

IMPACTO ECOLÓGICO Y ECONÓMICO DE ESPECIES NATIVAS DE *PROSOPIS* EN MÉXICO

ECOLOGICAL AND ECONOMICAL IMPACT OF NATIVE *PROSOPIS* SPECIES IN MEXICO

Verónica Ramírez¹, Ricardo Carreño², Luis-Ernesto Fuentes², Rocío Bustillos¹, Jesús Muñoz-Rojas¹, Erika Acosta³, José-Antonio Munive^{1*}

¹Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

²Laboratorio de Bioquímica y Genética Microbiana, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

³Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma de Coahuila, México

*Corresponding author: José Antonio Munive Hernández

Address: Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio S/N, C. P. 72570, Puebla, México. Tel: (+52-222) 229-5500-7050

E-mail address: joseantonio.munive@correo.buap.mx

ABSTRACT

There are 45 species of *Prosopis* among the dominant woody legumes in arid and semiarid regions throughout the world. The woody legume mesquite is well-adapted to warm and dry tropical climates. It grows well in areas receiving 250-600 mm of annual rainfall. It is a fast growing plant and has a deep to very deep well-meshed root system. It is capable of growing in barren habitats such as rocky and saline soils under adverse weather conditions. Because it is a drought- and disease-resistant and has unappetizing foliage to livestock, *Prosopis* does not require any special care for rehabilitating marginal lands or wastelands. In Mexico, *Prosopis* is a major source of food, fodder, fuelwood, charcoal, timber and gums, and has become a species for soil conservation and ornamental purposes. It also provides advantages for wildlife in arid areas, where ripe fruits of this species have become the main source of nourishing food for it. Clusters of bushes or thickets provide wildlife with hiding places from hunters and natural predators. Ripe pods are eaten by livestock in large quantities and serve as the main protein source for milk cattle under drought and, especially, famine conditions. *Prosopis* species are indiscriminately nodulated by various rhizobial strains. Understanding rhizobial ecology of this woody legume is quite important, especially to assess the effectiveness of native rhizobia to improve plant establishment and growth in marginal soils.

Key words: *Prosopis*, Arid Areas, Rhizobia, Symbiosis, Nitrogen Fixation

RESUMEN

Entre las leguminosas arbóreas dominantes de las regiones áridas y semiáridas del mundo hay 45 especies de *Prosopis*. La leguminosa arbórea del mezquite se adapta bien a climas tropicales cálidos y secos y se cultiva eficientemente en áreas que reciben de 250 a 600 mm de precipitación pluvial al año. Es una planta que crece rápidamente y posee una red radicular gruesa. Puede cultivarse en lugares inhóspitos como suelos rocosos y salinos bajo condiciones climáticas hostiles. Debido a que es tolerante a la sequía y a las plagas y posee un tipo de follaje poco apetitoso para el ganado, el mezquite no necesita un tratamiento especial para rehabilitar terrenos marginales o baldíos. En México, el mezquite es una fuente principal de alimento, forraje, leña, carbón vegetal, madera y goma y se ha convertido en una especie para propósitos de conservación del suelo y de decoración. También proporciona usos para la fauna silvestre en zonas áridas, donde los frutos maduros de esta especie son la fuente principal de alimentos nutritivos para ésta. Los arbustos o matorrales del mezquite ofrecen a la fauna silvestre un refugio en contra de cazadores y depredadores naturales. En general, las vainas maduras son consumidas en grandes cantidades por el ganado y, en particular, sirven como fuente principal de proteína para el ganado lechero en condiciones de sequía y, especialmente, de hambruna. Diversas cepas rizobiales nodulan de manera indiscriminada las especies de mezquite. Es importante entender la ecología rizobial de esta leguminosa arbórea, especialmente para evaluar la efectividad de los rizobios nativos para mejorar el establecimiento y el cultivo de plantas en suelos marginales.

Palabras Clave: *Prosopis*, Zonas Áridas, *Rhizobia*, Simbiosis, Fijación de Nitrógeno

LAS ZONAS ÁRIDAS

Una cuarta parte del planeta tiene zonas de déficit hídrico subclasificadas como zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que representan una superficie total de 5,450 millones de km². En estas zonas habita más de un tercio de la población mundial que se beneficia de los recursos naturales de ellas. En México, las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas abarcan 70% del territorio nacional en una superficie de 101.5 millones de km² (CONAZA, 2013), distribuidas de la siguiente manera: 15.7% de zonas áridas, 58% de zonas semiáridas y 26.3% de zonas subhúmedas secas (SEMARNAT, 2012). Estas zonas se caracterizan por tener una flora capaz de soportar las condiciones climáticas hostiles y la escasez de agua, propias de estas zonas. Las zonas áridas se han dividido en 5 regiones dentro de la

República Mexicana; una de las más extensas es la zona árida del Desierto Chihuahuense, que ocupa la porción septentrional del Altiplano Mexicano, en altitudes variables de entre 1,000 a 2,200 msnm y comprende parte de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí (INEGI, 2010).

EL MEZQUITE

El mezquite forma parte de la flora nativa de estas zonas áridas. Este tipo de vegetal es una leguminosa tolerante a las temperaturas altas, la desecación y la salinidad, y tiene una gran importancia ecológica y económica para las zonas en donde son endémicas. En el Altiplano Mexicano, se distinguen tres regiones fisiográficas de distribución de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas: Altiplano Septentrional, Altiplano Central y Altiplano Meridional, donde el mezquite es el género vegetal dominante (CONAZA, 2013).

El mezquite pertenece al género *Prosopis* en la familia *Leguminosae* (Doyle y Luckow, 2003) dentro de la subfamilia *Mimosaceae*. Las especies botánicas de *Prosopis* tienen hojas angostas bipinadas compuestas que miden de 5 a 7.5 cm de largo con puntas suaves y ramas con espinas. El fruto de estos árboles, llamada mezquite, tiene forma de vaina. El mezquite es una planta extremadamente dura y tolerante a la sequía debido a su extensa red radicular y gruesa raíz principal, características que le permiten sobrevivir en ambientes inhóspitos.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL MEZQUITE

A nivel mundial, el género *Prosopis* comprende 45 especies de gran importancia para la composición arbórea y arbustiva de las zonas áridas y semiáridas. Su distribución incluye el sureste de Asia (tres especies nativas), África tropical (una especie nativa) y América (cuarenta especies), que abarca desde el suroeste de EE.UU. hasta la Patagonia en Argentina y Chile. De un total de 31 especies sudamericanas 11 son endémicas de Argentina (Felker y Bandursky, 1979; Felker y col., 1981). Las especies más importantes por su distribución nativa son *P. cineraria* en Asia; *P. africana* en África; *P. velutina*, *P. glandulosa*, *P. laevigata* y *P. juliflora* en Norteamérica; *P. juliflora* en Centroamérica; *P. taramugo*, *P. caldenia*, *P. alba*, *P. chilensis*, *P. flexuosa*, *P. nigra* y *P. pallida* en Sudamérica. Sin embargo, algunas plantas de este género se han introducido en países de África como Marruecos, Argelia, Túnez, Libia, Egipto, Kenia, Tanzania, Sudáfrica y Zimbabue (Pasiiecznick y Felker, 2001).

En la República Mexicana, el mezquite se distribuye en una superficie aproximada de 3,555,500 hectáreas (SFF, 1980), comúnmente en lugares áridos y semiáridos. La

distribución geográfica por especie dominante de *Prosopis* es la siguiente: *P. articulata* en Baja California Sur y Sonora; *P. glandulosa* predominante en el norte de México en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y el norte de Tamaulipas; *P. glandulosa var. torreyana* en Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí; *P. juliflora* en la planicie costera del Pacífico desde Sinaloa hasta Centroamérica; *P. laevigata* en el Norte, Centro y Sur de México en los estados de Durango, , Zacatecas, Nuevo León, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca; *P. palmeri* en Baja California; *P. pubescens* en Baja California y Chihuahua; *P. reptans var. cinerascens* en Coahuila y Nuevo León; *P. tamaulipana* en San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz; *P. velutina* en Sonora; *P. Mezcalana sp. nov.* en Guerrero; *P. Mayana* en Campeche (Figura 1) (CONAFOR, 2010).

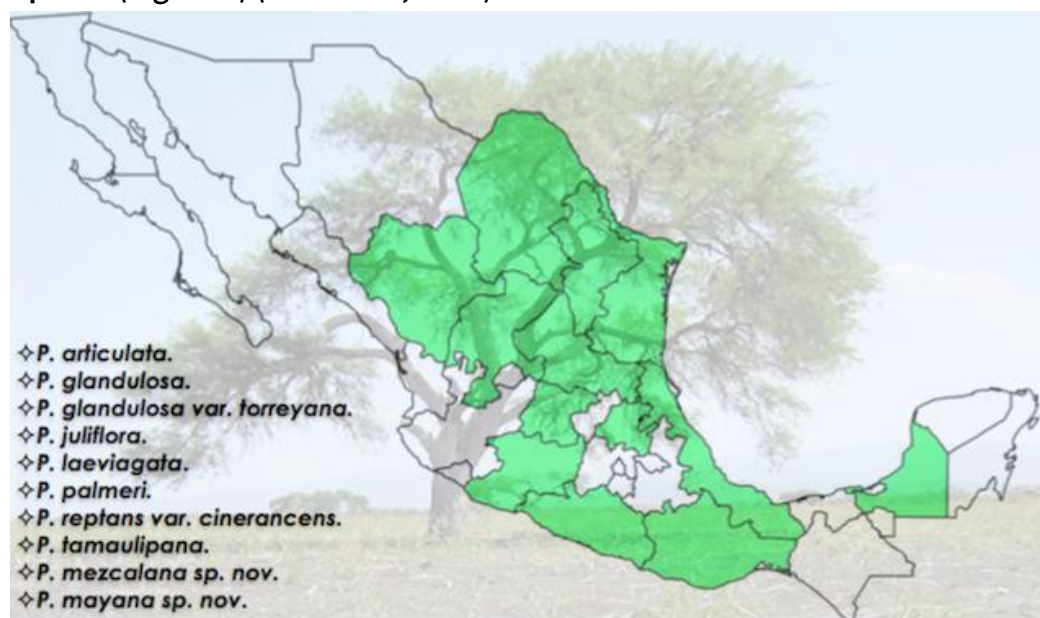


Figura 1. Mapa de la distribución geográfica de *Prosopis* spp. en la República Mexicana (CONAFOR, 2010).

EL MEZQUITE Y SUS SIMBIONTES MICROBIANOS

El mezquite es una leguminosa capaz de establecer una asociación simbiótica (relación en la cual los dos organismos se benefician mutuamente) con bacterias del suelo fijadoras de nitrógeno, a quienes se les denomina con el nombre genérico de “*rhizobia*”. La llamada “fijación biológica de nitrógeno” es un proceso en el cual el nitrógeno atmosférico es convertido en amonio en una reacción catalizada por una enzima llamada “nitrogenasa”. Este proceso es de gran importancia ecológica, ya que es el mecanismo principal de aporte de nitrógeno a los ecosistemas. El nitrógeno es el constituyente fundamental de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y vitaminas esenciales para el desarrollo de todos los seres vivos. Esta

interacción microorganismo-planta se lleva a cabo gracias al intercambio de moléculas entre el microorganismo y la planta, cuyo resultado es la formación de un nuevo órgano en la planta denominado nódulo, el cual se puede localizar en la red radicular y en el tallo de la planta leguminosa; esta interacción es muy específica y está finamente regulada. La formación de los nódulos es resultado del intercambio de señales provenientes de la planta y la bacteria. En esta relación simbiótica ambas partes resultan beneficiadas; la planta proporciona ácidos dicarboxílicos a la bacteria como fuente de carbono y, en retribución, la bacteria provee nitrógeno a la planta en forma de amoníaco. En el caso de *Prosopis*, los nódulos tienen forma esférica y miden aproximadamente 1 cm de diámetro (Figura 2) (Dupont y col., 2012).



Figura 2. Nódulos en plántula de *Prosopis alba* a 75 días de siembra. Estación Experimental Fernández, Universidad Católica de Santiago del Estero, Argentina.

DIVERSIDAD DE LAS BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO ASOCIADAS A *PROSOPIS*

A mediados de la década de los 80, se llevaron a cabo algunos de los primeros reportes sobre biodiversidad para determinar los géneros de *rhizobia* que están nodulando plantas de *Prosopis*, en donde se mencionaron los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* como sus principales simbiosistas (Tabla 1). Aproximadamente en el año 2000, el análisis de múltiples proteínas codificadas por genes llamados “de mantenimiento” (MLSA) se convirtió en una de las herramientas más utilizadas en la clasificación taxonómica de los organismos (Adekambi y Drancourt, 2004; Christensen y col., 2004; Holmes y col., 2004; Naser y col., 2005; Thompson y col., 2005; Wertz y col., 2003). La confiabilidad del análisis MLSA ha permitido la reevaluación de la clasificación de algunos géneros y especies, lo cual ha cambiado algunas clasificaciones en los organismos procariontes (Stackebrandt y col., 2002). Se han llevado a cabo diferentes estudios de biodiversidad usando la técnica de MLSA para determinar los géneros de aquellas *rhizobia* asociadas a *Prosopis*, donde el género *Ensifer* es el más comúnmente aislado de esta planta.

IMPORTANCIA ECONÓMICA Y ECOLÓGICA DEL MEZQUITE

Los ecosistemas de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas son ecosistemas frágiles y en peligro de desertificación. En ellos, los recursos naturales son limitados, por lo que el mezquite resulta un recurso muy valioso para los habitantes de estas zonas del país. El mezquite representa un aporte económico muy importante en las zonas donde es flora nativa ya que la planta se puede aprovechar totalmente como leña, carbón, material para la construcción, planta de ornato y sombra, fabricación de herramientas de trabajo, juguetes, alimentos para ganado (vaina), néctar para la apicultura (flor), infusiones (hojas) y para la extracción de goma (Figura 3) (CONAZA, 1994).

Tabla 1. Reportes de biodiversidad de aislamientos de nódulos de *Prosopis*.

Especie	Origen	Géneros asociados	Referencia
<i>Prosopis sp.</i>	Sonora, Chihuahua, México	<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i>	Shoushtari y col., 1985
<i>P. glandulosa</i>	Sonora, Chihuahua, México	<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i>	Jenkins y col., 1987, 1988, 1989
<i>P. chilensis</i>	E.U.A., Sudán	<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i>	Allen y Allen, 1981; Zhang y col., 1991
<i>Prosopis sp.</i>	Córdoba, Argentina	<i>Rhizobium</i>	Acosta y col., 1994
<i>P. chilensis</i>	Kenia, Sudán	<i>Mesorhizobium</i> <i>Ensifer</i>	Haukka y col., 1998
<i>P. chilensis</i> <i>P. juliflora</i>	Kenia	<i>Rhizobium</i> <i>Mesorhizobium</i> <i>Ensifer</i>	Nick y col., 1999
<i>P. alba</i>	Sur de España	<i>Mesorhizobium</i> <i>Ensifer</i>	Iglesias y col., 2007
<i>P. juliflora</i>	Marruecos	<i>Mesorhizobium</i> <i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i> <i>Ensifer</i>	Hanane y col., 2008
<i>P. farcta</i>	Túnez	<i>Mesorhizobium</i> <i>Rhizobium</i> <i>Ensifer</i>	Fterich y col., 2011
<i>P. chilensis</i>	India	<i>Mesorhizobium</i> <i>Rhizobium</i> <i>Ensifer</i>	Gerlot y col., 2012
<i>P. alba</i>	India	<i>Mesorhizobium</i> <i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i> <i>Ensifer</i>	Chávez y col., 2013

Las leguminosas del género *Prosopis* son plantas pioneras y colonizadoras consideradas óptimas para los procesos de regeneración del suelo, el

reverdecimiento de zonas afectadas por la erosión y la regeneración de suelos en peligro de desertificación, puesto que producen una gran cantidad de materia orgánica que cambia las características fisicoquímicas del suelo, incrementa su fertilidad (formando “islas de fertilidad”), propicia su revegetación y evita su degradación (Velarde y col., 2003; Felker, 2000). En las zonas donde son flora nativa proporcionan alimento y refugio a la fauna silvestre, actúan como un indicador de la profundidad del manto freático y facilitan el establecimiento de otras poblaciones de plántulas (Rodríguez y col., 2014).



Figura 3. Productos obtenidos del mezquite en el estado de Coahuila (CONAFOR, 2010).

La explotación irracional y desmedida de este recurso natural en las zonas endémicas ha conducido a un mayor deterioro de los suelos, afectando las aguas subterráneas de las cuencas hidrológicas y alterando el equilibrio ecológico de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, ecosistemas que se encuentran comprometidos por las actividades antropogénicas como la agricultura, la ganadería y la minería (Haque y col., 2009; Mani y Kumar, 2013). Incluso, esta planta es capaz de controlar la erosión de los suelos al reducir los niveles de salinidad, así como las concentraciones de metales contaminantes como Cu, Mo, Zn, As (III) y Cr(VI) provenientes de la minería y la agricultura (Figura 4).

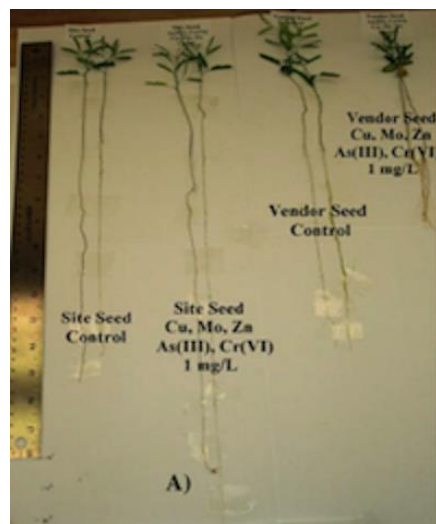


Figura 4. Efecto del Cu, Mo, Zn, As (III) y Cr(VI) sobre el crecimiento de plántulas de *Prosopis spp.* (Haque y col., 2009).

El uso mesurado de este recurso natural, así como el desarrollo de técnicas nuevas de propagación y mantenimiento de los mezquitales en México es de gran importancia para el equilibrio ecológico de más de una tercera parte del territorio nacional.

CONCLUSIÓN

Las actividades antropogénicas como la agricultura, la ganadería y la minería han impactado drásticamente los ecosistemas de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por lo cual ha surgido la necesidad de volver a vegetar y reverdecer las áreas afectadas. Una de las alternativas naturales es el uso de la flora nativa como el mezquite. Tomando en cuenta que en México el mezquite se distribuye geográficamente desde los estados de Oaxaca, Veracruz, pasando por Hidalgo, Michoacán, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas y Durango, hasta los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila y Sonora, es una planta leguminosa de gran importancia para llevar a cabo la ecorremediación y restablecer el equilibrio ecológico de las zonas áridas del territorio nacional. El mezquite tiene la capacidad de establecer una asociación simbiótica con bacterias del suelo fijadoras de nitrógeno, por lo cual pueden fijar el nitrógeno atmosférico para remediar el déficit de éste en suelos degradados. Es una planta que produce una gran cantidad de materia orgánica, así que contribuye a modificar las características fisicoquímicas del suelo, evitando su erosión y desertificación. Es un recurso económico valioso en zonas donde es flora endémica, puesto que de él se obtienen diversos productos que tienen un impacto en la economía de la comunidad. La sobreexplotación de este recurso ocasiona graves problemas ecológicos, por lo cual el desarrollo de una agricultura sustentable basada en la explotación mesurada del

mezquite es muy importante. Finalmente, esta leguminosa, en combinación con tecnologías colaboradoras como biofertilizantes o bioinoculantes, puede actuar en el reverdecimiento del suelo en estas zonas áridas, restablecer las propiedades del suelo y evitar la desertificación de las áreas dañadas.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M.; Oliva, L. y Abril, A. (1994). Colección de rizobios de *Prosopis* arbóreos en la zona semiárida de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Ciencia del suelo*. 12, 38-40.

Adekambi, T. y Drancourt, M. (2004). Dissection of phylogenetic relationships among 19 rapidly growing *Mycobacterium* species by 16S rRNA, *hsp65*, *sodA*, *recA* and *rpoB* gene sequencing. *Int J Syst Evol Microbiol*. 54, 2095–2105.

Allen, O. y Allen, E. (1981). *The Leguminosae: a source book of characteristics, uses and nodulation*. The University of Wisconsin Press, Madison.

Chávez, L.; González, P.; Rubio, E. y Melchiorre, M. (2013). Diversity and stress tolerance in rhizobia from Parque Chaqueño region of Argentina nodulating *Prosopis alba*. *Biol. Fertil. Soils*. 49 (8), 1153-1165.

Christensen, H. y Olsen, J. (1998). Phylogenetic relationships of *Salmonella* based on DNA sequence comparison of *atpD* encoding the beta subunit of ATP synthase. *FEMS Microbiol. Lett*. 161, 89–96.

Doyle, J. y Luckow, M. (2003). The rest of the iceberg: legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol*. 131: 900–910.

Dupont, L.; Alloing, G.; Pierre, O.; Msehli, S.; Hopkins, J.; Hérouart, D. y Frendo, P. (2012). *The Legume Root Nodule: From Symbiotic Nitrogen Fixation to Senescence*, Senescence, Dr. Tetsuji Nagata (Ed.), ISBN: 978-953-51-0144-4, InTech.

Felker, P. y Bandursky, R. (1979). Uses and potential uses of leguminous trees for minimal energy input agriculture. *Economic Botany*. 33, 172-184.

Felker, P. (2000). An investment-based approach to *Prosopis* agroforestry in aridlands. *Annals of Arid Zone*. 38, 383-395.

Felker, P.; Clark, P.; Laag, A. y Pratt P. (1981). Salinity tolerance of the tree legumes: mesquite (*Prosopis glandulosa* var. *torreyana*, *P. velutina* and *P. articulata*) algarrobo (*P. chilensis*), kiawe (*P. pallida*) and tamarugo (*P. tamarugo*) grown in sand culture on nitrogen-free media. *Plant Soil*. 61, 311-317.

Fterich, A.; Mahdhi, M.; Pajuelo, E.; Rivas, R. y Mars, M. (2011). Characterization of root-nodulating bacteria associated to *Prosopis farcta* growing in the arid regions of Tunisia. *Archives of Microbiology*. 193, 385-397.

Gehlot, H.; Panwar, D.; Tak, N.; Tak, A.; Sankhla, I.; Poonar, N.; Parihar, R.; Shekhawat, N.; Kumar, M.; Tiwari, R.; Ardley, J.; James, E. y Sprent, J. (2012). Nodulation of legumes from the Thar desert of India and molecular characterization of their rhizobia. *Plant Soil*. 357 (1), 227-243.

Hanane, B.; Ourarhi, M.; Boukhatem, N.; Berrichi, A.; Abdelmoumen, R.; Andrea, S. y Mustapha. (2008). Diversity of bacteria that nodulate *Prosopis juliflora* in the Eastern area of Morocco. *System. Appl. Microbiol.* 31, 378–386.

Haque, N.; Peralta-Videa, J.; Duarte-Gardea, M. y Gardea-Torresdey, J. (2009). Differential effect of metals/metalloids on the growth and element uptake of mesquite plants obtained from plants grown at a copper mine tailing and commercial seeds. *Bio. Technol.* 100 (24), 6177-6182.

Haukka, K.; Lindström, K. y Young, J. (1998). Three phylogenetic groups of *nodA* and *nifH* genes in *Sinorhizobium* and *Mesorhizobium* isolates from leguminous trees growing in Africa and Latin America. *Appl. Environ. Microbiol.* 64, 419–426.

Holmes, D.; Nevin, K. y Lovley, D. (2004). Comparison of 16S rRNA, *nifD*, *recA*, *gyrB*, *rpoB* and *fusA* genes within the family *Geobacteraceae* fam. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54, 1591–1599.

Iglesias, O.; Rivas, R.; García-Fraile, P.; Abril, A.; Mateos, P.; Martínez-Molina, E. y Velázquez, E. (2007). Genetic characterization of fast-growing rhizobia able to nodulate *Prosopis alba* in North Spain. *FEMS Microbiol. Lett.* 277, 210–216.

Jenkins, M.; Virginia, R. y Jarrell, W. (1988). Depth distribution and seasonal populations of mesquite-nodulating rhizobia in warm desert ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1644–1650.

Jenkins, M.; Virginia, R. y Jarrell, W. (1989). Ecology of fast-growing and slow-growing mesquite-nodulating rhizobia in Chihuahuan and Sonoran Desert ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 543–549.

Jenkins, M.; Virginia, R. y Jarrell, W. (1987). Rhizobial ecology of the woody legume mesquite (*Prosopis glandulosa*) in the Sonoran Desert. *Appl. Environ. Microbiol.* 53, 36–40.

Mani, D. y Kumar, C. (2013). Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13, 299-308.

Naser, S.; Dawyndt, P.; Hoste, B.; Gevers, D.; Vandemeulebroecke, K.; Cleenwerck, I.; Vancanneyt, M. y Swings, J. (2007). Identification of lactobacilli by *pheS* and *rpoA* gene sequence analyses. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 57, 2777–2789.

Nick, G.; De Lajudie, P.; Eardly, B.; Suomalainen, S.; Paulin, L.; Zhang, X. y Gillis, M. (1999). *Sinorhizobium arboris* sp. nov. and *Sinorhizobium kostiense* sp. nov. isolated from leguminous trees in Sudan and Kenya. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 49, 1359-1368.

Pasiecznik, N.; Felker, P.; Harris, P.; Harsh, L.; Cruz, G.; Tewari, J.; Cadoret, K. y Maldonado, L. (2001). The *Prosopis juliflora*-*Prosopis pallida* Complex: A Monograph. HDRA, Coventry, UK.

Rodríguez, N.; Rojo, G.; Ramírez, B.; Martínez, R.; Cong, M.; Martín, S.; Piña, H.

y Ximhai, R. (2014). Technical analysis of the mesquite tree (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. exWilld.) in Mexico. Edición Especial Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. 10 (3), 173-193.

Shoushtari, N. y Pepper, I. (1985). Mesquite rhizobia isolated from the Sonoran Desert: Physiology and effectiveness. *Soil Biol. Biochem.* 17 (6), 797-802.

Thompson, F.; Gevers, D.; Thompson, C.; Dawyndt, P.; Naser, S.; Hoste, B.; Munn, C. y Swings, J. (2005). Phylogeny and molecular advantages of MLSA: case study using *Ensifer* identification of vibrios on the basis of multilocus sequence analysis. *Appl Environ. Microbiol.* 71, 5107–5115.

Velarde, M.; Felker, P. y Degano, C. (2003). Evaluation of Argentine and Peruvian *Prosopis* germplasm for growth at seawater salinities, *J. Arid Environ.* 55, 515–531.

Wertz, J.; Goldstone, C.; Gordon, D. y Riley, M. (2003). A molecular phylogeny of enteric bacteria and implications for a bacterial species concept. *J. Evol. Biol.* 16, 1236–1248.

Zhang, X.; Harper, R.; Karsisto, M. y Lindström, K. (1991). Diversity of Rhizobium bacteria isolated from the root nodules of leguminous trees. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 41, 104-113.