



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

EFFECTO DE LAS COSTRAS BIOLÓGICAS SOBRE LA GERMINACIÓN  
Y CRECIMIENTO TEMPRANO DE TRES ESPECIES VEGETALES DE  
LA REGIÓN DEL VALLE DE ZAPOTITLÁN SALINAS, PUEBLA,  
MÉXICO.

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

**CARLOS ALBERTO MORIN VALDES**

DIRECTOR DE TESIS: DR. HÉCTOR OCTAVIO GODÍNEZ ALVAREZ

MÉXICO, D. F.

JUNIO, 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



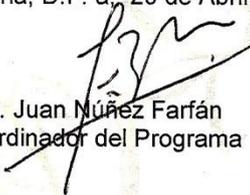
**Dr. Isidro Ávila Martínez**  
**Director General de Administración Escolar, UNAM**  
**Presente**

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 8 de Octubre de 2007, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** del alumno **CARLOS ALBERTO MORÍN VALDÉS** con número de cuenta **90042559** con la tesis titulada **"Efecto de las costras biológicas sobre la germinación y crecimiento temprano de tres especies vegetales de la región del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México"**, realizada bajo la dirección del **DR. HÉCTOR OCTAVIO GODÍNEZ ALVAREZ**.

Presidente: DRA. ALICIA ENRIQUETA BRECHÚ FRANCO  
Vocal: DR. GUSTAVO ALBERTO MONTEJANO ZURITA  
Secretario: DR. HÉCTOR OCTAVIO GODÍNEZ ALVAREZ  
Suplente: DRA. PATRICIA DOLORES DÁVILA ARANDA  
Suplente: DR. VÍCTOR MANUEL RIVERA AGUILAR

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, D.F. a, 29 de Abril de 2008.

  
Dr. Juan Núñez Farfán  
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado.

# **AGRADECIMIENTOS**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

A los apoyos económicos recibidos por parte del CONACYT, COMECYT y al proyecto “Efecto de las costras biológicas del suelo sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas en condiciones controladas”, financiado por el Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera para la Formación de Grupos de Investigación (PAPCA), Periodo 2007-2008, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

A los miembros del comité tutorial:

Dr. Héctor Octavio Godínez Álvarez

Dra. Alicia Enriqueta Brechú Franco

Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar.

**A MIS PADRES**

**Y HERMANOS**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de tesis Héctor Godínez, por todo su apoyo incondicional antes y durante éste proyecto, además por sus enseñanzas que me fueron de gran valía para ver el quehacer de la investigación con especial entusiasmo.

A mi comité tutorial: Dra. Alicia Enriqueta Brechú Franco y al Dr. Víctor Manuel Rivera Aguilar, quienes con sus comentarios y sugerencias durante el proyecto, contribuyeron y enriquecieron el desarrollo de esta tesis, además de brindarme su apoyo y amistad.

A la Dra. Patricia Dávila, por su disposición y aportaciones al revisar este trabajo como parte del jurado, y a quien además tengo mucho que agradecer por el apoyo brindado durante toda mi estancia en la UBIPRO desde que ella era coordinadora de la misma, por compartir su conocimiento, amistad y entusiasmo.

Al Dr. Gustavo Montejano, también por su gran disposición al revisar la tesis y por sus valiosas observaciones como parte del jurado.

Por lo realizado en campo, quiero agradecer a dos equipos de trabajo, que a parte de brindarme gran apoyo durante las colectas de semillas, también me han brindado su hermosa amistad y grandes momentos, uno de ellos es el equipo del laboratorio de fisiología vegetal de la UBIPRO, el Dr. Cesar Flores, a la M. en C. Josefina Vázquez, al M. en C. Rafael Quintanar y al Biol. Luis Barbo H. El otro equipo, es el auto nombrado equipo ñoño, la M. en C. Erika Pagaza, M. en C. Leobardo Paredes, M. en C. Ricardo Álvarez y al M. en C. Jesús Ortega; muchas gracias a todos ellos.

También quiero agradecer a dos personas cercanas, a Christian Morin por soportar las asoleadas en las colectas de costras, y a Verónica Salas por la búsqueda de semillas, su gran ímpetu y compartir hermosos momentos.

Por lo que concierne a los trabajos de laboratorio, quiero agradecer el apoyo de la gente del laboratorio de microbiología, al Dr. Salvador Rodríguez, responsable del laboratorio, al Dr. Víctor Rivera por su ayuda en la identificación de las costras biológicas y un especial agradecimiento la Dra. Teresa González por apoyarme en la estandarización y desarrollo de la técnica del análisis de nitrato y amonio en suelo. Nuevamente agradezco a la gente del laboratorio de fisiología vegetal por facilitarme el uso del equipo para las pruebas de nitrógeno.

A mis amigos y compañeros durante la maestría: Memo, Martin, Isabelle, Rocío, Ricardo, Leobardo, Jesús, Erika, Carmen y todos los que de mi memoria escapan. Gracias por su compañía y sus discusiones sobre diversos temas y muchas más por su sincera amistad.

Finalmente, debo mencionar que el esfuerzo realizado a lo largo de todos estos años para obtener el grado, no hubiera sido posible sin la ayuda de mi familia.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1.1 Efecto de las costras biológicas sobre la germinación y el crecimiento de las plantas vasculares.</b>	4
1.1.1 Germinación	4
1.1.2 Crecimiento	7
<b>1.2 Justificación y objetivos</b>	13
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	15
2.1 Colecta de costras biológicas y semillas	15
2.2 Germinación	17
2.3 Crecimiento temprano	18
2.4 Composición de las costras biológicas y contenido de nitrógeno del suelo	19
<b>3. RESULTADOS</b>	22
3.1 Germinación	22
3.2 Crecimiento	24
3.3 Composición de las costras biológicas y contenido de nitrógeno del suelo	29
<b>4. DISCUSIÓN</b>	36
4.1 Germinación	36
4.2 Crecimiento temprano	38
4.3 Contenido de nitrógeno del suelo	40
<b>5. CONCLUSIONES</b>	42
<b>6. REFERENCIAS</b>	43
<b>APÉNDICE</b>	49

## 1. INTRODUCCIÓN

Las costras biológicas del suelo, también conocidas como costras microbióticas, criptobióticas, microfíticas o criptogámicas, resultan de una asociación de cianobacterias, algas, micro-hongos, líquenes y briofitas (Belnap y Lange, 2001). Dichos organismos forman una capa que crece encima o en los primeros milímetros del suelo, cuya actividad biológica, principalmente de algas filamentosas y cianobacterias, permite formar agregados con las partículas del suelo (Bailey et al., 1973; Anatani y Marathe, 1974; Lynch y Bragg, 1985; Campbell et al. 1989) (Fig. 1).

Las costras biológicas han sido clasificadas en diferentes formas dependiendo de las condiciones del hábitat que ocupan, la composición taxonómica, la apariencia física y la función. Komáromy (1976) basó su clasificación en el tipo de algas presentes en las costras, mientras que Johansen (1993) y Evans y Johansen (1999) las clasificaron según su forma. Por su parte Eldridge y Greene (1994) identificaron tres formas de costras biológicas: hiperformas (encima del suelo), periformas (al nivel del suelo) y criptomorfias (debajo del suelo). Asimismo, la propuesta de Belnap y Lange (2001), la cual se utiliza en este trabajo, se basa en una clasificación topográfica que facilita la comparación morfológica de las costras de cualquier región. Esta clasificación utiliza cuatro categorías: costras lisas, costras rugosas, costras pinaculadas y costras onduladas. Las costras lisas se encuentran en desiertos cálidos en donde el suelo no es cubierto por hielo y en ellas se desarrollan, casi en su totalidad, organismos endodérmicos como cianobacterias, algas y hongos. Estas costras suelen presentar un grosor menor a 1 cm. Las otras tres categorías generalmente tienen colonizadores epedérmicos como líquenes y musgos, además de endodérmicos autótrofos y hongos. Las costras rugosas presentan una superficie de 1-2 cm, generalmente están formadas por terrones de líquenes y/o musgos. Las costras pinaculadas y onduladas se encuentran en sitios en donde el suelo es cubierto por hielo durante el invierno. Las costras pinaculadas están dominadas por cianobacterias, además de tener una cobertura de líquenes-musgos hasta del 40%, en las cuales los pináculos suelen tener hasta 15 cm de altura. Las costras onduladas crecen en sitios en donde la alta precipitación favorece una

amplia cobertura de líquenes-musgos y las ondulaciones pueden alcanzar hasta 5 cm de alto.

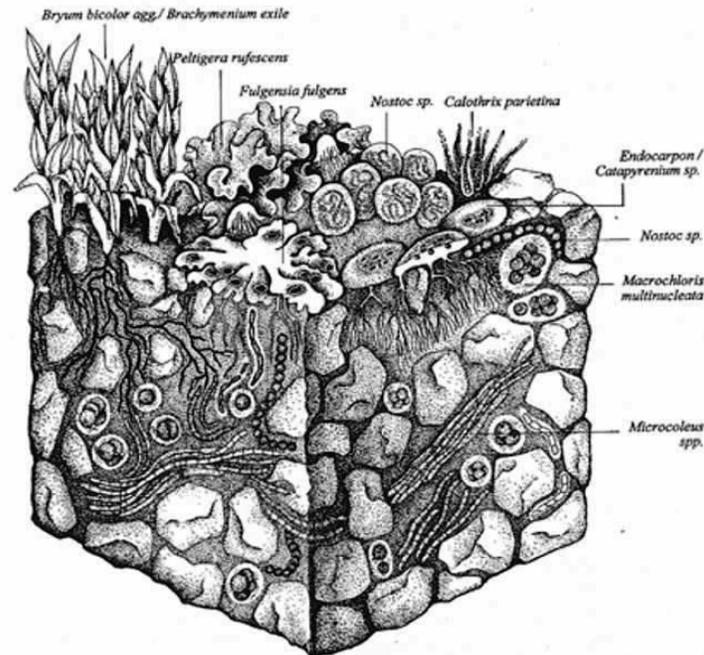


Figura 1. Diagrama esquemático de un corte de costra biológica con algunos organismos típicos de estas comunidades (Ilustración de Renate Klein-Rödder, tomado de Belnap, J. et al., 2001).

Diferentes estudios han destacado la importancia de las costras por las funciones físicas y biológicas que realizan en los ecosistemas. En cuanto a las funciones físicas, se ha sugerido que las costras contribuyen a la estabilidad del suelo, disminuyendo la erosión y favoreciendo la cobertura vegetal (Tongway, 1995; Eldridge y Rosentreter, 1999). La estabilidad del suelo puede deberse a la producción extracelular de polisacáridos, la cual permite la agregación de las partículas o bien, se promueven la consolidación del suelo por la presencia de los filamentos de las cianobacterias, los rizoides de los musgos y las hifas fúngicas de los líquenes. Las costras biológicas también pueden alterar la temperatura y humedad del suelo. La presencia de las costras en suelos de regiones templadas o polares favorece el incremento de la temperatura alrededor de los 14°C (Belnap et al., 2001). Por su

parte, las cianobacterias y líquenes gelatinosos incrementan su contenido de agua hasta en diez veces (Campbell, 1979), aumentando así la capacidad de carga de los suelos.

En cuanto a las funciones biológicas, recientemente se ha encontrado que los elementos autotróficos de las costras, cianobacterias y cianolíquenes, son capaces de fijar nitrógeno y carbono. Esta capacidad de fijación, junto con su amplia cobertura, ha determinado que las costras sean consideradas componentes importantes de los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas áridos y semiáridos (Harper y Marble, 1988; West, 1990; Evans y Johansen, 1999). Estimaciones realizadas en el desierto Sonorense sugieren que las costras pueden fijar entre 7-11 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Mayaland et al., 1966) y 13-18 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (McGregor y Johnson, 1971). En el desierto de la Gran Cuenca, se han reportado rangos de 10-100 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Rychert y Skujins, 1974; West y Skujins, 1977). Por su parte, Rychert et al., (1978) estimaron que las costras en Australia pueden fijar 1.3 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, mientras que Isichei, (1980) obtuvo rangos de 3.3-9.2 kgN ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, en sabanas de Nigeria. Las cianobacterias también secretan péptidos nitrogenados y riboflavina, los cuales junto con los siderocromos, forman complejos de fosfato tricálcico con Cu, Zn, Ni y Fe, proporcionando nutrientes disponibles para las costras biológicas y para las plantas vasculares (Lange, 1974; Geesey y Jang, 1990).

La información anterior muestra que las costras biológicas pueden incrementar significativamente la humedad, la temperatura, los nutrientes y la estabilidad del suelo, por lo que su presencia puede afectar positivamente algunos procesos relacionados con el establecimiento de las plantas vasculares, tales como la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas (Fenner y Kitajima, 1999). En los ecosistemas áridos y semiáridos, dichos procesos son especialmente importantes debido a que el establecimiento se presenta en condiciones de baja disponibilidad de agua y nutrientes, amplia variación diaria de la temperatura, alta incidencia de radiación solar y gran variación anual de la precipitación (Kigel, 1995; Gonzalez-Zertuche et al., 2000; Salas et al., 2000). La presencia de las costras biológicas en estos ecosistemas puede contribuir significativamente al establecimiento de las plantas vasculares, ya que se modifica la microtopografía, creando sitios seguros para las semillas (Eckert et al., 1986; Boeken y Shachak, 1994). Además,

también pueden contribuir a la formación de islas de fertilidad, las cuales son parches o mosaicos de concentración de nutrientes en asociación directa con la presencia de árboles y arbustos (West y Skujins, 1978; Skujins, 1984; Campbell et al., 1989; Evans y Ehleringer, 1993; Harper y Pendleton, 1993; Jackson y Caldwell, 1993; Belnap, et al., 1994; Belnap y Harper, 1995; Schlesinger et al., 1996).

Considerando la diversidad de costras biológicas y plantas vasculares existente en los ecosistemas áridos y semiáridos del mundo, es necesario realizar estudios que permitan conocer cual es la función ecológica de las costras y sus posibles efectos sobre el establecimiento de las plantas vasculares.

## RESUMEN

En las zonas áridas y semiáridas, las costras biológicas del suelo pueden afectar positiva o negativamente la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas. En este trabajo se analiza el efecto de las costras biológicas sobre la germinación y el crecimiento temprano del cactus columnar *Neobuxbaumia tetetzo*, la leguminosa *Prosopis laevigata* y el agave *Agave marmorata*. Se colectaron semillas de las tres especies para realizar experimentos en el laboratorio, en los que se consideraron 5 tratamientos (suelo con costra lisa, suelo con costra rugosa, suelo con costra lisa alterada, suelo con costra rugosa alterada y suelo sin costra). Además, se monitoreó el contenido de amonio-nitrato del suelo y la composición de las costras para controlar las posibles diferencias existentes entre los tratamientos. Los resultados sugieren que la germinación de estas especies no es afectada por las costras. Por el contrario, las plántulas creciendo en las costras tuvieron una altura y biomasa mayor que las plántulas en suelo sin costra.

## ABSTRACT

In the arid and semi-arid zones, the biological soil crusts can affect positive or negatively the germination of the seeds and the growth of the seedlings. In this work the effect of the biological soil crusts is analyzed about the germination and the early growth of the columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo*, leguminous *Prosopis laevigata* and the agave *Agave marmorata*. Seeds of the three species were collected to carry out experiments in the laboratory, in those that were considered 5 treatments (soil with smooth crust, soil with rugose crust, soil with smooth altered crust, soil with rugose altered crust and soil without crust). Also, the content of ammonium-nitrate of the soil and the composition of the crusts was monitored to control the possible differences among the treatments. The results suggest that the germination of these species is not affected by the crusts. On the contrary, the seedling growth in the crusts had a height and bigger biomass that the seedling growing in soil without crusts.

La información existente hasta el momento sobre las costras biológicas en el Valle de Tehuacán, sugiere que estas comunidades de microorganismos son diversas y pueden afectar la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas vasculares de esta región. No obstante lo anterior, las especies de plantas estudiadas hasta el momento son pocas, por lo que es necesario estudiar un mayor número de especies de plantas para así averiguar: 1) si el efecto de las costras varía dependiendo de las especies y su forma de vida y 2) si el efecto sobre las plantas varía con el tipo (lisa y rugosa) y la condición de la costra (intacta o fragmentada). Esta información es importante debido a los problemas ambientales existentes en el Valle de Tehuacán, particularmente en la zona de terrazas aluviales de Zapotitlán Salinas. El análisis de estos aspectos podría proporcionar información útil para entender el deterioro ecológico de estas regiones y proponer estrategias para revertirlo.

## **1.1 Efecto de las costras biológicas sobre la germinación y el crecimiento de las plantas vasculares**

Son pocos los estudios que se han dedicado a estudiar el efecto de las costras biológicas sobre la germinación y/o crecimiento de las plántulas en los ecosistemas áridos y semiáridos. De acuerdo con una revisión bibliográfica de 1942 a 2006, los resultados sobre el efecto de las costras sobre las plantas vasculares son controversiales y la evidencia experimental es limitada (Prasse y Bornkamm, 2000; Belnap, 2001). En los trabajos encontrados en dicha revisión se ha estudiado un total de 27 especies, las cuales están agrupadas en 10 familias botánicas. La familia Poaceae es la mejor estudiada con 18 especies, mientras que *Bromus tectorum* y *Sitanion hystrix*, son las especies más estudiadas hasta el momento (Tabla 1).

### **1.1.1 Germinación**

La germinación es el proceso fisiológico que implica la emergencia y el desarrollo de las estructuras esenciales que provienen del embrión, manifestándose en la capacidad de la semilla para producir una planta normal en condiciones favorables. El proceso comienza con la imbibición de la semilla y termina cuando emerge la radícula. Este fenómeno no se desencadena hasta que la semilla, después de haber sido transportada por algún agente de dispersión, se encuentra en un medio favorable. La humedad, la temperatura y la luz son los factores determinantes para la germinación. Cada especie vegetal requiere de una combinación particular de éstos factores para germinar, pero en general, las condiciones extremas de frío o calor no la favorecen (Fenner, 1985; Camacho, 1994; Taiz y Ziegler, 2002).

La presencia de las costras biológicas en los suelos de los ecosistemas áridos y semiáridos puede cambiar las condiciones de humedad, temperatura, e incluso luz, afectando el proceso de germinación de las semillas. Los trabajos realizados hasta ahora, muestran que las costras pueden tener efectos positivos y negativos, o bien, no tener efecto alguno (Evans y Johansen, 1999; Belnap, 2001).

Los trabajos que han reportado un efecto positivo de las costras biológicas sobre la germinación de las semillas (Tabla 1), han sido realizados en una gran variedad de ambientes como desiertos fríos de Norteamérica, Australia y zonas costeras de Israel (Schlatterer y Tisdale, 1969; Eckert et al., 1986; Pendleton y Warren, 1995; Hawkes, 2004). Las costras empleadas en estos trabajos han sido obtenidas de ambientes diversos y los experimentos han sido realizados en laboratorio o invernadero (Schlatterer y Tisdale, 1969; St. Clair et al., 1984; Eckert et al., 1986; Pendleton y Warren, 1995; Hawkes, 2004; Rivera-Aguilar et al., 2005). En general, los resultados obtenidos en estos trabajos sugieren que el efecto positivo se debe a que las costras proporcionan condiciones favorables de humedad, e incluso de temperatura, para la germinación de las semillas. Así por ejemplo, Hawkes (2004) encontró que en la región sur-central de Florida, *Eryngium cuneifolium*, *Hypericum cumulicola* y *Paronychia chartacea* tienen una germinación significativamente mayor en suelos con costras biológicas dominadas por algas y cianobacterias, en comparación con suelos sin costra. De la misma manera, Rivera-Aguilar et al. (2005) analizando el efecto de las costras biológicas lisas y rugosas sobre la germinación de *Mimosa luisana* (Leguminosae) y *Myrtillocactus geometrizans* (Cactaceae) encontraron que el porcentaje de germinación de las semillas de ambas especies fue mayor en suelo con costra (lisa o rugosa) que en suelo sin costra.

El efecto negativo sobre la germinación ha sido reportado en distintos trabajos hechos con costras biológicas dominadas ya sea por líquenes, musgos o cianobacterias. Estos trabajos han sido realizados en condiciones de campo (Schlatterer y Tisdale, 1969; Crisp, 1975; Eckert et al., 1986; Larsen, 1995; Howell, 1998; Li et al., 2005; Serpe et al., 2006;) y laboratorio (McIlvanie, 1942; Zaady et al., 1997; Serpe et al., 2006). Los resultados obtenidos sugieren que la disminución en la germinación de las semillas de ciertas especies de plantas, se debe posiblemente a las toxinas producidas por las cianobacterias de las costras biológicas (West, 1990; Codd, 1995). De la misma manera, se ha sugerido que algunos líquenes presentes en las costras biológicas también producen sustancias que pueden inhibir la germinación (Harper y Marble, 1998). McIlvanie (1942) estudiando la germinación y establecimiento de *Eragrostis lichmanniana* (Poaceae) y *Panicum antidotale* (Poaceae) en Tucson, Arizona, encontró que las costras biológicas formadas principalmente por algas y musgos inhiben la germinación, debido a que impiden el contacto de las semillas con el suelo. Recientemente, Serpe et al. (2006), investigando el efecto de las costras rugosas de la

zona de la Gran Cuenca, a través de experimentos en cámara de germinación, también encontraron que el porcentaje de germinación fue significativamente más bajo en suelos con costra que en suelos desnudos.

Algunos trabajos han reportado que las costras no tienen ningún efecto sobre la germinación de distintas especies de plantas vasculares (Eldridge y Greene, 1994; Hawkes, 2004; Li et al., 2005; Serpe et al., 2006). Hawkes (2004) analizando la germinación de las semillas de *Polygonella basiramia* no encontró diferencias significativas entre las semillas colocadas en suelo con costra biológica y las semillas colocadas en suelo sin costra. Estos resultados fueron similares en experimentos realizados en campo y en invernadero.

La condición en la que se encuentran las costras biológicas, esto es intactas o fragmentadas, es otro factor que puede influir en la germinación de las semillas (Howell, 1998; Larsen, 1995; Crisp, 1975; Li et al., 2005; Zaady et al., 1997; Prasse & Bornkamm, 2000). La mayoría de los trabajos realizados sugieren que las costras fragmentadas, ya sea de manera natural o inducida por el hombre, tienen un efecto positivo sobre la germinación, en comparación con suelos con costras intactas o suelos sin costra. Por ejemplo, Zaady et al. (1997) estudiando el efecto de las costras biológicas intactas, las costras fragmentadas y el suelo estéril sobre la germinación de tres especies de plantas anuales (*Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata* y *Carrichtera annua*) de la región del desierto de Negev, encontraron que la respuesta varió entre las especies estudiadas. La germinación de *P. coronopus* fue menor en las costras intactas y mayor en las costras fragmentadas y el suelo estéril. La germinación de *R. pinnata* fue mayor en las fragmentadas que en el suelo estéril y el suelo con costra intacta. La germinación de *C. annua* en suelo con costras intactas no fue diferente a la de las costras fragmentadas y el suelo estéril, pero ocurrió con mayor velocidad. En otro trabajo realizado con costras biológicas de Florida, Hawkes (2004), encontró que la germinación fue mayor en las costras intactas que, en las costras fragmentadas o en el suelo sin costras biológicas.

### 1.1.2 Crecimiento

Los trabajos realizados acerca del efecto de las costras biológicas sobre el crecimiento de las plántulas son escasos. Sin embargo, el análisis de los trabajos encontrados en la revisión bibliográfica mostró que las costras biológicas tienden a tener un efecto positivo sobre el crecimiento de distintas especies de plantas vasculares, una vez que éstas han logrado establecerse. Se ha sugerido que las costras biológicas podrían incrementar, a través de su metabolismo, la disponibilidad y la absorción de algunos nutrientes (N, K, Cu, Mg y Zn) en el suelo (Harper y Belnap 2001). No obstante lo anterior, en algunas especies de plantas no se ha detectado ningún efecto de las costras biológicas. En las regiones templadas y frías, todos los trabajos encontrados reportan un efecto positivo sobre el crecimiento (Schlatterer y Tisdale, 1969; Lesica y Shelly, 1992; Belnap, 1995; Pendleton y Warren, 1995; DeFalco, 1995; Gold y Bliss, 1995; DeFalco et al., 2001; Pendleton et al., 2003; Li et al., 2005). DeFalco et al. (2001) estudiando la relación de las costras biológicas con la biomasa y densidad de las plantas anuales de invierno en el desierto de Mojave, encontraron que éstas fueron mayores, 37% y 77% respectivamente, en suelo con costra biológica, en comparación con suelo desnudo. Algunos trabajos realizados en regiones tropicales no se encontró ningún efecto de las costras (Rivera-Aguilar et al., 2005), o bien, éstas tuvieron efectos negativos sobre el crecimiento. Tielbörger (1997), trabajando en la zona de dunas del Desierto de Negev, en Israel, encontró una interacción negativa entre las costras biológicas y las especies de plantas. Es decir, se observó que cuando las costras estaban presentes, la cobertura y/o la riqueza de las plantas vasculares presentes en las dunas tendía a disminuir (Cuadro 1).

La condición de las costras, intacta o fragmentada, también puede afectar el crecimiento de las especies de plantas. Algunos trabajos han sugerido que las costras fragmentadas favorecen el aumento de la biomasa de las plantas. Pendleton et al. (2003), reportan que el incremento de biomasa de *Bromus tectorum*, *Elymus elimoides*, y *Gaillardia pulchella* fue mayor en las costras biológicas fragmentadas que en suelo desnudo.

La información recopilada en esta breve revisión bibliográfica sugiere que las costras biológicas pueden afectar procesos importantes de las plantas vasculares como la germinación y el crecimiento de las plántulas. No obstante lo anterior, la información existente hasta el momento es escasa y contradictoria, por lo que es necesario realizar

otros trabajos que contribuyan a entender más claramente los efectos de las costras biológicas en el funcionamiento de las plantas vasculares.

**Cuadro 1.** Trabajos encontrados en la literatura acerca del efecto de las costras biológicas sobre la germinación y el crecimiento de las plantas vasculares.

ESPECIE VEGETAL (FAMILIA) / COMUNIDAD VEGETAL	PROCESO	COSTRA BIOLÓGICA	RESULTADOS	CONDICION	LOCALIDAD	REFERENCIA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Agropyron elongatum</i> (Poaceae).</li> <li>• <i>Elymus junceus</i> (Poaceae).</li> </ul>	Germinación.	Enrollada: Liqueenes ( <i>Colema tenax</i> , <i>C. coccopforum</i> ). Musgos ( <i>Bruym argenteum</i> , <i>B. caespiticium</i> )	Mayor germinación en suelos con costra que en suelos sin costra.	Laboratorio.	Sur de Utha, USA. *	St. Clair et al., 1984.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Artemisia tridentata wyomingensis</i> Beetle (Asteraceae).</li> <li>• <i>Poa sandbergii</i> Vasey (Poaceae).</li> <li>• <i>Stipa thurberiana</i> Piper (Poaceae).</li> <li>• <i>Sitanion hystrix</i> (Nutt.) J.G. Sm. (Poaceae).</li> <li>• <i>Agropyron desertorum</i> Schult. (Poaceae).</li> </ul>	Germinación y supervivencia.	Pináculo: Líquenes y musgos.	Mayor germinación y supervivencia en suelos bajo arbustos con costra y suelos circundantes que en suelos sin costra.	Laboratorio y campo.	Norte de Nevada, USA *	Eckert et al., 1986.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Stipa sp</i> (Poaceae)</li> <li>• <i>Bromus tectorum</i> (Poaceae)</li> </ul>	Germinación y establecimiento.	Enrollada: Liqueenes ( <i>Colema tenax</i> , <i>C. coccopforum</i> ). Musgos ( <i>Bruym argenteum</i> , <i>B. caespiticium</i> )	<i>Stipa sp</i> (planta nativa) no fue afectada por la costra, mientras que <i>B. tectorum</i> (planta exótica) fue inhibida. <i>B. tectorum</i> fue estimulada a germinar cuando la costra fue fragmentada.	Campo.	Sur de Utha, USA. *	Howell, 1998.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Plantago coronopus</i> L. subsp. <i>commutata</i> (Guss.) Pilger var. <i>Crassipes</i> Coss. and Daveau (Plantaginaceae).</li> <li>• <i>Reboudia pinnata</i> (Viv.) O.E. Schultz Taeckh. et Boulos (Brassicaceae).</li> <li>• <i>Carrichtera annua</i> (L.) DC. (Brassicaceae).</li> </ul>	Germinación.	Cianobacteria ( <i>Microcoleus vaginatus</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> ).	La germinación de las semillas de <i>Plantago coronopus</i> y <i>Reboudia pinnata</i> fue inhibida por costras intactas, mientras que fue favorecida en costras fragmentadas. Para <i>Carrichtera annua</i> la germinación fue acelerada en costra intacta en comparación con costra fragmentada o papel filtro.	Laboratorio.	Desierto de Negev, Israel. **	Zaady et al., 1997.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Bromus tectorum</i> (Poaceae)</li> <li>• <i>Stipa thurberiana</i> (Poaceae)</li> </ul>	Germinación	Dominada por líquenes y musgos.	<i>S. thurberiana</i> y <i>S. comata</i> (plantas nativas) no fueron afectadas por la costra, mientras que <i>B. tectorum</i> (planta exótica) fue inhibida. <i>B. tectorum</i> fue	Campo.	Idaho, USA. *	Larsen, 1995.

<i>Stipa comata</i> (Poaceae)	Germinación y establecimiento.		estimulada a germinar cuando la costra fue fragmentada.	Campo.	Koonamore, South Australia. **	Crisp, 1975.
<i>Stipa sp.</i> (Poaceae).			La Poaceae nativa perenne <i>Stipa</i> no fue inhibida, mientras que la Poaceae anual exótica si fue inhibida. Esta última fue estimulada en su germinación y establecimiento cuando la costra fue fragmentada.			
<i>Schismus sp.</i> (Poaceae).						
<i>Eragrostis lehmanniana</i> (Poaceae)	Germinación	Musgos y algas.	Las dos especies de Poaceas no germinaron en suelos con costra.	Invernadero.	Sur de Arizona. **	McIlvanie, 1942.
<i>Panicum antidotale</i> (Poaceae)	Emergencia	Cianobacterias.	Registraron diferencias en el número de individuos emergidos en sitios con costra biológica removida, que en sitios con costra intacta.	Campo.	Desierto de Negev, Israel. **	Prasse & Bornkamm, 2000.
Comunidad de dunas.						
<i>Atriplex sp.</i> (Chenopodiaceae)	Germinación y establecimiento		No encontraron relación entre la germinación y establecimiento de las semillas del arbusto <i>Atriplex</i> y la cobertura de las costras.		Australia. **	Eldridge and Greene, 1994.
<i>Festuca idahoensis</i> Elmer (Poaceae)	Germinación	Dos tipos de costras. La primera dominada por el musgo <i>Tortula rurales</i> Hedw., y la segunda dominada por <i>Bryum argenteum</i> Hedw.	En la costra con <i>B. argenteum</i> , el porcentaje final de germinación fue 50% menor que en suelo desnudo y la germinación se dio 4 días mas tarde. La costra con <i>T. ruralis</i> , no redujo el porcentaje final pero aceleró el tiempo de germinación.	Cámara de crecimiento.	Kuna butte, Idaho, USA. *	Serpe et al., 2006.
<i>Festuca ovina</i> L. (Poaceae)						
<i>Elymus wawawaiensis</i> J. Carlson & Barkworth (Poaceae)						
<i>Bromus tectorum</i> L. (Poaceae)						
<i>Eragrostis poaeoides</i> Beauv. (Poaceae)	Germinación y crecimiento	Dos tipos de costras. Tipo A compuestas de cianobacterias, algas y musgos. Tipo B compuesta principalmente de musgos.	El trabajo en campo indicó mayor germinación en costras fragmentadas y suelo desnudo que en costras intactas. En el trabajo de invernadero no se obtuvieron diferencias significativas. El crecimiento fue mayor en costras que en suelo desnudo.	Campo e invernadero	Shapotou Desert Research Station, Tengger Desert, China. **	Li et al., 2005.
<i>Bassia dasyphylla</i> Kuntze (Poaceae)						
<i>Mimosa luisana</i> Brandege <i>Myrtillocactus geometrizans</i> (C. Martius) Console	Germinación y crecimiento	Dos tipos de costra. Lisa con dominancia de cianobacterias. Rugosa con cianobacterias, líquenes y musgos.	Las costras tienen un efecto positivo en la germinación en comparación a suelo con costra previamente removida. En el crecimiento no se notaron diferencias significativas.	Cámara de germinación.	Valle de Tehuacán, Puebla, México.	Rivera-Aguilar et al., 2005.
• <i>Eryngium cuneifolium</i> Small	Germinación	Costra biológica dominada	En invernadero,	Campo e	Archbold Biological	Hawkes, 2004.

(Apiaceae) • <i>Hypericum cumulicola</i> (Small) P. Adams (Hypericaceae) • <i>Polygonella basiramia</i> (Small) Nesom and Bates (Polygonaceae) • <i>Paronychia chartacea</i> Fern. ssp. <i>chartacea</i> L.C. Anderson (Caryophyllaceae) • <i>Sitanion hystrix</i> (Poaceae) • <i>Gaillardia pulchella</i> • <i>Sphaeralcea munroana</i> • <i>Coleogyne ramisissima</i>	por algas y cianobacterias.		<i>E. cuneifolium</i> , <i>H. cumulicola</i> y <i>P. chartacea</i> tuvieron mayor germinación en suelos con costra que en suelos sin costra o costras con disturbio. Para <i>P. basiramia</i> no se dieron diferencias entre tratamientos. En campo <i>H. cumulicola</i> fue favorecida por costras intactas. Para <i>P. chartacea</i> no se encontraron diferencias. <i>P. basiramia</i> tampoco se encontraron diferencias. Las especies vasculares mostraron un rápido crecimiento y biomasa alta creciendo en suelos con costra en comparación que en suelos sin costra.	invernadero.	Station, Highlands County, Florida, USA.	
	Crecimiento	ND		ND	ND	Pendleton and Warren, 1995.
• <i>Sitanion hystrix</i> (Poaceae) • <i>Stipa thurberiana</i> (Poaceae) • <i>Agropyron spicatum</i> (Poaceae) • <i>Bromus tectorum</i> (Poaceae) • <i>Bromus madritensis</i> ssp. <i>Rubens</i> (Poaceae) • <i>Erodium cicutarium</i> (Poaceae) • <i>Vulpia octoflora</i> (Poaceae) • <i>Riophyllum wallacei</i> • <i>Cryphantha micrantha</i> • <i>Schismus barbatus</i> • <i>Descuraina pinnata</i> • <i>Phacelia ivesiana</i> • <i>Cryptantha pterocarya</i> • <i>Arabis fecunda</i> Rollins (Brassicaceae)	Crecimiento	Costra dominada de musgos	La altura y biomasa de <i>S. hystrix</i> fue incrementada significativamente, y la biomasa de <i>S. thurberiana</i> y <i>A. spicatum</i> no fueron afectadas creciendo en suelos con costra comparados con un sistema sin costra.	ND	ND	Schlatterer and Tisdale, 1969.
	Crecimiento	Costra dominada por el liquen <i>Collera sp.</i> y <i>Microcoleus sp.</i>	La biomasa de las plantas exóticas colectadas en 1994, fue mayor en suelos con costra que en suelos desnudos. La biomasa de las especies anuales colectadas ese mismo año, fue 41% mayor que en suelos desnudos.	Campo.	Noreste del desierto de Mojave, USA. **	DeFalco, 1995. DeFalco et al., 2001.
	Cobertura y distribución	Dominada por <i>Microcoleus vaginatus</i> Vauch., <i>Nostoc commune</i> Vauch., <i>Collema tenax</i> (Sw.) Ach.	Estudio poblacional que muestra mayor cobertura de <i>A. fecunda</i> en suelos con costra que en suelos sin costra, sin embargo la presencia de individuos jóvenes es pobre en suelos con costra.	Campo.	Beaverhead County, Montana, USA.	Lesica and Shelly, 1992.
• <i>Bromus tectorum</i> L.	Crecimiento	Dominada por	Las cuatro especies de plantas	Invernadero	Moab, Utha, USA.	Pendleton et al., 2003.

---

(Poaceae) • <i>Elymus elymoides</i> (Raf.) Swezey (Poaceae) • <i>Gaillardia pulchella</i> Foug. • <i>Sphaeralcea munroana</i> (Doug. ex Lindl.) Spach. ex Gray • <i>Festuca octoflora</i> (Poaceae)	Crecimiento	ND	cianobacterias de <i>Microcoleus vaginatus</i> y el líquen <i>Collema tenax</i> .	vasculares creciendo en suelos con costra intacta o fragmentada, mostraron mayor crecimiento y biomasa que en los tratamientos de arena sin costra.			
Comunidad vegetal polar ártica	Crecimiento	ND		La biomasa del pasto nativo local fue el doble creciendo en suelos con costras en comparación con suelos sin costras. Las áreas con costras biológicas presentaban una mayor diversidad y biomasa, comparando áreas sin costra.	ND	ND	Belnap, 1995.  Gold and Bliss, 1995.
Comunidad vegetal de dunas	Cobertura y riqueza específica.		Cianobacterias	La cobertura y riqueza específica fue baja en sitios con costra biológica.	Campo.	Desierto de Negev, Israel.	Tielbörger, 1997.

---

\* **Desierto frío**  
\*\* **Desierto cálido.**

## **Objetivo general**

Evaluar el efecto de las costras biológicas sobre la germinación y el crecimiento temprano de tres especies de plantas vasculares (*Neobuxbaumia tetetzo*, *Prosopis laevigata* y *Agave marmorata*) del Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla.

## **Objetivos particulares**

1. Determinar el efecto del tipo (lisa y rugosa) y la condición de las costras biológicas (intacta y fragmentada) sobre el porcentaje y la velocidad de germinación de cada una de las especies de plantas vasculares.
2. Determinar el efecto del tipo (lisa y rugosa) y la condición de las costras biológicas (intacta y fragmentada) sobre el incremento en altura y la biomasa final de las plántulas de cada una de las especies de plantas vasculares.

## **Hipótesis:**

De acuerdo con los resultados de Rivera-Aguilar et al. (2005), en este trabajo esperamos que las costras biológicas tengan un efecto positivo en el porcentaje de germinación, siendo este más alto en suelos con costra que en suelos desprovistos de ella. De la misma forma, esperamos que las costras favorezcan el crecimiento de las plántulas, por lo que la altura y la biomasa de las plántulas que crecen en suelos con costra serán mayores que las de las plántulas que crecen en suelos sin ella.

## 1.1 Justificación y alcance

Los trabajos que se han realizado hasta ahora para evaluar el efecto de las costras biológicas sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas de las especies de plantas vasculares son escasos, particularmente en las zonas áridas y semiáridas de México. Los estudios en estas zonas áridas son importantes debido a que éstas concentran una alta diversidad y endemismo de plantas (Rzedowski, 1993).

Los únicos trabajos realizados hasta el momento sobre este tema en nuestro país son los publicados por Rivera-Aguilar et al. (2005 y 2006). En el primer trabajo, los autores analizaron, en condiciones de laboratorio, los efectos de dos tipos de costras, lisas y rugosas, sobre la germinación y crecimiento de *Mimosa luisana* y *Myrtillocactus geometrizans*, dos especies de plantas vasculares del Valle de Tehuacán. Los resultados obtenidos mostraron que la germinación de las semillas fue mayor en los tratamientos con costra biológica, en comparación con aquellos en donde no la había. En relación con el crecimiento, los autores no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin costra biológica. Rivera-Aguilar et al. (2006) describen los tipos de costras biológicas existentes en el Valle de Tehuacán, su riqueza específica y su distribución en la región. Los resultados de este trabajo mostraron que en esta región existen registradas 7 especies de cianobacterias, 19 especies de musgos y 8 especies de líquenes. Las especies más comunes de cianobacterias reportadas son *Scytonema javanicum*, *Microcoleus paludosus* y *Chroococcidiopsis* sp. Siete especies de musgos son únicos de la región, donde Pottiaceae y Bryaceae fueron las familias mejor representadas. Los líquenes más comunes fueron *Placydium squamulosum* y *Lepraria* spp.

La información existente hasta el momento sobre las costras biológicas en el Valle de Tehuacán, sugiere que estas comunidades de microorganismos son diversas y pueden afectar la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas vasculares de esta región. No obstante lo anterior, las especies de plantas estudiadas hasta el momento son pocas, por lo que es necesario estudiar un mayor número de especies de plantas para así

averiguar: 1) si el efecto de las costras varía dependiendo de las especies y su forma de vida y 2) si el efecto sobre las plantas varía con el tipo (lisa y rugosa) y la condición de la costra (intacta o fragmentada). Esta información es importante debido a los problemas ambientales existentes en el Valle de Tehuacán, particularmente en la zona de terrazas aluviales de Zapotitlán Salinas. El análisis de estos aspectos podría proporcionar información útil para entender el deterioro ecológico de estas regiones y proponer estrategias para revertirlo.

Este trabajo pretende abordar los aspectos mencionados anteriormente para contribuir al conocimiento del efecto de las costras biológicas, particularmente de las costras lisas y rugosas, sobre la germinación y el crecimiento temprano de tres especies de plantas vasculares que habitan en la región del Valle de Zapotitlán. Las especies estudiadas son *Neobuxbaumia tetetzo*, *Prosopis laevigata* y *Agave marmorata*. Estas especies son elementos fisonómica y ecológicamente dominantes en la región. Además, son abundantes en los mismos sitios en donde crecen las costras biológicas. *Neobuxbaumia tetetzo* es una cactácea columnar cuyas semillas son dispersadas por animales (aves, murciélagos y carnívoros) y presentan porcentajes de germinación de hasta 98% (Godínez-Alvarez et al., 2002). Las semillas de la leguminosa *Prosopis laevigata* también son dispersadas por animales (carnívoros y ungulados) y su porcentaje de germinación es de alrededor de 45% (Sánchez de la Vega, 2005). Las semillas del maguey *Agave marmorata* son dispersadas por viento y su porcentaje de germinación es de 100% (Godínez-Alvarez et al., en evaluación). De acuerdo con los resultados de Rivera-Aguilar et al. (2005), en este trabajo esperamos que las costras biológicas tengan un efecto positivo en el porcentaje de germinación, siendo este más alto en suelos con costra que en suelos desprovistos de ella. De la misma forma, esperamos que las costras favorezcan el crecimiento de las plántulas, por lo que la altura y la biomasa de las plántulas que crecen en suelos con costra serán mayores que las de las plántulas que crecen en suelos sin ella

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Colecta de costras biológicas y semillas

Para evaluar el efecto de las costras biológicas sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas, se hicieron colectas de suelo, de suelos con costra y semillas de las tres especies de plantas vasculares. La colecta de las costras y el suelo sin costra se realizó durante el verano de 2005 y 2006, en una zona de terrazas aluviales ubicada junto al río “El Salado”, en la cuenca baja de Zapotitlán Salinas, en la parte oeste del Valle de Tehuacán, Puebla. El suelo de las terrazas es del tipo feozem háplico, el cual está formado por sedimentos aluviales que han sido transportados de lugares altos. El clima se caracteriza por ser seco y semicálido con dos máximos de lluvia, uno en Junio y otro en Septiembre, separados por dos estaciones secas. La precipitación y la temperatura media anuales oscilan entre los 375-450 mm y los 18-22°C, respectivamente. El tipo de vegetación que se desarrolla en estas terrazas aluviales es selva baja espinosa perennifolia, el cual se caracteriza por la predominancia de árboles de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnston, también conocido como mezquite (Valiente-Banuet et al., 2000). Otras especies asociadas son *Celtis pallida* Torrey, *Castela erecta* Turpin subsp. *texana* (Torr. & A. Gray) Cronquist, *Maytenus phyllantoides* Benth., *Caesalpinia melanadenia* (Rose) Standley, *Parkinsonia praecox*, *Vallesia glabra* (Cav.) Link, *Agave marmorata* Roezl, *Myrtillocactus geometrizans* (C. Martius) Console, *Pachycereus marginatus* (DC.) Britton & Rose y *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxb. Debido a que el sitio de muestreo se localiza en una zona de ecotono con un bosque de cactáceas arborescentes, también es posible encontrar elementos de este tipo de vegetación tales como *Neobuxbaumia tetetzo* (F.A.C. Weber) Backeb. y *Mimosa luisana* Brandege (Valiente-Banuet et al., 2000).

Las costras biológicas se colectaron tomando 48 muestras de suelo de 12 x 12 x 2 cm, en los sitios en donde se encontraban creciendo estas comunidades de microorganismos. Del total de muestras, la mitad correspondió a costras lisas y la otra mitad a costras rugosas. Las costras biológicas se consideraron lisas cuando presentaban un grosor 1-5 mm, con dominancia de cianobacterias (*Microcoleus sociatus* Wand G. S. West, *Scytonema javanicu*

Bornet, y *Schizothrix friesii* (Ag.) Gomont) y agregados celulares (*Chroococcidiopsis* spp., *Nostoc* spp.). Las costras se consideraron rugosas cuando presentaban 6-10 mm de grosor y estaban compuestas de cianobacterias, líquenes (*Placydium squamulosum* (Ach.) Breuss, *Collema coccophorum* Tuck) y musgos (*Bryum argenteum* Hedw., *Pseudocrossidium replicatum* (Tayl.) Zand., *Aloina hamulus* (C. Muell.) Broth.). El suelo sin ningún tipo de costra biológica se colectó en los mismos sitios en donde se tomaron las muestras de las costras. El suelo se colectó con una pala, en los primeros 5 cm de profundidad, y se mezcló para obtener una muestra homogénea del sitio. Las muestras de suelo sin costra y las muestras de las costras se colocaron en recipientes de plástico para su transporte al laboratorio. Los recipientes en donde se colocaron las costras fueron llenados previamente con la mezcla homogénea de suelo.

En el laboratorio, las costras biológicas se reactivaron y aclimataron de acuerdo con el protocolo propuesto por Maya et al. (2002). Para esto, a todas las muestras se les adicionó agua corriente, hasta el punto de saturación, y se mantuvieron a temperatura ambiente durante dos días. Con esto se proporcionó la humedad necesaria para la reactivación de las costras, la cual permitió el reestablecimiento de la estructura original.

Las semillas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Prosopis laevigata* y *Agave marmorata* se colectaron en la misma zona de terrazas aluviales. Para cada especie, se colectaron 3-4 frutos maduros del mayor número de individuos presentes en la zona. Los frutos se colocaron en bolsas de papel y fueron transportados al laboratorio. En el laboratorio se obtuvieron las semillas de los frutos de manera diferente para cada una de las especies estudiadas. En el caso de *N. tetetzo*, las semillas se colocaron en un tamiz y se lavaron con agua corriente hasta liberarlas de la pulpa del fruto, posteriormente se enjuagaron con agua destilada y se secaron a temperatura ambiente. Las semillas de *P. laevigata* se extrajeron de las vainas y se les retiró la pulpa y la testa manualmente, posteriormente fueron enjuagadas con agua destilada y secadas a temperatura ambiente. Para separar las semillas de *A. marmorata* bastó con abrir las cápsulas de la infrutescencia y separar las semillas de las membranas del fruto. Las semillas de las tres especies se guardaron por separado en bolsas

de papel y fueron almacenadas en una cámara para semillas con condiciones ambientales controladas (15°C, 15% humedad relativa) durante 3 meses.

## 2.2 Germinación

El efecto de las costras biológicas sobre la germinación de las semillas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Prosopis laevigata* y *Agave marmorata* se evaluó mediante un experimento que contó con cinco tratamientos: (1) suelo con costra lisa, (2) suelo con costra lisa fragmentada, (3) suelo con costra rugosa, (4) suelo con costra rugosa fragmentada y (5) suelo sin costra. Para cada uno de los tratamientos se hicieron cuatro réplicas. Las réplicas en los experimentos de *N. tetetzo* y *A. marmorata* constaron de charolas transparentes de plástico de 13 x 12 x 4.5 cm, mientras que las réplicas en los experimentos de *P. laevigata* constaron de recipientes cilíndricos de plástico de 13 x 18 cm de profundidad. El uso de recipientes de distintas formas y tamaños se debió principalmente a las diferencias en la forma de vida y de crecimiento de las especies estudiadas, ya que mientras el crecimiento temprano de las raíces de *N. tetetzo* y *A. marmorata* es de algunos milímetros en sus primeras semanas, en *P. laevigata* el crecimiento es de algunos centímetros. Las costras empleadas en todos los tratamientos fueron previamente reactivadas y en los casos necesarios, fueron fragmentadas con un pistilo de mortero. El experimento de *N. tetetzo* se realizó a finales de agosto de 2005 y el número de semillas por réplica fue de 24, para un total de 480 semillas. En el caso de *P. laevigata* y *A. marmorata*, los experimentos se realizaron en febrero y agosto de 2006, respectivamente. El número de semillas por réplica en cada una de estas especies fue de 10, para un total de 200 semillas. Las semillas se colocaron manualmente y se distribuyeron homogéneamente en toda la superficie. Posteriormente, se agregaron 100 ml de agua por réplica, para alcanzar el punto de saturación del suelo. Durante todo el experimento, se agregaron 50 ml de agua cada tercer día para mantener condiciones constantes de humedad y promover la germinación. Todas las unidades experimentales se mantuvieron en condiciones ambientales de laboratorio (temperatura máxima:  $29.0 \pm 3^\circ\text{C}$  y mínima  $12 \pm 2.5^\circ\text{C}$ ) y se revisaron diariamente para registrar el número de semillas germinadas. El criterio para considerar una semilla germinada fue la emergencia de la radícula.

La proporción de semillas germinadas se comparó entre los tratamientos mediante un análisis de varianza (ANDEVA), previa transformación arcoseno de los datos. La hipótesis nula fue que no existen diferencias significativas en la proporción de germinación entre los tratamientos de costras biológicas y suelo sin costra.

### **2.3 Crecimiento temprano**

Para evaluar el efecto de las costras biológicas sobre el crecimiento temprano de las plántulas, se utilizó el mismo diseño experimental empleado en la germinación. Las plántulas de los distintos tratamientos se mantuvieron en las mismas condiciones ambientales de laboratorio y fueron regadas con 50 ml de agua corriente cada 4 días.

La altura de las plántulas de cada una de las especies se midió semanalmente con un vernier o calibrador digital (Truper CALD6MP), a lo largo de todo el experimento. Los experimentos de *N. tetetzo*, *P. laevigata* y *A. marmorata* duraron 62, 64 y 55 días, respectivamente. Para cada una de las plántulas se calculó el incremento en altura ( $\Delta T$ ) como:  $\Delta T_x = T_x - T_{x-1}$ , en donde,  $T_x$  y  $T_{x-1}$  representan la altura de la plántula en la semana  $x$  y  $x-1$ , respectivamente. Los incrementos de altura registrados al final del experimento para cada una de las especies, se compararon con un análisis de varianza para determinar si existían diferencias entre los tratamientos.

Las plántulas de cada una de las especies en los distintos tratamientos fueron cosechadas, una vez finalizados los experimentos, para medir el peso fresco y el peso seco de la raíz y el tallo. Las plántulas se extrajeron manualmente de los recipientes de plástico, tratando de mantener intacta la mayor cantidad de la raíz. La raíz y el tallo de cada plántula se pesaron con una balanza analítica (AND HR-300 Cap. max.=310g, sensibilidad d= 0.1mg) para obtener el peso fresco. Posteriormente, la raíz y el tallo se guardaron en bolsas de papel, las cuales se colocaron en un horno (Fisher Cientific Digital) a 70°C por tres días. Después de este tiempo, se sacaron del horno y se pesaron con una balanza analítica para obtener el

peso seco. Los datos de biomasa registrados de cada una de las especies, se compararon con un análisis de varianza para determinar si existían diferencias entre los tratamientos.

#### **2.4 Composición de las costras biológicas y contenido de nitrógeno del suelo**

Debido a que la adición de agua para promover la germinación y la actividad fisiológica de las costras son factores adicionales que podrían influir en los resultados de los experimentos, se decidió medirlos para controlar sus posibles efectos. La adición de agua incrementa el contenido de humedad del suelo y puede provocar cambios en la riqueza y abundancia de determinados grupos de organismos de las costras. Por su parte, la actividad fisiológica de las costras biológicas puede alterar directa o indirectamente los niveles de nutrientes en el suelo, particularmente nitrógeno, debido a que varios microorganismos asociados a estas comunidades son fijadores de nitrógeno.

Para controlar los posibles cambios en la composición de especies de las costras a lo largo del experimento, se estimó la cobertura-abundancia de las especies dominantes en cada una de las réplicas, de cada tratamiento. Para esto, se utilizó la escala empleada por Eldridge et al (2000), la cual consiste en asignar distintos valores de acuerdo con la cobertura y el número de individuos presentes en una muestra de 2 cm<sup>2</sup> en cada unidad experimental. La escala de valores se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Escala Braun-Blanquet para la estimación de cobertura-abundancia en costras biológicas.

Escala	Características
1	Cobertura < 25% y menos de 5 individuos.
2	Cobertura < 25% y 6-25 individuos.
3	Cobertura < 25% y 25-50 individuos.
4	Cobertura < 25% y >50 individuos.
5	Cobertura 25-50%
6	Cobertura 50-75%
7	Cobertura >75%

Para estimar la cobertura-abundancia se consideraron las especies dominantes en este tipo de costras según lo reportado por Rivera-Aguilar et al. (2006) como *Microcoleus paludosus* (Kütz.) Gomont, *Chroococcidiopsis* sp., *Scytonema javanicum* (Kütz.) Bornet ex Born. et Flah., *Placydium squamulosum* (Ach.) Breuss, *Pseudocrossidium replicatum* (Tayl.) Zand, *Bryum argenteum* Hedw., *Aloina hamulus* (C. Muell.) Broth y *Collema coccophorum* Tuck. La identificación taxonómica de los organismos se hizo mediante observación microscópica, utilizando la información de diagnóstico presentada en Rivera-Aguilar et al. 2006, así como claves especializadas de identificación Anagnostidis y Komárek (1988), Desikachary (1959), Komárek y Anagnostidis (1986, 1989, 1998), Sharp et al. (1994), Egan (1972), Nash y Johnson (1975) y Shushan y Anderson (1969). Con la ayuda de una rejilla de 15 cm<sup>2</sup>, subdividida en unidades de 1 cm<sup>2</sup>, se realizaron tres estimaciones de la cobertura-abundancia: una al inicio del experimento de germinación, otra a la mitad de la duración del experimento y la última al final del experimento. Para cada tratamiento se obtuvo la moda de la cobertura-abundancia de las especies dominantes y los datos se analizaron con la prueba de Friedman para K muestras relacionadas.

Con respecto al nitrógeno, se consideró importante estimar el contenido de nitrógeno en el suelo de cada uno de los tratamientos experimentales. En estas estimaciones únicamente se

consideraron las formas asimilables de nitrógeno para las plantas como el amonio y el nitrato. Para evaluar las concentraciones de nitrato y amonio en suelo, se utilizó la técnica de análisis colorimétrico de Alef y Nannipieri (1995), en la que el amonio del suelo reacciona con salicilato e hipoclorito en una solución amortiguadora alcalina, mientras que el ácido salicílico es nitrificado en una solución alcalina. El procedimiento y los cálculos específicos para cada uno de estas formas se presentan en el apéndice. El contenido de nitrato y amonio se comparó con un análisis de varianza para determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos. Los datos fueron previamente transformados mediante el arcoseno, para cumplir con los supuestos de la prueba estadística. Los datos que no cumplieron el supuesto de homogeneidad de varianzas fueron analizados con la prueba Kruskal-Wallis.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Germinación

Los resultados del experimento de germinación mostraron que las semillas de *N. tetetzo* germinaron un día después de iniciado el experimento. La proporción promedio de semillas germinadas fue mayor en los tratamientos de suelo con costra que en los de sin costra. Sin embargo, estas diferencias no fueron significativas ( $\chi^2= 6.9$ , g.l.= 4,  $p= 0.1432$ ; Fig. 2). Con respecto a *P. laevigata*, la germinación ocurrió dos días después de iniciado el experimento. La proporción de semillas germinadas fue mayor en el tratamiento con costra lisa alterada que en el resto de los tratamientos. No obstante, éstas diferencias tampoco fueron significativas ( $\chi^2= 6.2$ , g.l.= 4,  $p= 0.1342$ ; Fig. 3). De la misma manera que *P. laevigata*, la germinación en *A. marmorata* sucedió dos días después de iniciado el experimento. La proporción de semillas germinadas fue mayor en los tratamientos de suelo con costra lisa y con costra lisa fragmentada que en el resto de los tratamientos. Pese a estas diferencias, éstas tampoco fueron significativas. ( $\chi^2= 6.2$ , g.l.= 4,  $p= 0.1342$ ; Fig. 4).

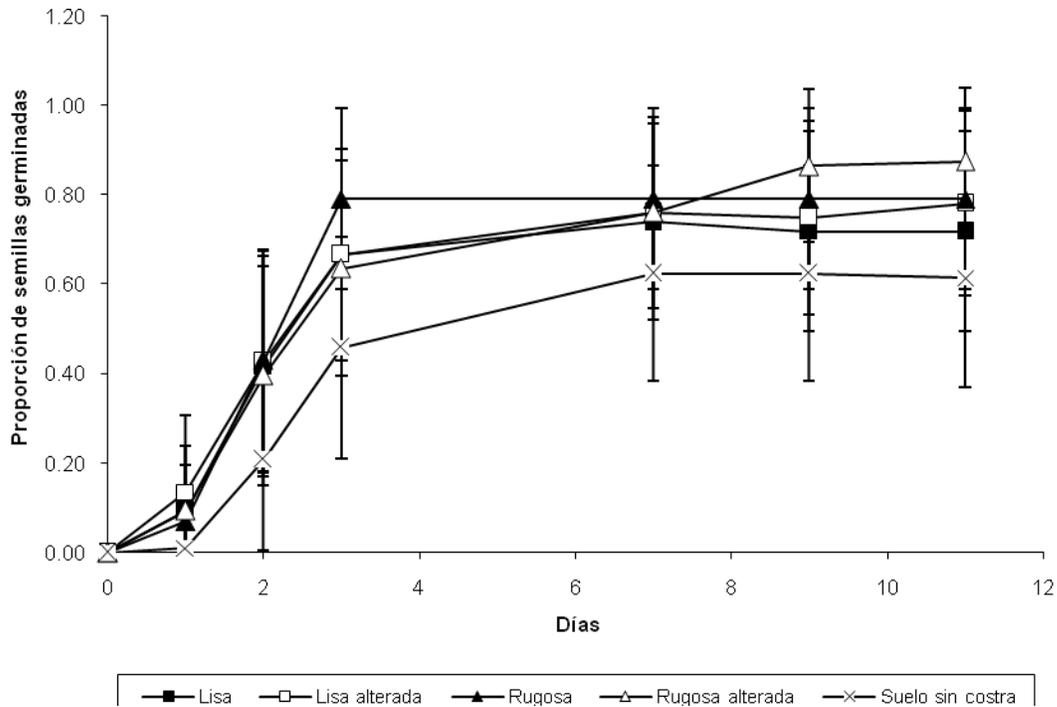


Figura 2. Proporción promedio ( $\pm$  error estándar) de semillas germinadas de *N. tetetzo* en distintos tratamientos experimentales.

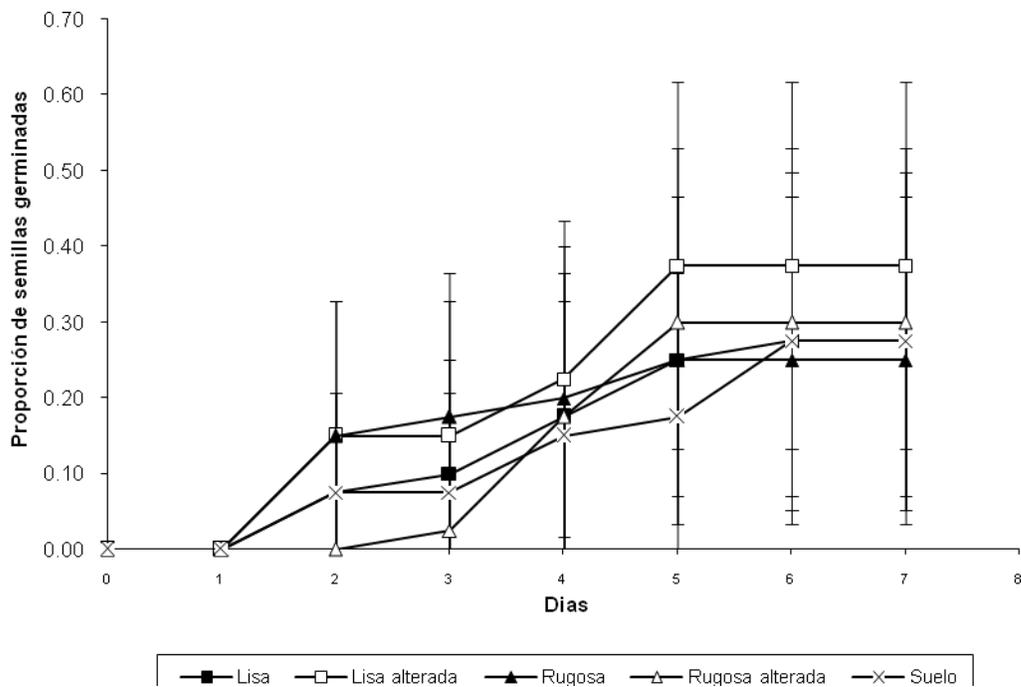


Figura 3. Proporción promedio ( $\pm$  error estándar) de semillas germinadas de *P. laevigata* en distintos tratamientos experimentales.

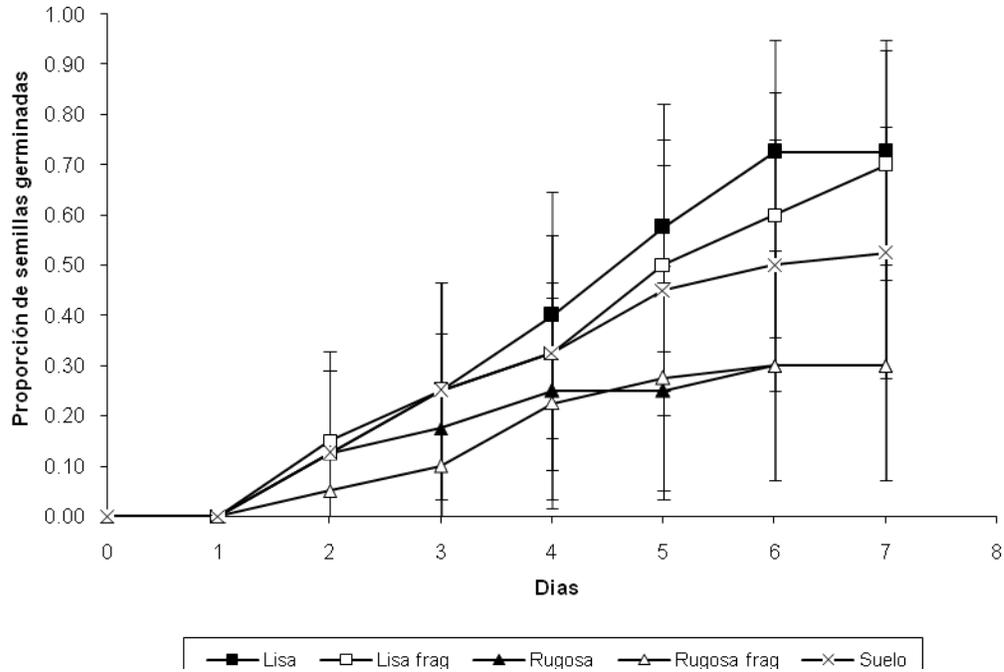


Figura 4. Proporción promedio ( $\pm$  error estándar) de semillas germinadas de *P. laevigata* en los distintos tratamientos experimentales.

### 3.2 Crecimiento

Los resultados del experimento de crecimiento de las plántulas de *N. tetetzo* mostraron que existen diferencias significativas en el incremento en altura entre los tratamientos ( $F=47.6230$ ; g.l.= 4, 335;  $p=0.0001$ ). Después de 62 días, el incremento en la altura de las plántulas fue mayor en los tratamientos con costra rugosa fragmentada ( $4.46 \pm 0.12$ ), costra rugosa ( $4.34 \pm 0.22$ ) y costra lisa ( $3.59 \pm 0.17$ ). Las plántulas en el tratamiento con costra lisa fragmentada presentaron incrementos ligeramente menores ( $3.00 \pm 0.27$ ), mientras que el tratamiento de suelo sin costra presentó el menor incremento ( $2.11 \pm 0.15$ ; Figura 5).

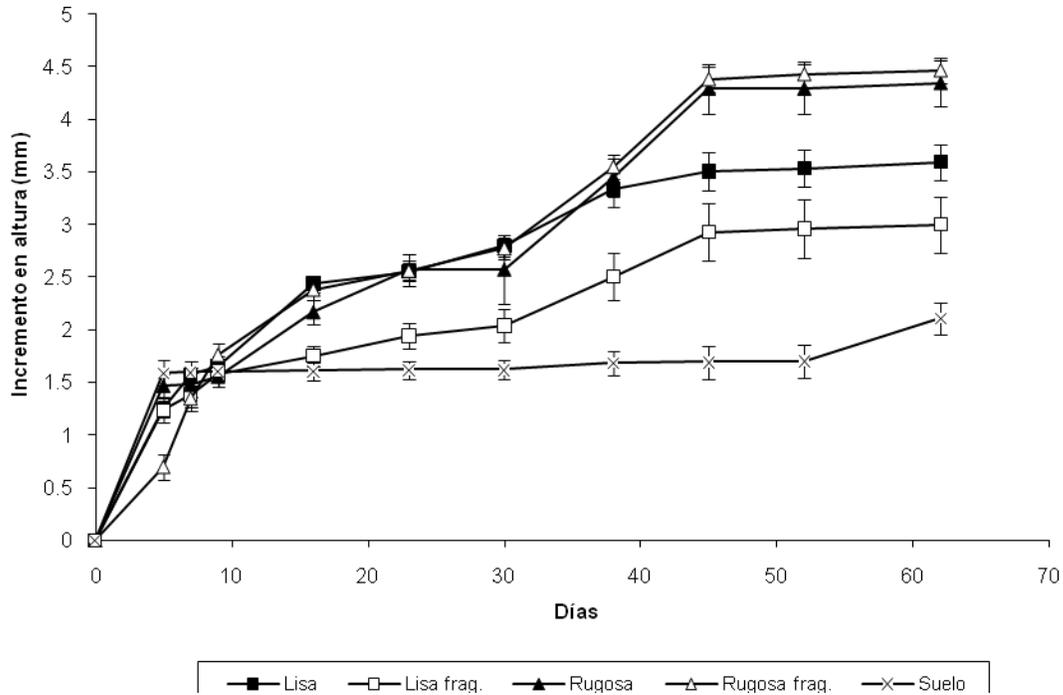


Figura 5. Incremento promedio en altura ( $\pm$  error estándar) de plántulas de *N. tetetzo*, en distintos tratamientos experimentales.

Con respecto a la biomasa, tanto en el peso fresco y el peso seco, en los tratamientos de suelo con costra lisa y lisa alterada las plántulas presentaron la mayor biomasa de raíz, tallo y total, en comparación con los otros tratamientos (Peso fresco:  $F = 8.735$ , g.l. = 4, 283,  $p = 0.0001$ -Raíz;  $F = 14.656$ , g.l. = 4, 294,  $p = 0.0001$ -Tallo;  $F = 15.008$ , g.l. = 4, 294,  $p = 0.0001$ -Total; Peso seco:  $F = 8.735$ , g.l.= 4, 283,  $p = 0.0001$ -Raíz;  $F = 14.656$ , g.l.= 4, 294,  $p = 0.0001$ -Tallo;  $F = 15.008$ , g.l.= 4, 294,  $p = 0.0001$ -Total). Las plántulas creciendo en el tratamiento de suelo sin costra, presentaron la menor biomasa (Cuadro 3).

CUADRO 3. Biomasa de las plántulas de *N. tetetzo* creciendo en distintos tratamientos experimentales. Los valores marcados con \* indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ).

Peso fresco

	Costra lisa		Costra rugosa		Suelo
	Intacta	Fragmentada	Intacta	Fragmentada	Sin costra
Raíz	0.007 $\pm$ 0.001	0.009 $\pm$ 0.001*	0.006 $\pm$ 0.001	0.007 $\pm$ 0.001	0.005 $\pm$ 0.001
Tallo	0.205 $\pm$ 0.010 *	0.216 $\pm$ 0.016*	0.160 $\pm$ 0.018	0.170 $\pm$ 0.016	0.072 $\pm$ 0.007
Total	0.212 $\pm$ 0.001 *	0.226 $\pm$ 0.017*	0.166 $\pm$ 0.020	0.170 $\pm$ 0.017	0.075 $\pm$ 0.007

Peso seco

	Costra lisa		Costra rugosa		Suelo
	Intacta	Fragmentada	Intacta	Fragmentada	Sin costra
Raíz	0.003 ± 0.000	0.004 ± 0.000*	0.002 ± 0.00	0.002 ± 0.000	0.002 ± 0.000
Tallo	0.012 ± 0.000*	0.012 ± 0.000*	0.010 ± 0.000	0.010 ± 0.000	0.005 ± 0.000
Total	0.015 ± 0.000*	0.016 ± 0.000*	0.012 ± 0.001	0.012 ± 0.000	0.006 ± 0.000

Los resultados del experimento de *P. laevigata* mostraron que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $F= 35,1776$ ; g.l. = 4, 19;  $p = 0.0001$ ). Después de 60 días, las plántulas creciendo en costra rugosa fragmentada ( $23.24 \pm 0.5524$ ) y costra rugosa ( $22.77 \pm 1.04$ ) presentaron un incremento mayor en altura, seguidas de las que crecieron en costra lisa fragmentada ( $19.07 \pm 0.66$ ). Las plántulas creciendo en costra lisa ( $13.66 \pm 0.20$ ) y suelo sin costra presentaron el menor incremento ( $12.96 \pm 0.67$ ); Figura 6).

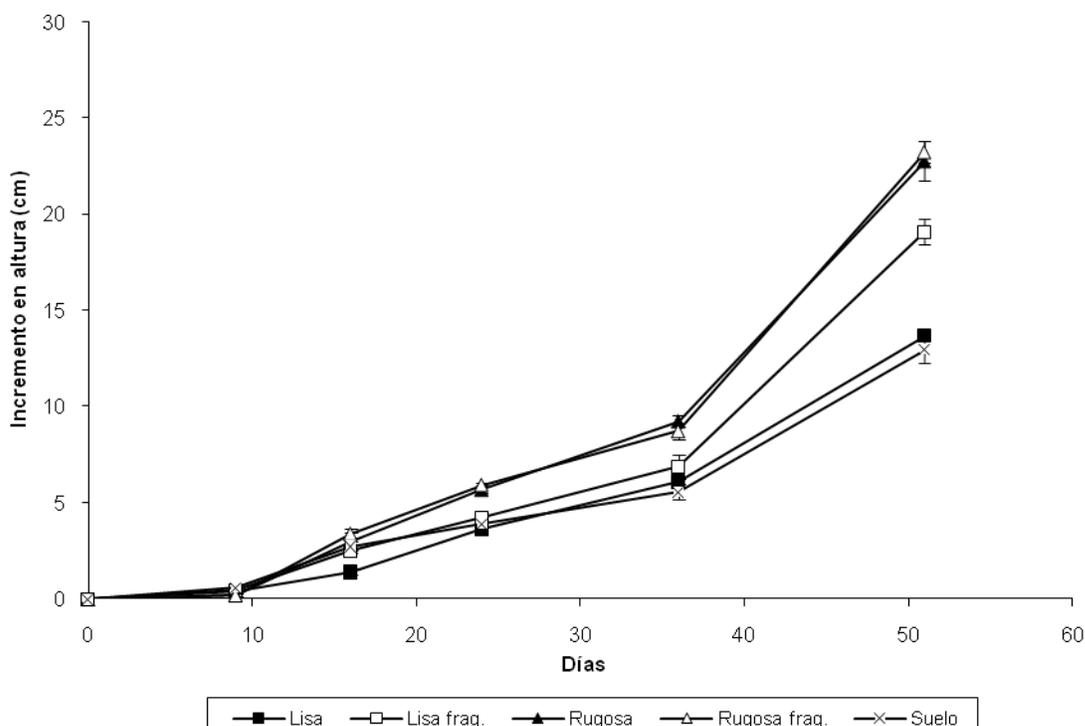


Figura 6. Incremento promedio en altura ( $\pm$  error estándar) de plántulas de *P. laevigata* en distintos tratamientos experimentales.

Con respecto a la biomasa, tanto en peso fresco y seco, las plántulas de *P. laevigata* creciendo en los tratamientos con costra rugosa y rugosa alterada presentaron la mayor biomasa de tallo y biomasa total, en comparación con los otros tratamientos. No hubo diferencias significativas en la biomasa de raíz (Peso fresco F= 10.780, g.l.= 4, 16, p= 0.0001-Tallo; F= 11.912, g.l.= 4, 16, p= 0.0001-Total. Peso seco F= 6.555, g.l.= 4, 16, p= 0.003-Raíz; F= 18.439, g.l.= 4, 16, p= 0.0001-Tallo; F= 17.771, g.l.= 4, 16, p= 0.0001-Total). Las plántulas creciendo en el tratamiento de suelo sin costra y con costra lisa presentaron la menor biomasa (Cuadro 4).

CUADRO 4. Biomasa de las plántulas de *P. laevigata* creciendo en distintos tratamientos experimentales. Los valores marcados con \* indican diferencias significativas entre los tratamientos (p<0.05).

Peso Fresco

	Costra lisa		Costra rugosa		Suelo sin costra
	Intacta	Fragmentada	Intacta	Fragmentada	
Raíz	0.071 ± 0.000	0.142 ± 0.016	0.260 ± 0.030	0.384 ± 0.168	0.221 ± 0.122
Tallo	0.650 ± 0.008	1.257 ± 0.057	2.024 ± 0.338*	1.590 ± 0.132*	0.803 ± 0.072
Total	0.726 ± 0.009	1.399 ± 0.056	2.283 ± 0.329*	1.976 ± 0.125*	1.025 ± 0.160

Peso Seco

	Costra lisa		Costra rugosa		Suelo sin costra
	Intacta	Fragmentada	Intacta	Fragmentada	
Raíz	0.043 ± 0.001	0.083 ± 0.015	0.252 ± 0.073*	0.135 ± 0.004	0.064 ± 0.005
Tallo	0.230 ± 0.003	0.360 ± 0.046	0.631 ± 0.064*	0.607 ± 0.039*	0.283 ± 0.030
Total	0.274 ± 0.004	0.444 ± 0.060	0.884 ± 0.110*	0.742 ± 0.043*	0.347 ± 0.034

Los resultados del experimento de *A. marmorata* mostraron que existen diferencias significativas en el incremento en altura entre los tratamientos (F= 47.6230; g.l.= 4, 335; p= 0.0001). Después de 60 días, el incremento en la altura de las plántulas fue mayor en los tratamientos con costra lisa fragmentada (1.45 ± 0.1079), costra rugosa (1.41 ± 0.0880) y costra rugosa fragmentada (1.40 ± 0.0890). Las plántulas creciendo en el tratamiento con costra lisa presentaron incrementos ligeramente menores (1.16 ± 0.0552), mientras que el tratamiento de suelo sin costra presentó el menor incremento (0.61 ± 0.1316; Figura 7).

La biomasa de las plántulas de *A. marmorata*, tanto en peso fresco y seco, presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Las plántulas en suelo con costra lisa y costra lisa fragmentada presentaron la mayor biomasa de raíz, tallo y total, seguidas por las plántulas en los tratamientos con costra rugosa y costra rugosa fragmentada (Peso fresco F= 4.637, g.l.= 4, 74, p= 0.002-Raíz; F= 50.209, g.l.= 4, 73, p= 0.0001-Tallo; F= 49.711 g.l.= 4, 74 p= 0.0001-Total. Peso seco F= 6.906, g.l.= 4, 72, p= 0.0001-Raíz; F= 20.805 g.l.= 4, 71 p= 0.0001-Tallo; F= 24.930 g.l.= 4, 72 p= 0.0001-Total). Las plántulas creciendo en el tratamiento de suelo sin costra mostraron la menor biomasa (CUADRO 5).

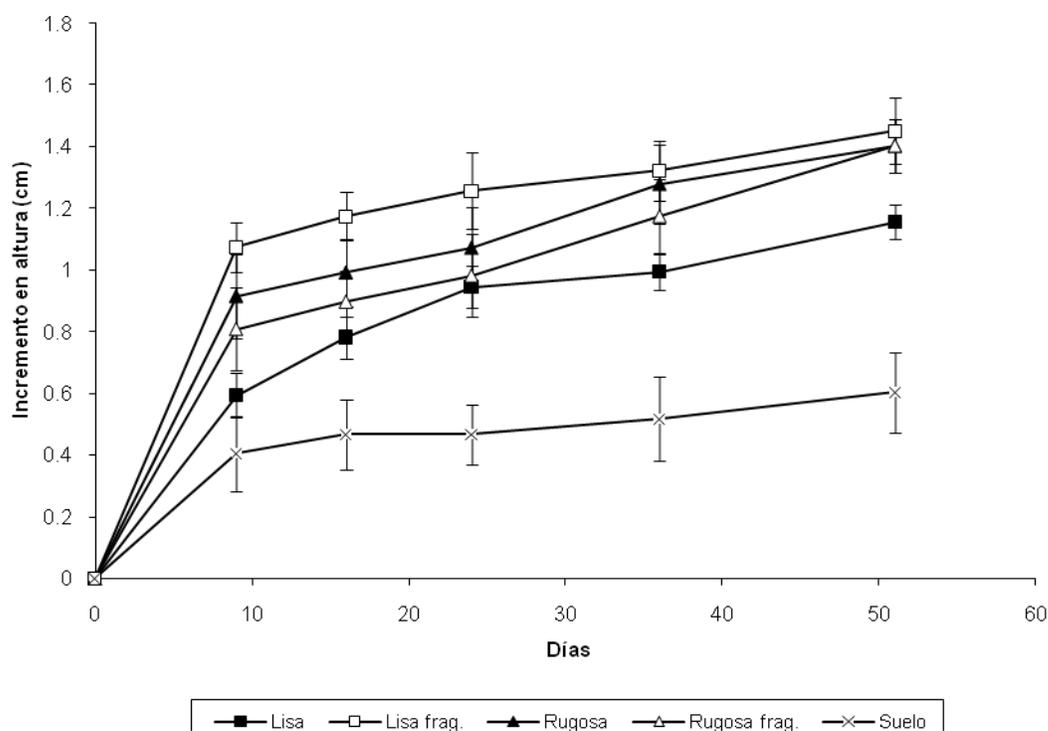


Figura 7. Incremento promedio en altura ( $\pm$  error estándar) de plántulas de *A. marmorata* en distintos tratamientos experimentales.

CUADRO 5. Biomasa de las plántulas de *A. marmorata* creciendo en distintos tratamientos experimentales. Los valores marcados con \* indican diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ).

Peso Fresco

	Costra lisa		Costra rugosa		Suelo
	Intacta	Fragmentada	Intacta	Fragmentada	Sin costra
Raíz	0.017 $\pm$ 0.002*	0.015 $\pm$ 0.002	0.011 $\pm$ 0.002	0.010 $\pm$ 0.002	0.007 $\pm$ 0.0019
Tallo	0.196 $\pm$ 0.006*	0.173 $\pm$ 0.008*	0.106 $\pm$ 0.011	0.105 $\pm$ 0.011	0.047 $\pm$ 0.009

Total	0.213 ± 0.007*	0.188 ± 0.007*	0.116 ± 0.012	0.116 ± 0.013	0.051 ± 0.012
-------	----------------	----------------	---------------	---------------	---------------

### Peso Seco

	Costra lisa		Costra rugosa		Suelo
	Intacta	Fragmentada	Intacta	Fragmentada	Sin costra
Raíz	0.003 ± 0.0004*	0.002 ± 0.0005*	0.001 ± 0.000	0.001 ± 0.0005	0.001 ± 0.0001
Tallo	0.012 ± 0.0007*	0.010 ± 0.0013*	0.006 ± 0.001	0.006 ± 0.0006	0.003 ± 0.0004
Total	0.016 ± 0.0009*	0.012 ± 0.0014*	0.008 ± 0.001	0.008 ± 0.0008	0.003 ± 0.0005

### 3.3 Composición de las costras biológicas y contenido de nitrógeno del suelo

El análisis de la composición de las costras mostró que las principales especies encontradas en las lisas fueron cianobacterias como *Microcoleus paludosus*, *Scytonema javanicum* y *Chroococcidiopsis* sp., así como líquenes que incluyen a *Placydium squamulosum* y *Collema coccophorum*. En algunos casos también fue posible encontrar algunos musgos como *Pseudocrossidium replicatum*. En términos generales, esta composición fue similar en todas las réplicas de las tres especies de plantas. La adición de agua para promover la germinación no provocó cambios en la composición de la costra ya que *M. paludosus*, fue la única especie que presentó cambios significativos en su abundancia a lo largo del experimento ( $\chi^2= 8.0$ , g.l.= 2, p= 0.02; Figura 8a). Con respecto a las costras lisas fragmentadas, las especies identificadas en los experimentos de *N. tetetzo*, *P. laevigata* y *A. marmorata* fueron las cianobacterias *M. paludosus* y *Chroococcidiopsis* sp., así como el líquen *P. squamulosum* y algunos individuos del musgo *P. replicatum*. No se encontraron cambios significativos en la abundancia debido a la adición de agua (Figura 8b).

Las especies identificadas en las costras biológicas rugosas de las tres especies de plantas fueron los musgos *Bryum argenteum*, *Aloina hamulus* y *P. replicatum*. También se identificaron las cianobacterias *M. paludosus* y *Chroococcidiopsis* sp. y el líquen *P. squamulosum*. La abundancia de *P. replicatum* y *B. argenteum* presentó cambios marginalmente significativos ( $\chi^2= 6.0$ , g.l.= 2, p= 0.05), a lo largo del experimento. El resto

de los organismos no presentaron cambios significativos (Figura 9a). De manera similar, las especies identificadas en las costras rugosas fragmentadas de los tres experimentos fueron los musgos *P. replicatum*, *B. argenteum* y *A. hamulus*, seguidos de las cianobacterias *M. paludosus* y *Chroococcidiopsis* sp. La abundancia de *P. replicatum* y *B. argenteum* presentó cambios marginalmente significativos ( $\chi^2= 8.0$ , g.l.= 2, p= 0.02,  $\chi^2= 6.0$ , g.l.= 2, p= 0.05; Figura 9b).

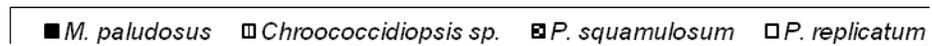
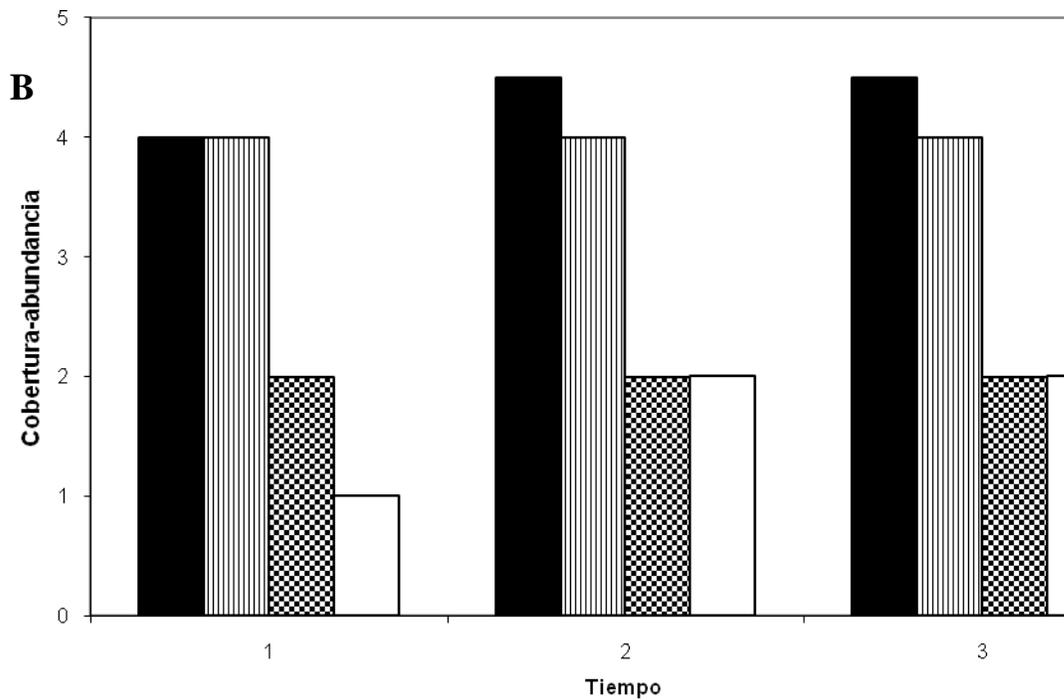
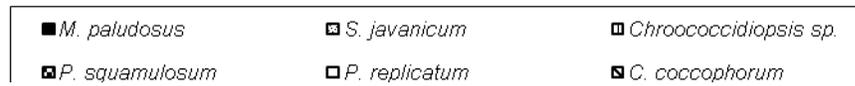
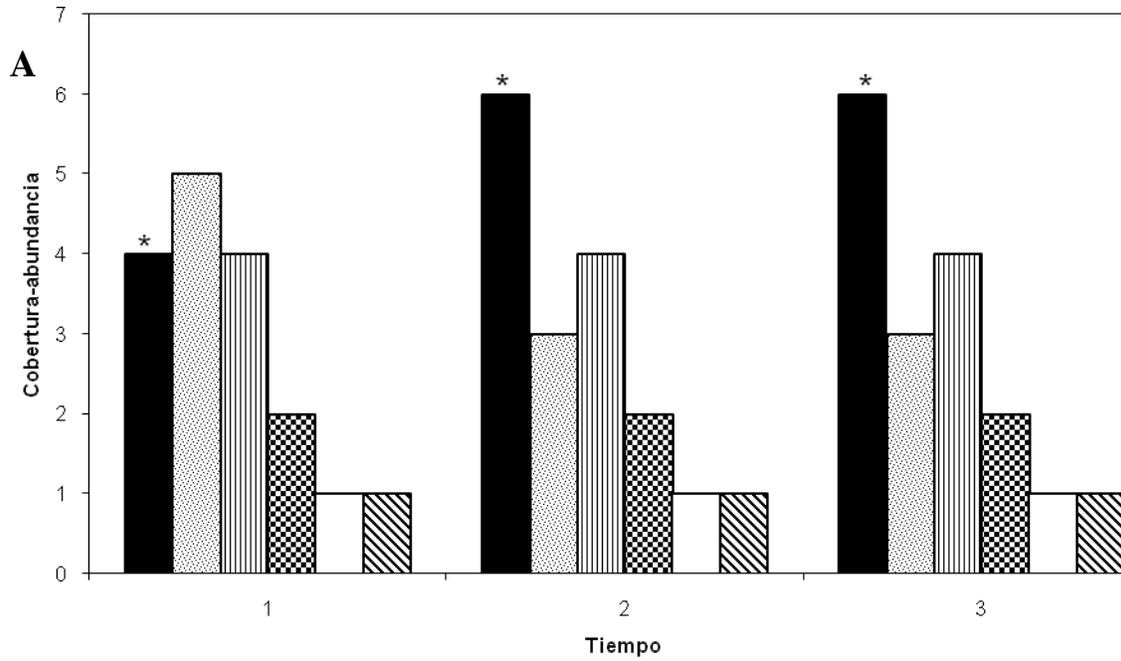
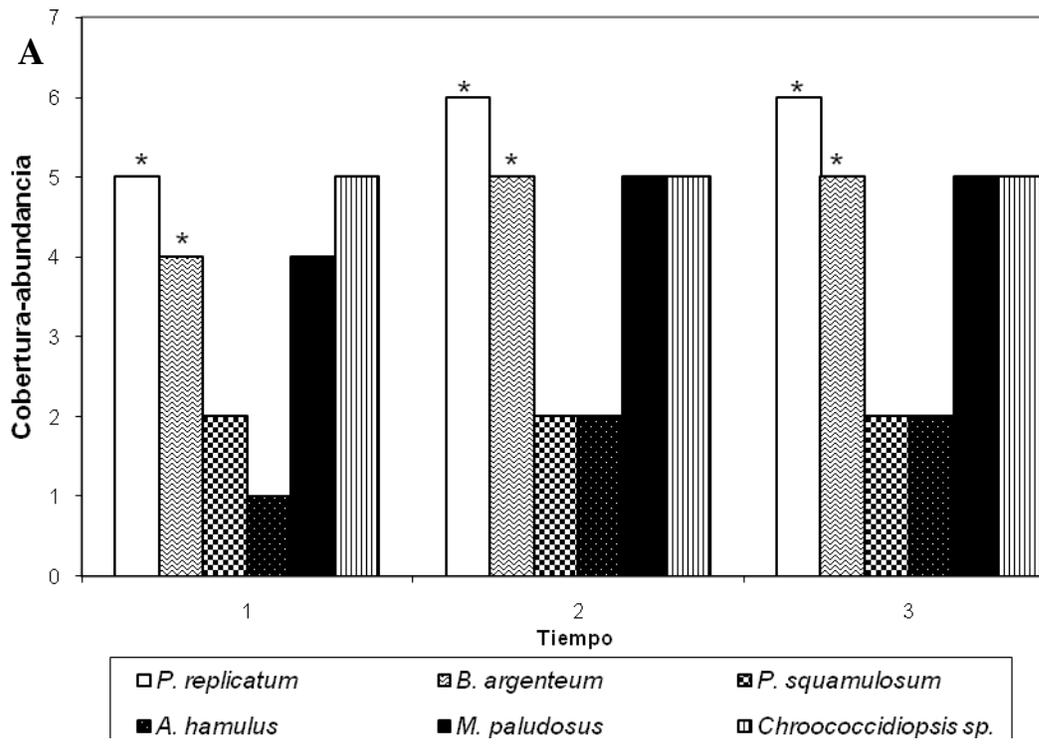


Figura 8. Cobertura-abundancia de diferentes especies de microorganismos encontrados en **A)** costras lisas y **B)** costras lisas fragmentadas. Los números 1-3 se refieren al tiempo inicial, intermedio y final. El \* denota cambios significativos en la abundancia a lo largo del tiempo.



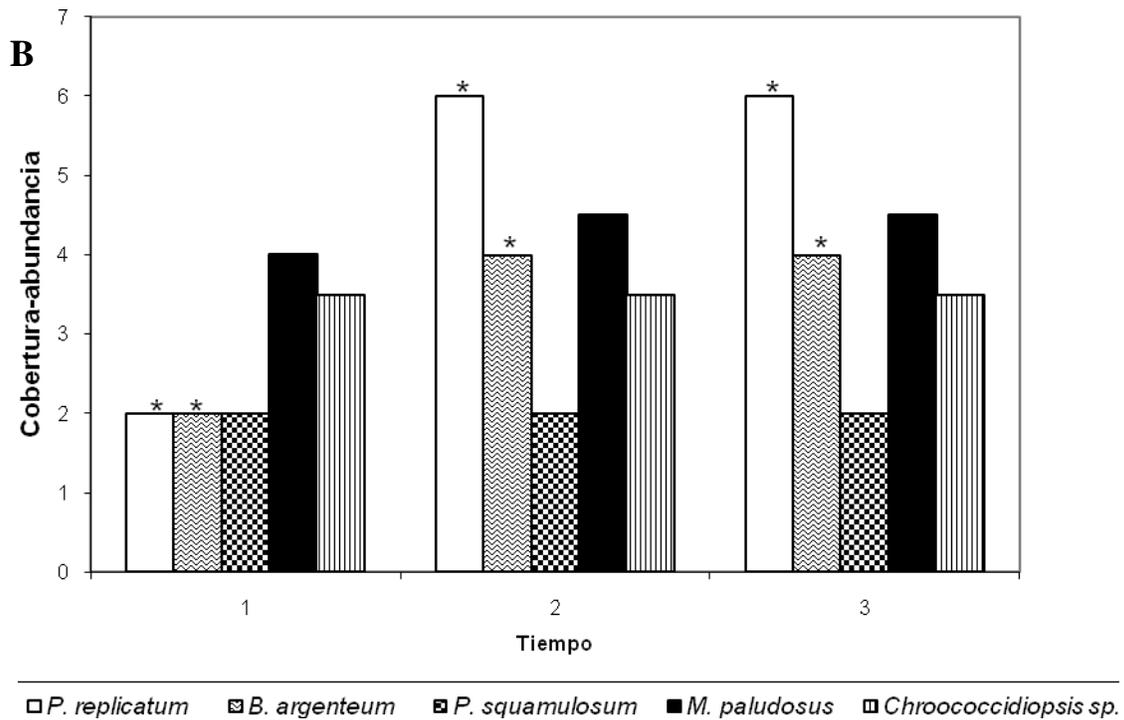


Figura 9. Cobertura-abundancia de diferentes especies de microorganismos encontrados en **A)** costras rugosas y **B)** costras rugosas fragmentadas. Los números 1-3 se refieren al tiempo inicial, intermedio y final. El \* denota cambios significativos en la abundancia a lo largo del tiempo.

Con respecto al contenido de nitrógeno en el suero, los análisis revelaron que no hubo diferencias significativas en el porcentaje de amonio y nitrato entre los tratamientos en los que se encontraban creciendo las plántulas de *N. tetetzo* ( $\chi^2 = 6.84$ , g.l. = 4,  $p = 0.144$ -amonio;  $\chi^2 = 0.76$ , g.l. = 4,  $p = 0.944$ -nitrato; Figura 10a y b).

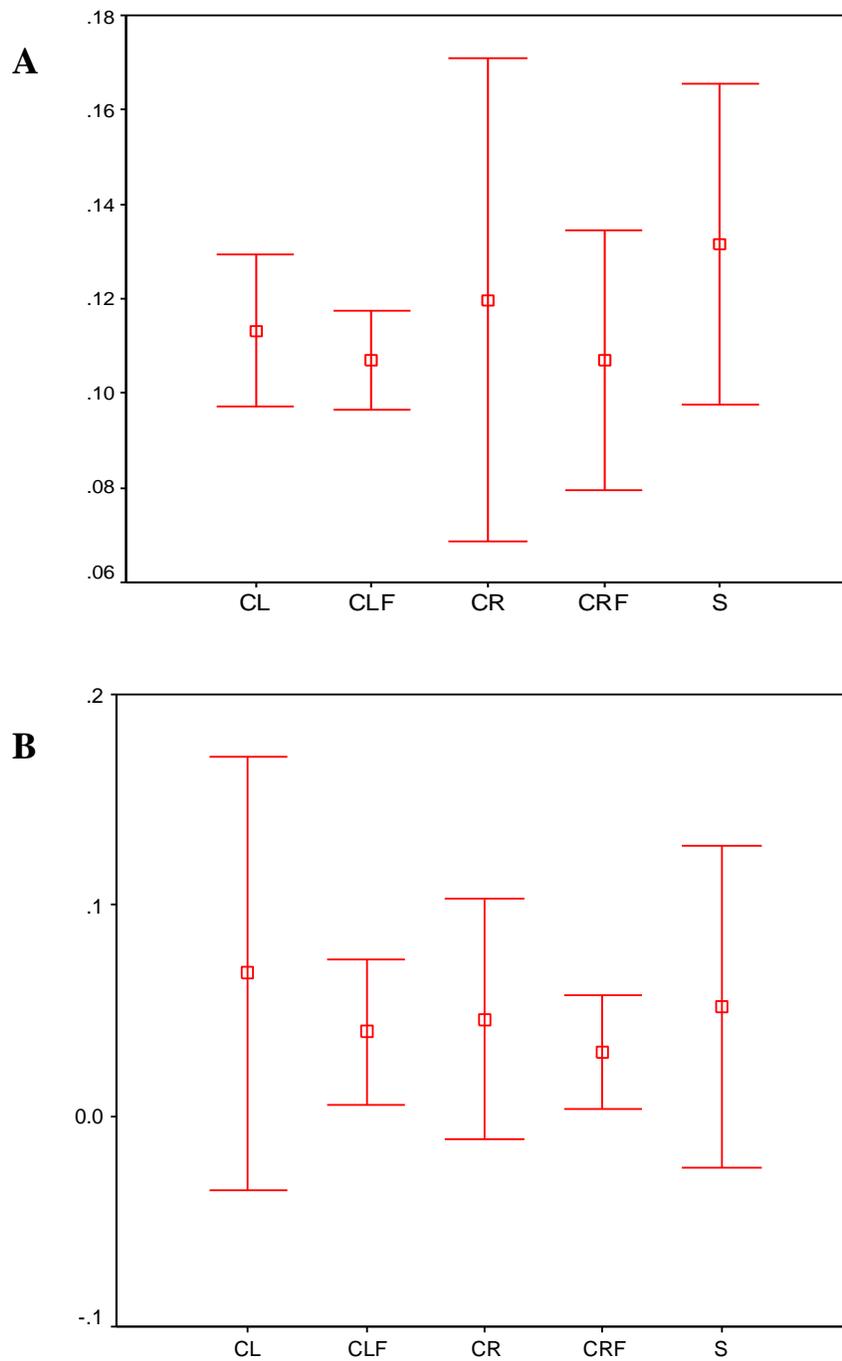


Figura 10. Porcentaje promedio ( $\pm$  error estándar ) de A) amonio y B) nitrato en los distintos tratamientos experimentales en los que se encontraban creciendo las plántulas de *N. tetetzo*. CL= Costra lisa. CLF= Costra lisa alterada. CR= Costra rugosa. CRF= Rugosa alterada. S= Suelo sin costra.

En el caso de *P. laevigata* los resultados mostraron que no hubo diferencias en el contenido de amonio entre los tratamientos ( $\chi^2= 5.27$ , g.l.= 4,  $p= 0.260$ ). Sin embargo, el contenido de

nitrito si presentó diferencias significativas, siendo mayor en las costras lisas y rugosas fragmentadas y menor en las costras lisas, rugosas y el suelo sin costra (F= 28.1739 g.l.= 4, 10 p= .0001; Figura 11a y b).

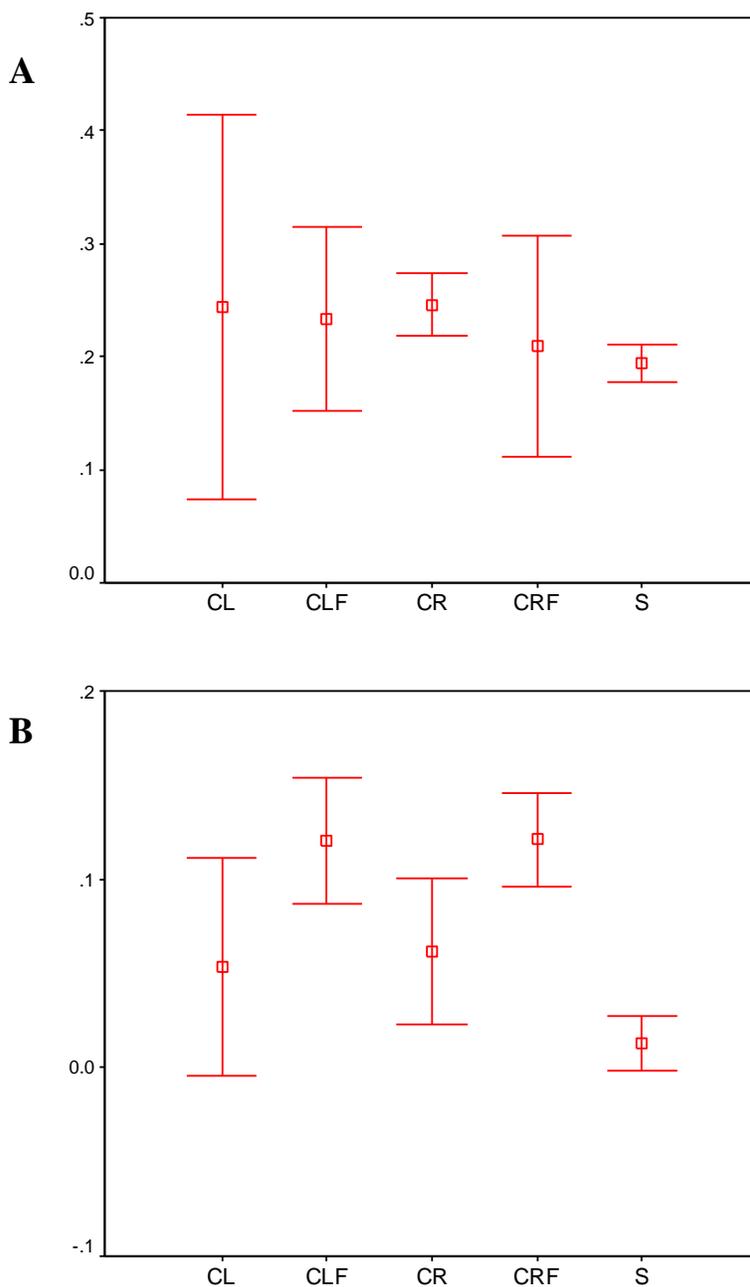


Figura 11. Porcentaje promedio ( $\pm$  error estándar ) de A) amonio y B) nitrito en los distintos tratamientos experimentales en los que se encontraban creciendo las plántulas de *P. laevigata*. CL= Costra lisa. CLF= Costra lisa alterada. CR= Costra rugosa. CRF= Rugosa alterada. S= Suelo sin costra.

En el caso de *A. marmorata*, el contenido de amonio ( $F= 48.9989$  g.l.= 4, 15  $p= .0001$ ) y nitrato ( $\chi^2= 17.17$ , g.l.= 4,  $p= 0.02$ ) varió significativamente entre los tratamientos en los que se encontraban creciendo las plántulas. Las costras lisa y lisa fragmentada presentaron el mayor contenido de ambos compuestos, seguidas de las costras rugosas y rugosas fragmentadas. El suelo presentó los valores más bajos de ambos compuestos (Figura 12a y b).

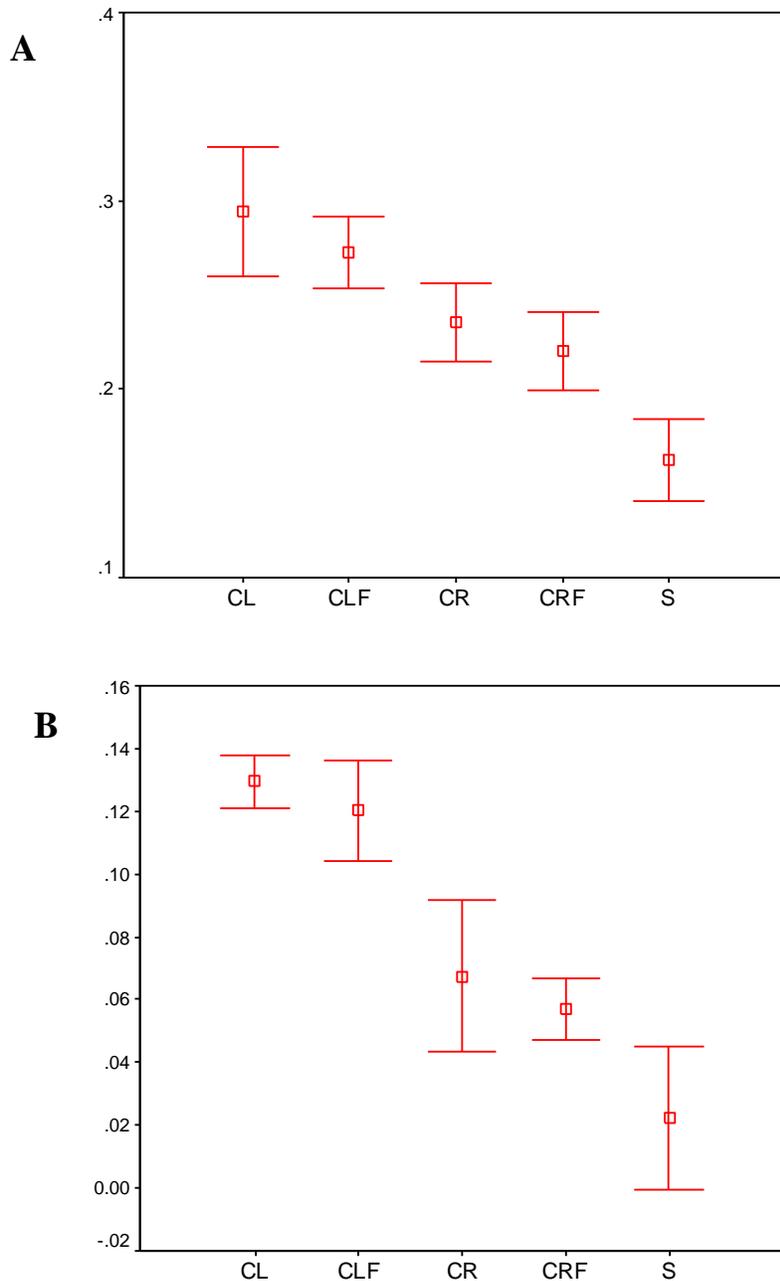


Figura 12. Porcentaje promedio ( $\pm$  error estándar ) de A) amonio y B) nitrato en los distintos tratamientos experimentales en los que se encontraban creciendo las plántulas de *A. marmorata*. CL= Costra lisa. CLF= Costra lisa alterada. CR= Costra rugosa. CRF= Rugosa alterada. S= Suelo sin costra.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 Germinación

Hasta ahora, las evidencias señalan que el efecto de las costras biológicas sobre la germinación de las semillas puede ser positivo, negativo o nulo. Estos efectos podrían deberse a distintos factores como diferencias en la composición específica de las costras biológicas, en las características ambientales de cada sitio, así como en los requerimientos físicos y biológicos de las distintas especies de plantas estudiadas (ver capítulo 1.1.1).

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que bajo condiciones de laboratorio, las costras biológicas lisas y rugosas, ya sea fragmentadas o no fragmentadas, no tienen ningún efecto sobre la germinación de las semillas de *N. tetetzo*, *P. laevigata* y *A. marmorata*. Estos resultados no apoyan la hipótesis originalmente planteada, la cual suponía que el porcentaje de germinación sería mayor en suelos con costra biológica que en suelos sin costra. Lo anterior a pesar de que los experimentos realizados mostraron una aparente tendencia hacia un porcentaje de germinación mayor en al menos uno de los tratamientos con costra biológica en comparación con el suelo sin costra. Los análisis estadísticos sin embargo indicaron que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos. La respuesta similar, en términos de la germinación de las semillas de las distintas especies, sugiere que los requerimientos de agua, luz y temperatura no fueron afectados por la presencia de las costras.

Los resultados de este trabajo coinciden con los reportados por otros trabajos en los cuales las costras biológicas no tuvieron ningún efecto sobre la germinación. Tal es el caso de los estudios realizados por Larsen (1995), en los que se reporta que las costras dominadas por líquenes y musgos no tienen efecto alguno sobre la germinación de *Stipa thurberiana* y *Stipa comata*. De igual modo, Eldridge y Greene (1994) no encontraron relación alguna entre la germinación de las semillas del arbusto *Atriplex* sp. y la cobertura de las costras

biológicas. Hawkes (2004) tampoco encontró diferencias en la germinación de las semillas de *Polygonella basiramia* y *Paronychia chartacea* ssp. *chartacea* en suelos con costra, suelos sin costra, o costras con disturbio.

No obstante lo anterior, los resultados de este trabajo difieren de los reportados por Rivera-Aguilar et al. (2005), quienes trabajaron con costras biológicas y especies de plantas de la misma región. Estos autores analizaron el efecto de las costras biológicas sobre la germinación de la cactácea columnar *Myrtillocactus geomatrizans* y la leguminosa *Mimosa luisana*, en condiciones de laboratorio. Sus resultados sugieren que las costras biológicas tienen un efecto positivo sobre la germinación de estas dos especies de plantas vasculares (Rivera-Aguilar et al. 2005). Las diferencias observadas entre ambos trabajos pueden deberse a las condiciones en las que se realizaron los experimentos de germinación. En el caso de Rivera-Aguilar et al. (2005), los experimentos se realizaron en una cámara de germinación con 70% de humedad relativa, lo cual probablemente afectó la composición y el crecimiento de las costras biológicas, promoviendo a su vez la germinación de las semillas. Los experimentos del presente trabajo se hicieron en condiciones ambientales de luz y temperatura, con riego cada tercer día. Los resultados obtenidos indican que la composición de las especies de las costras no cambió de manera significativa durante el experimento, por lo que no tuvieron un efecto significativo sobre la germinación. Para entender si el efecto de las costras varía con la humedad es necesario realizar otros trabajos, en los que el efecto de las costras sobre la germinación sea evaluado en cámaras ambientales con distintos niveles de humedad relativa (mayores y menores a 70%).

Desde el punto de vista ecológico y de conservación, estos resultados podrían arrojar información importante sobre el efecto que puedan tener las costras biológicas a lo largo del año y con ello tener herramientas, por ejemplo para proponer un plan de manejo para la conservación o regeneración de las especies vegetales de la región.

## 4.2 Crecimiento temprano

En este trabajo el efecto de las costras biológicas sobre el crecimiento temprano de *N. tetetzo*, *P. laevigata* y *A. marmorata*, se evaluó midiendo la altura y la biomasa de las plántulas.

En relación con la altura, los resultados obtenidos sugieren de manera general que las plántulas de todas las especies creciendo en suelos con costras rugosas y rugosas fragmentadas, presentaron mayores incrementos en altura que aquellas creciendo en suelos sin costra. Los incrementos en la altura de las plántulas creciendo en costras lisas y lisas fragmentadas no fueron consistentes, aunque tendieron a presentar valores intermedios entre las costras rugosas y el suelo desnudo.

La biomasa de las plántulas, tanto en fresco como en seco, fue mayor en los tratamientos con costras biológicas, aunque varió dependiendo de la especie de planta vascular. La biomasa de las plántulas de *N. tetetzo* y *A. marmorata* fue mayor en costras lisas y lisas fragmentadas, mientras que en el caso de las de *P. laevigata*, la biomasa fue mayor en costras rugosas y rugosas fragmentadas. En todas las especies, la biomasa de las plántulas fue menor en los tratamientos con suelo desnudo. Todas estas tendencias fueron similares tanto para la biomasa de la raíz y el tallo, como para la biomasa total. Las razones de esto podrían estar relacionadas, por una parte con la disponibilidad de nutrientes en el suelo cuando están presentes las costras biológicas, ya que como se mencionó en capítulo 1.1.2, diferentes estudios han sugerido que las costras biológicas pueden incrementar la disponibilidad y la absorción de algunos nutrientes del suelo como N, K, Cu, Mg y Zn. Por otra parte, las diferencias en el metabolismo de las especies de plantas vasculares también

podrían determinar que el crecimiento de algunas especies sea mejor en costras lisas y el crecimiento de otras en costras rugosas. No existe información sobre estos aspectos, por lo que resultaría interesante realizar estudios para evaluar estas ideas.

Estos resultados apoyan la hipótesis originalmente planteada, ya que tanto la altura como la biomasa de las plántulas fue mayor en los tratamientos con costras biológicas que en los tratamientos sin costra. Sin embargo, los resultados obtenidos no son consistentes entre las distintas variables analizadas. Los tratamientos en los que se registraron los mayores incrementos en altura, no son los mismos tratamientos en los que se registró la mayor biomasa de las plántulas. Esto puede deberse a que la altura y la biomasa no están correlacionadas estadísticamente. En este trabajo se considera que el análisis del incremento en la biomasa, refleja de mejor manera los posibles efectos de las costras biológicas sobre el crecimiento de las plántulas. Lo anterior se debe a que las plántulas pueden incrementar su altura como resultado sólo de la elongación de las células (i.e., debido al ingreso de agua a las células y la búsqueda de luz para realizar la fotosíntesis) y no mediante la producción de tejido nuevo (i.e., incremento en el número de células y consecuentemente aumento de biomasa).

Los resultados obtenidos coinciden con muchos estudios publicados, en los que se reporta que distintas especies de plantas vasculares incrementan su crecimiento en suelos con costras biológicas (Schlatterer y Tisdale, 1969; Pendleton y Warren, 1995; Gold y Bliss, 1995; DeFalco, 1995; Belnap, 1995. DeFalco et al., 2001; Pendleton et al., 2003; Li et al., 2005). Por ejemplo, se ha sugerido que el crecimiento de las especies *Bromus tectorum*, *Elymus elymoides*, *Gaillardia pulchella* y *Sphaeralcea munroana* es mayor en costras biológicas, debido al aporte de N de estas comunidades de microorganismos (Pendleton et al., 2003). De igual manera, la biomasa de plantas anuales creciendo en suelos con costra es mayor que en suelos sin costras, debido principalmente a la cantidad de N encontrado en estos suelos (DeFalco et al., 2001).

Es importante destacar, sin embargo, que la mayoría de estos estudios han sido realizados solamente con individuos adultos. De los trabajos citados, solamente Pendleton et al.

(2003) estudiaron el efecto de las costras biológicas sobre las plántulas. Considerando lo anterior, este trabajo es uno de los pocos que han analizado el efecto de las costras biológicas en el crecimiento de las plántulas. Esta información es relevante si se considera que la plántula representa una de las etapas más críticas del ciclo de vida de las plantas y que el establecimiento de los individuos en las poblaciones de plantas de regiones áridas y semiáridas ocurre en condiciones particulares de temperatura y precipitación.

Los resultados de este trabajo difieren de los reportados por Rivera-Aguilar et al. (2005), quienes trabajaron con costras biológicas y plantas de la misma región. Estos autores no encontraron diferencias significativas en el crecimiento de las plántulas de *M. luisana* y *M. geometrizans* creciendo en tratamientos con costra biológica y sin costra. Estas diferencias se deben probablemente a las condiciones en las que se realizaron los experimentos, ya que al igual que en la germinación, la humedad manejada en sus experimentos fue mucho mayor que la humedad en los experimentos del presente trabajo.

### **4.3 Contenido de nitrógeno del suelo**

Los resultados anteriores sugieren que las costras biológicas tienen un efecto positivo sobre el crecimiento de las plántulas. Uno de los posibles mecanismos que se han planteado para explicar este efecto es el incremento en el contenido de nutrientes del suelo, particularmente nitrógeno, debido a la actividad fisiológica de ciertos grupos de microorganismos (cianobacterias) que conforman las costras biológicas. Debido a lo anterior, en este trabajo se analizó el contenido de nitrato y amonio del suelo, como una forma de explorar si existían diferencias entre los tratamientos experimentales.

Desafortunadamente, los resultados de los análisis del suelo correspondientes a *N. tetetzo* y *P. laevigata* no son confiables debido a errores en la técnica, por lo que sólo se discuten los resultados de *A. marmorata*.

Los suelos en donde crecieron las plántulas de *A. marmorata* presentaron diferencias en amonio y nitrato. Los suelos con costra lisa y lisa fragmentada presentaron el mayor

contenido de ambos compuestos, seguidos de los suelos con costra rugosa y rugosa fragmentada. El suelo desnudo presentó los valores más bajos de ambos compuestos.

Esta información sugiere que, al menos para esta especie de planta, las costras biológicas podrían tener un efecto positivo sobre el crecimiento de las plántulas. Esta afirmación está basada en el hecho de que los suelos en los tratamientos con costra lisa y lisa fragmentada presentaron el mayor contenido de compuestos nitrogenados, y que las plántulas creciendo en estos mismos tratamientos presentaron la mayor cantidad de biomasa. Esta misma relación se observó en las costras rugosas, aunque los valores fueron menores a los observados en las costras lisas.

No obstante los problemas relacionados con las técnicas para cuantificar el nitrato y el amonio, este trabajo es uno de los primeros en explorar los posibles mecanismos que permitan explicar los efectos positivos de las costras sobre las plantas vasculares y tratar de entender cual es la función ecológica que tiene las costras biológicas dentro de esta comunidad. Este tipo de trabajos proporcionan información que puede ser utilizada para proponer estrategias que permitan la restauración de la vegetación en zonas degradadas.

## 5. CONCLUSIONES

- Las costras biológicas no afectaron la germinación de las semillas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Prosopis laevigata* y *Agave marmorata*.
- Las costras rugosas, intactas o fragmentadas incrementaron significativamente el crecimiento en altura de las plántulas de *Neobuxbaumia tetetzo*, *Prosopis laevigata* y *Agave marmorata*, en comparación con las costras lisas y el suelo.
- Las costras lisas, intactas o fragmentadas incrementaron significativamente la biomasa de las plántulas de *Neobuxbaumia tetetzo* y *Agave marmorata*, en comparación con las costras lisas y el suelo.
- Las costras rugosas, intactas o fragmentadas incrementaron significativamente la biomasa de las plántulas de *Prosopis laevigata*, en comparación con las costras lisas y el suelo.

## 6. REFERENCIAS

- Alef K and Nannipieri P. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Elsevier Science and Technology. USA.
- Anatani YS and Marathe, KV. 1974. Soil aggregating effects of some algae occurring in the soils of Kutch and Rajasthan. *J. Univ. Bombay* 41: 94-100.
- Anagnostidis K and Komárek J. 1988. Modern approach to the classification system of the Cyanophytes 3: Oscillatoriales. *Algological Studies* 53, 327-472.
- Bailey D, Mazurak AP, Johansen SR and Johansen JR. 1973. Aggregation of soil particles by algae. *J. Phycology* 9: 99-101.
- Belnap J. 1995. Surface disturbances: their role in accelerating desertification. *Environmental Monitoring and Assessment* 37:39-57.
- Belnap J and Harper KT. 1995. Influence of cryptobiotic soil crusts on elemental content of tissue of two desert seed plants. *Arid Soil Research Rehabilitation* 9: 107-115.
- Belnap J, Harper KT and Warren SD. 1994. Surface disturbance of cryptobiotic soil crusts: nitrogenase activity, chlorophyll content, and chlorophyll degradation. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 8: 1-8.
- Belnap J and Lange OL (Eds.), 2001. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and management*. Springer, Berlin.
- Boeken B and Shachak M. 1994. desert plant communities in human-made patches – implications for management. *Ecological Applications* 4:702-716.
- Camacho MF. 1994. Fisiología de la germinación. En: Martinez BAE, Villa SAB (Eds.). *Semillas forestales*. INIFAP. Publicación Especial No. 2. México, D.F.
- Campbell BD, Grime JP. 1989. A new method for exposing developing root systems to controlled patchiness in mineral nutrient supply. *Annals of Botany* 63:395-400.
- Campbell SE. 1979. Soil stabilization by a prokaryotic desert crust: implications for Precambrian land biota. *Origins Life* 9:335-348.
- Campbell SE, Seeler JS, and Glolubic S. 1989. Desert crust formation and soil stabilization. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 3: 317-328.
- Codd GA. 1995. Cyanobacterial toxins: occurrence, properties, and biological significance. *Water Science and Technology* 32:149-156.

- Crisp MD. 1975. Long-term change in arid zone vegetation at Koonamore, South Australia. Unpubl PhD University of Adelaide, Australia. In Belnap, J., Lange, O.L. (Eds.), 2001. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and management*. Springer, Berlin. pp 287-288.
- DeFalco LA. 1995. Influence of cryptobiotic crusts on winterannuals and foraging movements of the desert tortoise. Master Thesis Dept of Biol, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- DeFalco LA, Detling JK, Tracy CR and Warren SD. 2001. Physiological variation among native and exotic winter annual plants associated with microbiotic crusts in the Mojave Desert. *Plant and Soil* 234: 1–14.
- Desikachary TV. 1959. *Cyanophyta*. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.
- Eckert RE Jr., Peterson EE, Mecresse MS and Stephens JL. 1986. Effects of soil surface morphology on emergence and survival of seedlings in big sagebrush communities. *J. Range Management* 39: 414-420.
- Egan RS. 1972. Catalog of the lichens of New Mexico. *Bryologist* 75, 7–35.
- Eldridge DJ and Greene RSB. 1994. Microbiotic soil crust: a review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Australian Journal of Soil Research* 32, 389–415.
- Eldridge DJ and Rosentreter R. 1999. Morphological groups: a framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *Journal of Arid Environments* 41, 11–25.
- Eldridge DJ, Semple WS and Koen TB. 2000. Dynamics of cryptogamic soil crusts in a derived grassland in south-eastern Australia. *Austral Ecology* 25, 232-240.
- Evans RD and Ehleringer JR. 1993. A break in the nitrogen cycle in aridlands? Evidence from delta<sup>15</sup> N of soils. *Oecologia* 94: 314-317.
- Evans RD and Johansen JR. 1999. Microbiotic crusts and ecosystem processes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18, 183–225.
- Fenner M. 1985. *Seed Ecology*. Chapman & Hall. London.
- Fenner M and Kitajima K. 1999. Seed and Seedling Ecology. In: Puignaire F I, Valladares F. (Eds.) *Handbook of functional plant ecology*. Marcel Dekker, USA.
- Geesey G and Jang L. 1990. Extracellular polymers for metal binding. In Ehrlich, H.L., Brierley, C.L. (eds). *Microbial mineral recovery*. McGraw-Hill, New York, pp 223-247.

- Godínez-Alvarez H and Valiente Banuet A. 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacan Valley cacti species: The role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *Journal of Arid Environments* 39: 21-31.
- Godínez-Alvarez H, Valiente-Banuet A and Rojas-Martínez, A. 2002. The role of seed dispersers in the population dynamics of the columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo*. *Ecology* 83(9):2617-2629.
- Godínez-Alvarez H, Jiménez M, Mendoza M, Pérez F, Roldán P, Ríos-Casanova L y Lira R. en evaluación. Densidad, estructura poblacional, reproducción y sobrevivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- Gold WG, Bliss LC. 1995. Water limitations and plant community development in a polar desert. *Ecology* 76: 1558-1568.
- González-Zertuche L, Orozco-Segovia A y Vázquez-Yanes C. 2000. El ambiente de la semilla en el suelo: su efecto en la germinación y la supervivencia de la plántula. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 73-81.
- Harper KT and Belnap J. 2001. The influence of biological soil crusts on mineral uptake by associated vascular plants. *Journal of Arid Environments* 47:347-357
- Harper KT and Pendleton RL. 1993. Cyanobacteria and cyanolichens: can they enhance availability of essential minerals for higher plants? *Great Basin Naturalist* 53: 59-72.
- Harper KT and Marble JR. 1988. A role for nonvascular plants in management of arid and semiarid rangelands. In: Tueller, P.T. (Ed.), *Vegetation Science Applications for Rangeland Analysis and Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 136–169.
- Hawkes CV. 2004. Effects of biological soil crusts on seed germination of four endangered herbs in a xeric Florida shrubland during drought. *Plant Ecol.* 170: 121 –134.
- Howell W. 1998. Germination and establishment of *Bromus tectorum* L. in relation to cation exchange capacity, seed bed, litter, soil cover and water. Unpubl Thesis, Prescott College, AZ. In Belnap, J., Lange, O.L. (Eds.), 2001. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and management*. Springer, Berlin. pp 287-288.
- Isichei AO. 1980. Nitrogen fixation by blue-green algae soil crusts in Nigerian savanna. In: Rosswall T (ed) *Nitrogen cycling in West African ecosystems*. NFR, Stockholm, pp 191–199.
- Jackson RB and Caldwell MM. 1983. The scale of nutrient heterogeneity around individual plants and its quantification with geostatistics. *Ecology* 74:612-614.

- Johansen JR. 1993. Cryptogamic crust of semiarid and arid lands of North America. *Journal of Phycology* 29, 140–147.
- Kigel J. 1995. Seed germination in arid and semiarid regions. En: Kigel, J. y Galil, G. (Eds.) *Seed development and germination*. M. Dekker Ed. pp. 645-699.
- Komárek J and Anagnostidis, K. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes. II. Chroococcales. *Algological Studies* 43, 157–226.
- Komárek J and Anagnostidis, K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes. IV. Nostococales. *Algological Studies* 56, 247–345.
- Komárek J and Anagnostidis K. 1998. *Subwasserflora von Mitteleuropa. Cyanoprokaryota I. Chroococcales*. Gustav Fisher, Jena.
- Komáromy ZP. 1976. Soil algal growth type as edaphic adaptation in Hungarian forest and grass steppe ecosystems. *Acta Bot Acad Sci Hung* 22: 373-379.
- Lange W. 1974. Chelating agents and blue-green algae. *Can J Microbiol* 20:1311-1321.
- Larsen KD. 1995. Effects of microbiotic crusts on the germination and establishment of three range grasses. Thesis, Boise State University, Boise, Idaho, USA.
- Lesica P and Shelley JS. 1992. Effects of cryptogamic soil crust on the population dynamics of *Arabis fecunda* (Brassicaceae). *American Midland Naturalist* 128:53-60.
- Li XR, Jia XH, Long LQ and Zerbe S. 2005. Effects of biological soil crusts on seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China). *Plant and Soil* 277:375–385.
- Lynch JM and Bragg E. 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science* 2: 133-171.
- Maya Y, López-Cortés A and Soeldner A. 2002. Cyanobacterial microbiotic crusts in eroded soils of a tropical dry forest in the Baja California Peninsula, Mexico. *Geomicrobiology Journal*. 19:505-518.
- Mayaland HF, McIntosh TH and Fuller WH. 1966. Fixation of isotopic nitrogen on a semiarid soil by algal crust organisms. *Soil Sci Soc Am Proc* 30:56-60.
- McGregor AN and Johnson DE. 1971. Capacity of desert algal crusts to fix atmospheric nitrogen. *Soil Sci Soc Am Proc* 35:843-844.
- McIlvanie SK. 1942. Grass Seedling Establishment, and Productivity-Overgrazed vs. Protected Range Soils. *Ecology*, 23(2):228-231.

- Nash III TH and Johnson AB. 1975. Catalog of the lichens of Arizona. *Bryologist* 78, 7–24.
- Pendleton RL and Warren SD. 1995. Effects of cryptobiotic soil crusts and VA mycorrhizal inoculation on growth of five rangeland plant species. In Belnap J, Lange OL. (Eds). 2001. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and management*. Springer, Berlin. pp 290-291.
- Pendleton RL, Pendleton BK, Howard GL and Warren SD. 2003. Growth and Nutrient Content of Herbaceous Seedlings Associated with Biological Soil Crusts. *Arid Land Research and Management* 17: 271–281.
- Prasse R and Bornkamm R. 2000. Effect of microbiotic soil surface crusts on emergence of vascular plants. *Plant Ecology* 150, 65–75.
- Rivera-Aguilar V, Godínez-Alvarez H, Manuell-Cacheux I and Rodríguez-Zaragoza S. 2005. Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions. *J. Arid Environ.* 63: 344 –352.
- Rivera-Aguilar V, Montejano G, Rodríguez-Zaragoza S and Durán-Díaz A. 2006. Distribution and composition of cyanobacteria, mosses and lichens of the biological soil crusts of the Tehuacan Valley, Puebla, Mexico. *J. Arid Environ.* 67: 208–225
- Rychert RC, Skujins J, Sorensen D and Porcella D. 1978. Nitrogen fixation by lichens and free-living microorganisms in deserts. In: West NW, Skujins J (eds) *Nitrogen in desert ecosystems*. Dowden, Hutchinson, Ross, Stroudsburg, Pa. pp 20–30.
- Rychert RC and Skujins, J. 1974. Nitrogen fixation by blue-green algae-lichen crusts in the Great Basin Desert. *Soil Science Society of America Proceedings* 38:768–771.
- Rzedowsky J. 1998. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. In Ramamoorthy TP, Bye R, Lot A, Fa J. (Eds). 1998. *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología. UNAM, México.
- Sánchez de la Vega G. 2005. Factores que afectan el establecimiento de *Prosopis laevigata* en un ambiente fragmentado del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.
- Schlatterer FF and Tisdale EW. 1969. Effects of litter of *Artemisia*, *Chrisothamus* and *Tortula* on germination and growth of three perennial grasses. *Ecology* 50:869-873. In Belnap, J., Lange, O.L. (Eds.), 2001. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and management*. Springer, Berlin. pp 286-287.
- Schlesinger WH, Raikes JA, Hartley AE and Cross AE. 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystem. *Ecology* 77:364-374.

- Serpe MD, Orm JM, Barkes T and Rosentreter R. 2006. Germination and seed water status of four grasses on moss-dominated biological soil crusts from arid lands. *Plant Ecology* 185:163–178.
- Sharp AJ, Crum H, and Eckel PM. (Eds.), 1994. The moss flora of Mexico. *Mem. New York Bot. Gard.* 69, 2 vols.
- Shushan S and Anderson RA. 1969. Catalog of the lichens of Colorado. *Bryologist* 72, 451–483.
- Skujins J. 1984. Microbial ecology of desert soils. pp. 49-91 In: C.C. Marshall (Ed.). *Advances in microbial ecology*, Vol. 7. Plenum Press, New York, NY.
- St Clair LL, Webb BL, Johansen JR and Nebeker GT. 1984. Cryptogamic soil crusts: enhancement of seedling establishment in disturbed and undisturbed areas. *Reclamation and Revegetation Research* 3: 129-136.
- Taiz L and Ziegler E. 2002. *Plant physiology*. Third edition. Sinauer Associates. New York. 690 p.
- Tielbörger K. 1997. The vegetation of linear desert dunes in the north-western Negev, Israel. *Flora*, 192(3): 261-278.
- Tongway DJ. 1995. Monitoring soil productive potential. *Environ Monit Assess* 37:303-318.
- West N. 1990. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Advances in Ecological Research* 20, 179–223.
- West NE and Skujins J. 1977. The nitrogen cycle in North American cold-winter semi-desert ecosystems. *Oecol Plant* 12:45-53.
- West NE and Skujins J. 1978. *Nitrogen in Desert Ecosystems*. Dowden Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania.
- Zaady E, Gutterman Y and Boeken B. 1997. The germination of mucilaginous seeds of *Plantago coronopus*, *Reboudia pinnata*, and *Carrichtera annua* on cyanobacterial soil crust from the Negev Desert. *Plant and Soil* 190:247–252.

## APÉNDICE

### **a) Técnica para extracción de nitrato y amonio en suelo análisis colorimétrico de Alef & Nannipieri (1995)**

Preparación de soluciones

Cloruro de potasio 2M. Se disolvieron 74.56g de KCl en 700ml de agua destilada para después aforar a 1000ml.

Procedimiento

El siguiente procedimiento de extracción se aplicó para cada una de las muestras de suelo de las diferentes repeticiones de los tratamientos del diseño experimental.

Con un nucleador (sacabocado) se tomaron tres muestras de suelo de  $\approx$  1gr cada una, para con estas obtener una mezcla homogénea de 3gr de suelo. De dicha mezcla homogénea, se tomaron 2gr de suelo para adicionarlos a 20ml de solución KCl extractante, se agitó la solución en un agitador orbital (Bigger Hill) a 200rpm durante 2hr y se filtró todo el contenido; el gramo restante de suelo de la mezcla homogénea se utilizó para calcular el peso seco de la muestra, dato necesario para los cálculos de porcentaje final. Con este proceso se obtuvieron 20 extractos muestra de Nitrato-Amonio, uno por cada repetición.

### **b) Determinación directa de Nitrato**

El ácido salicílico es nitrificado en una solución alcalina, la absorbancia de la luz se midió a 410nm.

Preparación de soluciones

Hidróxido de Sodio 4M. Se disolvieron 160gr de NaOH en 600ml de agua destilada y se aforo a 1000ml.

Ácido Salicílico al 5%. Se disolvieron 2.63gr de ácido salicílico en 50ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado (95-97%).

Solución madre (stock). Se disolvió 0.7223gr de nitrato de potasio seco en 70ml de agua destilada y se aforo a 100ml.

Solución estándar (curva). En volumétricos de 100ml se pipetearon 0, 100, 200, 300, 400, 500 y 600ml de solución madre y se aforo con agua destilada, de esta manera se obtuvo 0,1,2,3,4,5 y 6mg de NO<sub>3</sub>/l respectivamente.

### Procedimiento

Se pipetearon 500µl de cada solución estándar y de cada uno de los 20 extractos muestra en tubos de ensaye. Se adicionó a cada tubo 1ml de solución de ácido salicílico, se mezcló inmediatamente y se dejó reposar 30 min. Al cabo de este tiempo, se adicionó 10ml de solución NaOH 4M y se dejó reposar 1hr a que desarrollara el color para después leer las absorbancias a 410nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2S e interpolar los valores de los 20 extractos muestra con los 7 puntos de la curva.

### c) Determinación directa de amonio

El amonio reacciona con salicilato e hipoclorito en una solución amortiguadora alcalina en presencia de nitroprusiato de sodio para formar ácido salicílico análogo al azul indofenol. El color verde-azul producido se lee a 660nm.

### Preparación de soluciones

Reactivo de color. Se disolvieron 17g de Ácido salicílico, 12.5g de citrato de sodio y 12.5g de tartrato de sodio en 300ml de agua, se agregó 0.06g de nitroprusiato de sodio y se aforo a 500ml.

Solución alcalina de hipoclorito. Se disolvieron 30g de NaOH y 5ml de hipoclorito de sodio (>5% cloro disponible) en 300ml de agua destilada y se aforo a 500ml.

Solución madre (stock). Se disolvió 1.1797g de sulfato de amonio seco en 150ml de agua destilada y se aforo a 250ml.

Solución estándar (curva). En volumétricos de 100ml se pipetearon 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5ml de solución madre y se aforo con agua destilada, lo que corresponde a 0, 5, 10, 15, 20 y 25mg de NH<sub>4</sub>-N/l.

#### Procedimiento

Se transfirieron 0.1ml de cada solución estándar y de cada uno de los 20 extractos muestra en tubos de ensaye, se adicionaron 5.0ml de reactivo de color, se agitó y se dejó reposar por 15 min. En seguida se adicionaron 5ml de solución de hipoclorito de sodio alcalino para mezclar bien nuevamente y se dejó sin mover para desarrollar el color durante 1hr. Se leyeron las absorbancias a 660nm en un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2S y se interpolaron los valores de los 20 extractos muestra en la curva.

#### d) Cálculos

Los cálculos de los porcentajes de los compuestos nitrogenados (amonio y nitrato) se realizaron con la siguiente formula.

$$\%N = \frac{Cx0.1}{Peso(g)}$$

en donde, C es la concentración de amonio o nitrato de la muestra obtenida por la interpolación en la curva, 0.1 es un factor de conversión para el %N y Peso (g) es el peso seco de la muestra.