

REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

2016  
Volumen 1  
Número 1

# ÁRIDO-CIENCIA

---

## BIOCIENCIAS Y ETNODIVERSIDAD



UJED

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
DEL ESTADO DE DURANGO



FCB

FACULTAD DE  
CIENCIAS BIOLÓGICAS



ISSN en trámite  
Versión Digital  
[www.aridociencia.mx](http://www.aridociencia.mx)

## DIRECTORIO

UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL  
ESTADO DE DURANGO

C.P.C. Y M.I. OSCAR ERASMO NÁVAR GARCÍA  
RECTOR

M.E. JOSÉ ANTONIO HERRERA DÍAZ  
SECRETARIO GENERAL

M.S.P. JUAN CARLOS HERRERA SALAZAR  
DIRECTOR FCB

### COMITÉ EDITORIAL

JAIME SÁNCHEZ S.  
EDITOR EN JEFE

EDITORES ASOCIADOS:

SANDRA LEYVA PACHECO  
GAMALIEL CASTAÑEDA GAYTÁN  
GISELA MURO PÉREZ  
CÁNDIDO MÁRQUEZ H. †  
ALEXANDER CZAJA  
MIGUEL BORJA JIMÉNEZ  
TAMARA M. RIOJA PARADELA  
ARTURO CARRILLO REYES

ARTE Y DISEÑO  
ANGEL SAMUEL DE LA TORRE E.

WEB MASTER  
JORGE M. CASTRO VITELA

PORADA:  
ESPECIE: *Gopherus flavomarginatus*  
FOTOGRAFÍA POR SANDRA LEYVA

Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia  
C.P. 35010. Gómez Palacio, Dgo.  
Tel / Fax: (871) 7 15 20 77  
email: arido-ciencia@ujed.mx  
www.aridociencia.mx

# ÁRIDO-CIENCIA

## BIOCIENCIAS Y ETNODIVERSIDAD

Árido-Ciencia, es una revista de difusión científica que nace por iniciativa del equipo del Herbario JAAA y un grupo de académicos e investigadores del cuerpo académico en consolidación denominado “Riqueza, Interacciones y Conservación de la Biodiversidad” de la LGAC “Biología, Vulnerabilidad y Conservación de Flora, Fauna y Microbiomas Silvestres” de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

La finalidad es que la comunidad científica nacional e internacional sea partícipe con las publicaciones que se generan en las diferentes líneas de investigación, las cuales tienen un enfoque de aprovechamiento y desarrollo sustentable en los diversos ecosistemas que se presentan en las regiones áridas y semiáridas del mundo; que serán publicadas en modalidad de artículos, notas (Short communication), revisiones (reviews) y semblanzas.

La revista es un medio de difusión científica donde pueden participar todos aquellos investigadores de diversos países que realicen investigaciones afines con la temática de Biociencias y Etnodiversidad con énfasis en zonas áridas y semiáridas del mundo.

El Comité Editorial de la revista Árido-Ciencia a través de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, agradecen de antemano a quienes hacen posible la cristalización de este proyecto en una estrategia por realimentar el ejercicio de las ciencias naturales entre los especialistas mediante la difusión científica de los resultados de las investigaciones y en forjar un vínculo con la sociedad para beneficio del saber ser y hacer en los ecosistemas áridos y semiáridos del mundo.

Facultad de Ciencias Biológicas  
Universidad Juárez del Estado de Durango

# Índice

<b>IN MEMORIAM: CÁNDIDO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ (1976-2016)</b> Osvaldo García-Saucedo y Gerardo Montejano Adame	<b>3</b>
<b>MECANISMOS DE LAS PGPR PARA MITIGAR EL ESTRÉS ABIÓTICO DE PLANTAS</b> Rubén Palacio-Rodríguez, Blanca Patricia Ramos, Jessica Lizbeth Coria-Arellano, Benjamín Nava Reyes y Jorge Sáenz-Mata	<b>4</b>
<b>SENSIBILIDAD A ANTIBIÓTICOS EN BACTERIAS AEROBIAS DE LA TORTUGA DEL BOLSÓN <i>Gopherus flavomarginatus</i> EN CAUTIVERIO EN DURANGO, MÉXICO</b> Cristina García-De la Peña, César Abraham Quezada-Rivera, Jesús Martínez-Luna, Alejandra González-Durán y Rafael Castro-Franco	<b>12</b>
<b>ASOCIACIONES VEGETALES DE LA VERTIENTE SUR DEL ANP “SIERRA DE LOBOS” MEDIANTE FOTOINTERPRETACIÓN</b> Luis Manuel Valenzuela-Núñez, Cándido Márquez Hernández†, Verónica Ávila Rodríguez, Edwin Amir Briceño Contreras y Alan Eduardo Salas Camacho	<b>18</b>

## IN MEMORIAM: CÁNDIDO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ (1976-2016)

Osvaldo García-Saucedo<sup>1</sup> y Gerardo Montejano Adame<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México.



El Dr. Cándido Márquez Hernández nació en el Municipio de Matamoros, Coahuila el día 31 de Marzo de 1976. Realizó sus estudios de licenciatura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila, México. Aquí obtuvo el Título de Ingeniero Agrónomo en Horticultura en 1997. En esta misma institución, cursó la Maestría en Ciencias en Producción Agronómica, donde obtuvo el grado en el año 2000 y posteriormente en el 2006 obtuvo el grado de Doctor en Ciencias Agrarias. Su área de especialidad fue el estudio y manejo de los recursos naturales, así como la productividad de los agroecosistemas. Se integró a la Escuela Superior de Biología de la Universidad Juárez del Estado de Durango en el año 2000 como académico de asignatura

y en reconocimiento a su desempeño y productividad, le fue otorgado el nombramiento como Profesor de Tiempo Completo el 12 de mayo de 2008, siendo profesor de los programas educativos de licenciatura de Biólogo y Ecólogo donde impartió las asignaturas de Matemáticas I y II, Sistemas de Producción Silvoagropecuarios, Manejo de Recursos Bióticos, Reordenamiento Ecológico y Manejo Integrado de Plagas en licenciatura. En 2012 fue miembro fundador del Núcleo Académico Básico de la Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Ecología, el cual, es el primer programa de posgrado de la ahora Facultad de Ciencias Biológicas de la UJED. También impartió las asignaturas de Ecología entomológica, Sustentabilidad y Seminario de investigación, graduando a 3 maestrantes de este programa. Del mismo modo fue fundador del Cuerpo Académico “Ecología, Biodiversidad y Manejo de Recursos Bióticos”, que actualmente se encuentra en grado de consolidado. Fue impulsor de la Red “Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable” y de la Red PRODEP “Biodiversidad y Sustentabilidad. Formó y fue jefe del laboratorio de Biología Agrícola, donde realizó la mayoría de su productividad académica y colaboraciones nacionales e internacionales con investigadores de diferentes instituciones. Entre las múltiples distinciones, se encuentran pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores desde el año 2007, obtención del Perfil preferente de PROMEP desde 2007, Evaluador Acreditado de Programas de Posgrado de Calidad y de proyectos de investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Además, desde el 2014 inició su colaboración como árbitro de la revista Ecosistemas y Recursos Agropecuarios en donde también publicó varias de sus investigaciones. En la producción científica se destacan 16 artículos científicos, dos capítulos de libros, editor de un libro y fue formador de Recursos Humanos de 42 tesis como Director en los tres niveles de formación (Licenciatura, Maestría y Doctorado). Finalmente, la vasta experiencia en la redacción de artículos científicos, le permitió formar parte del Comité Editorial Interno como miembro fundador de la Revista Árido-Ciencia: *Biociencias y Etnodiversidad* de la FCB-UJED. Desafortunadamente el día 9 de Mayo del 2016, nuestro compañero, colega y amigo, encontraría su descanso eterno a la edad de 40 años mientras desarrollaba las actividades que con tanta pasión ejercía; pues mientras se trasladaba para cumplir con uno de los numerosos proyectos que tenía con algodón transgénico, un accidente carretero cuartaría la trayectoria de este ejemplar investigador y querido amigo.

## MECANISMOS DE LAS PGPR PARA MITIGAR EL ESTRÉS ABIÓTICO DE PLANTAS

### PGPR MECHANISMS TO ALLEVIATE THE ABIOTIC STRESS OF PLANTS

Rubén Palacio-Rodríguez<sup>1</sup>, Blanca Patricia Ramos<sup>1</sup>, Jessica Lizbeth Coria-Arellano<sup>1</sup>, Benjamín Nava Reyes<sup>1</sup> y Jorge Sáenz-Mata<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecología Microbiana, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México.

\*Autor para correspondencia: jsaenz\_mata@ujed.mx

### RESUMEN

RECIBIDO: 30/05/2016

ACEPTADO: 16/07/2016

#### PALABRAS CLAVE:

salinidad  
halófitas  
rizobacterias  
biofertilizante  
rizósfera

#### KEYWORDS:

salinity  
halophytes  
rhizobacteria  
biofertilizers  
rhizosphere

Los microorganismos juegan un papel muy importante en el desarrollo de las plantas, estos cuentan con diversas estrategias que ayudan a las plantas a enfrentar diferentes tipos de estrés biótico (patógenos, herbívoros, etc.) y abiótico (salinidad, sequía, temperaturas extremas o toxicidad por metales pesados). Algunos de los mecanismos más importantes involucrados en mitigar el estrés son; regulación de fitohormonas, resistencia sistémica inducida (ISR), producción de antioxidantes, degradación del etileno, entre otros. Dentro del estrés abiótico la salinidad es el problema que afecta de forma más común a los cultivos, reduciendo las áreas disponibles para la agricultura. Por tal motivo la rizósfera de las plantas puede ser un excelente reservorio de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) con potencial para desarrollar biofertilizantes que ayuden a mitigar el estrés abiótico en plantas cultivadas en suelos salinos.

### ABSTRACT

Microorganisms play an important role in plant development, beneficial microbes have several strategies that help plants to avoid to different biotic stresses (pathogens, herbivory, etc.) and abiotic stress (salinity, drought, extreme temperature, heavy metals toxicity, among others). These beneficial bacteria confer abiotic stress tolerance by phytohormone regulation, induced systemic resistance (ISR), antioxidants production, ethylene degradation, etc. Salinity is the most common problem that affect crops, decreasing available areas for agriculture. Therefore, the rhizosphere of the plants is an excellent plant growth promoting rizobacterias reservoir with potential to make biofertilizers in order to mitigate abiotic stress in plants grown in saline soils.

### INTRODUCCIÓN

La rizósfera es la zona localizada entre las raíces de la planta y el suelo que la rodea (Dijkstra et al., 2014), la cual está conformada por tres áreas, que son la ectorizósfera, rizoplano y endorizósfera (Johansson et al., 2004). La rizósfera es el ecosistema con mayor diversidad microbiana del suelo (Rovira y Davey, 1974; Lynch y Whipps, 1991). Los microorganismos presentes en la rizósfera intervienen en los ciclos de los nutrientes del sistema suelo-planta (Singh y Mukerji, 2006). Las poblaciones bacterianas de este microambiente se ven influenciadas principalmente por los compuestos orgánicos que segregan la planta como los ácidos orgánicos, aminoácidos, azúcares, ácidos fenólicos, flavonoides, enzimas, etc., así como por la disponibilidad de nutrientes, pH y textura del suelo (Stafford et al., 2005; Singh y Mukerji, 2006; Raaijmakers et al., 2009). Los microorganismos asociados a la raíz establecen sinergismos con las plantas de dos maneras principales: las que forman una relación simbiótica (*Rhizobium*-Leguminosas) y las

de vida libre, las cuales se pueden encontrar en el suelo, sobre o dentro de los tejidos de la planta (Kloepper et al., 1988a; Frommel et al., 1991). Las bacterias de vida libre que promueven el desarrollo de la planta e incluso que actúan como control biológico de fitopatógenos, son usualmente conocidas como rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR de las siglas en inglés Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) (Glick, 1995; Kloepper et al., 1989; Bashan y Holguin, 1998). La escasez mundial de recursos hídricos en conjunto con la salinización del suelo, se vuelven factores abióticos que limitan el desarrollo de las plantas, se estima que un 50% de las tierras cultivables estarán afectadas por estos tipos de estrés para el 2050. Por lo anterior, los microorganismos juegan un papel muy importante en el ámbito agrícola al ser una alternativa importante para poder disminuir los efectos nocivos de estrés abiótico (sequía, altas y bajas temperaturas, salinidad, toxicidad por metales, etc.) en la producción de los cultivos (Milošević et al., 2012). La promoción de crecimiento en plantas producido por las PGPR puede ser multifactorial; como la solubilización de

fosfatos, producción de sideróforos, fijación biológica de nitrógeno, producción de la enzima 1-Aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) desaminasa, producción y regulación de fitohormonas, actividad de biocontrol, producción de componentes orgánicos volátiles (VOC's), activación de la resistencia sistémica inducida (ISR), etc. (Bhattacharyya y Jha, 2012). Las PGPR se pueden adaptar a diversas condiciones ambientales y además tienen la capacidad de ayudar a mitigar condiciones de estrés en plantas. En condiciones de sequía y/o salinidad el efecto de protección de las PGPR consiste en reducir la producción de etileno, incrementar las concentraciones de fitohormonas como el ácido abscísico y las auxinas, dar protección contra las especies reactivas de oxígeno (ROS), producir solutos compatibles, solubilizar fosfatos, producir exopolisacáridos y controlar a los fitopatógenos. La presente revisión muestra un panorama general de los mecanismos empleados por las PGPR como respuesta a diversos tipos de estrés abióticos y cuál es su efecto protector sobre las plantas como un potencial de uso como biofertilizantes.

## MECANISMOS DE ACCIÓN DE LAS PGPR

**Fijación de nitrógeno.** El nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, convirtiéndose en un factor importante en los ecosistemas rizosféricos. Una gran cantidad de PGPR son conocidas por su capacidad de fijar el nitrógeno y hacerlo disponible para la planta, tal es el caso de: *Azoarcus sp*, *Beijerinckia sp*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pantoea agglomerans* y *Rhizobium sp.*, este último es de los grupos de microorganismos más estudiados por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y hacerlo disponible para las plantas (Antoun et al., 2005; Riggs et al., 2001). Esta capacidad que tienen las PGPR ha sido muy utilizada en la actividad agrícola, sobre todo en leguminosas (Döbereiner, 1997; Barea et al., 2005; Esitken et al., 2006). Las PGPR capaces de fijar nitrógeno se clasifican en dos categorías: Las bacterias simbóticas de la raíz asociadas con leguminosas que poseen la habilidad de infectar las raíces para producir nódulos (*Rhizobium etli*, *Sinorhizobium meliloti*, *Mesorhizobium loti*, etc.) y las bacterias que son llamadas fijadoras de nitrógeno de vida libre (Chen et al., 1988; Oberson et al., 2013) tales como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Herbaspirillum*, *Bacillus* y *Paenibacillus* (Weid et al., 2002), ambos grupos bacterianos poseen la capacidad de producir la enzima nitrogenasa (Seldin et al., 1984; Berge et al., 2002). Por lo tanto, la fijación de nitrógeno se considera una de las características más importantes de las PGPR. Las bacterias fijadoras de nitrógeno ya han sido comercializadas como biofertilizantes y son consideradas de suma importancia para la agricultura (Goswami et al., 2015).

**Producción de sideróforos.** El hierro es un micronutriente esencial para las plantas, su papel es el de formar parte de algunos procesos en la síntesis de algunos pigmentos tales como la clorofila y en la estructura de enzimas (nitrogenasa, sulfato reductasa y nitrito reductasa) esenciales para los procesos fisiológicos importantes tales como la respiración, la fotosíntesis, y la fijación de nitrógeno. Algunas PGPR

son capaces de liberar moléculas quelantes que atraen al hierro hacia la rizósfera donde puede ser absorbido por la planta (Payne, 1994). Estas moléculas son llamadas sideróforos y son compuestos de bajo peso molecular que pueden ser divididos en tres principales clases dependiendo de su naturaleza química: catecolatos, hidroximatos y carboxilatos (Haas y Défago, 2005; Miethke y Marahiel, 2007). Las rizobacterias también producen estos compuestos para aumentar su nivel de competencia ante otros microorganismos, ya que estas sustancias pueden inhibir el crecimiento de otros microorganismos patógenos mediante la limitación de hierro disponible, especialmente aquellos hongos que son incapaces de absorber el complejo de hierro-sideróforo (Shen et al., 2013; Glick, 1995). Uno de los grupos bacterianos capaces de producir sideróforos pertenecen al género *Pseudomonas*, las más estudiadas hasta la fecha son *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas aeruginosa* (Haas y Défago, 2005).

**Solubilización de fosfato.** El fósforo, después del nitrógeno, es el elemento más crítico para la producción agrícola, su disponibilidad es cada vez más limitada debido a la escasez de sus fuentes naturales (Rubio, 2002). En el suelo existen diferentes fuentes de fósforo que pueden ser categorizadas como fósforo inorgánico y orgánico. La distribución de las diferentes formas de fósforo en el suelo depende de factores que incluyen tipo de suelo, pH, tipo de vegetación, actividad microbiana, además de entradas de fertilizantes (Rooney et al., 2009).

Los microorganismos solubilizadores de fosfato son de gran importancia ya que están involucrados en procesos de transformación del fósforo, estos microorganismos están implicados en la liberación de fósforo desde fuentes inorgánicas por medio de la solubilización y desde fuentes orgánicas a través de la mineralización, estos procesos dejan disponible el fósforo en su forma inorgánica para ser captados por las plantas (Fankem et al., 2006). El principal mecanismo por el cual los compuestos fosfatados son solubilizados por las bacterias es la disminución del pH del medio extracelular hasta valores aproximados a 2,0 mediante la secreción de ácidos orgánicos tales como acético, láctico, mágico, succínico, tartárico, glucónico, 2-cetoglucónico, oxálico y cítrico que son necesarios para que se pueda llevar a cabo la solubilización (Rodríguez y Fraga, 1999; Lara et al., 2011; Goswami et al., 2014). Dentro de las rizobacterias que producen una gran cantidad de fosfatasa ácida están las cepas de los géneros *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* y *Bacillus* (Chen et al., 2006; Jha y Saraf, 2015).

**Control biológico.** Las PGPR juegan un papel importante en el biocontrol de fitopatógenos. Los mecanismos por los cuales se inhibe un amplio espectro de bacterias, hongos e incluso nematodos que afectan plantas es mediante la activación de las respuestas de defensa de la planta, producción de antibióticos, la competencia por nutrientes y nicho ecológico (Bloemberg y Lugtenberg, 2001). *Pseudomonas fluorescens* es una de las PGPR biocontroladoras más estudiadas que tienen la capacidad de

inhibir el desarrollo del hongo *Fusarium* en cultivos, con lo cual se incrementa la producción del cultivo (Bakker et al., 2007). *Bacillus* producen una gran variedad de compuestos antibacterianos y antifúngicos, tales como fenazinas, pirrolnitrina, diacetilfloroglucinol, subtilina, subtilosin A, bacilisina, clorotetaina, micobacilina, rizocicina, bacilena, dificidina y lipopéptidos (Leclere et al., 2005), por lo cual el uso de microorganismos antagonistas de fitopatógenos ha sido una alternativa ante los pesticidas químicos. Cierta grupo de PGPR ha demostrado la capacidad de suprimir enfermedades mediante la inducción de un mecanismo de resistencia en la planta, llamada “resistencia sistémica inducida” (ISR por sus siglas en inglés). El ISR puede ser activado por PGPR en las plantas por la colonización de estos microorganismos benéficos de las raíces, actúa a través de diferentes vías de señalización, requiere la activación de las vías de señalización como las del ácido jasmónico (JA) y etileno (ET) (Van Loon et al., 1998). Estas moléculas de señalización que se acumulan coordinan las respuestas de defensa de las plantas contra agentes patógenos; en la planta modelo *Arabidopsis thaliana* se ha demostrado que el ISR se asocia con una elevada transcripción de factores transcripcionales (ej. AP2/ERF) que están implicados en la regulación de distintos elementos génicos dependientes de JA y ET (Ryals et al., 1996; Pieterse et al., 2014).

**Regulación de hormonas.** Las plantas están expuestas a diversos factores ambientales adversos, por lo que han desarrollado mecanismos de adaptación complejos (Yang et al., 2013), liberando compuestos químicos como las hormonas (Alazem y Lin, 2015). Las hormonas de las plantas se pueden clasificar de acuerdo a su estructura y actividad fisiológica en; auxinas (AUX), ácido abscísico (ABA), citoquininas (CTK), giberelinas (GA), etileno (ET), ácido salicílico (SA), ácido jasmónico (JA) y brasinosteroídes (BR). Estas hormonas desempeñan diversas funciones en la planta, como controlar y coordinar la división, el crecimiento y la diferenciación de las células (Miransari y Smith, 2014); y en diferentes etapas del ciclo de vida de la planta; la germinación, el desarrollo de órganos, crecimiento del tallo, así como la habilidad para responder a estímulos de estrés como el daño por insectos, patógenos, sequía y baja disponibilidad de nutrientes. Muchas veces actúan individualmente, aunque también en conjunto; como en el caso de sequía o de estrés salino; cuando el ET acelera la senescencia de las hojas individualmente, pero en conjunto con el ABA son moléculas señalizadoras de estrés abiótico (Hassine y Lutts, 2010); en la absorción de nutrientes como el azufre (S), al transformar las formas no disponibles a disponibles intervienen las hormonas CTK y AUX, aunque también se ha mencionado que el ABA y el JA están involucrados (Honsel et al., 2012). ABA y GA tienen actividad en conjunto para la regulación de la  $\alpha$  amilasa, compuesto necesario en la germinación de la semilla (Kondhare et al., 2014). Y en la regulación de la respuesta contra fitopatógenos las hormonas involucradas son el SA, JA, ET y ABA (Alazem y Lin, 2015). Otra estrategia utilizada por las plantas para hacer frente a los daños causados por factores bióticos y abióticos, es la asociación con bacterias rizosféricas que pueden activar señales químicas que modifican la concentración

de las hormonas vegetales (Bent et al., 2001); por ejemplo el incremento en la concentración de ET, que tiene efectos positivos en la estimulación de raíces adventicias y otros no tan deseados como la disminución del crecimiento de la raíz (Saravanakumar y Samiyappan, 2007). La disminución en la concentración de ET, origina que la planta tenga mayor resistencia al estrés abiótico y la inoculación con PGPR que producen la enzima desaminasa del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC desaminasa) cuya función es desviar la ruta biosintética del etileno y de esta manera favorece el crecimiento y desarrollo vegetal, principalmente en plantas sensibles al ET (Penrose y Glick, 2003; Esquivel et al., 2013). Las PGPR pueden promover el crecimiento de la planta hospedera por medio de las auxinas con la síntesis del ácido indolacético (IAA) mediante una ruta alternativa que depende del triptófano proveniente de los exudados de la raíz aumentando su concentración en la rizósfera (Ali y Hasnain, 2007). Las concentraciones altas de IAA inducen el desarrollo de raíces adventicias y, por el contrario, a bajas concentraciones de IAA la elongación de la raíz principal se incrementa (Patten y Glick, 2002).

## PGPR Y ESTRÉS ABIÓTICO

En las últimas décadas se han realizado algunos estudios que comprueban que ciertas PGPR le proporcionan a la planta un grado de tolerancia a diferentes tipos de estrés abiótico (sequía, salinidad, metales pesados, etc.). Algunos géneros de estas bacterias incluyen son: *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Pantoea*, *Paenibacillus*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Azospirillum*, *Microbacterium*, *Methylobacterium*, *Variovorax*, *Enterobacter*, etc. (Grover et al., 2011).

**Sequía.** Las PGPR son capaces de mitigar el estrés en plantas causado por sequías mediante diversos mecanismos. A) Ácido Abscísico y Citoquininas. Actualmente se sabe que la sequía afecta el balance hormonal incrementando el contenido de ABA en parte aérea y a su vez reduce los niveles de citoquinidas endógenas, lo anterior activa el mecanismo de cierre de estomas, como respuesta a la sequía evitando la pérdida de agua (Yang et al., 2009). El antagonismo entre citoquininas y ABA puede ser el resultado de interacciones metabólicas: las citoquininas comparten un origen biosintético común con ABA, creando claramente el potencial para el antagonismo en la formación de estos dos compuestos (Cowan et al., 1999). Un alto contenido de citoquininas puede anular los efectos de ABA en la funcionalidad de los estomas bajo condiciones de estrés; por lo tanto, una reducción en el suministro de esta hormona podría amplificar la respuesta y disparar a un contenido cada vez mayor de ABA (Davies y Zhang, 1991). Existen pocos reportes que ligan las PGPR en la respuesta ABA-CTK, *Paenibacillus polymyxa* se reportó como una PGPR que incrementa los niveles de CTK y a su vez reduce los niveles de ABA bajo condiciones de estrés abiótico (Timmusk y Wagner, 1999). B) Producción de antioxidantes. El estrés salino da lugar a la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales afectan a las células de la planta, causando daño oxidativo en la membrana de lípidos, proteínas o DNA, sin embargo

hay enzimas que se encargan de evitar dichos daños, por ejemplo, la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y ascorbato peroxidasa (POX) y antioxidante no enzimático tal como ascorbato, glutatión y tocoferol. Las PGPR usan mecanismos similares para neutralizar el estrés oxidativo que es causado por ROS, a través de la inducción de enzimas antioxidantes tales como ascorbato peroxidasa y superóxido dismutasa (Kohler et al., 2009 a, b; Jha y Subramanian, 2014). C) Inhibición de la síntesis de etileno. El etileno es una hormona gaseosa que desempeña múltiples funciones en la regulación del crecimiento y desarrollo de la planta, también sirve como modulador clave entre la respuesta de la planta al estrés ambiental y crecimiento normal. Dicho estrés se puede contrarrestar mediante la degradación del ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) mediante la enzima ACC desaminasa, ayudando a disminuir el estrés y por lo tanto promoviendo el crecimiento normal de la planta (Abeles et al., 1992; Glick et al., 2007; Yang et al., 2009). En la ruta biosintética del etileno, la S-adenosilmetionina (SAM) es convertida por la enzima ACC sintasa a ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), el precursor inmediato del etileno. En presencia de ACC-desaminasa producida por la bacteria, el ACC de la planta es secuestrado y degradado por células bacterianas, la remoción de éste provoca que se disminuyan los efectos perjudiciales del etileno (Glick, et al., 2007). La función de la enzima ACC desaminasa es convertir el ACC en  $\alpha$ -acetobutirato y amonio. Lo anterior trae dos ventajas en las plantas: disminuye el etileno por la degradación del precursor inmediato, pero además incrementa la disponibilidad de amonio en la rizósfera. Recientes estudios han mostrado que las PGPR que contienen ACC desaminasa inducen la producción de raíces más largas, ayudando a una mayor absorción de agua (Saleem et al., 2007; Zahir et al., 2008; Esquivel-Cote et al., 2013).

**Salinidad.** La salinidad de los suelos se ha convertido en uno de los principales problemas en el mundo, que afecta aproximadamente a 400 millones de hectáreas de cultivos de interés económico (Bot et al., 2000; FAO, 2002), interfiriendo en la germinación, crecimiento y el rendimiento de cultivos (Khan y Panda, 2008). Entre los efectos negativos de la salinidad se encuentran el incremento en la producción de etileno, plasmólisis (pérdida del líquido constituyente de las células, en condiciones hipertónicas), toxicidad de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y afectación de la fotosíntesis (Sairam y Tyagi, 2004; Gamalero et al., 2009). Las PGPR usan diferentes mecanismos para contrarrestar el estrés salino, entre los que destacan A) Osmorregulación y acumulación de prolina. La prolina es un aminoácido que se encarga de proteger las membranas y proteínas contra efectos de iones inorgánicos, y su acumulación reduce el potencial redox en las células bajo ambientes salinos (Jain et al., 2001; Wahid y Close, 2007). Además de llevar a cabo un importante papel en el mantenimiento de la homeostasis y funcionamiento de estructuras fotosintéticas, para combatir el impacto de la salinidad en plantas. Algunos iones como el sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el cloro ( $\text{Cl}^-$ ) ayudan a la adaptación de la planta a la salinidad, contribuyendo al ajuste osmótico de las vacuolas, los exopolisacáridos también ayudan a

aminorar el estrés ocasionado por la salinidad, evitando que el  $\text{Na}^+$  esté disponible para la planta (Bano y Fatima, 2009). B) Transporte restringido de  $\text{Na}^+$ . Se ha mostrado por análisis transcripcional que aproximadamente 600 genes de *Arabidopsis thaliana* modifican su expresión en presencia de salinidad, tal es el caso del Transportador de  $\text{K}^+$  de Alta Afinidad 1 (HKT1, por sus siglas en inglés) encargado del ajuste de los niveles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . La expresión del gen HKT1 se disminuye reduciendo a su vez el ingreso de  $\text{Na}^+$  a través de la raíz. El análisis transcripcional ha mostrado que los compuestos orgánicos volátiles (VOC's) que producen algunos microorganismos benéficos como las PGPR (Yang et al., 2009), tal como 2,3 butaneidol (Xiao-Min y Huiming, 2015), disminuyen la expresión de HKT1 en la raíz, pero la aumentan en la parte aérea, manteniendo de este modo el balance en los niveles de  $\text{Na}^+$  en toda la planta (Yang et al., 2009). C) Solubilización de fosfatos. El fósforo es uno de los elementos más importantes para la planta ya que interviene en una serie de procesos metabólicos como la fotosíntesis, la respiración, y la síntesis del almidón, pero especialmente porque forma parte de los ácidos nucleicos (DNA y RNA), del trifosfato de adenosina (ATP), difosfato de adenosina (ADP) y del monofosfato de adenosina (AMP) (Rodríguez y Flores, 2004). La disponibilidad de fósforo en suelos salinos es limitada, por lo que las PGPR se encargan de solubilizar fosfatos. La solubilización de fosfatos por parte de las bacterias la realizan por acidificación, quelación, reacción de intercambio iónico y la producción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular tal como el ácido glucónico. La solubilización de los fosfatos realizada por las PGPR contribuyen a disminuir los efectos de la salinidad y en consecuencia a mejorar el desarrollo de la planta (Giri et al., 2004; Turner et al., 2006). D) Síntesis de auxinas. La auxina endógena de más abundancia es el ácido indolacético (IAA), que cumple con la mayor parte de las acciones realizadas por las auxinas. Además del IAA sólo se han encontrado otros tres tipos de auxinas en las plantas; el ácido-indol-3-butírico, el ácido 4-cloroíndole-3-acético y el ácido fenil acético (Sauer et al., 2013). Estas hormonas vegetales desempeñan una función relevante en el crecimiento, el desarrollo y la formación de tejidos vasculares en la planta mediante la regulación de la expresión de genes (Abel y Theologis, 1996; Miransari y Smith, 2014). Algunas de las PGPR reportadas con la capacidad de producir AIA son; *Arthrobacter sp.*, *Bacillus pumilus*, *Halomonas sp.*, *Nitrinicolalacis aponensis*, *Pseudomonas mendocina* entre otras, las cuales pueden aminorar el estrés por salinidad en las plantas (Dodd et al., 2010; Tiwari et al., 2011).

**Altas temperaturas.** El estrés por altas temperaturas es un problema cada vez más común, y es asociado al fenómeno del calentamiento global, afectando en gran medida la agricultura (Mendelsohn et al., 1994; Robertson et al., 2000). Algunas bacterias promotoras de crecimiento como *Bacillus subtilis* han mostrado la cualidad de inducir termotolerancia en plantas de maíz, sintetizando proteínas de alto peso molecular, conocidas como proteínas de choque térmico (HSPs). Cuya función es proteger a otras proteínas que son afectadas por las altas temperaturas (Castiglioni et al., 2008).

**Metales pesados.** Algunos metales son requeridos en pequeñas cantidades por las plantas y los microorganismos, tal es el caso del cobre (Cu), zinc (Zn) y níquel (Ni), que al estar presentes en el suelo en grandes cantidades, son nocivos para el desarrollo de la planta (Ernst, 1998). El manejo biológico de metales pesados a través de la microbiota rizosférica de las plantas ha despertado gran interés, como alternativa de bioremediación. La asociación entre plantas y microorganismos que tienen la habilidad de tolerar los metales pesados, es de suma importancia, ya que tienen el potencial para acumular, movilizar o inmovilizar metales de suelos contaminados (Labra-Cardón, 2012). La presencia excesiva de estos metales en los suelos de cultivo incrementa la concentración de etileno en la planta (Safronova et al., 2006), lo cual provoca inhibición en el desarrollo de raíz, reduce la fijación de CO<sub>2</sub> y limita la translocación de azúcares (Prasad y Strazalka, 2000). Existen pocos estudios de PGPR que confieren tolerancia a plantas al estrés por metales pesados, uno de esos estudios es el de Burd et al., 2000, donde reportan el uso de la bacteria de suelo *Kluyvera ascorbata* SUD165 que promueve crecimiento en canola (*Brassica campestris*) en altas concentraciones de níquel, lo anterior lo realiza promoviendo el desarrollo de la raíz y parte aérea bajando los niveles de etileno en las plantas de canola en altas concentraciones de níquel.

### IMPORTANCIA DE LAS PGPR EN LA AGRICULTURA

La industria agrícola, ha generalizado el uso de compuestos químicos en los campos de cultivo, con la finalidad de sostener e incrementar sus rendimientos; sin embargo, los agroquímicos incrementan las concentraciones de nitritos, nitratos y fosfatos entre otros, que contaminan el suelo agrícola, las aguas superficiales y mantos acuíferos (Habib et al., 2016), con riesgo ambiental y en la salud humana, por lo que se han buscado alternativas que aseguren la productividad sin comprometer el ambiente. La agricultura sustentable, requiere prácticas de manejo de cultivo que sean amigables con el entorno y sostengan la microbiota del suelo (Lichtfouse et al., 2009). Una alternativa es la aplicación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal que se ha extendido en algunas áreas en el mundo, con significativos resultados en la producción de cultivos agrícolas de importancia (Maheshwari, 2010). El crecimiento y desarrollo de las plantas puede verse perjudicado por diversos factores abióticos, en los que el estrés por salinidad y el estrés por sequía son de los que más pérdidas ocasionan a la agricultura (Hassine y Lutts, 2010). Por lo que las plantas que son sometidas a los tipos de estrés antes mencionados se ven forzadas a realizar diversas modificaciones fisiológicas, metabólicas y bioquímicas que las ayudan a contrarrestar los efectos negativos. Han sido diversos los reportes de los mecanismos de protección de las PGPR en la mitigación de los efectos del estrés abiótico como la salinidad y la sequía; entre estos se encuentran la co-inoculación de plantas de frijol mungo con *Bradyrhizobium* y rizobacterias que producen la enzima ACC que mostraron habilidad para disminuir el estrés en las plantas (Tittabutr et al., 2013). Dos cepas del género *Bacillus* de las que fueron caracterizadas sus

habilidades para solubilizar fosfatos, producir sideróforos así como actividad ACC desaminasa fueron inoculadas en plantas de papa sembradas en condiciones de estrés por sequía, salinidad y metales pesados; los resultados de la investigación mostraron que el incremento de los niveles de RNA mensajero de genes implicados en la respuesta a estrés abiótico y las altas concentraciones de prolina en las plantas de papa fue inducido con la aplicación de las PGPR, causando el aumento de tolerancia que tienen las plantas a estos tipos de estrés (Gururani et al., 2013). En la inoculación con *Achromobacter piechaudii* en plantas de tomate y bajo condiciones de salinidad del suelo se observó que las variables medidas, peso fresco y seco de las plantas tuvieron incremento significativo en comparación con el control sin inocular. *A. piechaudii* promovió crecimiento en las plantas de tomate y disminuyó la producción de etileno bajo condiciones de salinidad (Mayak et al., 2004).

### CONCLUSIONES

Los microorganismos son grandes aliados en el proceso de adaptación de las plantas que se someten a diferentes tipos de estrés abiótico. El éxito en el uso de estos microorganismos benéficos para aminorar los efectos del estrés abiótico depende en gran medida de la habilidad que tiene la bacteria para establecerse en una comunidad de microorganismos del suelo ya existente. Las PGPR que tienen potencial para ser usadas como biofertilizantes y que además tienen características de protección de estrés abiótico en plantas tienen que establecerse en la rizósfera e incrementar su población en este microambiente para poder tener un efecto de promoción de crecimiento en las plantas que se están inoculando. Por ello los estudios realizados con PGPR aisladas de ecosistemas con altas concentraciones de sal, contaminados con metales pesados, expuestos a sequía entre otras condiciones de estrés, contribuyen en gran medida a encontrar nuevos microorganismos con la capacidad de mejorar el desarrollo de las plantas de interés agrícola en tierras afectadas por condiciones adversas como la salinidad o la sequía. Además, es muy importante continuar con más estudios para entender los efectos de las PGPR sobre los cultivos que están expuestos a distintos tipos de estrés, así como las rutas de señalización que se activan o modifican en las plantas, producto de la inoculación de PGPR bajo estas condiciones adversas.

### LITERATURA CITADA

- Abel S, Theologis A (1996) Early genes and auxin action. *Plant Physiol.* 111:9-17.
- Abeles B, Morgan W, Saltveit M (1992) Ethylene in Plant Biology. San Diego, CA: Academic Press.
- Alazem M, Lin NS (2015) Roles of plant hormones in the regulation of host-virus interactions. *Mol. Plant Pathol.* 16: 529-540.
- Ali B, Hasnain S (2007) Potential of bacteria indolacetic acid to induce adventitious shoots in plant tissue culture. *Lett. Appl. Microbiol.* 45:128-133.
- Antoun H, Prévost D (2005) Ecology of plant growth promoting rhizobacteria. En PGPR: Biocontrol and biofertilization. (pp. 1-38) Springer Netherlands.

- Bakker PA, Pieterse CM, Van Loon LC (2007) Induced systemic resistance by fluorescent *Pseudomonas* spp. *Phytopathology*. 97:239–243.
- Bano A, Fatima M (2009) Salt tolerance in *Zea mays* (L). following inoculation with *Rhizobium* and *Pseudomonas*. *Biol. Fert. Soils* 45: 405-413.
- Barea JM, Pozo MJ, Azcon R, Azcon-Aguilar C (2005) Microbial cooperation in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56:1761–1778.
- Bashan Y, Holguin G (1998) Proposal for the division of plant promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth- promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biol. Biochem.* 30:1225–1228.
- Bent E, Tuzun S, Chanway CP, Enebak S (2001) Alterations in plant growth and in root hormone levels of lodgepole pines inoculated with *Rhizobacterias*. *Can. J. Microbiol.* 47: 793-800.
- Berge O, Guinebretière MH, Achouak W, Normand P, Heulin T (2002) *Paenibacillus graminis* sp. nov. and *Paenibacillus odorifer* sp. nov., isolated from plant roots, soil and food. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52:607–616.
- Bhattacharyya PN, Jha DK (2012) Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *Rev. World J. Microbiol. Biotechnol.* 28:1327-1350.
- Bloemberg GV, Lugtenberg BJ (2001) Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. *Curr. Opin. Plant Biol.* 4:343–350.
- Bot A, Nachtergael F, Young A (2000) Land resource potential and constraints at regional and country levels (No. 90). Land and Water Development Division, Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Burd GI, Dixon DG, Glick BR (2000). Plant growth-promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Can. J. Microbiol.* 46: 237-245.
- Castiglioni P, Warner D, Benson RJ, Anstrom DC, Harrison J, Stoecker M, Abad M, Kumar G, Salvador S, D'Ordine R, Navarro S, Back S, Fernandes M, Targolli J, Dasgupta S, Bonin C, Luethy MH, Heard JE (2008) Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance to plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. *Plant Physiol.* 147:446–455.
- Chen X, Yan H, Li L (1988) ‘Numerical taxonomic study of fastrowing soybean rhizobia and a proposal that *Rhizobium fredii* be assigned to *Sinorhizobium* gen. nov.’, *Int J Syst Bacteriol.* 38; 392–397.
- Chen YP, Rekha PD, Arun AB, Shen FT, Lai WA, Young CC (2006) Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Appl. Soil Ecol.* 34:33–41.
- Cowan AK, Cairns AL, Bartels-Rham B (1999) Regulation of abscisic acid metabolism: towards a metabolic basis for abscisic acid-cytokinin antagonism. *J. Exp. Bot.* 50:595-603.
- Davies J, Zhang H (1991) Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annu. Rev. Plant Phys.* 42, 55–76.
- Dijkstra FA, Carrillo Y, Pendall E, Morgan JA (2014) Rhizosphere priming: a nutrient perspective. *The Microbial Regulation of Global Biogeochemical Cycles*, 183.
- Döbereiner J (1997) Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. *Soil Biol. Biochem.* 29:771–774.
- Dodd IC, Zinovkina NY, Safranova VI, Belimov AA (2010) Rhizobacterial mediation of plant hormone status. *Ann. Appl. Biol.* 157:361-379.
- Ernst O (1998) Effects of heavy metals in plants at the cellular and organismal level. En: Schüürmann G, Markert B (eds) *Ecotoxicology*. Wiley, New York, pp 587-620.
- Esitken A, Pirlak L, Turan M, Sahin F (2006) Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. *Sci. Hort.* 110:324–327.
- Esquivel-Cote R, Gavilanes-Ruiz M, Cruz-Ortega R, Huante P (2013) Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una Revisión. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:251-258.
- Fankem H, Nwaga D, Deubel A, Dieng W, Merbach W, Etoa FX (2006) Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *Afr. J. Biotechnol.* 5:2450- 2460.
- Frommel MI, Nowak J, Lazarovits G (1991) Growth enhancement and development modification of in vitro grown potato (*Solanum tuberosum* spp. *tuberosum*) as affected by a non-fluorescent *Pseudomonas* sp. *Plant Physiol.* 96:928-936.
- Gamalero E, Berta G, Glick R (2009) The use of microorganisms to facilitate the growth of plants in saline soils. En: Khan MS, Zaidi A, Musarrat J (eds) *Microbial strategies for crop improvement*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-22.
- Giri B, Kapoor R, Agarwal L, Mukerji KG (2004) Preinoculation with arbuscular mycorrhizae helps *Acacia auriculiformis* grow in a degraded Indian wasteland soil. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 35:193-204.
- Glick BR (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41: 109-117.
- Glick BR, Todorovic B, Czarny J, Cheng Z, Duan J, McConkey B (2007) Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Crit. Rev. Plant Sci.* 26:227-242.
- Goswami D, Dhandhukia P, Patel P, Thakker JN (2014) Screening of PGPR from saline desert of Kutch: Growth promotion in *Arachis hypogea* by *Bacillus licheniformis* A2. *Microbiol. R.* 169:66-75.
- Goswami D, Parmar S, Vaghela H, Dhandhukia P, Thakker JN (2015) Describing *Paenibacillus mucilaginosus* strain N3 as an efficient plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). *Cogent Food Agric.* 1:1000714.
- Grover M, Ali SZ, Sandhya V, Rasul A, Venkateswarlu B (2011) Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 27:1231-1240.
- Gururani MA, Upadhyaya CP, Baskar V, Venkatesh J, Nookaraju A, Park SW (2013) Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. *J. Plant Growth Regul.* 32: 245-258.
- Haas D, Défago G (2005) Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nat. Rev. Microbiol.* 3: 307–319.
- Habib SH, Saud HM, Ismail MR, Kausar H (2016) Bimolecular characterization of stress tolerant plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for growth enhancement of rice. *Int. J. Agric. Biol.* 18:184-191.
- Hassine AB, Lutts S (2010) Differential responses of saltbush *Atriplex halimus* L. exposed to salinity and water stress in relation to senescing hormones abscisic acid and ethylene. *J. Plant Physiol.* 167:1448-1456.
- Honsel A, Kojima M, Haas R, Frank W, Sakakibara H, Herschbach C, Rennenberg H (2012) Sulphur limitation and early sulphur deficiency responses in poplar: significance of gene expression, metabolites and plant hormones. *J. Exp. Bot.* 63:1873-1893.
- Jain M, Mathur G, Koul S, Sarin N (2001) Ameliorative effects of proline on salt stress induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Cell Rep.* 20:463-468.

- Jha CK, Saraf M (2015) Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *E3 J. of Agric. Res. Dev.* 5:108–119.
- Jha Y, Subramanian RB (2014) PGPR regulate caspase-like activity, programmed cell death, and antioxidant enzyme activity in paddy under salinity. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 20:201–207.
- Johansson JF, Paul LR, Finlay RD (2004) Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiol. Ecol.* 48:1–13.
- Khan MH, Panda SK (2008) Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiol. Planta* 30:81–89.
- Kloepper JW, Lifshitz R, Schroth MN (1988) Pseudomonas inoculants to benefit plant production. *ISI Atlas Sci. Anim. Plant* 1:60–64.
- Kloepper JW, Lifshitz R, Zablotowicz RM (1989) Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol.* 7:39–44.
- Kohler J, Caravaca F, del Mar Alguacil M, Roldán A (2009a) Elevated CO<sub>2</sub> increases the effect of an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant-growth-promoting rhizobacterium on structural stability of a semiarid agricultural soil under drought conditions. *Soil Biol. Biochem.* 41:1710–1716.
- Kohler J, Hernández JA, Caravaca F, Roldán A (2009b) Induction of antioxidant enzymes is involved in the greater effectiveness of a PGPR versus AM fungi with respect to increasing the tolerance of lettuce to severe salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 65:245–252.
- Kondhare KR, Hedden P, Kettlewell PS, Farrel AD, Monaghan JM (2014) Use of the hormone- biosynthesis inhibitors fluoridone and paclobutrazol to determine the effects of altered Abscicic Acid and Gibberellin levels on pre-maturity  $\alpha$ -Amilase Formation in Wheat Grains. *J. Cereal Sci.* 60:210–216.
- Labra-Cardón D, Guerrero-Zúñiga A, Rodríguez-Tovar V, Montes-Villafan S, Pérez-Jiménez S, Rodríguez-Dorantes A (2012) Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperus elegans* y *Echinochloa polystachya* inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo. *Rev. Int. Contam.. Ambie.* 28:7–16.
- Lara C, Esquivel Avila LM, Peñata N, Jorge L (2011) Bacterias nativas solubilizadoras de fosfato para incrementar los cultivos en el departamento de Córdoba-Colombia. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.* 9:114–120.
- Leclerc V, Béchet M, Adam A, Guez JS, Wathelet B, Ongena M, Thonart P (2005) Mycosubtilin overproduction by *Bacillus subtilis* BBG100 enhances the organism's antagonistic and biocontrol activities. *Appl. Environ. Microb.* 71:4577–4584.
- Lichtfouse E, Navarrete M, Debaeke P, Souchere V, Alberola C, Ménassieu J (2009) Agronomy for Sustainable Agriculture: a review. En: Sustainable agriculture (p. 897) Springer Netherlands.
- Lu Y, Chen H, Wang C, Guo F, Li H (2009) Physiological responses of somaclonal variants of triploid bermudagrass (*Cynodon transvaalensis* x *Cynodon dactylon*) to drought stress. *Plant Cell Rep.* 28: 517–526.
- Lynch JM, Whipps JM (1991) Substrate flow in the rhizosphere. In The rhizosphere and plant growth (pp. 15–24). Springer Netherlands.
- Maheshwari DK (2010) Plant growth and health promoting bacteria. Vol 18. Springer: 453 pp.
- Mayak S, Tirosh T, Glick BR (2004) Plant growth promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomato and pepper. *Plant Sci.* 166:525–530.
- Mendelsohn R, Rosenberg NJ (1994) Framework for integrated assessments of global warming impacts. In Assessing the impacts of climate change on natural resource systems (pp. 15–44) Springer Netherlands.
- Miethke M, Marahiel A (2007) Siderophore-based iron acquisition and pathogen control. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.* 71(3), 413–451.
- Milošević A, Marinković B, Tintor B (2012) Mitigating abiotic stress in crop plants by microorganisms. *Matica Srpska Proceedings for Naturals Sciences* 123:17–26.
- Miransari M, Smith DL (2014) Plant Hormones and seed germination. *Environ. Exp. Bot.* 99:110–121.
- Munns R (2005) Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol* 167:645–663.
- Oberson A, Frossard E, Bühlmann C, Mayer J, Mäder P, Lüscher A (2013) Nitrogen fixation and transfer in grass-clover leys under organic and conventional cropping systems. *Plant and Soil.* 371: 237–255.
- Patten CL, Glick BR (2002) Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Appl. Environ. Microb.* 68: 3795–3801.
- Payne SM (1994) Detection, isolation, and characterization of siderophores. *Method. Enzymol.* 235: 329–344.
- Penrose DM, Glick BR (2003) Methods for isolating and characterizing ACC deaminase- containing plant growth-promoting rhizobacteria. *Physiol. Plant.* 118: 10–15.
- Pieterse C, Zamioudis C, Berendsen R, Weller M, Van Wees C, Bakker A (2014) Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual review of phytopathology,* 52, 347–375.
- Prasad MNV, Strazalka K (2000) Physiology and biochemistry of metal toxicity and tolerance in plant. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp 153–160.
- Raaijmakers JM, Paulitz TC, Steinberg C, Alabouvette C, Möenne-Locoz Y (2009) The rhizosphere: a playground and battlefield for sailborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant Soil* 321: 341–361.
- Riggs PJ, Chelius MK, Iniguez AL, Kaepller SM, Triplett EW (2001) Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria. *Aust. J. Plant Physiol.* 28: 829–836.
- Robertson GP, Paul EA, Harwood RR (2000) Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science.* 289: 1922–1924.
- Rodríguez H, Fraga R (1999) Phosphate solubilizing bacteria and their rôle in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* 17: 319–339.
- Rodríguez M, Flores R (2004) Elementos esenciales y beneficiosos. Ferti-riego. Tecnologías y programación en agroplasticura, ed. Guzmán-Palomino JM y López-Galvez J, pp 17–24. Almería: España: CYTED.
- Rooney D, Clipson N (2009) Phosphate addition and plant species alters microbial community structure in acidic upland grassland soil. *Microb. Ecol.* 57: 4–13.
- Rovira D, Davey B (1974) Biology of the rhizosphere in The Plant Root and its Environment, ed. EW Carson, pp. 153–204. Charlottesville: Univ. Press VA.
- Rubio G (2002) Conectando el fósforo del suelo con la planta. *Inf agron del cono sur* 16: 19:23.
- Ryals JA, Neuenschwander UH, Willits MG, Molina A, Steiner HY, Hunt MD (1996) Systemic acquired resistance. *Plant Cell* 8: 1809–19.
- Safranova VI, Stepanok VV, Engqvist GL, Alekseyev YV, Belimov AA (2006) Root-associated bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase improve growth and nutrient uptake by pea genotypes cultivated in cadmium supplemented soil. *Biol. Fert. Soils.* 42: 267–272.
- Sairam RK, Tyagi A (2004) Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci. India* 86:407–421.

Saleem M, Arshad M, Hussain S, Bhatti AS (2007) Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 34:635-64.

Saravanakumar D, Samiyappan R (2007) ACC deaminase from *Pseudomonas fluorescens* mediated saline resistance in groundnut (*Arachis hypogea*) plants. *J. Appl. Microbiol.* 102:1283-1292.

Sauer M, Robert S, Kleine-Vehn J (2013) Auxin: simply complicated. *J Exp Bot.* 1-13.

Seldin L, Van Elsas JD, Penido EGC (1984) *Bacillus azotofixans* sp. nov, a nitrogen-fixing species from Brazilian soils and grass roots. *Int. J. Sys. Bacteriol.* 34:451-456.

Shen X, Hu H, Peng H, Wang W, Zhang X (2013) Comparative genomic analysis of four representative plant growth-promoting rhizobacteria in *Pseudomonas*. *BMC Genomics.* 14, 271.

Singh G y Mukerji KG (2006) Root exudates as determinant of rhizospheric microbial biodiversity. In *Microbial Activity in the Rhizosphere* (pp. 39-53). Springer Berlin Heidelberg.

Stafford WH, Baker GC, Brown SA, Burton SG, Cowan DA (2005) Bacterial diversity in the rhizosphere of *proteaceae* species. *Environ. Microbiol.* 7:1755-1768.

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2002) Crops and drops: making the best use of water for agriculture. FAO, Rome, Italy. <http://fao.org/docrep/w5146e/w5146e0a.htm>

Timmusk S, Wagner H (1999) The plant-growth-promoting rhizobacterium *Paenibacillus polymyxa* induces changes in *Arabidopsis thaliana* gene expression: a possible connection between biotic and abiotic stress responses. *Mol. Plant Microbe Interact.* 12, 951-959.

Tittabutr P, Piromyou P, Longtonglang A, Noisa-Ngiam R, Boonkerd N, teaumroong N (2013) Alleviation of the effect of environmental stresses using co-inoculation of mungbean by *Bradyrhizobium* and *Rhizobacteria* containing stress-induced ACC deaminase enzyme. *Soil Sci Plant Nutr.* 59: 559-571.

Tiwari S, Singh P, Tiwari R, Meena KK, Yandigeri M, Singh DP, Arora DK (2011) Salt-tolerant rhizobacteria-mediated induced tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) and chemical diversity in rhizosphere enhance plant growth. *Biol. Fertil. Soils.* 47:907-916.

Turner, BL, E. Frossard, Oberson A. (2006). Enhancing phosphorus availability in low-fertility soils. *Biol. Approaches to Sustain Soil. Syst.* pp: 191-205.

Van Loon LC, Bakker PAHM, Pieterse CMJ (1998) Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36: 453-83.

Wahid A, Close TJ (2007) Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biol. Plant.* 51:104-109.

Winkelmann G, Dreschel H (1997) Microbial Siderophores. En: Rehm HJ, Reed G (Eds) *Biotechnology* (2da Edn) Vol. VIII pp. 199-245.

Xiao-Min L, Huiming Z (2015) The effects of bacterial volatile emissions on plant abiotic stress tolerance. *Frontiers. in Plant. Sci.* 6:1-7.

Yang DL, Yang Y, He Z (2013) Roles of plant hormones and their interplay in rice immunity. *Mol. Plant.* 6:675-685.

Yang J, Kloepper JW, Ryu CM (2009) Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant. Sci.* 14:1-4.

Zahir ZA, Munir A, Asghar HN, Shahroona B, Arshad M (2008) Effectiveness of rhizobacteria containing ACC deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum*) under drought conditions. *J Microbiol. Biotechnol.* 185:958-963.

## SENSIBILIDAD A ANTIBIÓTICOS EN BACTERIAS AEROBIAS DE LA TORTUGA DEL BOLSÓN *Gopherus flavomarginatus* EN CAUTIVERIO EN DURANGO, MÉXICO

## SENSITIVITY TO ANTIBIOTICS IN AEROBIC BACTERIA OF THE BOLSON TORTOISE *Gopherus flavomarginatus* IN CAPTIVITY IN DURANGO, MEXICO

Cristina García-De la Peña<sup>1\*</sup>, César Abraham Quezada-Rivera<sup>1</sup>, Jesús Martínez-Luna<sup>1</sup>, Alejandra González-Durán<sup>1</sup> y Rafael Castro-Franco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Medicina de la Conservación. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México.

<sup>2</sup>Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. A.P. 8, C.P. 35230. Bermejillo, Durango, México.

\*Autor para correspondencia: cristina.g.delapena@gmail.com

RECIBIDO: 05/05/2016

ACEPTADO: 16/07/2016

PALABRAS CLAVE:  
gentamicina  
levofloxacina  
tetraciclina  
Vitek2Compaq

KEYWORDS:  
gentamicin  
levofloxacin  
tetracycline  
Vitek2Compaq

### RESUMEN

La tortuga del Bolsón, *Gopherus flavomarginatus*, es una especie en peligro de extinción cuyas poblaciones silvestres ocupan actualmente sólo una pequeña fracción de su distribución original; las poblaciones en cautiverio pueden ser una estrategia importante para la protección de esta especie. La información sobre las bacterias patógenas y su sensibilidad a antibióticos es importante para la conservación de especies tanto en vida libre como en cautiverio. Los quelonios son particularmente vulnerables a una amplia variedad de enfermedades bacterianas que disminuyen su capacidad reproductiva o que pueden provocarles la muerte. A la fecha existe escasa información microbiológica de la tortuga del Bolsón. En el presente estudio se determinaron las bacterias aerobias asociadas a distintos sitios de su cuerpo en una población de Durango, México, utilizando métodos tradicionales de cultivo, así como pruebas de sensibilidad a distintos antibióticos. Se aislaron 18 especies de bacterias (10 Gram positivas y ocho Gram negativas) entre las cuales se encontraron patógenas oportunistas como *Acinetobacter calcoaceticus*, *Aeromonas hydrophila*, *Burkholderia cepacia*, *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus* spp. y *Pseudomonas* spp. Tres especies de bacterias se registraron en el 60% de los distintos sitios corporales de muestreo (*Enterococcus gallinarum*, *Staphylococcus lentus* y *S. xylosus*). La piel fue el sitio con el porcentaje más alto de especies de bacterias (44.4 %). La gentamicina fue el antibiótico que presentó 100 % de sensibilidad para bacterias Gram positivas y Gram negativas, seguida por la levofloxacina. La tetraciclina fue eficaz en el 90% de las especies de bacterias Gram positivas.

### ABSTRACT

Bolson tortoise, *Gopherus flavomarginatus* is an endangered species with wild populations now occupying only a small fraction of their original range; captive populations can be an important strategy to protect this species. Information regarding pathogenic bacteria and sensitivities to antibiotics is important for the conservation of species both in the wild and in captivity. Chelonians are particularly vulnerable to a wide variety of bacterial diseases that could decrease their reproductive capacity or cause death. There is currently limited information regarding the microbiology of Bolson tortoises. This study focuses on identifying aerobic bacteria associated to several body sites in a captive population of Bolson tortoises in Durango, México, using traditional culture methods, as well as the bacteria's sensitivity to antibiotics. Eighteen species (10 Gram negative and eight Gram positive) were isolated and some pathogenic opportunistic bacteria were recorded such as *Acinetobacter calcoaceticus*, *Aeromonas hydrophila*, *Burkholderia cepacia*, *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus* spp., and *Pseudomonas* spp. Three bacterial species were found in 60 % of the corporal sites (*Enterococcus gallinarum*, *Staphylococcus lentus*, and *S. xylosus*). Skin had the highest number of species of bacteria (44.4 %). Gentamicine showed 100 % sensitivity in Gram positive and negative bacteria, followed by levofloxacine. Tetracycline was effective in 90 % of Gram positive bacteria.

## INTRODUCCIÓN

La presencia de bacterias patógenas en el ambiente donde viven los reptiles es un hecho común (Martínez-Silvestre y Soler-Massana, 2008). Algunos estudios han determinado las especies de bacterias asociadas a quelonios terrestres registrando aquellas que pueden ser infecciosas oportunistas; generalmente éstas pertenecen a las familias Enterobacteriaceae y Pseudomonadaceae (p. e., *Klebsiella*, *Morganella*, *Proteus* y *Pseudomonas*) (Morafka et al. 1986; Dickinson et al., 2001; Martínez-Silvestre y Soler-Massana, 2008; Ordóñez et al., 2008; Charles-Smith et al., 2009; Ruiz et al., 2010). En Norteamérica se han reportado epidemias bacterianas importantes en tortugas terrestres causando graves descensos poblacionales tanto en vida libre como en cautiverio. Un ejemplo es la tortuga del desierto de Mojave y Sonora *Gopherus agassizii*, la cual ha presentado infecciones del tracto respiratorio superior debido a las bacterias *Mycoplasma agassizii* y *Pasteurella testudinis* (Snipes y Biberstein, 1982; Jacobson et al., 1991; Brown et al., 1994; Dickinson et al., 2001; Johnson et al., 2006). En este caso, antibióticos como la claritromicina, doxiciclina, enrofloxacina y oxitetraciclina han sido evaluados y se han utilizado para el tratamiento de la micoplasmosis en esta tortuga (Jenkins, 1991; Stein, 1996; Johnson et al., 1998; Wimsatt et al., 1999).

Debido a que no todas las bacterias patógenas de las tortugas son sensibles a los mismos antibióticos, es necesario realizar antibiogramas específicos para la población o individuo infectado y así proporcionar el tratamiento antimicrobiano adecuado (Brenner et al., 2002; McArthur et al., 2004; Díaz et al., 2006; Foti et al., 2009).

La tortuga del Bolsón (*Gopherus flavomarginatus*) es la especie de reptil más grande de Norteamérica y es endémica del Bolsón de Mapimí en México. Está catalogada como especie en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010), como vulnerable en la lista roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (van Dijk y Flores-Villela, 2007) y se encuentra en el Apéndice I de la CITES (2013). Actualmente, se encuentra protegida dentro de la Reserva de la Biosfera de Mapimí en México siendo la especie bandera de esta área (CONANP, 2006).

Debido a su relevancia e importancia para la conservación, existen algunas poblaciones en cautiverio que han tenido éxito en su reproducción. Tal es el caso de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma de Chapingo, Bermejillo, Durango, México. En 1997 se inició con una población de 23 tortugas adultas y a la fecha se mantienen en cautiverio más de 100 ejemplares de distintas edades (Castro-Franco et al., 2007).

Debido a la escasa información bacteriológica que existe para la tortuga del Bolsón y para prevenir infecciones de tipo respiratorio, digestivo, urinario y/o sistémicas, en este estudio se aislaron las bacterias aerobias asociadas al cuerpo de *Gopherus flavomarginatus* en cautiverio (URUZA-

Chapingo) y se analizó la susceptibilidad de esas bacterias a distintos antibióticos. Esta información contribuye al conocimiento de las bacterias asociadas a tortugas terrestres de este género en cautiverio, además de que brinda alternativas de antibióticos para esta población.

## MATERIALES Y METODOS

**Área de estudio.** El estudio se realizó en la población de *G. flavomarginatus* existente en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México entre las coordenadas 25°33'51" N y 103°36'43" W a una elevación de 1113 metros sobre el nivel del mar. El terrario tiene una extensión de 100 m<sup>2</sup> delimitados por malla metálica con una ambientación naturalista similar al Desierto Chihuahuense, donde predominan especies vegetales como *Prosopis glandulosa* y *Opuntia* spp.; el suelo es arenoso arcilloso, lo que le confiere una textura adecuada para que las tortugas excavan sus madrigueras (Morafka, 1982; Nussear y Tuberville, 2014).

**Obtención de muestras biológicas.** En el año 2012 se tomaron muestras biológicas de tortugas aparentemente sanas que fueron seleccionadas al azar. La muestra oral se obtuvo mediante un hisopo estéril (muestras por duplicado). Otras muestras fueron tomadas por frotis en ojos, caparazón, plastrón, cabeza, cloaca, piel de patas, uñas, heridas cicatrizadas y excremento. Los hisopos fueron depositados en medio de transporte Stuart (Copan®) y mantenidos a 4°C.

**Cultivo de bacterias.** Las muestras fueron inoculadas en cajas Petri con medio de cultivo generalista (agar bacteriológico) y selectivos (SS: *Salmonella-Shigella*, S-110: *Estafilococos*, EMB: Eosina y Azul de Metileno). Estas fueron incubadas entre 24 y 48 h a 25-30°C. Se realizó el aislamiento de las colonias presentes de acuerdo con su diversidad morfológica colonial, se efectuaron resiembres consecutivas hasta obtener cultivos axénicos y las bacterias aisladas fueron separadas por tinción de Gram y morfología microscópica (Cappuccino y Sherman, 2004).

**Determinación taxonómica.** La determinación taxonómica de las bacterias aisladas se llevó a cabo mediante el sistema automatizado VITEK®2Compact de Biomerieux® para bacterias Gram negativas y Gram positivas en el laboratorio de Microbiología del Hospital de Urgencias Médicas del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) Unidad Torreón, Coahuila, México. Sólo se aceptaron aquellos resultados en los que la determinación taxonómica fue mayor al 95% de certeza según el VITEK®2Compact.

**Sensibilidad a antibióticos.** Para la realización de las pruebas de sensibilidad se utilizaron Multidiscos Gram positivos II y Gram negativos II BioRad®. Para las bacterias Gram positivas los antibióticos probados fueron ampicilina (10 µg), cefalotina (30 µg), cefotaxima (30 µg), cefepime (30 µg), cefuroxina (30 µg), dicloxacilina (1 µg), eritromicina (15 µg), gentamicina (10 µg), levofloxacina (5 µg), penicilina

(10 µg), tetraciclina (30 µg) y trimetoprim-sulfametoxazol (25 µg). Para las bacterias Gram negativas los antibióticos fueron amikacina (30 µg), ampicilina (10 µg), levofloxacina (5 µg), cefalotina (30 µg), cefotaxima (30 µg), ceftriaxona (30 µg), cloranfenicol (30 µg), gentamicina (10 µg), netilmicina (30 µg), nitrofurantoína (300 µg), cefepime (30 µg) y trimetoprim-sulfametoxazol (25 µg). Se utilizó la técnica de Kirby-Bauer con las modificaciones recomendadas por CLSI (2007). Las bacterias se clasificaron dependiendo del diámetro del halo de inhibición como sensibles, intermedias o resistentes según los criterios establecidos por BioRad®. Cada antibiograma fue realizado por duplicado para cada especie de bacteria.

**Ánalisis de datos.** Se calculó el porcentaje de especies bacterianas por sitio de muestreo y se llevó a cabo una prueba de Ji-cuadrada ( $P < 0.05$ ) para probar diferencia significativa entre las frecuencias de presencia por sitio. También se obtuvo el porcentaje de sitios de muestreo en que se registró cada especie bacteriana. Por otra parte, se calculó el porcentaje de sensibilidad completa por tipo de antibiótico y el porcentaje de sensibilidad completa por especie bacteriana tanto para bacterias Gram positivas como Gram negativas.

## RESULTADOS

En total se aislaron 18 especies de bacterias, 10 Gram positivas y ocho Gram negativas (Tabla 1). La piel fue el sitio con el más alto porcentaje de especies (44.4%), seguido por la cloaca, las uñas y el excremento (38.8%, respectivamente;

Tabla 1). Sin embargo, estadísticamente no se presentó algún sitio con mayor número de especies de bacterias ( $\chi^2 = 6.27$ , g.l. = 9,  $P = 0.712$ ). Tres especies de bacterias fueron las más frecuentes al registrarse respectivamente en el 60% de los sitios corporales de muestreo: *Enterococcus gallinarum*, *Staphylococcus lentus* y *S. xylosus*.

Todas las especies Gram positivas mostraron sensibilidad a la gentamicina, seguido por la levofloxacina y la tetraciclina (90%, respectivamente; Tabla 2). El 30% de estas bacterias presentaron sensibilidad a la dicloxacilina y solo el 20% al cefepime. Las especies Gram positivas más sensibles a los antibióticos utilizados fueron *Staphylococcus sciuri* y *S. xylosus* (91.6% de los antibióticos, respectivamente), seguido por *Leuconostoc mesenteroides cremoris* (83.3%). Por el contrario, la más resistente fue *Staphylococcus lentus* que fue sensible solo al 33.3% de los antibióticos.

Las bacterias Gram negativas mostraron 100% de sensibilidad a cuatro antibióticos: amikacina, gentamicina, levofloxacino y trimetoprim-sulfametoxazol (Tabla 3). En contraste, todas las especies de bacterias Gram negativas fueron resistentes a la ampicilina y a la cefalotina. Las especies Gram negativas más sensibles a los antibióticos fueron *Burkholderia cepacia*, *Citrobacter freundii* y *Escherichia coli* (83.3% de los antibióticos, respectivamente). Por el contrario, la más resistente fue *Aeromonas hydrophila* que fue sensible solo al 50% de los antibióticos.

Tabla 1. Bacterias aerobias aisladas de los distintos sitios corporales de muestreo en *Gopherus flavomarginatus* en cautiverio en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México.

Bacteria	O	Os	C	P	Cl	R	Pi	U	H	E	% SME
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>					*	*	*			*	40.0
<i>Aerococcus viridans</i>								*		*	20.0
<i>Aeromonas hydrophila</i>	*					*					20.0
<i>Burkholderia cepacia</i>	*							*			20.0
<i>Citrobacter freundii</i>	*					*				*	30.0
<i>Enterococcus gallinarum</i>	*	*		*	*			*		*	60.0
<i>Escherichia coli</i>						*				*	20.0
<i>Granulicatella adiacens</i>					*			*			20.0
<i>Kytococcus sedentarius</i>					*						10.0
<i>Klebsiella oxytoca</i>						*					10.0
<i>Kocuria kristinae</i>							*	*		*	30.0
<i>Leuconostoc mesenteroides cremoris</i>					*	*		*	*	*	50.0
<i>Micrococcus lylae</i>	*					*	*				30.0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>										*	10.0
<i>Pseudomonas putida</i>				*						*	20.0
<i>Staphylococcus lentus</i>				*	*		*	*		*	60.0
<i>Staphylococcus sciuri</i>	*					*	*				40.0
<i>Staphylococcus xylosus</i>	*	*		*	*		*	*			60.0
%ESM	22.2	33.3	11.1	33.3	38.8	27.7	44.4	38.8	16.66	38.8	

O = oral, Os = ojos, C = caparazón, P = plastron, Cl = cloaca, R = rostro, Pi = piel, U = uñas, H = herida cicatrizada, E = excremento. %ESM = porcentaje de especies bacterianas por sitio de muestreo; %SME = porcentaje de sitios de muestreo en que se registró cada especie bacteriana; \* = presencia.

Tabla 2. Antibiograma para las bacterias Gram positivas asociadas a *Gopherus flavomarginatus* en cautiverio en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México.

Bacteria	AM	CF	CTX	CXM	DC	E	FEP	GE	LEV	PE	SXT	TE	% SCE
<i>Aerococcus viridans</i>	s	s	s	r	r	r	r	s	s	r	s	s	58.3
<i>Enterococcus gallinarum</i>	s	r	r	r	r	s	r	s	r	s	r	s	41.6
<i>Granulicatella adiacens</i>	s	s	s	s	r	r	r	s	s	s	s	s	75.0
<i>Kytococcus sedentarius</i>	s	s	s	s	r	r	r	s	s	s	s	r	66.6
<i>Kocuria kristinae</i>	r	r	s	r	r	r	s	s	s	r	s	s	50.0
<i>Leuconostoc mesenteroides cremoris</i>	s	s	r	s	s	s	r	s	s	s	s	s	83.3
<i>Micrococcus lylae</i>	s	s	s	s	r	s	r	s	s	r	s	s	75.0
<i>Staphylococcus lentus</i>	r	r	r	r	r	s	r	s	s	r	r	s	33.3
<i>Staphylococcus sciuri</i>	s	s	s	s	s	s	r	s	s	s	s	s	91.6
<i>Staphylococcus xylosus</i>	s	s	s	s	s	r	s	s	s	s	s	s	91.6
%SCA	80.0	70.0	70.0	60.0	30.0	50.0	20.0	100	90.0	60.0	80.0	90.0	

AM = ampicilina, CF = cefalotina, CTX = cefotaxima, CXM = cefuroxina, DC = dicloxacilina, E = eritromicina, FEP = cefepime, GE = gentamicina, LEV = levofloxacina, PE = penicilina, SXT = trimetoprim-sulfametoaxasol, TE = tetraciclina, s = sensible, r = resistente, %SCA = porcentaje de sensibilidad completa por tipo de antibiótico, %SCE = porcentaje de sensibilidad completa por especie bacteriana.

Tabla 3. Antibiograma para las bacterias Gram negativas asociadas a *Gopherus flavomarginatus* en cautiverio en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México.

Bacteria	AK	AM	CF	CL	CRO	CTX	FEP	GE	LEV	NET	NF	STX	% SCE
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	s	r	r	s	s	s	s	s	s	s	r	s	75.0
<i>Aeromonas hydrophila</i>	s	r	r	r	r	r	r	s	s	s	s	s	50.0
<i>Burkholderia cepacia</i>	s	r	r	s	s	s	s	s	s	s	s	s	83.3
<i>Citrobacter freundii</i>	s	r	r	s	s	s	s	s	s	s	s	s	83.3
<i>Escherichia coli</i>	s	r	r	s	s	s	s	s	s	s	s	s	83.3
<i>Klebsiella oxytoca</i>	s	r	r	s	s	s	s	s	s	r	s	s	75.0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	s	r	r	s	r	r	s	s	s	s	r	s	58.3
<i>Pseudomonas putida</i>	s	r	r	r	s	s	s	s	s	s	r	s	66.6
%SCA	100	0	0	75.0	75.0	75.0	87.5	100	100	87.5	62.5	100	

AK = amikacina, AM = ampicilina, CF = cefalotina, CL = cloranfenicol, CRO = ceftriaxona, CTX = cefotaxima, FEP = cefepime, GE = gentamicina, LEV = levofloxacina, NET = netilmicina, NF = nitrofurantoína, SXT = trimetoprim-sulfametoaxasol, s = sensible, r = resistente, %SCA = porcentaje de sensibilidad completa por tipo de antibiótico, %SCE = porcentaje de sensibilidad completa por especie bacteriana.

## DISCUSIÓN

Todas las especies de bacterias registradas para *Gopherus flavomarginatus* en cautiverio en el presente estudio son comunes en el suelo de muchos hábitats (Atlas y Bartha, 2008), y siendo una especie de tortuga de vida terrestre es de esperarse la presencia de estas bacterias en su cuerpo. Algunas de estas bacterias aisladas fueron reportadas anteriormente en tortugas de esta especie en vida libre en la Reserva de la Biosfera Mapimí, como *Acinetobacter calcoaceticus*, *Escherichia coli* y *Citrobacter freundii* (Morafka et al., 1986). A nivel de género, Ordorica et al. (2008) reportaron a *Kytococcus sedentarius*, *Staphylococcus sciuri*, *Staphylococcus xylosus* y *Micrococcus* spp. en las fosas nasales de *G. agassizii* en cautiverio, mismas bacterias que se aislaron de *G. flavomarginatus* en el presente estudio. Las bacterias *Acinetobacter calcoaceticus*, *Aeromonas*

*hydrophila*, *Burkholderia cepacia*, *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus* spp. y *Pseudomonas* spp. son microorganismos patógenos oportunistas de los cuales se ha documentado su ingreso a tejidos dañados por traumas o aprovechando las condiciones de estrés e inmunosupresión del hospedero causando graves enfermedades en tortugas terrestres, marinas (*Testudo graeca*, *Caretta caretta*, *Lepidochelys olivacea*) (Martínez-Silvestre et al., 1999; Dickinson et al., 2001; Santoro et al., 2006; Martínez-Silvestre y Soler-Massana, 2008). Así mismo, en estudios realizados en *G. agassizii*, Homer et al. (1998) determinó la presencia de *Pseudomonas* spp. y *Citrobacter* spp. en muestras de coanas y colon indicando la importancia de ésta última como el posible agente causal de la enteritis ulcerativa en esta especie de tortuga; además se le ha asociado a la enfermedad ulcerativa cutánea septicémica en tortugas acuáticas especialmente en hospederos

inmunocomprometidos (Rosi, 1996; Jacobson, 2007). Por otra parte, existen registros de *Pseudomonas* spp. como el agente causal de desórdenes en el tracto respiratorio superior de quelonios y de *Aeromonas* spp. como promotor de infecciones timpánicas en reptiles, anfibios y peces, así como posible responsable de ulceraciones gástricas y septicemia hemorrágica en quelonios y ofidios (Carter et al., 2005; Carriquiriborde, 2010).

La mayoría de las especies de bacterias sometidas a ensayos de sensibilidad a antibióticos en el presente estudio, fueron analizadas en trabajos anteriores (Brenner et al., 2002; Díaz et al., 2006; Ordóñez et al., 2008; Foti et al., 2009; Pachón-Cubillos et al., 2011). Sin embargo, no se presentaron las mismas respuestas ante la mayoría de los antibióticos. Por ejemplo, en *G. agassizii* se reportó a *Kytococcus sedentarius*, *Staphylococcus sciuri* y *S. xylosus* como sensibles a todos los antibióticos utilizados (Ordóñez et al., 2008) mientras que en el presente estudio con *G. flavomarginatus*, *K. sedentarius* mostró una sensibilidad al 66.6% de los antibióticos y *S. sciuri* y *S. xylosus* al 91.6%, respectivamente. Otro ejemplo es un estudio de Díaz et al. (2006) donde probaron sensibilidad antibiótica en bacterias de tortugas japonesas *Trachemys scripta elegans* sometiendo a ensayo a ocho especies (entre ellas *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* que también se reportan en *G. flavomarginatus* en el presente estudio). Al comparar ambos estudios se observó que en algunos casos se presentaron patrones de sensibilidad contrarios ya que todas las bacterias aisladas de *T. s. elegans* fueron resistentes a la gentamicina (siendo un antibiótico de amplio espectro), mientras que para las bacterias de *G. flavomarginatus* este fue uno de los antibióticos que mostró 100% de sensibilidad. Así mismo, *Citrobacter freundii* se reportó como sensible a la ampicilina y en el presente estudio fue resistente (Díaz et al., 2006). Estas diferencias pueden deberse a que aunque existen especies bacterianas similares asociadas a distintas especies de tortugas, los microorganismos pueden desarrollar características adaptativas únicas con respecto a su hospedero y al hábitat en que se desarrollan, lo cual modifica su reacción a los antibióticos. Considerando estos hallazgos, sería recomendable que ante una infección bacteriana en tortugas no se administren antibióticos (aunque sean de amplio espectro) sin antes llevar a cabo los antibiogramas correspondientes y evitar extrapoluar tratamientos antimicrobianos entre individuos y/o poblaciones de la misma especie.

En el presente estudio con *G. flavomarginatus*, la gentamicina fue el antibiótico que logró un 100% de sensibilidad para bacterias Gram positivas y Gram negativas. Este es un aminoglicósido de amplio espectro que en ocasiones ha sido utilizado para tratar infecciones bacterianas profundas en tortugas (McArthur et al., 2004). Sin embargo, presenta un rango muy estrecho de seguridad ya que provoca efectos nefrotóxicos en reptiles (Montali et al., 1979), por lo cual se recomienda utilizarla en combinación con penicilinas o cefalosporinas (Gibbons et al., 2013). La levofloxacina mostró el nivel más alto de sensibilidad bacteriana en Gram positivos y negativos después de la gentamicina. Es un antibiótico

de amplio espectro del grupo de las fluoroquinolonas. La administración de esta sustancia es común en mamíferos; sin embargo, aunque se ha probado con buenos resultados en la bacteria oral patógena de serpientes *Stenotrophomonas maltophilia* (Hejnar et al., 2007), no se tiene información sobre su efecto fisiológico en tortugas por lo que su uso en este tipo de reptiles requiere investigación. En el caso de las bacterias Gram positivas, la tetraciclina fue eficaz en el 90% de las especies de bacterias de *G. flavomarginatus*. Este antibiótico es ampliamente utilizado para tratar infecciones oculares e incluso infecciones nasales por *Mycoplasma* spp. en tortugas (McArthur et al., 2004).

## CONCLUSIONES

De las 18 especies de bacterias aisladas en *G. flavomarginatus*, *Enterococcus gallinarum*, *Staphylococcus lentus* y *S. xylosus* se presentaron respectivamente en el 60% de los sitios corporales muestreados, siendo la piel el sitio con el mayor porcentaje (44.44%) de especies de bacterias. Todas las bacterias aisladas mostraron sensibilidad a la gentamicina la cual es un antibiótico de amplio espectro comúnmente utilizado en tortugas terrestres ante infecciones oculares, orales y de vías respiratorias, pero que debe utilizarse con cautela debido a efectos secundarios negativos en los órganos de los quelonios. La levofloxacina presentó un alto porcentaje de sensibilidad en bacterias Gram positivas y negativas, sin embargo, es necesario realizar estudios sobre su impacto fisiológico en las tortugas ya que hasta la fecha no se ha documentado.

## AGRADECIMIENTOS

A la URUZA de la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades para llevar a cabo la toma de muestras. Al personal del Laboratorio de Microbiología del Hospital de Urgencias Médicas del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) Unidad Torreón por el préstamo del equipo VITEK®2Compact. A Cameron W. Barrows por su apoyo en la revisión del "Abstract" y a los revisores anónimos que con sus sugerencias enriquecieron la contribución.

## LITERATURA CITADA

- Atlas RM, Bartha R (2008) Microbial Ecology. 4th edition. Benjamin Cummings, Palo Alto, CA, EUA. 640 pp.
- Brenner D, Lewbart G, Stebbins M, Herman DW (2002) Health survey of wild and captive bog turtles (*Clemmys muhlenbergii*) in North Carolina and Virginia. *J. Zoo. Wildl. Med.* 33: 311-316.
- Brown MB, Schumacher IM, Klein PA, Harris K, Correll T, Jacobson ER (1994) *Mycoplasma agassizii* causes upper respiratory tract disease in the desert tortoise. *Infect. Immun.* 62: 4580-4586.
- Capuccino J, Sherman N (2004) Microbiology: A Laboratory Manual 7th edition. Benjamin Cummings, Palo Alto, CA, EUA. 544 pp.
- Carriquiriborde M (2010) Enfermedades zoonóticas asociadas a reptiles. *Vet. Arg.* 27: 1-6.

- Carter SL, Horne BD, Herman DW, Nichols DK, Haas CA, Mitchell JC (2005) Bacterial pneumonia in free-ranging bog turtles, *Glyptemys muhlenbergii*, from North Carolina and Virginia. *J. N. C. Acad. Sci.* 121: 170-173.
- Castro-Franco R, Hernández-Herrera J, Ortíz-Cano H (2007) Manejo en cautiverio e incorporación a su hábitat de la tortuga (*Gopherus flavomarginatus*) del Bolsón de Mapimí, Durango, México. *Rev. Chapingo Serie Zonas Aridas* 6: 223-227.
- Charles-Smith LE, Lewbart GA, Aresco MJ, Cowen P (2009) Detection of *Salmonella* in Gopher Tortoises (*Gopherus polyphemus*) during two relocation efforts in Florida. *Chelonian Conserv. Bi.* 8: 213-216.
- CITES, Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (2013) Apéndices I, II y III. United Nations Environment Programme. 46 pp.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2006) Programa de conservación y manejo Reserva de la Biosfera de Mapimí. México, D.F. 179 pp.
- Díaz MA, Cooper RK, Cloeckaert A, Siebeling, RJ (2006) Plasmid-mediated high-level gentamicin resistance among enteric bacteria isolated from pet turtles in Louisiana. *Appl. Environ. Microb.* 72: 306-312.
- Dickinson VM, Duck T, Timothy, Schwalbe CR, Jarchow JL, Trueblood MH (2001) Nasal and cloacal bacteria in free-ranging desert tortoises from the western United States. *J. Wildlife Dis.* 37: 252-257.
- Foti M, Giacopello C, Bottari T, Fisichella V, Rinaldo D, Mammina C (2009) Antibiotic resistance of Gram negatives isolates from loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Central Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 58: 1363-1366.
- Gibbons PM, Klaphake E, Carpenter JW (2013) Reptiles. En: Carpenter JW, Marion CJ, editores. Exotic animal formulary. 4th ed. Elsevier Saunders. St. Louis Missouri, EUA. Pp. 84-90.
- Hejnár P, Bardon J, Sauer P, Kolar M (2007) *Stenotrophomonas maltophilia* as a part of normal oral bacterial flora in captive snakes and its susceptibility to antibiotics. *Vet. Microbiol.* 121: 357-362.
- Homer BL, Berry KH, Brown MB, Ellis G, Jacobson ER (1998) Pathology of Diseases in wild Desert Tortoises from California. *J. Wildlife. Dis.* 34: 508-523.
- Jacobson ER, Gaskin JM, Brown MB, Harris RK, Gardiner CH, Lapointe JL, Adams HP, Reggiardo C (1991) Chronic Upper Respiratory Tract Disease of free-ranging Desert tortoises (*Xerobates agassizii*). *J. Wildlife Dis.* 27: 296-316.
- Jenkins JR (1991) Medical management of reptile patients. *Compend Cont Educ Pract. Vet.* 13: 980-988.
- Johnson AJ, Morafka DJ, Jacobson ER (2006) Seroprevalence of *Mycoplasma agassizii* and tortoise herpesvirus in captive desert tortoises (*Gopherus agassizii*) from the Greater Barstow Area, Mojave Desert, California. *J. Arid Environ.* 67: 192-201.
- Johnson JD, Mangone B, Jarchow JL (1998) A review of mycoplasmosis infections in tortoises and options for treatment. *Proc. Annu. Conf. Assoc. Rept. Amph. Vet. Kansas City*: 89-92.
- Martínez-Silvestre A, Mateu de Antonio E, Ramis A, Majó N (1999) Etiología y descripción clínica de la rinitis crónica en tortuga mora (*Testudo graeca*). *Rev. Esp. Herp.* 13: 27-36.
- Martínez-Silvestre A, Soler-Massana J (2008) Enfermedades infecciosas y parasitarias en tortugas. *Consulta Difus. Vet.* 150: 43-54.
- Mcarthur S, Wilkinson R, Meyer J (2004) Medicine and surgery of tortoises and turtles. Blackwell Publishing LTD. Oxford UK. 579 pp.
- Montali RJ, Bush M, Smeller JM (1979) Pathology of nephrotoxicity of gentamicin in snakes-model for reptilian gout. *Vet. Pathol.* 16:108-115.
- Morafka D (1982) The status and distribution of the Bolson tortoise (*Gopherus flavomarginatus*). En: Bury BE, editor. North American tortoises: conservation and ecology, United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington D. C. Pp. 71-94.
- Morafka DJ, Yates RA, Jarchow J, Rosskopf Jr. WJ, Adest GA, Aguirre G (1986) Preliminary results of microbial and physiological monitoring of the Bolson Tortoise, *Gopherus flavomarginatus*. En: Rocek Z, editor. Studies in Herpetology, Societas Herpetologica Europaea, Praga, Checoeslovaquia. Pp. 657-652.
- Nussear KE, Tuberville TD (2014) Habitat characteristics of North American tortoises. En: Rostal DC, McCoy ED, Mushinsky HR, editores. Biology and Conservation of North American Tortoises, Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. EUA. Pp. 77-84.
- Ordorica AM, Pough FH, Cate S, Deutch CE (2008) Seasonal variations in microbial communities in the nasal passages of captive desert tortoises. *J. Ariz. Nev. Acad. Sci.* 40:121-127.
- Pachón-Cubillos DA, Pulido A, Moreno, C (2011) Aislamiento y Serotificación de *Salmonella* sp. en estanques con *Cocodrylus intermedius* y testudines cautivos en Villavicencio - Colombia. *Rev. MVZ Córdoba* 16: 2564-2575.
- Ruiz, N, Calle ES, Gálvez CH (2010) Identificación de *Salmonella* sp. en tortugas Motelo (*Geochelone denticulata*) de un criadero de la ciudad de Iquitos. *Rev. Inv. Vet. Perú.* 21: 140-143.
- Rossi JV (1996). Dermatology. En: Mader DR, editor. Reptile medicine and surgery. WB Saunders, Toronto, Canadá. Pp. 104-117.
- Santoro M, Orrego CM, Hernández G (2006) Flora bacteriana cloacal y nasal de *Lepidochelys olivacea* (Testudines: Cheloniidae) en el pacífico norte de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54: 43-48.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010) Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental, especies de flora y fauna silvestres de México, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, y lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Jueves 30 de diciembre de 2010, 1:1.77. Ciudad de México, México.
- Snipes KP, Biberstein EL (1982) *Pasteurella testudinis*, nov: a parasite of desert tortoises. *Int J. Syst. Bacteriol.* 32: 201-210.
- Stein G (1996) Reptile and amphibian formulary. En: Mader DR, editor. Reptile Medicine and Surgery. WB Saunders Co, Philadelphia, EUA. Pp. 465-472.
- van Dijk PP, Flores-Villela O (2007) *Gopherus flavomarginatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2007: e.T9402A12983328.
- Wimsatt JH, Johnson J, Mangone BA, Tothill A, Childs JM, Peloquin CA (1999) Clarithromycin pharmacokinetics in the desert tortoise (*Gopherus agassizii*). *J. Zoo Wildl. Med.* 30: 36-43.

## ASOCIACIONES VEGETALES DE LA VERTIENTE SUR DEL ANP “SIERRA DE LOBOS” MEDIANTE FOTOINTERPRETACIÓN

## VEGETATION ASSOCIATION ON THE SOUTHERN SLOPE IN THE “SIERRA DE LOBOS” PROTECTED AREA USING FOTOINTERPRETATION

Luis Manuel Valenzuela-Núñez<sup>1\*</sup>, Cándido Márquez Hernández<sup>1†</sup>, Verónica Ávila Rodríguez<sup>1</sup>, Edwin Amir Briceño Contreras<sup>2</sup> y Alan Eduardo Salas Camacho<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n Fracc. Filadelfia C.P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, Torreón, Coah. C. P. 27058

\*Autor para correspondencia: luisvn70@hotmail.com

RECIBIDO: 30/05/2016

ACEPTADO: 16/07/2016

PALABRAS CLAVE:  
erosión  
vegetación  
precipitación  
cartografía  
uso de suelo

KEYWORDS:  
erosion  
vegetation  
precipitation  
cartography  
land use

### RESUMEN

El presente trabajo muestra un inventario de la cobertura leñosa en la vertiente sur del Área Natural Protegida “Sierra de Lobos” en Guanajuato, haciendo una descripción de las características y un análisis de la participación de los tipos de vegetación en la producción de escurrimientos y la protección del suelo mediante un análisis visual de la cobertura mediante la fotointerpretación cartográfica y digital de la cobertura del suelo de 1974 a 2007. La vertiente sur de la “Sierra de Lobos” comprende la parte alta de las microcuencas El Palote, Las Amapolas, La Patiña, Pénjamo-Irapuato-Silao y Hernández Álvarez. Se encontraron 11 tipos de vegetación de acuerdo a los criterios de clasificación del INEGI en las cartas de uso de suelo y vegetación que fueron simplificadas a tres grandes categorías: bosque, matorral y pastizal. La vegetación natural cubre 22,835.92 ha, el resto es agricultura (3,300.75 ha) y superficies sin vegetación (326.01 ha). El bosque tiene gran importancia por la producción de escurrimientos y protección edáfica porque intercepta la precipitación a nivel aéreo y por la materia orgánica que guarda relación con la permeabilidad. El matorral no favorece mucho la protección del suelo porque la cubierta es muy abierta, permitiendo que la lluvia pase libremente por el dosel vegetal e impacta la superficie desnuda del suelo. El pastizal es más eficaz dadas sus características de crecimiento pues cubre casi por completo la superficie del suelo, además que el sistema radicular ayuda a retener el suelo.

### ABSTRACT

This research was carried out in order to get an inventory of vegetation coverage on the southern slope in the Natural Protected Area “Sierra de Lobos” in Guanajuato with a general description of characteristics and performing an analysis of vegetation types role in soils protection by visual analysis of land coverage. The research was performed in several stages: cartographic and digital photo interpretation coverage obtained in 2007. Southern slope of ANP “Sierra de Lobos” is located at the top of five watersheds: El Palote, Las Amapolas, La Patiña, Pénjamo Irapuato Silao and Hernandez Alvarez. 11 vegetation types were founded in the southern slope of ANP “Sierra de Lobos” according to the classification criteria of INEGI in the Land Use and Vegetation maps. These vegetation types were simplified into three broad categories: forest, scrub and grassland. Surface of natural vegetation in the study area was 22,835.92 ha, the rest was agricultural activities (3,300.75 ha) areas and areas with no apparent vegetation (326.01 ha). Forest has, great importance given its effect on the production of runoff and soil protection because it intercepts precipitation and the presence of organic matter on floor relates permeability. Scrub community does not protect soil protection because cover is open, allowing rain to pass freely through the plant canopy and impacting soil surface. Grassland vegetation type is more effectively to avoid erosion caused by rain due its growth characteristics covering soil surface and root system also helps to retain soil.

## INTRODUCCIÓN

La presencia de la vegetación y sus diferentes formas son el resultado de las condiciones climáticas, edáficas y la topografía (Deleage, 1993; Drury y Nisbet 1973; Huston y Smith, 1987). El desarrollo de la vegetación, su incremento en biomasa y su distribución espacial se ven influenciados por el clima, el suelo y la topografía (exposición, pendiente) (Krebs, 1985; Martínez, 1985 y Diamond, 1979). La protección del suelo depende de la cobertura vegetal y los parámetros estructurales (características de altura, cobertura sobre el suelo y densidad) y esto constituye una gran ayuda en el papel que juega la vegetación sobre el comportamiento hídrico (Tarin-Torres, 1993). La vegetación es una variable muy importante en el comportamiento hídrico de los ecosistemas, en particular con los escurrimientos superficiales y los procesos erosivos que a su vez tienen una gran influencia sobre la disponibilidad del recurso agua y la conservación de suelos.

La producción de escurrimientos es un resultado del efecto combinado de cobertura de la vegetación y los factores del clima (Tarin-Torres 1993). La redistribución del escurrimiento es afectada por factores fisiográficos como principalmente el tamaño de la cuenca, la forma, la pendiente, la densidad del drenaje y la topografía (Kirkby y Morgan 1984). Aunque en la actualidad se han realizado estudios de vegetación completos a nivel regional en Durango (Marroquín et al. 1964; COTECOCA, 1979) y en Coahuila (SARH, 1985), la descripción que realizan sobre las funciones de la vegetación sobre el origen y producción de escurrimientos y la erosión son en realidad muy breves. Por su parte, Tarín-Torres (1993) presenta un estudio detallado por subcuenca para el caso de la Región Hidrológica 36 y el papel de la vegetación natural sobre los procesos de erosión y escurrimientos. Además, un estudio hidrológico realizado en Chihuahua (INEGI, 1990), presenta una relación de la participación de la cubierta vegetal sobre los escurrimientos en base a las características de la vegetación.

Los estudios sobre el tema de erosión en México presentan problemas de metodología que dan como resultado que los datos obtenidos sean contradictorios en muchos casos y que además no permitan realizar comparaciones entre las distintas localidades (Maass y García, 1990). Estos datos muchas veces son obtenidos a partir de estimaciones cualitativas que hacen más difícil su estudio y su evaluación a través del tiempo. El presente trabajo se realizó con el objetivo de presentar un inventario actualizado a 2007 de la superficie ocupada por la vegetación en la vertiente sur del Área Natural Protegida “Sierra de Lobos” en Guanajuato haciendo una descripción de las características fisonómicas y realizando un análisis de la participación de la vegetación en la producción de escurrimientos y en la protección de los suelos.

El interés en la realización del presente estudio en el Área Natural Protegida “Sierra de Lobos” reside en la especial importancia de la zona por su proximidad a la Ciudad de León,

una localidad con desarrollo económico y concentración poblacional, considerada como la más importante del estado de Guanajuato.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Zona de estudio.** El Área Natural Protegida “Sierra de Lobos” se localiza en la parte noroeste del estado de Guanajuato; hacia esa parte colinda con el municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, al Sur con el municipio de León, al Noreste y al Este colinda con el municipio de San Felipe y al Norte con el municipio de Ocampo.

Por su localización geográfica, se encuentra entre los paralelos  $21^{\circ}08'51.94''$  y  $21^{\circ}30'16.50''$  de latitud norte y los meridianos  $101^{\circ}43'17.40''$  y  $101^{\circ}17'20.59''$  de Longitud Oeste (Figura 1). La fisiografía de esta zona de estudio forma parte de una región mayor denominada Mesa del Centro, hacia el Sur alcanza una pequeña parte del Eje Neovolcánico. La zona de la “Sierra de Lobos” en su mayoría, está representada por sierras y lomerío.

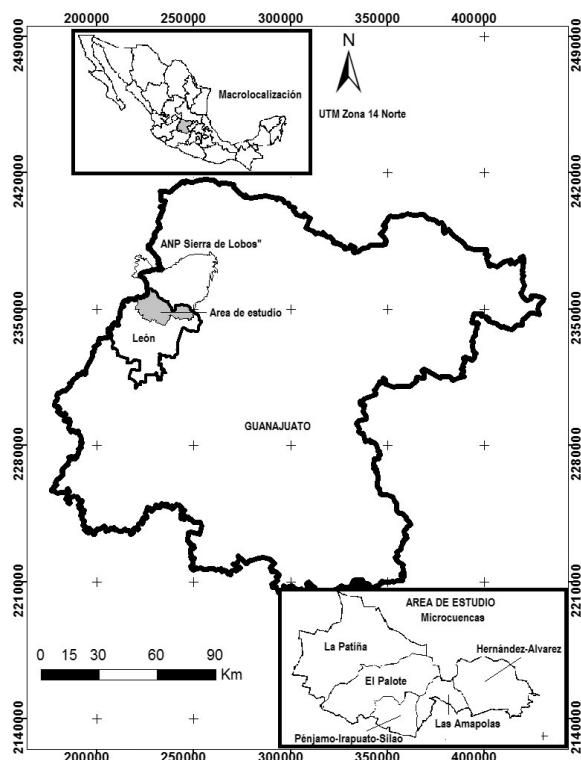


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

Los climas predominantes en esta zona de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada (García, 1964), son C( $w_2$ )(w) el más húmedo con un cociente p/t > 55.0 con un porcentaje de lluvia invernal < 5 mm; C( $w_1$ ) intermedio en cuanto a humedad con un cociente p/t entre 43.2 y 55.0; en la vertiente sur del ANP se presenta clima tipo C( $w_0$ ) el más seco con un cociente p/t < 43.2. La precipitación pluvial de la zona de estudio es de 600 a 800 mm en promedio por año. Sólo en unas pequeñas partes hacia el Norte y el Oriente de esta zona es menor a 600 mm al año. La dirección de los vientos para la zona de estudio se presenta de acuerdo a

las estaciones del año de la siguiente manera: en primavera, verano e invierno provienen del Sur y en otoño provienen del Oeste, por los que se considera que los vientos dominantes provienen del Sur y los máximos del Oeste.

La vertiente sur de la “Sierra de Lobos” se encuentra localizada en la parte alta de cinco microcuencas hidrológicas que a su vez se encuentran localizadas dentro de la subcuencas Lerma-Salamanca y Laja: El Palote, Las Amapolas, La Patiña, Pénjamo-Irapuato-Silao y Hernández Álvarez.

**Procesamiento de la información.** El análisis de la cobertura del suelo se realizó mediante interpretación cartográfica en las siguientes etapas:

a) Reclasificación.- Se reclasificaron los tipos de cobertura del terreno para la escala del trabajo, diseño de las bases de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), selección de la referenciación espacial y proyección cartográfica (UTM Zona 14) común para los datos.

b) Descripción e interpretación de la cobertura del terreno.- Ésta se realizó sobre un cubrimiento de fotografías aéreas digitales tomadas en el año de 2007 con sensores especiales similares a los que emplean los satélites de sensores infrarrojo cercano. Estos datos se describieron e interpretaron en forma con observaciones directas de campo en reconocimientos y verificación en el terreno, así como la bibliografía disponible. Esta interpretación dio como resultado la generación de los mapas de cobertura de suelo 2007 a escala de definición visual de 1:50,000. Los mapas fueron digitalizados de manera vectorial, etiquetados y sometidos a un proceso de verificación del etiquetamiento y corrección de los polígonos con la ayuda del programa ArcGIS 9.1 de ESRI®.

c) Superficie de coberturas.- La determinación de la superficie de cobertura de la vegetación en hectáreas se llevó a cabo con la ayuda del programa ArcGIS 9.1 de ESRI®. Para esto, se utilizaron las fotografías aéreas tomadas en 2007 (INIFAP), las cuales permitieron un campo visual de 1,000 m<sup>2</sup> de la superficie del suelo, de esta manera se estimó la cubierta vegetal (cobertura de biomasa aérea) en las formaciones más representativas a nivel de la vertiente Sur del ANP y posteriormente para cada una de sus cinco microcuencas.

## RESULTADOS

Se encontraron 11 tipos de vegetación en la vertiente sur del Área Natural Protegida “Sierra de Lobos” de acuerdo a los criterios de clasificación del INEGI en las cartas de uso de suelo y vegetación Serie III que se enlistan a continuación:

1. Bosque natural de encino
2. Bosque natural de enebro pino
3. Bosque natural de pino
4. Chaparral
5. Matorral espinoso
6. Matorral inerme
7. Matorral subinerme

8. Nopalera
9. Pastizal inducido
10. Pastizal natural
11. Vegetación secundaria de Matorral espinoso

No existe un sistema de clasificación de la vegetación que sea de aceptación general, ya que la combinación de diferentes criterios de clasificación es consecuencia directa de la naturaleza de la misma vegetación, cuya variación es compleja y no se limita a una o dos dimensiones (Rzedowski, 1978). Considerando que el mayor interés en el presente estudio se enfoca a los atributos de cobertura de la vegetación natural, por similitudes en su fisonomía y/o en su distribución general, estos 11 tipos de vegetación fueron reclasificados en tres grandes formaciones: bosque, pastizal y matorral.

**Bosque.** (Bosque natural de encino, Bosque natural de enebro pino, Bosque natural de pino). Es una comunidad de especies de porte arbóreo, en menor frecuencia arbustivo, con una fisonomía usualmente uniforme, en cubiertas densas o espaciadas, representada por coníferas y/o latifoliadas con poca diversidad de especies, comúnmente de climas templados: se desarrolla sobre suelos someros a medianos, de origen ígneo o sedimentario, con pendientes suaves a fuertes (Tarin-Torres, 1993). La vegetación característica se desarrolla en climas templados y semifríos, con diferentes grados de humedad, propios de las regiones montañosas (CONAFOR 2006). Los bosques representan el principal generador de los servicios ambientales que sostienen nuestra calidad de vida. Son comunidades que crecen desde los 1,400 m en climas semifríos subhúmedos y templados subhúmedos. Los bosques permanecen verdes todo el año, ya que las coníferas cambian sus hojas de manera gradual. Aunque los bosques puros de coníferas se restringen a la vertiente norte del área de estudio, existen pequeñas áreas en la vertiente sur mezcladas con los bosques de encino. En el aspecto económico estas comunidades representan un recurso muy importante para la zona y una de las más importantes fuentes de ingresos, han sido dañados por sobreexplotación y pastoreo aunque en años recientes su manejo ha permitido una mejor conservación. La estructura de los bosques varía desde los dominados por una sola especie; en los que en ocasiones existe únicamente un estrato arbóreo, otro herbáceo y otro rasante; hasta la estructura compleja de los dominados por varias especies de pino y a veces de otros géneros, con dos estratos arbóreos, además del arbustivo, herbáceo y rasante y con algunas epífitas.

**Matorral.** (Matorral espinoso, matorral inerme, matorral subinerme, nopalera y vegetación secundaria matorral espinoso). Es un tipo de vegetación que se desarrolla en zonas planas o en lomeríos y laderas, en altitudes que van desde los 1,500 a 2,400 m, sobre suelos de origen volcánico y en menor proporción están sobre suelos derivados de calizas. Crece en clima semiseco templado, seco templado y semiseco semicálido. Las características generales de este tipo de vegetación son arbustos altos, que en zonas de condiciones favorables algunos se manifiestan en forma de arbolitos; la cobertura de las herbáceas tiene una alta

proporción de plantas perennes, de tal manera que el suelo presenta una cubierta vegetal permanente, aunque seca durante varios meses del año, así como una capa de mantillo (González et al, 2007). En el área de estudio, los matorrales forman una transición (ecotonía) entre los pastizales y los bosques volviéndose disperso hacia la zona de pastizales. La presencia de arbustivas se incrementa en suelos poco profundos o rocosos. En ocasiones la población de arbustos es más densa sobre declives abruptos y cauces pedregosos y la cubierta de pastizal destaca en los declives suaves y en mesetas. En algunas partes los arbustos se encuentran combinados con frecuencia con nopal, los arbustos tienen las copas extendidas cuyo aspecto es similar al de las sabanas africanas (Rzedowski 1966; Rzedowski, 1978). La abundancia de las nopaleras parece estar favorecida por factores edáficos, pero también por el disturbio causado por la sobreexplotación de los pastos existentes con fines ganaderos.

**Pastizal.** Los pastizales son comunidades constituidas por un estrato herbáceo en el que predominan las gramíneas (pastos). No hay árboles presentes excepto a lo largo de corrientes de agua, de haber arbustos, estos se encuentran muy espaciados. Es frecuente encontrar pastizales en ecotónia con matorral o con bosque. Como la mayoría de los pastizales clímax, son intermedios entre los matorrales y los bosques templados (Rzedowski, 1978). La estructura del pastizal es sencilla, pues además de un estrato rasante (plantas rastrelas), hay un sólo estrato herbáceo, que es abundante en época de lluvias dominando las compuestas que pueden sobrepasar a las gramíneas en número de especies (Rzedowski, 1978). Muchas herbáceas perennes y anuales se encuentran dispersas en forma variable, aunque las anuales prosperan mejor en suelos pobres a orilla de caminos, en superficies erosionadas o declives pedregosos, así como en áreas sobrepastoreadas. En menor grado pueden presentarse neófitas y suculentas, principalmente cactáceas. Las platas leñosas, cuando existen, forman uno o dos estratos adicionales. La presencia de leñosas en el pastizal puede ser por varias causas, entre ellas puede ser el resultado de una perturbación, pueden ser parte natural de la comunidad en las zonas de transición hacia el matorral o hacia el bosque o bien pueden ser parte natural de la comunidad en áreas que no representan ecotono. Algunas de las asociaciones que forman parte del pastizal con arbustos parecen ser comunidades estables que constituyen zonas de ecotónia (Gentry, 1957). Muchas áreas previamente ocupadas por pastizal están ocupadas ahora como tierra para cultivos, ya que su topografía es más adecuada para fines agrícolas que la de otros tipos de vegetación. Debido a las características del clima, principalmente la distribución de la precipitación durante el año, los rendimientos son bajos en la agricultura de temporal.

La cobertura del suelo (Tabla 1) con vegetación natural en el área de estudio es de 22,835.92 ha, el resto son áreas dedicadas a las actividades agrícolas (3,300.75 ha) y la superficie de zonas sin vegetación aparente (326.01 ha).

Las coberturas encontradas en las cinco microcuenca

forman parte de la vertiente sur del ANP “Sierra de Lobos” son las que a continuación se presentan:

Tabla 1. Superficie ocupada por la vegetación natural en la vertiente sur del ANP “Sierra de Lobos”, Guanajuato, México.

Tipo de vegetación	Superficie	
	ha	%
Matorral	14,408.42	54.44
Bosque	4,892.66	18.48
Pastizal	3,534.84	13.35
Agricultura	3,300.75	12.47
Sin vegetación	326.01	1.23
Total	26,462.68	

**Microcuenca La Patiña.** El matorral cubre un 67.83% de la superficie de la microcuenca, que corresponde a 7,083.41 ha., encontrándose principalmente en la parte sur de la misma en combinación con manchones de pastizal y de áreas con agricultura de temporal (Fig. 2 y Tabla 2).

**Microcuenca El Palote.** Esta microcuenca es de especial importancia para la zona de estudio, ya que el área que ocupa es la principal fuente de escurrimientos superficiales para abastecer de agua a la Ciudad de León, Guanajuato, donde está ubicada la Presa El Palote. El matorral es el tipo de vegetación predominante con 72.64% (4,828.68 ha) de la superficie total de la microcuenca (Fig. 3 y Tabla 3).

**Microcuenca Pénjamo-Irapuato-Silao.** Es la microcuenca que presenta la formación del matorral casi en su totalidad (1,922.83 ha que corresponden al 84.4% de la superficie total), presentando también una extensa superficie con erosión (8.78% de la superficie total, ver Fig. 4 y Tabla 4).

**Microcuenca Las Amapolas.** Esta microcuenca presenta la extensión más pequeña dentro del área de estudio. Se presenta un 48.01% de la superficie total cubierta con bosque de latifoliadas, un 28.31% de superficie cubierta con matorral y un 21.52% cubierto con pastizal (Fig. 5 y Tabla 5).

**Microcuenca Hernández Álvarez.** En esta microcuenca la vegetación predominante es el pastizal, que cubre un 44.72% de la superficie total (2,348.47 ha.), mientras que las superficies cubiertas con agricultura y bosque ocupan el 26.08% (1,369.54 ha) y 25.56% (1,342.39 ha) respectivamente (Fig. 6 y Tabla 6)

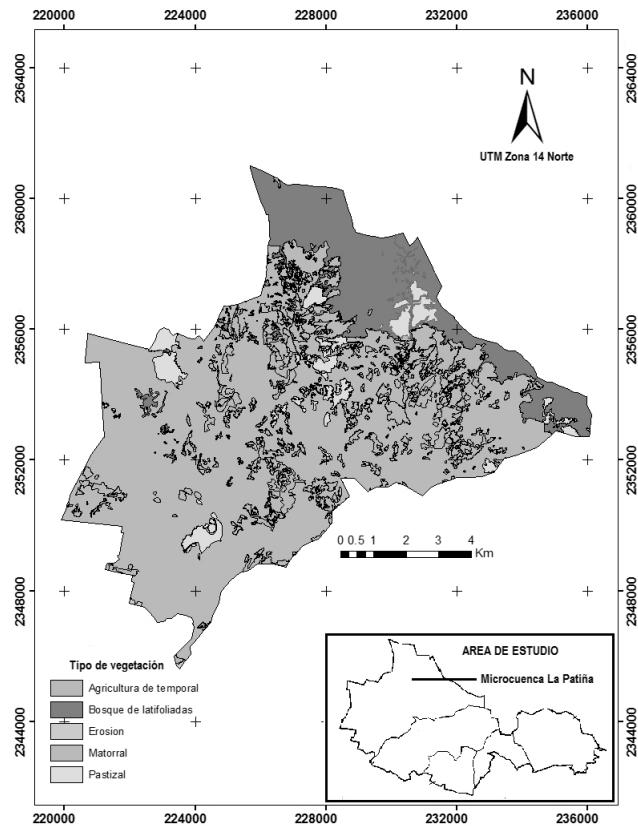


Figura 2. Mapa de Vegetación 2007, de la Microcuenca "La Patiña" dentro de la vertiente sur de la ANP "Sierra de Lobos", Guanajuato, México.

Tabla 2. Uso actual del suelo (ha) 2007 en la Microcuenca "La Patiña" dentro de la vertiente sur de la ANP "Sierra de Lobos", Guanajuato, México.

Tipo de vegetación	Superficie	
	ha	%
Matorral	7,083.41	67.83
Bosque	1,778.98	17.03
Agricultura	1,157.97	11.08
Pastizal	412.26	3.94
Erosión	9.02	0.08
Total	10,441.64	

Tabla 3. Uso actual del suelo (ha) 2007 en la Microcuenca "El Palote" dentro de la vertiente sur de la ANP "Sierra de Lobos", Guanajuato, México.

Tipo de vegetación	Superficie	
	ha	%
Matorral	4,828.68	72.64
Bosque	812.65	12.22
Agricultura	555.41	8.35
Pastizal	341.10	5.13
Erosión	108.66	1.63
Total	6,646.50	

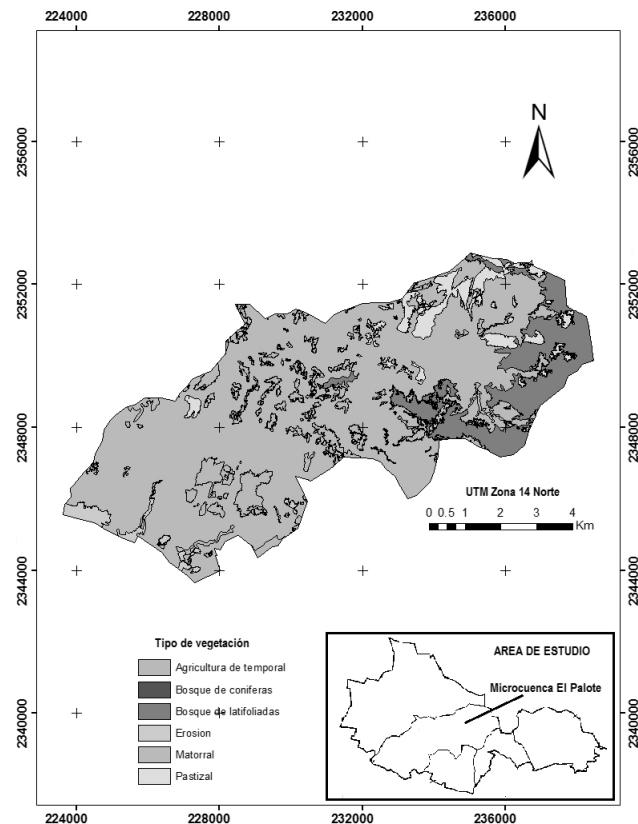


Figura 3. Mapa de Vegetación 2007 en la Microcuenca "El Palote" dentro de la vertiente sur de la ANP "Sierra de Lobos", Guanajuato, México.

Tabla 4. Uso actual del suelo (ha) 2007 en la Microcuenca "Penjamo - Irapuato - Silao" dentro de la vertiente sur de la ANP "Sierra de Lobos", Guanajuato, México.

Tipo de vegetación	Superficie	
	ha	%
Matorral	1,922.83	84.84
Erosión	199.09	8.78
Bosque	66.85	2.94
Agricultura	44.34	1.95
Pastizal	33.26	1.46
Total	2,266.37	

Tabla 5. Uso actual del suelo (ha) 2007 en la Microcuenca "Las Amapolas" dentro de la vertiente sur de la ANP "Sierra de Lobos", Guanajuato, México.

Tipo de vegetación	Superficie	
	ha	%
Bosque	891.79	48.01
Matorral	525.87	28.31
Pastizal	399.75	21.52
Erosión	21.35	1.14
Agricultura	18.74	1.00
Total	1,857.50	

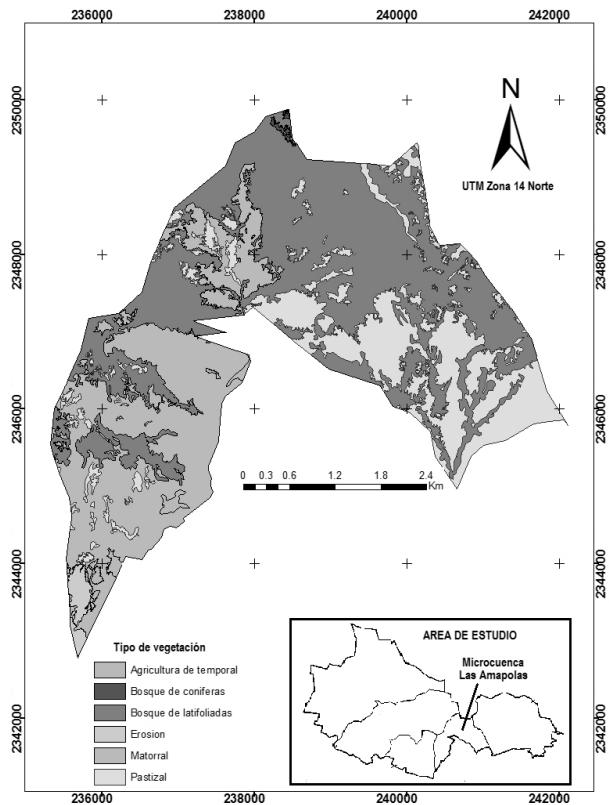


Figura 4. Mapa de Vegetación 2007 en la Microcuenca “Penjamo - Irapuato - Silao” dentro de la vertiente sur de la ANP “Sierra de Lobos”, Guanajuato, México.

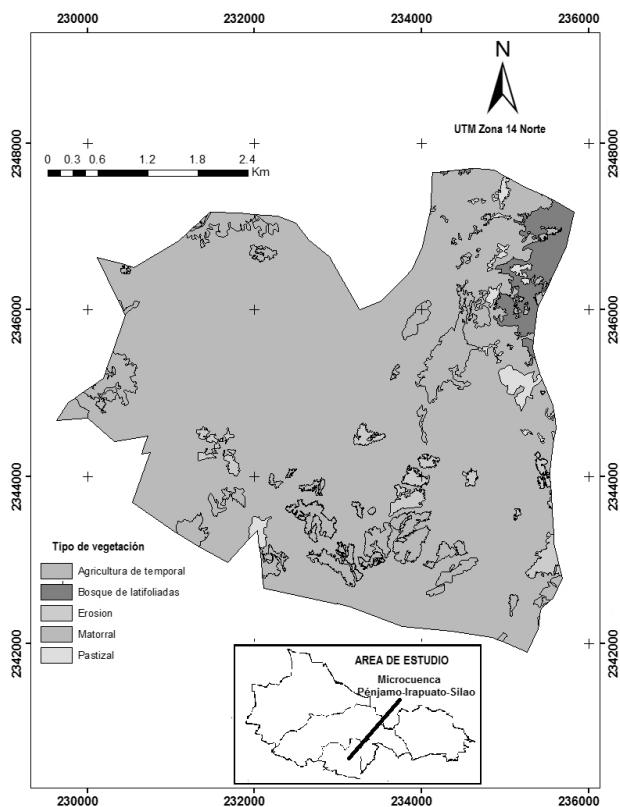


Figura 5. Mapa de Vegetación 2007 en la Microcuenca “Las Amapolas” dentro de la vertiente sur de la ANP “Sierra de Lobos”, Guanajuato, México.

Tabla 6. Uso actual del suelo (ha) 2007 en la Microcuenca “Hernández Álvarez” dentro de la vertiente sur de la ANP “Sierra de Lobos”, Guanajuato, México.

Tipo de vegetación	Superficie	
	ha	%
Bosque	1,342.39	25.56
Matorral	47.63	0.90
Pastizal	2,348.47	44.72
Agricultura	1,369.54	26.08
Erosión	142.64	2.71
Total	5,250.67	

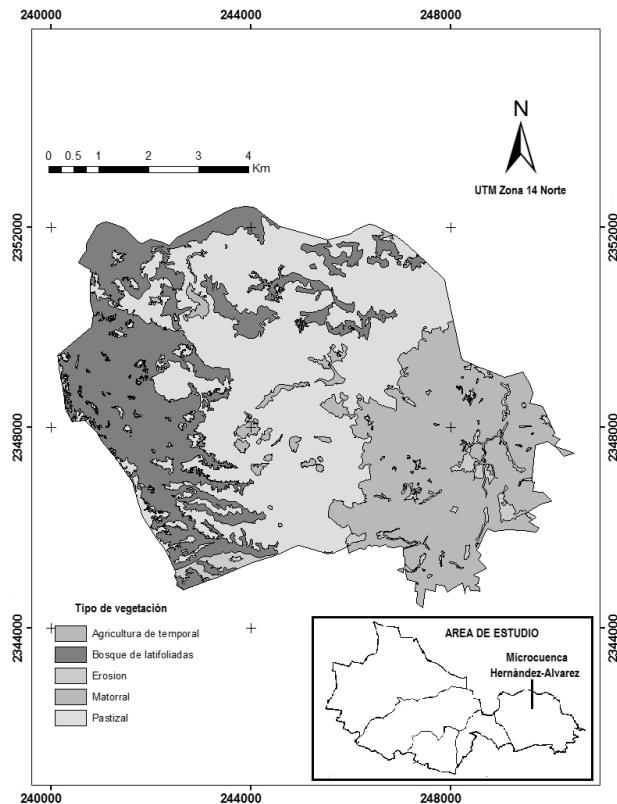


Figura 6. Mapa de Vegetación 2007 en la Microcuenca “Hernández Álvarez” dentro de la vertiente sur de la ANP “Sierra de Lobos”, Guanajuato, México.

## DISCUSIÓN

La comunidad de bosque constituye un 18.48% del área de estudio. Esta comunidad vegetal, además de ser el principal recurso forestal, presenta la cobertura aérea más importante en cuanto a densidad. Las estimaciones de cubierta son muy variables, con un rango que varía de 10 a 80%, pues el crecimiento y densidad de este tipo de vegetación están fuertemente influídos por varios factores como la precipitación, la exposición, la pendiente y la profundidad del suelo, entre otros. Las especies que definen esta comunidad vegetal en la zona están comprendidas en su mayoría por latifoliadas del género *Quercus*, aunque se presenta un área pequeña cubierta con pináceas, de igual manera en el estrato

arbustivo se pueden encontrar individuos de los géneros *Arbutus* y *Arctostaphylos*, principalmente. El bosque tiene presencia en todas las microcuencas, principalmente en la parte alta en las zonas montañosas. Particularmente en lo que al bosque de encino concierne, en el área de estudio, puede verse que grandes extensiones de terrenos antes cubiertos por este tipo de vegetación se emplean para la agricultura, que en general es de temporal. Los cultivos más frecuentes son frutales caducifolios sin dejar de lado a los cultivos tradicionales. Asimismo grandes extensiones de bosque se aprovechan con fines ganaderos y con el objeto de estimular la producción de brotes tiernos de las herbáceas y de los pastos y arbustos mediante la acción del fuego. Estos incendios aplicados sin supervisión técnica se realizan en el período más seco y caluroso del año, época en que más fácilmente se propagan y en que más falta hace el forraje para el ganado. Como en otros tipos de vegetación, también en los encinares el fuego provoca cambios en la composición y en la estructura de las comunidades, cambios que varían en función de la periodicidad y la intensidad de los incendios. De esta manera muchos árboles llegan a morir por completo, ya sea por no resistir los incendios, o bien porque se reducen los árboles dominantes y a la larga el bosque no puede perpetuarse. Es bajo este mecanismo que el bosque se convierte en bosque secundario, matorral o pastizal, que a menudo resultan más útiles para aprovechamientos ganaderos que el bosque mismo y por consiguiente los habitantes de la zona procuran no crear las condiciones propicias para su restablecimiento. A consecuencia de lo anterior, los terrenos que son degradados de esta manera y constantemente sometidos a pastoreo intenso pierden la capacidad de absorber y almacenar eficientemente el agua de lluvia; el escurrimiento predomina sobre la infiltración y comienza a desencadenarse una rápida erosión del suelo y hasta de la misma roca madre, sobre todo en los casos en que ésta última es deleznable o poco consolidada. Como puede verse, los terrenos ocupados por el bosque de encino no son aptos para sostener una agricultura permanente, ya que los terrenos se abandonan después de dejar de ser productivos y el suelo es erosionable fácilmente. Estos procesos no son exclusivos del bosque de encino, pero es esta comunidad vegetal con mayor frecuencia que otras, la que ocupa en el ANP "Sierra de Lobos" situaciones que podrían definirse como estratégicas dentro de muchas cuencas hidrológicas, de tal manera que la erosión que afecta al sustrato de los bosques produce a menudo efectos no sólo en la región donde se produce, sino también a distancia, donde provoca desecación de manantiales, contaminación del agua, inundaciones, azolve de presas y tolvaneras, entre otros. Es por eso que se debe buscar la conservación de los bosques de encino en el área de estudio, ya que su presencia es necesaria para la preservación del equilibrio ecológico de las cuencas y microcuencas existentes. Dentro del bosque se distinguen áreas de vegetación secundaria, con poco interés forestal económico por su hábito de crecimiento y su menor tamaño en altura y diámetro. En la zona presenta una extensión reducida en el límite altitudinal del matorral en la parte más alta de la sierra. Esta formación vegetal ocupa el mismo ambiente físico del bosque, aunque tiene afinidad por condiciones más secas, a las cuales muestra notables

adaptaciones. El dosel que presenta esta comunidad es abierto comúnmente, con individuos espaciados entre sí, pero llega a tener un estrato herbáceo bien definido, no obstante la fuerte cobertura de piedras y los afloramientos de roca. Los porcentajes de cobertura más comunes son moderados, de 20 a 40%, sobre pendientes suaves a fuertes, esto es, en cimas, laderas y valles entre lomas. En ocasiones se observan coberturas únicamente del 10%, principalmente en laderas. La altura del dosel no sobrepasa los cuatro metros. Los coeficientes de escurrimiento son de 5 al 30% para las áreas de bosque dependiendo de su cobertura, incrementándose para las zonas con más aclaro; para el caso del matorral los coeficientes son muy variados, yendo desde 10 hasta 60%; para el pastizal los coeficientes varían de 5 a 10% y para el chaparral del 10 al 20% (INEGI, 1990).

El matorral constituye el 54.44% de la superficie total del área de estudio dentro del ANP "Sierra de Lobos". Se presenta en pie de monte, laderas suaves y terrenos planos en la base de las montañas y algunas mesas de elevaciones aisladas, con frecuencia formando áreas de transición entre el pastizal y las áreas cubiertas con bosque. Muchos de sus componentes herbáceos son los mismos que se encuentran en el matorral y el pastizal, comunidad con la que muestra mayor similitud de preferencias ecológicas. Algunas asociaciones de pastizales con individuos arbóreos aislados no se encuentran mezclados, sino que constituyen manchones intercalados con dominancia de uno u otro, dependiendo de la topografía y tipo de suelo. En las franjas de contacto del pastizal con arbustos son comunes los individuos de los géneros *Acacia* y *Prosopis*, abundan también las especies subfrutescentes y herbáceas. Los matorrales altos de *Acacia* y *Prosopis*, así como las nopaleras son parte de este tipo de vegetación. En general se presenta una cubierta herbácea combinada con pastizal y las proporciones entre una u otra son variables, por lo que no existe una clara división entre ambas comunidades. En las áreas donde el suelo es poco profundo o rocoso se incrementa la presencia de arbustos. La población de arbustos puede ser más densa sobre declives abruptos y cauces pedregosos y la cubierta de pastizal destaca en los declives suaves y en mesetas. Muchas de las áreas en las que están presentes especies de cactáceas (*Opuntia* spp. y *Myrtillocactus* spp.) se localizan sobre mantos basálticos y en buena parte el carácter xerófilo está determinado por el sustrato. A veces la cubierta de pasto es casi nula, ya sea por razones naturales, como por ejemplo cuando el sustrato de una capa casi continua de basalto no permite el establecimiento de vegetación, excepto en las grietas, o debido al sobrepastoreo.

El matorral presente en el ANP "Sierra de Lobos" se compone de elementos arbustivos densos, caducifolios, que prosperan sobre suelos someros y pedregosos de laderas de cerros y con frecuencia las especies dominantes se reproducen de manera vegetativa por sus partes subterráneas formando clones que a veces abarcan superficies de varios metros de diámetro. Esta propiedad les confiere resistencia a los incendios que frecuentemente se propagan en éstas comunidades y a la larga parecen favorecer su existencia en muchos sitios, por lo general se desarrolla en áreas que son climáticamente

intermedias entre los matorrales propios de clima semiárido y los bosques templados (Rodríguez 2009; Flores, 2009).

Los matorrales encontrados en el área son por lo general de origen secundario y variables en cuanto a altura, pudiendo considerarse algunos matorrales altos o bosques bajos. A veces la especie dominante constituye la única planta leñosa de la comunidad (*Quercus* spp., *Prosopis* spp., *Acacia* spp.) y debido a la densidad alta por lo común prosperan pocas especies herbáceas; es frecuente que los clones de las especies arbustivas dejen entre sí espacios irregulares que son aprovechados por otros componentes del matorral.

Es importante mencionar que el matorral descrito en este capítulo puede ser una etapa en la serie que culmina con otra comunidad vegetal dados los estudios de cambio de uso de suelo precedentes de acuerdo a los resultados obtenidos por algunos autores (Mojica, 2008; Valenzuela et al., 2009a; Valenzuela et al., 2009b; Valenzuela et al., 2009c), ya que como diversos autores lo mencionan (Muller, 1940; Sauer, 1944; Sauer, 1950; Shreve, 1951; Budowski, 1956; Budowski, 1966; Rzedowski, 2005), uno de los resultados del sobrepastoreo de los pastizales es la invasión de arbustos, es decir, que de esta manera la carpeta de gramíneas se va transformando en matorral. Con los estudios precedentes (Mojica, 2008; Valenzuela et al., 2009a, Valenzuela et al., 2009b; Valenzuela et al., 2009c), se corrobora que este fenómeno puede ser real, esto indica que el matorral en el ANP “Sierra de Lobos” corresponde a una fase de perturbación del pastizal en algunos lugares.

El pastizal representa el 13.35% de la superficie con vegetación en el área de estudio. Sus coberturas alcanzan densidades moderadas y tienen la característica de ocupar pendientes muy variables, desde uno hasta el 30%, así como distintos ambientes ecológicos. Los elementos que caracterizan al pastizal son de baja altura, que no sobrepasa un metro, sus porcentajes de cobertura van del 50 al 70%. Por la característica de su crecimiento, cubierta, así como por la producción de mantillo y retención del mismo, el pastizal con buen desarrollo, tiene la propiedad de favorecer de manera significativa la infiltración y la conservación de la humedad en el suelo. Desgraciadamente, muchas de las áreas cubiertas con pastizal se encuentran en una marcada etapa de desertificación, que se hace evidente en el reemplazo de los pastos perennes por arbustivas espinosas, a causa del intenso sobrepastoreo y de la apertura a tierras para uso agrícola de temporal. Esta actividad aporta grandes áreas de suelo descubiertas durante una larga temporada anual que se ven sometidas al impacto directo de la precipitación.

Estos cambios se acompañan de erosión hídrica en distintos grados. El problema tiende a crecer con el aumento en la población. Las áreas cubiertas con pastizal en el área de estudio son de gran importancia económica para el aprovechamiento pecuario. Los pastizales son particularmente adecuados para la alimentación del ganado bovino y equino y la mayor parte de la superficie correspondiente a este tipo de vegetación se dedica para este propósito. El ganado de carga en la actualidad está en decadencia debido a la competencia de los

medios modernos de transporte, sin embargo, la demanda de carne y productos derivados de la leche se ha incrementado de manera considerable. El aprovechamiento del pastizal en el área de estudio en la mayor parte de los casos no es el óptimo y en muchos sitios el sobrepastoreo debido a la falta de organización y el uso de técnicas de manejo inadecuadas no permiten obtener el máximo rendimiento. El sobrepastoreo y el pisoteo excesivo impiden muchas veces el buen desarrollo y la reproducción de las especies más nutritivas y apetecidas por el ganado, favoreciendo así el establecimiento de plantas que los animales no comen y que a menudo no son palatables y con frecuencia reducen también la cobertura del suelo exponiéndolo a los efectos de la erosión.

Un serio problema en el ANP “Sierra de Lobos” en lo referente al manejo de los pastizales son las largas épocas de sequía, en las cuales se presenta la falta de agua y de alimento para los animales. En muchas zonas, la vegetación clímax no corresponde por lo general a pastizal (de tipo inducido), pero los habitantes de la zona buscan la manera de inducirlo en muchas partes y mantenerlo de manera indefinida con el fin de lograr su aprovechamiento para la ganadería. Los pastizales con frecuencia corresponden a una fase de la sucesión de comunidades, cuya marcha es detenida (Rzedowski, 2005). Otras veces la dominancia de gramíneas se produce en forma artificial mediante el pisoteo de los animales y la intervención del fuego, y ésta se conserva a la larga con la acción continua de los mismos factores de disturbio. En la zona los pastizales de este tipo en muchas ocasiones sufren de sobrepastoreo y en el caso de los elementos derivados de los bosques de encino que prosperan en lugares con pendientes pronunciadas no siempre protegen el suelo de forma eficiente.

### Análisis por microcuencas

**Microcuenca La Patiña.** El matorral ocupa una parte importante en la superficie de esta microcuenca, encontrándose principalmente en la parte sur en combinación con manchones de pastizal y de áreas con agricultura de temporal. Cabe resaltar que en estas áreas, según estudios previos de cambio de uso de suelo (Mojica, 2008; Valenzuela et al., 2009a; Valenzuela et al., 2009b; Valenzuela et al., 2009c) las partes ocupadas actualmente por el matorral, en años anteriores fueron ocupadas por zonas agrícolas. El matorral presenta una cobertura que se ve afectada por la exposición y la pendiente, pudiendo alcanzar valores desde el 20 hasta el 80%. Es muy común la presencia de áreas erosionadas en forma de canalillos sobre las pendientes menos pronunciadas presentándose áreas con fuerte erosión en forma de cárcavas en zonas con pendientes más pronunciadas. Las especies vegetales más representativas de este grupo son las arbustivas y arbóreas del género *Acacia*, presentándose algunos individuos propios de las zonas semiáridas como especies de los géneros *Opuntia* y *Mammillaria*.

El bosque de latifoliadas presenta en su mayoría individuos del género *Quercus* y algunos individuos de *Arbutus*, sobre

todo en las partes más altas que presentan mayor humedad ambiental. La distribución de esta comunidad se encuentra en las partes más altas de la microcuenca que representan el parteaguas norte de la cuenca presentando valores de cobertura que van del 20 al 40%, presentando grandes zonas aclareadas que tienen uso ganadero y de ecoturismo. Se presenta erosión por cárcavas y por canalillos en algunas partes dependiendo de lo accidentado del terreno. En esta microcuenca se presenta un tipo de vegetación en las partes más altas con difícil acceso, los individuos representativos de esta comunidad son latifoliados con individuos de *Quercus* spp de porte bajo, así como *Arctostaphylos* spp. y presenta coberturas que van desde el 50 hasta el 90%.

**Microcuenca El Palote.** El matorral ocupa las tres cuartas partes de la superficie, presenta una cobertura del 30% que puede alcanzar hasta el 50%. Aquí pueden observarse especies de los géneros *Opuntia*, *Dasyurion*, *Yucca* y arbustivas del género *Acacia*. Se presenta erosión fuerte en forma de cárcavas.

La presencia del bosque de coníferas es reducida, presentándose el 12.22% de la superficie total de ésta microcuenca con el bosque de latifoliadas, dominando la presencia de individuos del género *Quercus* sp., presentando coberturas desde 40 al 60% y cuya estructura se encuentra sometida a fuerte disturbio debido a alteraciones antropogénicas.

**Microcuenca Pénjamo-Irapuato-Silao.** Es la microcuenca que presenta la formación del matorral casi en su totalidad (más del 80% de su superficie). Dentro del matorral, es común encontrar *Myrtillocactus* sp asociado a especies arbustivas del género *Acacia*, la cobertura vegetal en estas partes es difícil de estimar debido a las formas amacolladas, las formas de crecimiento son muy abiertas, en general las apreciaciones van del 20 al 50%. Se presenta erosión muy fuerte en forma de cárcavas y de canalillos.

**Microcuenca Las Amapolas.** Esta microcuenca presenta la porción más pequeña dentro del área de estudio y se caracteriza por estar ocupada casi en un 50% por el bosque de latifoliadas. Las latifoliadas presentes incluyen *Quercus* spp y *Arctostaphylos pungens*, además de algunos individuos aislados del género *Arbutus*, presenta valores de cobertura vegetal que varían desde un 10 hasta un 90% dependiendo de la exposición y la pendiente.

Se presenta erosión moderada en canalillos en pendientes suaves en las partes con suelos someros y pedregosos, logrando percibirse un estrato de gramíneas a nivel del suelo. Cabe destacar el crecimiento del área urbana, ya que es la parte que se encuentra más próxima a la Ciudad de León, Guanajuato.

Aunque de manera muy reducida, el bosque de coníferas se hace presente en las partes montañosas en laderas con exposición al norte, en las que se presenta menor insolación y mayor grado de humedad, las especies de pino destacan por su importancia económica como *Pinus cembroides* del

cual se aprovechan sus semillas. Esta parte presenta una cobertura que varía del 20 al 40 %, además de una alta cobertura cubrimiento de gramíneas a nivel del suelo.

**Microcuenca Hernández Alvarez.** Si bien esta microcuenca se considera de importancia menor en cuanto a que los escurrimientos superficiales que tienen origen en la misma drenan a una superficie geográfica que no se ubica dentro del ámbito de la Ciudad de León, debe tomarse en cuenta debido a su importancia en la contribución para los mantos acuíferos de la región.

La microcuenca que presenta una mayor superficie cubierta con pastizal (44.72%), la cual tiene principalmente uso ganadero, destacan en éste las especies de gramíneas de los géneros *Aristida*, *Bouteloua*, *Chloris*, *Eragrostis*, *Heteropogon*, *Hilaria*, *Lycurus*, *Microchloa*, *Muhlenbergia*, *Rhynchospora*, *Sporobolus*, *Stipa* y *Tridens*, entre otras. Los valores de cobertura más frecuentes para el pastizal en ésta microcuenca van desde el 60 al 80%. Esta vegetación se encuentra muy afectada por el pastoreo desmedido, es muy común que en el área se abran tierras de uso agrícola temporal nómada que posteriormente deja grandes áreas con suelo descubiertas sometidas al impacto directo de las lluvias. La erosión está presente en diferentes grados, dependiendo de la cubierta vegetal.

El matorral se encuentra presente en buena parte (28.31% de la superficie), presentando coberturas que van desde el 10 al 50%, siendo principalmente arbustos del género *Acacia* y algunos miembros de la familia Cactaceae.

## CONCLUSIONES

En general los análisis de fotointerpretación muestran a los bosques de coníferas y latifoliadas como las comunidades vegetales que mejor protegen la superficie del suelo debido a la intercepción de la precipitación. Por otro lado, el área de estudio muestra que el matorral presenta una fisionomía de sus componentes muy abierta, lo que repercute en la erosión hídrica tan marcada en algunas zonas del área, sin embargo, no siempre la lluvia es el principal factor erosivo dentro de las comunidades vegetales. La zona de pastizal mostró ser la asociación vegetal que hace frente de manera más eficaz a la erosión causada por la lluvia dadas sus características de crecimiento.

## LITERATURA CITADA.

Budowski G (1956) Tropical savannas, a sequence of forest felling and repeated burnings. *Turrialba* 6:23-33.

Budowski G (1966) Fire in tropical American lowland areas. Proc. V. Ann Tall Timber Fire Ecology Conference. Tallahassee, Florida. Pp 5-22.

CONAFOR (2006) Sitio web. <http://www.conafor.gob.mx/web>, consultado el 25 de marzo de 2010.

COTECOCA (1979) Coeficientes de Agostadero para el Estado de Durango. Tomo I. SARH-COTECOCA. México. 295 pp.

- Deleage JP (1993) Historia de la Ecología. Una ciencia del Hombre y la Naturaleza. Icaria. Barcelona, España. 364 pp.
- Diamond JM (1979) Assembly of species communities: Chance or competition?. *Ecology*. 60 (6): 1132-1140.
- Drury WH, Nisbet, ICT (1973) Succession. *Journal of Arnold Arboretum* 54: 331-368.
- Flores GJG (2009) Impacto ambiental de incendios forestales. Colegio de Postgraduados-Universidad Autónoma Chapingo. MundiPrensa. México, D. F. 325 pp.
- García E. (1964) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México, Serie Libros Número 6. México. 90pp
- Gentry HS (1957) Los pastizales de Durango. Estudio ecológico, fisiográfico y florístico. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México, D.F. 361 pp.
- González S, González M, Márquez M (2007) Vegetación y Ecorregiones de Durango. Plaza y Valdés. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 219 pp.
- Huston M, Smith T (1987). Plant succession: life history and competition. *American Naturalist*. 130:168-198
- INEGI (1990) Estudio hidrológico de la Alta Babícora, Chihuahua. Departamento de Hidrología de la Dirección General de Geografía. México. 145 pp.
- Kirkby MJ, Morgan RPD (1984) Erosión de los Suelos. Ed. LIMUSA. 375 pp.
- Krebs, CJ (1985) Ecología, estudio de la distribución y la abundancia. Harper and Row Latinoamericana, México. 715 pp.
- Maas MJM, García FO (1990) La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. *Ciencia y Desarrollo* 15 (90): 21-36
- Marroquín JS, Borja GL, Velázquez CR, de la Cruz CJA (1964) Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. INIF. Publicación Especial No. 2. México. 166 pp.
- Martínez RM (1985) Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. En: Gómez P., Del Amo, S. (Eds.) Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. INIREB, Alhambra Mexicana. 240 pp.
- Mojica GA (2008) Cambio de uso de suelo en la vertiente sur del Área Natural Protegida Sierra de Lobos, Guanajuato. Tesis de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Juárez del Estado de Durango. 61 pp.
- Muller CH (1940) Plant sucesión in the Larrea-Flourensia climax. *Ecology* 21:206-212.
- Rodríguez TDA (2009) Incendios Forestales. Universidad Autónoma Chapingo-MundiPrensa. México, D. F. 604 pp.
- Rzedowski J, Mc Vaugh R (1966) La vegetación de Nueva Galicia. *Contr: Univ. Mich. Herb.* 9:1-123.
- Rzedowski J (1978) Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México, D. F. 432 pp.
- Rzedowski J (2005) Vegetación de México. CONABIO. México, D. F. 400 pp.
- SARH (1985) Inventario Forestal del Estado de Coahuila. SARH. Pub. Esp. No. 51. México, D. F. 79 pp.
- Sauer C (1944) Geographical sketch of early man in North America. *Geogr. Rev.* 34:529-573.
- Sauer C. (1950) Grassland, climax, fire and man. *Journ. Range Management*. 3:16-21.
- Shreve F (1951) Vegetation of the Sonoran Desert. *Carn. Inst. Wash. Publ.* 591:1-192.
- Tarin-Torres, G. 1993. La vegetación natural. In. Loyer, J.; Estrada, J.; Jasso, R.; Moreno, L. (Eds.) 1993. Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. INIFAP-SARH/ORSTOM. 367 pp.
- Valenzuela LM, Potisek MC, González CG, Chavez RE, González JL (2009a) Dinámica del cambio de uso de suelo en la microcuenca "Hernández Alvarez" en la vertiente sur de la Sierra de Lobos, Guanajuato. *AGROFAZ* 9:2 pp. 171 – 178.
- Valenzuela LM, González JL, Trucios R, Mojica AS (2009b) Uso de suelo en la microcuenca La Patiña en el Sur de la Sierra de Lobos Guanajuato, Mexico. *Revista Chapingo Serie Zonas Aridas*. 8:1 pág. 1 – 9.
- Valenzuela LM, Macías H., Velázquez MA, Muñoz VA (2009c) Recursos vegetales en el Área Natural Protegida Sierra de Lobos en El Estado de Guanajuato. *AGROFAZ* 9:2 Pp. 111 – 116



**UJED**  
UNIVERSIDAD JUÁREZ  
DEL ESTADO DE DURANGO



**FCB**  
FACULTAD DE  
CIENCIAS BIOLÓGICAS



Árido-Ciencia es una revista de difusión científica de la  
Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva  
de los autores y no necesariamente reflejan la postura de la revista.

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta obra, siempre que los extractos sean  
reproducidos literalmente sin modificaciones y que se mencione la fuente y la fecha.

Todos los derechos reservados © Copyright 2016  
[arido-ciencia@ujed.mx](mailto:arido-ciencia@ujed.mx)

# COMITÉ EDITORIAL EXTERNO

**Dr. Arturo Angulo S.**  
Universidad de Costa Rica

**Dr. Agustín Aragón García**  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

**Dr. Salvador Arias Montes**  
Instituto de Biología UNAM

**Ph.D. Carlos A. Blanco**  
The University of New Mexico

**Dr. Arturo Carrillo Reyes**  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

**Dr. Andrés Eduardo Estrada Castillón**  
Facultad de Ciencias Forestales UANL

**Dr. Joel D. Flores Rivas**  
IPICyT, A.C.

**Dr. Héctor Gadsden Esparza**  
Instituto de Ecología, A.C.

**Dr. Mario Alberto García Aranda**  
Especies, Sociedad y Hábitat, A.C.

**Dra. Deneb García Ávila**  
Facultad de Biología UMSNH

**Dr. José Luis García Hernández**  
Facultad de Agricultura y Zootecnia UJED

**Dr. Rafael A. Lara Reséndiz**  
Univ. of California, Sta. Cruz

**Dr. Iván Lira Torres**  
Universidad Nacional Autónoma de México

**Dr. Alejandro M. Maeda Martínez**  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

**Dra. Norma L. Manríquez Morán**  
Universidad Autónoma del Edo. de Hidalgo

**Dr. Rodolfo Valentino Marcano Brito**  
Universidad Central de Venezuela

**Dr. Jorge A. Mauricio Castillo**  
Universidad Autónoma de Zacatecas

**Dr. Fausto Méndez de la Cruz**  
Instituto de Biología UNAM

**Ph.D. Jafet M. Nassar**  
Instituto Venezolano de Inv. Científicas

**Dr. Aldo Iván Ortega Morales**  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

**Dr. Numa P. Pavón**  
Universidad Autónoma del Edo. de Hidalgo

**Dra. Tamara M. Rioja Paradela**  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

**Dr. Roger Iván Rodríguez Vivas**  
Universidad Autónoma de Yucatán

**Dra. Fátima B. Salazar Badillo**  
INIFAP - Dpto. de Biología Zacatecas

**Dra. Laura M. Scott Morales**  
Facultad de Ciencias Forestales UANL

**Dr. José Villanueva Díaz**  
INIFAP CENID RASPA

**M.C. Avigáil Aguilar Contreras**  
Herbario Medicinal IMSS

**Dr. José Juan Flores Maldonado**  
Especies, Sociedad y Hábitat, A.C.



Fotografía por  
Sandra Leyva

Crecida del Río Aguanaval en Septiembre 2016  
a la altura de las localidades Nazareno,  
Durango y Flor de Mayo, Coahuila.



# ÁRIDO CIENCIA



[www.aridociencia.mx](http://www.aridociencia.mx)