionados. En esta zona los porcentajes de vesículas fueron mayores en comparación con la zona no erosionada, esto pudiera deberse a la baja cantidad de nutrimentos y como consecuencia un decremento en el aporte de recursos carbonados de la planta hacia el hongo; éste por su parte forma más órganos de reserva para su desarrollo. En la época de lluvias, en la zona no erosionada, aumentaron los porcentajes tanto de colonización como de vesículas, arbusculos y esporas, excepto en la cantidad de esporas encontradas en la rizosfera de *N. tetetzo* que disminuyó en esta época.

En la zona erosionada, también hubo un aumento en los porcentajes de colonización y vesículas en época de lluvias. Sin embargo, solo hubo un ligero aumento en la cantidad de arbusculos en la raíz de *N. tetetzo*. En cuanto a la cantidad de esporas, solo hubo aumento en el suelo rizosférico de las leguminosas arbóreas. Sin embargo, la cantidad de esporas en la rizosfera de *N. tetetzo* y la interrizosfera disminuyó en comparación con la época de secano.

12.3 Comparación entre Cuadrantes

Debido a la variabilidad entre cada uno de los cuadrantes, se realizaron las siguientes comparaciones:

En el cuadrante uno, se observó una alta cantidad de cactáceas (21 individuos/ 10m^2) de *N. tetetzo*; aunque, la mayoría de los individuos se encontraron aislados y la vegetación de la zona era más espaciada. Se pudo observar una superficie del suelo poco pedregosa. Las plantas de este cuadrante presentaron los mayores porcentajes de colonización (61%) y de vesículas (4.47%) (Cuadro 16), así como los nulos porcentajes de arbusculos (0.0%) y menor cantidad de esporas ($9,027/100\text{g}^{-1}$). La cantidad de arbusculos y de vesículas puede estar influida por un menor grado de humedad en el cuadrante (Stevens y Peterson, 1996; Sigüenza *et al.*, 1996), dado el espaciamiento de la vegetación ya mencionado, y las pocas relaciones de nodricismo encontradas. El porcentaje de colonización fue mayor que el de los otros cuadrantes. Sin embargo, la cantidad de esporas fue menor. Esto pudiera deberse a que entre cuadrantes existen cambios en las condiciones del suelo, y esto pudiera modificar la dominancia de los hongos micorrízicos arbusculares (Abbot y Gazey, 1994). Se puede inferir que en éste cuadrante pudieran dominar especies con menor esporulación que otras.

En el cuadrante dos, se observó mayor cantidad de leguminosas arbóreas (17 individuos/10m⁻²) y cinco relaciones de nodricismo. Esto trae beneficios al cuadrante por la hojarasca que se proporciona al suelo. El suelo fue mas o menos pedregoso y en apariencia arenoso. La cantidad de cactáceas de *N. tetetzo* también fue alta (16 individuos/10m⁻²) (Cuadro 1), éstas fueron de diversos tamaños. Este cuadrante obtuvo una cantidad intermedia de esporas (13,561/100g⁻¹) en comparación con los otros cuadrantes; así como de colonización micorrízica (55.83%); esto puede atribuirse a diferencias en las características físicas del suelo entre los cuadrantes, así como a un cambio de dominancia de especies de HMA. No se ha comprobado la correlación entre la cantidad de esporas y la colonización de raíces por hongos micorrízicos arbusculares en condiciones de campo, ya que usualmente se presentan varias especies colonizando, en conjunto, una misma raíz (Abbot y Gazey, 1994). En cuanto al porcentaje de vesículas, se encontró un valor intermedio y el porcentaje de arbusculos fue mayor que en los otros cuadrantes.

En el cuadrante tres, la cantidad de cactáceas de *N. tetetzo* fue mayor (33 individuos/10m⁻²) que la cantidad de leguminosas arbóreas (14 individuos/10m⁻²) y relaciones de nodricismo (14 individuos/10m⁻²). En éste cuadrante se observó un suelo pedregoso, con consistencia menos arenosa; también se encontraron rocas fosilíferas en el lugar. Esto se debe a que la zona presenta afloramientos del jurásico inferior marino (Valiente-Banuet y Arias, 1997). Este cuadrante presentó el menor porcentaje de colonización (49.66%) y porcentajes intermedios de vesículas (1.69%) y arbusculos (0.58%). A pesar de ser el menor porcentaje de colonización, éste fue casi del 50%. Estos porcentajes (colonización, vesículas y arbusculos), pudieran ser influidos por mayor cantidad de hojarasca presente en la zona, ya que se observó mayor población de leguminosas arbóreas (14 individuos/10m⁻²) y relaciones de nodricismo en el cuadrante (Cuadro 1). En este cuadrante también se encontró una cantidad intermedia de esporas (11,268 /100g⁻¹) en comparación con los otros cuadrantes.

En el cuadrante cuatro, se observó alta cantidad de cactáceas de *N. tetetzo* (27 individuos/10m⁻²) (Cuadro 1); la mayoría fueron de 1.5 a 2 m de alto. En éste cuadrante se encontró un suelo pedregoso, duro y de apariencia poco arenosa. Se obtuvo el menor porcentaje de vesículas (1.09%) y porcentajes intermedios de colonización (54%) y arbusculos (1.70%) (Cuadro 16). La población de leguminosas arbóreas (8 individuos/10m⁻²) y de plantas en nodricismo (6 individuos/10m⁻²) fueron menores a la encontradas en el cuadrante anterior.

A pesar de ser una zona erosionada, los porcentajes de colonización total no fueron tan bajos como se esperaban, ya que están alrededor del 50% (Cuadro 16). Esto se debe a que la micorriza arbuscular se desarrolla bien en suelos con bajas concentraciones de fósforo

(Gianinazzi-Pearson y Azcón-Aguilar, 1991) (Cuadro 2), esto pudiera influir en los porcentajes de colonización encontrados.

De la zona erosionada, en el grupo de muestra uno, se obtuvo el mayor porcentaje de colonización total (53.50%), y hubo un ligero aumento en la cantidad de esporas ($2,977/100g^{-1}$), ambos en comparación con la encontradas en el grupo de muestra dos; en ésta no se encontraron arbusculos (Cuadro 16). En el grupo de muestra dos, se obtuvieron los valores mayores de porcentajes de vesículas (12.53%) y un ligero aumento en la cantidad de arbusculos (0.18%), el porcentaje de colonización total fue menor al de la muestra anterior. La cantidad de vesículas pudiera deberse a que en ésta parte de la zona erosionada el suelo presentó textura en mayor proporción arenosa, lo que propicia mayor pérdida de humedad, ya que la sequedad en el suelo contribuye en la formación de vesículas (Sigüenza *et al.*, 1996), así como también a un menor aporte de recursos carbonados de la planta hacia el hongo, como consecuencia de la baja de nutrimentos de la zona.

En ésta zona la probable diversidad de hongos MA, pudiera influir en los porcentajes de micorrización y la cantidad de esporas de los grupos de muestras uno y dos; ya que la capacidad de esporulación de algunos hongos micorrízicos pudiera ser mayor a la de otros de distinta especie.

XIII. CONCLUSIONES

- 1) La zona no erosionada presentó mayor cantidad de materia orgánica, conductividad eléctrica, fósforo potasio, calcio y porcentaje estimado de nitrógeno que la zona erosionada.
- 2) En la zona erosionada hubo marcada disminución en las poblaciones microbianas, lo que se debe a la disminución en los exudados radicales, falta de humedad y menor disponibilidad de nutrimentos.
- 3) En la zona no erosionada las poblaciones de microorganismos y la colonización por HMA fue mayor que en la zona erosionada.
- 4) En la zona erosionada, los porcentajes de micorrización no fueron significativamente diferentes a los de la zona no erosionada, en ninguna de las muestras analizadas.
- 5) La cantidad de esporas fue significativamente diferente entre ambas zonas, y su presencia estuvo relacionada con las características edáficas de las zonas muestreadas.
- 6) En época de lluvias la poblaciones de microorganismos disminuyeron con respecto a la época de secano.
- 7) En la época de lluvias se observó el incremento de la formación de arbusculos y vesículas.
- 8) La interrzosfera de la asociación leguminosas arbóreas - *N. tetetzo* promueve la formación de esporas en la zona no erosionada, en ambas épocas.
- 9) Todas las poblaciones de bacterias, incluyendo fijadoras de nitrógeno, actinomicetos y hongos fueron estadísticamente diferentes entre épocas y entre zonas.
- 10) Los porcentajes de micorrización total en general son altos, aún en época de secano, en ambas zonas.

Recomendación:

- * Se plantea la determinación de géneros y especies de hongos MA presentes en plantas de las zonas erosionada y no erosionada.

XIV. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L.K. & A.D. Robson.** 1991. Ocurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agricultural Ecosystems Environment*. 35:121-150
- Abbott, L.K. & C. Gazey.** 1994. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. En: Robson, A.D., L.K. Abbott & N. Malajczuk. Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry. Ed. Kluwer Academic Publishers. pp.69-98
- Aggarwal, R., P. Praveen-Kumar & P. Raina.** 1993. Nutrient availability from sandy soils underneath *Prosopis cineriana* compared to adjacent open site in an arid environment. *Indian Forestry*. 119:321-325.
- Allen, M.F.** 1991. The Ecology of Mycorrhizae. Ed. Cambridge. pp. 104-108
- Allen, E.B.** 1999. La restauración de zonas áridas perturbadas con especial referencia a los hongos micorrízicos. En: Orellana, R., J.A., Escamilla & A., Larqué-Saavedra. (Eds.) Ecofisiología Vegetal y Conservación de Recursos Genéticos. CICY. Pp.167-177
- Alarcón, A.** 1993. La endomicorriza vesículo-arbuscular en el manejo de dos métodos de propagación en frutales. Tesis profesional. Ing. Agrónomo. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. pp.91
- Albaladejo, J., M. Martínez-Mena, A. Roldan & V. Castillo.** 1998. Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment. *Soil Use and Management*. 14:1-15
- Alexander, M.** 1981. Introducción a la microbiología del suelo. AGT, Editor. México, D.F. pp.27-85

- Andrade, G.,** K.L. Mihara, R.G. Linderman & G.J. Bethlenfalvay. 1998. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. *Plant and Soil* 202:89-96
- Arizmendi, Ma. del C. & A. Espinosa de los Monteros.** 1996. Avifauna de los bosques de cactáceas columnares del Valle de Tehuacán, Puebla. *Acta Zoológica Mexicana*. pp. 67:25-46
- Aviles, S.,** C. Cortés Castelán, A.A. Monroy & R. García Sánchez. 1995. Efecto del nodrizaje vegetal en el establecimiento del zacate navajita [*Bouteloua gracillis* (H.B.K.) Lag. Ex Steud.] en un agostadero semiárido del Valle de Actopan, Hidalgo. p. 54 En: XII Congreso Mexicano de Botánica. Diversidad Vegetal de México. Universidad Autónoma de Morelos. Sociedad Botánica de México
- Ayling, S. M.,** S. E. Smith, F. A. Smith & P. Kolesik .1997. Transport processes at the plant-fungus interface in mycorrhizal associations: physiological studies. *Plant and Soil*. 196:305-310
- Azcón, G. de A.C., & J.M. Barea.** 1980. Micorrizas. Biología Vegetal. Libros de Investigación y Ciencia. pp.83-91
- Barbrer, S.A.** 1984. Soil Nutrient Bioavailability. John Wiley & Sons, Inc. pp.179-191.
- Barredo, P.F.,** L. Varela, M. Arce Montoya & R. Orellana. 1996. Estudio de la Asociación micorrízica en dos cactáceas nativas del Estado de Yucatán. p.10. 1er. Simposium Nacional de la simbiosis Micorrízica. Auditorio del museo de Antropología. Xalapa, Veracruz.
- Bashan, Y.,** G. Holguin, M.E. Puente, A. Carrillo, L. Alcaraz -Melendez, A. López-Cortes, & J.L. Ochoa. 1993. Critical evaluation of plant inoculation with beneficial bacteria from the genus *Azospirillum*. En: Ferrera-Cerrato, R., R. Quintero, (Eds.) Agroecología.

Sostenibilidad y Educación. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados.
Montecillo, Edo. de México. pp. 115-126

Bashan, Y., E.A. Davies, A. Carrillo-García, R.G. Linderman. 2000. Assessment of VA mycorrhizal inoculum potential in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. *Applied Soil Ecology* 14:165-175

Bethlenfalvay, G.J., M.G. Reyes-Solis, S.B. Camel & R. Ferrera-Cerrato. 1991. Nutrient transfer between the root zones of soybean and maize plants connected by a common mycorrhizal inoculum. *Plant Physiol.* 82:423-432

Bravo-Hollis, H. & H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las Cactáceas de México. Tomo 1. UNAM.

Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove & N. Malajczuk .1996. Working with mycorrhizas in Forestry and Agriculture. Australian Center for International Agriculture Research. P. 374

Bryce K.W. & D. Parkinson. 1990. Soil Fungi. In: Dindal, D. Soil Biology Guide. Ed.Wiley. pp.49-68

Campbell, R. & M.P. Greaves. 1990. Anatomy and Community Structure of the Rhizosphere. En: Lynch, J.M. The Rhizosphere. Ed.Wiley . pp.11-34

Carrillo-García, A., J.L. León de la Luz, Y. Bashan & G.J. Bethlenfalvay. 1999. Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. *Restoration Ecology.* 4:321-335

Carrillo-García, A., Y. Bashan, E. Díaz, G.J. Bethlenfalvay. 2000. Effects of resource-islands soils, competition and inoculation with *Azospirillum* on survival and Growth of *Pachycereus pringlei*, the giant cactus of the sonoran Desert. *Restoration Ecology.* 1:65-73

Donahue, R., R. Miller & J. Shickluna. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las Plantas. Ed.Prentice-Hall Hispanoamericana. pp.159-170

- Etchevers, J.D.** 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Notas de clase. Centro de edafología, Colegio de postgraduados, Chapingo, México. pp.0355-0371.
- Evans, R.** 1980. Soil Erosion. Ed. John Wiley and Sons Ltd. pp.109-125
- Ferrera-Cerrato, R.** 1983. La micorriza vesículo-arbuscular en los diferentes agroecosistemas. Simposium: La sequía y su Impacto. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Edo de Méx. Pp.13-17.
- Ferrera-Cerrato, R., Ma.C. González Chávez & Ma. Rodríguez Mendoza.** 1993. Manual de Agromicrobiología. Ed. Trillas. pp.39-42
- Ferrera-Cerrato, R.** 1995. Efecto de Rizosfera. Pp.36-54 En: Ferrera-Cerrato, R & Pérez-Moreno, J. (Eds.) Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. P.233
- Flores T., J.F.** 1993. Estudio de las primeras etapas de desarrollo del Mezquite *Prosopis laevigata* en el Estado de Aguascalientes. *Agrociencia. Recursos Naturales Renovables*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo de México. 3:41-52
- Frías, J.T., V. Olalde Portugal, G. Li & M.P. Ramírez.** 1996. Micorrizas de dos gramíneas nativas en islas de fertilidad de mezquite (*Prosopis laevigata*) en una zona semiárida. p.57 1er. Simposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Auditorio del Museo de Antropología. Xalapa, Veracruz
- Gardezi, A.K. & R. Ferrera-Cerrato.** 1989. The effect of four levels of phosphorus on mycorrhizal colonization, dry root weight, nitrogen and phosphorus contents of *Acacia saligna* inoculated with *Rhizobium*, sp., and endomycorrhiza in a Mexican Andisol. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*. 7:43-45

- Gerdemann, J.W. & T.H. Nicolson.** 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transaction of British Mycological Society*. vol. 46. p.235-244
- Gianinazzi-Pearson, V. & C. Azcón-Aguilar.** 1991. Fijación y movilización biológica de nutrientes. Vol. II Fijación de N y micorrizas. Consejo superior de Investigaciones Científicas Madrid. pp.175-202
- Godinez-Alvarez, H. & A. Valiente B.** 1997. Demografía comparativa de la cactácea columnar *Neobuxbaumia tetetzo* en el Valle de Tehuacán, Puebla. En: 1er Congreso Nacional sobre Cactáceas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. P.31
- González, Ch., Ma. del C. & R. Ferrera-Cerrato.** 1990. Papel de los hongos endomicorrízicos y bacterias fijadoras de nitrógeno en un agroecosistema de maíz, altamente productivo en el Trópico Húmedo. Avances en la investigación en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. pp.12
- Guadarrama P. & F.J. Alvarez-Sánchez.** 1999. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, México. *Mycorrhiza*.
- Hahn, M.W. & M.G. Höfne.** 1999. Flagellate predation on a bacterial model community: Interplay of size-selective grazing, specific bacterial cell size, and bacterial community composition. *Applied and Environmental Microbiology*. 65:4863-4872.
- Halvorson, W.L. & D.T. Patten.** 1975. Productivity and flowering of winter ephemerals in relation to Sonoran Desert shrubs. *American Midl. Nature*., 93:311-319
- Harley, J.L. & S.E. Smith.** 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic press, London.
- Hasset, J.J & W.L. Banwart.** 1992. Soils and their environment. Ed. Prentice Hall. pp.235-246.

- Huerta B., V.M.** 1995. Asociación entre cactáceas y arbustos en una zona semiárida entre los estados de Querétaro e Hidalgo. p.42 En: XII Congreso Mexicano de Botánica. Diversidad Vegetal de México. Universidad Autónoma de Morelos. Sociedad Botánica de México
- Hunter-Cevera, J.C. & D.E. Eveleigh.** 1990. Actynomicetes. En: Dindal, D. Soil Biology Guide. Ed.Wiley. pp. 33-48
- Johnson, N.C.** 1998. Responses of *Salsola kali* and *Panicum virgatum* to mycorrhizal fungi, phosphorus and soil organic matter: implications for reclamation. *Journal of Applied Ecology*. 35:86-94.
- Kling, M. & I. Jakobsen.** 1998. Arbuscular Mycorrhiza in Soil Quality Assessment. *Ambio Journal*. 1:29-34
- Lange, O.L. J.Belnap & H. Reichenberger.** 1998. Photosynthesis of the cyanobacterial soil-crust lichen *Collema tenax* from arid lands in southern Utha, U.S.A.: role of water content on light and temperature responses of CO₂ exchange. *Functional Ecology*. 12:195-202.
- Linderman, R.G.** 1993. Effects of microbial interactions in the mycorrhizosphere on plant growth and health. pp. 138-152. En: Agroecología, Sostenibilidad y Educación. Ferrera-Cerrato, R. y R. Quintero-Lizaola. (Eds.) Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo de México. pp.265
- Marks, G.C.** 1991. Casual morphology and evolution of mycorrhizas. *Agricultural Ecosystems Environment*. 35:89-104
- Martínez L., M.J.** 1994. El Mezquite. (*Prosopis laevigata*) Evaluación experimental del método de producción de plántula en vivero. Tesis profesional. Ing.Agronomo. UACH. México

- Medina, J.** 1990. Estudio de los hongos de la endorrizosfera de plantas de cultivo de la zona de Montecillo, Méx. Tesis Profesional. Biólogo. UNAM. Zaragoza. P. 118.
- Morgan, R.P.C.** 1986. Soil Erosion and Conservation. Ed. Longman Scientific & Technical. pp.12-33
- Nava, J. A., H. Luna-Zendejas, A. Estrada-Torres & J.L. Martínez Pérez.** 1997. Condición micorrízica de algunas cactáceas del Estado de Tlaxcala. p.256 VI Congreso Nacional de Micología. IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas.
- Okon, Y. & Y. Kapulnik.** 1986. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. *Plant and Soil*. 90:3-16
- Ortiz-Villanueva, B. & C.A. Ortiz.** 1990. Edafología. 7ª ed. Ed.UACH. P.394
- Osorio, B.O. & A. Valiente-Banuet.** 1996. Tipos de Vegetación y diversidad β en el Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 59:35-58
- Phillips, J.M. & D.S. Hayman.** 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Transactions of British Mycological Society*. 55:158-161
- Read, D.** 1997. The tides that bind. *Nature*. 388:517-518
- Rennie, R.J.** 1981. A single medium for the isolation of acetylene-reducing (dinitrogen fixing) bacteria from soils. *Canadian Journal of Microbiology* 27:8-14
- Richards, B.N.** 1987. The microbiology of Terrestrial Ecosystems. Logman Scientific and Technical. pp.72-73
- Rincón, E., P. Huante & I. Ramírez.** 1993. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on biomass production by the cactus *Pachycereus pecten-aboriginum*. *Mycorrhiza*. 3:79-81

- Rodríguez-Mendoza, N.** 1995. Microorganismos libres fijadores de nitrógeno. En: Ferrera-Cerrato, R & J. Pérez-Moreno, (Eds.). Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. pp.105-126
- Rodríguez-Zaragoza, S.** 1994. Ecology of Free-Living Amoebae. *Critical Reviews in Microbiology*. 20:225-241
- Rodríguez-Zaragoza, S.** 1997. Species richness and abundance of naked amebae in the rhizoplane of the desert plant *Escontria chiotilla* (Cactaceae). *Journal of Eukariotic Microbiology*. 44:122-126
- Rodríguez-Zaragoza, S.** 1999. Variación de la comunidad de amebas desnudas y otros protozoarios en respuesta a la perturbación de un suelo forestal de encino-pino en Villa del Carbón, Edo. De México. Tesis Doctoral. I.P.N., E.N.C.B., México, D.F.
- Ruiz, F.R.** 1995. Manejo de Suelos Arcillosos para una Agricultura Sustentable. Ed.UACH. pp. 3-24
- Rundel, P.W. & P.S. Nobel.** 1991. Structure and function in desert root systems. pp.349-378. En: Plant Root Growth. An Ecological Perspective. Atkinson, D. (Ed.). Ed.Blackwell, Scientific Publications.
- Salisbury, F.B., & C.W. Ross.** 1994. Fisiología Vegetal. P.759
- Sigüenza, C., I. Espejel, & E.B. Allen.** 1996. Seasonality of mycorrhiza in coastal sand dunes of Baja California. *Mycorrhiza*. 6:151-157
- Simard, S.W. & R. Molina.** 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature*. 388:579-582

- Smith, S.E.,** V. Gianinazzi-Pearson, R. Koide & J.W.G. Cairney. 1994. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the simbiosis. *Plant and Soil*. 159:103-113
- Smith, F.A.** & S.E. Smith. 1997. Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytol*. 137:373-388
- Stevens, J. K.** & R. L. Peterson. 1996. The effect of a water gradient on the vesicular-arbuscular mycorrhizal status of *Lythrum salicaria* L. purple loosestrife. *Mycorrhiza*. 6:99-104
- Sylvia, M** & E. Williams. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and enviromental estress. Pp.101-124. In: Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. G.J. Bethlenfalvay and R.G.Linderman (Eds). ASA Special Publication Number. pp.124
- Troeh, R.F.,** J.A. Hobbs & R.L. Donahue. 1980. Water Erosion and Sedimentation. In: Soil and Water Conservation. Ed. Prentice-Hall. pp.83-113
- Valiente-Banuet, A.,** A. Bolongaro-Crevenna, O. Briones, E. Ezcurra, M. Rosas, H. Nuñez, G. Barnard & E. Vázquez. 1991a. Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semi-arid environment in central México. *Journal of Vegetation Science*. 2:15-20
- Valiente-Banuet, A.,** F. Vite & J.A. Zavala-Hurtado. 1991b. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *Journal of Vegetation Science.*, 2:11-14
- Valiente-Banuet, A.,** A. Arizmendi, A. Rojas-Martínez & L. Domínguez-Canseco. 1996. Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bats in México. *Journal of Tropical Ecology*. 11:1-17

- Valiente-Banuet, A. & S. Arias.** 1997. Guía de Excursión Botánica al Valle de Tehuacán-Cuicatlán. 1er. Congreso Nacional Sobre Cactáceas, en honor a Helia Bravo. Sociedad Mexicana de Cactología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. pp. 1-20
- Varela, L. & A. Estrada-Torres.** 1999. El papel de los microorganismos de la rizosfera y de la micorriza en la absorción de nutrimentos minerales y agua. pp. 137-150 En: Orellana, R., J.A. Escamilla, A. Larqué-Saavedra (Eds.). Ecofisiología vegetal y Conservación de recursos genéticos. Ed. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Zamfir, M., X. Dai & E. van del Maarel.** 1999. Bryophytes, lichens and phanerogams in an alvar grassland: relationships at different scales and contributions to plant community pattern. *Ecography*. 22:40-52
- Wood, M.** 1995. Environmental soil biology. Ed. Blackie Academic & Professional. P. 150

APÉNDICE

ANEXO DE FOTOGRAFÍAS

1. Fotografías a microscopio óptico de la colonización micorrízica de *Neobuxbaumia tetetzo*.



a y b) Esporas de hongos micorrízicos. *Glomus sp.* Fotografías a 40x microscopio óptico.
c) Arbúsculos en la corteza radical de *N. tetetzo*. Fotografía a 100x.



a y b) Esporas de hongos micorrízicos *Acaulospora esporocarpica*,. Fotografías tomadas en microscopio con interferencia de Normansky.

2. Fotografías a microscopio óptico de la colonización micorrízica de leguminosas arbóreas.



a y b) Vesículas en la corteza radical de *P. laevigata*. Fotografías a 100x microscopio óptico. c) Espora de hongo micorrízico *Glomus intraradix*. Fotografía tomada en microscopio con interferencia de Normansky.

GLOSARIO

Actinomicetos. (bacterias filamentosas) Grupo de bacterias caracterizadas por crecimiento difuso, como el micelio de los hongos. Después de las verdaderas bacterias, son los organismos más numerosos en la capa superior del suelo y muy importantes para su fertilidad. La mayoría de los antibióticos (estreptomicona, actinomicina y tetraciclina) se obtienen de los actinomicetos.

Apresorio. Hifa abultada que se forma al tener contacto y penetrar por primera vez las células epidérmicas de la raíz.

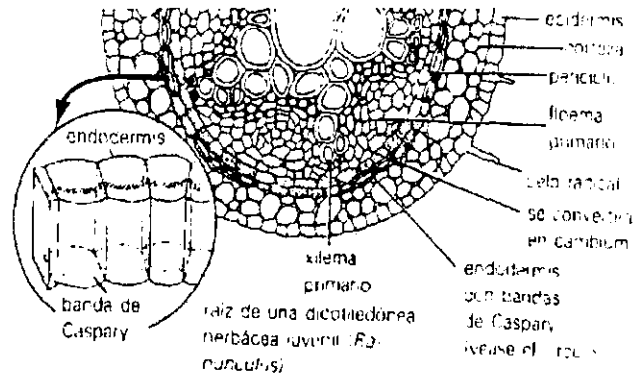


Fotografía de un arbúsculo (Brundrett et al 1996)

Arbúsculo. Su nombre se deriva del parecido con un arbusto. Son hifas finamente ramificadas que crecen dentro de las células de la corteza en la raíz. Se consideran el sitio de mayor intercambio nutrimental entre el hongo simbionte y la planta hospedante.

Colonización. Mecanismo mediante el cual una hifa de HMA en el suelo responde a la presencia de una raíz creciendo hacia ésta. La hifa hace contacto con la raíz, crece a lo largo de la superficie y penetra en varios puntos intra- e intercelularmente, desarrollando estructuras como vesículas y arbúsculos.

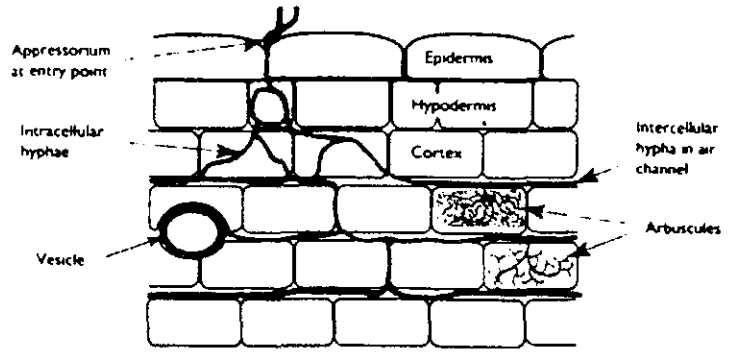
Corteza. Tejido primarios de raíces y tallos de las plantas vasculares, derivado del cuerpo meristémico. La capa de células se extiende entre la epidermis hasta el floema. Las células de la corteza, tienen una gran vacuola central donde almacenan solutos, y es el sitio de formación de arbúsculos en la asociación de hongos micorrízicos arbusculares.



Estructura primaria de la raíz. (Salisbury y Ross, 1994)

Costras criptobióticas. Las costras del suelo son comunidades compuestas de bacterias, cianobacterias, algas, musgos, hongos y líquenes. Son comunes en lugares áridos y semiáridos y juegan un importante papel en el ecosistema.

Endomicorriza. Asociación entre la hifa de un hongo y las raíces de una planta superior, donde el hongo crece alrededor de las células de la corteza de las raíces y también dentro de ellas. Desarrollan estructuras como el apresorio, vesículas y arbuscúlos. A través de los arbuscúlos e hifas el hongo se beneficia obteniendo de las raíces carbohidratos y vitaminas. El hongo proporciona a la planta nutrientes del suelo, por lo que ambas partes se benefician de la relación en el aspecto nutricional.



Estructuras de la colonización micorrizica en la corteza de la raíz (Brundrett et al 1996)



Espora de hongo micorrizico arbuscular. *Glomus sp*

Esporas. Estructuras abultadas desarrolladas en una o más hifas del hongo en el suelo o dentro de la raíz del hospedante, según la especie del hongo. Usualmente desarrollan conjuntos de paredes delgadas y en ocasiones ornamentadas. Funcionan como propágulos del hongo micorrizico.

Estrategia *k* en bacterias: se les denomina al conjunto de bacterias que son capaces de desarrollar una colonia observable en medio de cultivo entre 10 y 15 días. Se caracterizan por tener una reproducción lenta, retener por más tiempo los nutrientes en su biomasa, degradar compuestos de alto peso molecular y a veces son pigmentadas.

Estrategia *r* en bacterias: se les denomina al conjunto de bacterias que son capaces de desarrollar una colonia observable en medio de cultivo entre uno y cinco días. Se caracterizan por tener un reciclaje más acelerado de nutrientes del suelo, una reproducción acelerada y degradan compuestos de bajo peso molecular.

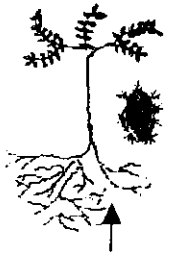
Freofita. Plantas que cuentan con raíces que se alargan de 7 a 10 m hasta alcanzar el agua freática, estas plantas experimentan potenciales hídricos extremadamente negativos.

Hongos. Organismos unicelulares o compuestos por filamentos (hifas) que conforman el cuerpo del hongo o micelio. Carecen de clorofila. Las hifas pueden crecer



Amanita muscaria.

separadas unas de otras o en masa compacta que da una estructura bien definida como las setas venenosas.



Interrizosfera

Interrizosfera. Zona de la rizosfera donde interactúan dos raíces de plantas de igual o distinta especie. En ésta zona se llevan a cabo procesos que influyen en la microflora y microfauna del suelo.

Micorriza. Asociación entre la hifa de un hongo y las raíces de una planta superior.

Microambiente. Parte o unidad en escala de micras o milímetros en estrecha relación con los microorganismos, y que se diferencia o está delimitado del resto del ambiente por algún factor en particular. Por ejemplo, los agregados del suelo.

Mutualismo. La relación estrecha entre dos o más especies animales o vegetales en la que todos se benefician de la asociación. Hay dos tipos de mutualismo: *mutualismo obligado* en el cual uno no puede sobrevivir sin el otro y el *mutualismo facultativo o no obligado* donde dos especies puede sobrevivir independientemente.

Nodricismo. Relación que existe entre dos tipos de plantas, donde una de ellas proporciona condiciones microambientales favorables para el establecimiento de otra planta.

Planta nodriza. Planta que proporciona condiciones favorables para el establecimiento de otras, debajo de su dosel.

Rizosfera. Zona alrededor de las raíces donde se estimula el crecimiento de varios tipos de microorganismos.

Simbiosis. Cualquier relación cercana entre dos o más organismos como se ve en el parasitismo, comensalismo, amensalismo y mutualismo. El término se aplica generalmente para significar mutualismo.

Vesícula. Abultamientos intercalados (II-) o terminales (II) dentro de la hifa; se desarrollan en la corteza de la raíz. Pueden desarrollarse intra- e intercelularmente; acumulan lípidos como material de reserva.



Vesículas de hongos micorrízicos arbusculares
(Brundrett et al 1996)

COMPOSICIÓN DE LAS SOLUCIONES EMPLEADAS

Azul tripano en lactoglicerol (0.05%):

Azul tripano	500 mg
Lactoglicerol	1000ml

Hidróxido de potasio al 10%:

KOH	10 g
Agua destilada	100 ml (aforar a 100 ml)

Lactoglicerol:

Ácido láctico	500 ml
Glicerol	500 ml
Agua destilada	500 ml

Peróxido de hidrógeno:

Peróxido de hidrógeno	10 ml
Agua destilada	100 ml (aforar a 100 ml)