



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS



**MICRO-REGIONALIZACIÓN, CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y
RETENCIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA EN EL ESTABLECIMIENTO DE
ESPECIES FORESTALES EN ZONAS ÁRIDAS**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA:

María Monserat Rodríguez Alvarado



Abril de 2017

**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

Bermejillo, Durango, México.



MICRO-REGIONALIZACIÓN, CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y
RETENCIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA EN EL ESTABLECIMIENTO DE
ESPECIES FORESTALES EN ZONAS ÁRIDAS

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de María Monserat Rodríguez Alvarado autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, estuvo constituido por:

DIRECTOR: _____

Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

ASESOR: _____

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

ASESOR: _____

Dr. Francisco Guadalupe Echavarría Chairez

ASESOR: _____

Dr. Martín Martínez Salvador

ASESOR: _____

Dr. Marco Andrés López Santiago

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi posgrado, dándome la fortaleza y sabiduría para continuar en esta fase de mi vida.

A mis padres y a mis hermanos por estar siempre conmigo brindándome apoyo. A Juan Pedro y a Mayra por su compañía. A mi sobrino Adolfo Jaziel por la felicidad que me ha regalado.

A mi esposo por el amor, la paciencia y las palabras de aliento, sobre todo por su apoyo para realizarme profesionalmente.

A mis maestros, compañeros y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido al logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Aurelio Pedroza Sandoval por el apoyo, los conocimientos y el tiempo dedicado para la realización de la presente investigación.

A los miembros del comité asesor por contribuir con sus importantes observaciones.

A las Autoridades de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo y a todas aquellas personas que conforman el Posgrado de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas.

A todos los investigadores y maestros que imparten clases en el posgrado por compartir sus valiosos conocimientos.

Al M.C. Antonio Chávez Rivero y al técnico Joel Burgueño por su ayuda en el establecimiento del experimento.

Al M.C. Gabriel García Herrera por facilitar la estación micrometeorológica, al M.C. Luis Gerardo Yáñez Chávez y a la Ing. Máyela Rodríguez González por el apoyo en la instalación de la misma y en el resguardo de datos.

Al Ing. Ricardo Antonio Guerra Adame y a Juan Pedro Rodríguez Alvarado por su participación en el levantamiento de datos.

A la M.C. Alondra Campos Villarreal, a la Ing. María de Jesús Huasanche López, al Ing. Alejandro Porras Caldera y al Ing. Jesús Emmanuel Pérez Salinas por el apoyo en la medición de las variables fisiológicas.

Mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para la realización del posgrado.

DATOS BIOGRÁFICOS

La C. María Monserat Rodríguez Alvarado, es originaria del estado de Durango, México, es Ingeniero en Sistemas Agrícolas, título obtenido en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, egresada en el año 2013. Obtuvo el grado de Ingeniero con la tesis “Himenópteros parasitoides asociados a plagas de la vid (*Vitis vinífera* L.)” en noviembre de 2013, dirigida por el Dr. Fabián García González.

En el último semestre de su licenciatura realizó la estancia pre-profesional en el laboratorio de entomología del INIFAP Campo Experimental General Terán, N.L.

Los estudios de posgrado los realizó en el Programa en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas en la URUZA-UACH, generación 2015-2016. Su investigación titulada “Micro-regionalización, captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica en el establecimiento de especies forestales en zonas áridas” fue dirigida por su tutor y asesor Dr. Aurelio Pedroza Sandoval.

La C. Rodríguez Alvarado participo con ponencias en modalidad de cartel en los XI y XII Congresos Nacionales Sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO II.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO II.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO III.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO III.....	ix
CAPITULO I.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 HIPÓTESIS.....	8
1.4 LITERATURA CITADA.....	9
CAPITULO II.....	12
INTRODUCCIÓN.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES.....	26
LITERATURA CITADA.....	27
CAPITULO III.....	30
3.1 INTRODUCCIÓN.....	31
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	34
3.2.2 Diseño experimental y tratamientos.....	34
3.2.3 Obtención de la fibra de maguey	35
3.2.4 Establecimiento del experimento	35
3.2.5 Variables medidas	36
3.2.6 Análisis estadístico.....	37
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
3.3.1 Características físico-químicas del suelo	38
3.3.2 Crecimiento y desarrollo	40
3.3.3 Microcuencas captadoras de agua de lluvia en el establecimiento y desarrollo de mezquite y atriplex.....	44
3.3.4 Efecto de los retenedores de humedad	46
3.3.5 Indicadores fisiológicos.....	48

3.3.6 Correlación de las variables morfológicas y fisiológicas con la precipitación	49
3.4 CONCLUSIONES	50
3.5 LITERATURA CITADA.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO II

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE ARIDEZ.....	19
FIGURA 2. ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ARIDEZ DE EMBERGER MODIFICADO POR STRETTA Y MOSIÑO (1963).....	20
FIGURA 3. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS NAZAS Y AGUANAVAL.	23
FIGURA 4. TIPOS DE VEGETACIÓN PRESENTE EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS NAZAS Y AGUANAVAL.	24
FIGURA 5. SUELOS EN BASE A LA CLASE TEXTURAL EN LA CUENCA BAJA DE LOS RÍOS NAZAS Y AGUANAVAL.	25
FIGURA 6. MICRO-REGIONALIZACIÓN EN LA CUENCA BAJA DE LA RH 36 INTEGRADAS POR EL ÍNDICE DE ARIDEZ, LA VEGETACIÓN Y EL TIPO DE SUELO.	25

ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO II

CUADRO 1. CATEGORÍAS DE ÍNDICE DE ARIDEZ PARA LAS ESTACIONES, SEGÚN EL ÍNDICE DE ÁRIDEZ DE EMBERGER MODIFICADO POR STRETTA Y MOSIÑO (1963).	22
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS DEL CAPÍTULO III

FIGURA 1. CROQUIS EXPERIMENTAL. TRATAMIENTOS: HI (HIDROGEL), VER (VERMICOMPOSTA), FM (FIBRA DE Maguey), TES (TESTIGO). ESPECIES FORESTALES: ATRIPLEX SP. (COLOR BEIGE) Y PROSOPIS SP. (COLOR BEIGE).....	36
FIGURA 2. ALTURA DE PLANTA A TRAVÉS DEL TIEMPO DE PROSOPIS SP. Y ATRIPLEX SP. EN RELACIÓN A LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA POR EFECTO DE LLUVIA.....	41
FIGURA 3. DIÁMETRO DEL TALLO A TRAVÉS DEL TIEMPO DE PROSOPIS SP. Y ATRIPLEX SP. EN RELACIÓN A LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA POR EFECTO DE LLUVIA.	42
FIGURA 4. PORCENTAJE DE SOBREVIVENCIA EN PROSOPIS SP. Y ATRIPLEX SP.	42
FIGURA 5. VIGOR EN LAS PLANTAS PROSOPIS SP. Y ATRIPLEX SP. DURANTE EL PRIMER AÑO DESPUÉS DEL TRASPLANTE.	43
FIGURA 6. COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD EDÁFICA EN PROSOPIS SP. Y ATRIPLEX SP.	44

ÍNDICE DE CUADROS DEL CAPÍTULO III

CUADRO 1. CATEGORÍAS DE ÍNDICE DE ARIDEZ PARA LAS ESTACIONES, SEGÚN EL ÍNDICE DE ARIDEZ DE EMBERGER MODIFICADO POR STRETTA Y MOSIÑO (1963).....	22
CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EN DIFERENTES FUENTES DE RETENEDORES DE HUMEDAD EN EL SUELO.	39
CUADRO 2. EFECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y RETENCIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA CON Y SIN MICROCUENCA EN DIFERENTES CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL MEZQUITE (PROSOPIS SP.).....	45
CUADRO 3. EFECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y RETENCIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA CON Y SIN MICROCUENCA EN DIFERENTES CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL ATRIPLEX (ATRIPLEX SP.).....	46
CUADRO 4. EFECTO DE DIFERENTES RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA EN DIFERENTES CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE MEZQUITE (PROSOPIS SP).	47
CUADRO 5. EFECTO DE DIFERENTES RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA EN DIFERENTES CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE ATRIPLEX (ATRIPLEX SP).	48

CAPITULO I

MICRO-REGIONALIZACIÓN, CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y RETENCIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA EN EL ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES FORESTALES EN ZONAS ÁRIDAS

MICRO-REGIONALIZATION, RAINWATER HARVESTING AND SOIL MOISTURE RETENTION IN THE PLANTING OF FOREST SPECIES IN DRYLANDS

María Monserat **Rodríguez Alvarado**¹ y Aurelio **Pedroza Sandoval**²

RESUMEN

Más del 50 % del territorio de México es árido. En estas regiones, la degradación de los suelos se ha incrementado en las últimas décadas lo que hace necesario la implementación de prácticas tecnológicas que mitiguen este problema. El objetivo de este estudio, fue hacer una evaluación de diferentes retenedores de humedad en el suelo en un sistema de microcuencas captadoras de agua de lluvia para el establecimiento de dos especies forestales *Atriplex sp* y *Prosopis sp*, previo estudio de micro-regionalización de la cuenca baja de los ríos Nazas-Aguanaval del Estado de Durango, México. Para la micro-regionalización se usó el programa ArcMap 10.1, utilizando cartografía digital. El estudio se llevó a cabo en la localidad de Roma-Texas, Municipio de Mapimí, del Estado de Durango. El diseño experimental fue un bloques al azar en un arreglo de parcelas subdivididas, con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron las microcuencas captadoras de agua de lluvia y el testigo (sin microcuencas); las parcelas medianas las fuentes retenedoras de humedad edáfica: hidrogel (20 Kg ha⁻¹), composta (60 Ton ha⁻¹), fibra de maguey (30 Ton ha⁻¹), más el testigo (sin aplicar un retenedor); y las parcelas chicas fueron dos especies forestales *Atriplex sp* y *Prosopis sp*. Se identificaron dos principales microrregiones A₂ y B₂, correspondientes a las zonas más y menos áridas de las zonas áridas, respectivamente. Las microcuencas captadoras de agua de lluvia combinado con la aplicación de hidrogel y con menor efecto la composta, mejoraron la disponibilidad de agua en el suelo, lo cual favoreció significativamente ($P \leq 0.05$) la altura y vigor de *Prosopis sp*. y la altura de *Atriplex sp*; la fibra de maguey no tuvo ningún efecto.

Palabras clave: Reforestación, Degradación de suelos, Captación de agua de lluvia, Retención de humedad, Zonas áridas.

ABSTRACT

More than 50 % of Mexico's territory is arid. In these regions, soil degradation has increased in recent decades, necessitating the implementation of technological practices to mitigate this problem. The objective of this study was to evaluate soil moisture retention practices in a micro-basin rainwater harvesting system for the planting of two forest species *Atriplex sp* and *Prosopis sp*, prior to making a micro-regionalization study of the lower watershed of the Nazas-Aguanaval rivers of the State of Durango, Mexico. For the micro-regionalization the program ArcMap 10.1 was used, using digital cartography. The study was carried out in the town of Roma-Texas, Municipality of Mapimí, Durango. A randomized block experimental design in a split-plot arrangement with three replicates was used. The large plots were the rainwater harvesting micro-basins and the control (no micro-basins); the median plots were the source of soil water retention: hydrogel (20 Kg ha⁻¹), compost (60 Ton ha⁻¹), and maguey fiber (30 Ton ha⁻¹), plus the control (no water retainer); and the small plots were two forest species *Atriplex sp* and *Prosopis sp*. Two main microregions, A₂ and B₂, were identified, corresponding to the drier and less dry areas of the arid zones, respectively. The rainwater harvesting micro-basins combined with the application of hydrogel and with less effect the compost, improved the availability of water in the soil, which significantly ($P \leq 0.05$) favored the height and vigor of *Prosopis sp*. and the height of *Atriplex sp*; maguey fiber had no effect.

Keywords: Reforestation, Soil degradation, Rainwater harvesting, Moisture retention, Drylands.

¹ Estudiante de la Maestría en RNMAZA, URUZA-UACH.

² Director de tesis y Profesor-Investigador, URUZA-UACH.

I. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas ocupan cerca del 45% de la superficie del planeta donde habitan 2,000 millones de personas, lo que representa 33.8%, de la población mundial (Cruse, 2012; Al-Kaisi *et al.*, 2012; UNCCD, 2013b; López, 2016). Se estima que el 70 % de las áreas productivas están actualmente amenazadas por diversas formas de desertificación (Granados-Sánchez *et al.*, 2013). Este problema se estima que afecta alrededor de 1,964 millones de hectáreas, reconociéndose que los tipos de erosión principales son la hídrica y la eólica con 55.7 y 27.9% de área afectada, respectivamente; en tanto que las erosiones química y física afectan en 11.8 y 4.02%, respectivamente. La regiones que presentan los mayores impactos por los cuatro tipos de degradación son: Asia 38%; África 25.2%; América Latina 15.6%; y Europa 11.3% (López, 2016; Nkonya *et al.*, 2011),

En México las zonas áridas y semiáridas abarcan el 40% de la superficie total del país (Granados-Sánchez *et al.*, 2013), donde la desertificación se ha convertido en un problema de gran envergadura, pues dos terceras partes del territorio nacional (64%) se encuentran ya en un proceso de avanzada degradación (SAGARPA-SIAP, 2014). Estas zonas cuentan con ecosistemas frágiles, altamente susceptibles a la influencia de los factores climáticos y de las actividades humanas, lo que ocasiona la pérdida de recursos naturales y la capacidad productiva de los suelos. El carácter torrencial con que se presenta la precipitación pluvial propicia el arrastre de grandes cantidades de suelo, dejando una alta erosión en las zonas afectadas. El suelo perdido es el de las capas más fértiles, lo que conlleva a su degradación (Tarango, 2011). La actualización más reciente de la degradación edáfica, indica que se presenta en 67.64% del país,

con predominio de la erosión eólica con un 34.94%, la erosión hídrica con un 20%, la degradación química con 8.1% y la degradación física con 4.7% (López, 2016; CONAFOR-U.A. Chapingo, 2013).

Análisis recientes reportan que en poco más de 81% de las 393 cuencas hidrológicas del país, se presenta algún grado de afectación por degradación de suelos (López, 2016; Garrido *et al.*, 2010). La cuenca rio Nazas-Aguanaval es la principal fuente de agua de la región hidrológica 36, ubicada en el norte centro de México. Esta región se divide en tres subcuencas: alta, media y baja. La cuenca baja comprende desde las áreas bajas de la presa Francisco Zarco, hasta llegar a La Laguna de Mayran; se clasifica como zona árida, pues tiene una precipitación promedio anual inferior a 300 mm (Chávez *et al.*, 2011). Se encuentra en la lista de las regiones hidrológicas prioritarias por su alta biodiversidad y un riesgo elevado de degradación (CONABIO, 2012).

En el estudio del potencial productivo regional, es común la técnica de micro-regionalización a nivel de cuenca hidrológica, entendida ésta como la unidad territorial donde la gestión de los recursos naturales, incluyen las actividades humanas con efecto físico, económico y ambiental. Se dirige la atención a los beneficiarios y se trata de una gestión “participativa e integrada”, con el compromiso de la población local. Desde esta perspectiva se diseñan e implementan las diferentes acciones desde el punto de vista territorial.

Existen diferentes acciones que pueden ayudar a revertir la degradación, sobre todo de los suelos, entre las que destacan: regeneración natural mediante la protección de

las tierras; reforestación, así como la fijación de dunas de arena y cinturones verdes. La forestación a base de la plantación de árboles, es uno de los diversos métodos a que se recurre para invertir los procesos de desertificación, pues éstos juegan un papel importante en la estabilización de las tierras y en la protección de las cuencas. Además la recuperación de la cubierta vegetal también contribuye a mitigar los efectos del cambio climático (FAO, 2008).

Diversos estudios sugieren que en zonas áridas y semiáridas el agua es el factor crítico para el buen desarrollo de las plantas (Padilla & Pugnaire, 2006; Larrea-Alcázar & Soriano, 2008; Fardella *et al.*, 2014), sobre todo en las primeras etapas de crecimiento (Padilla, 2008). En general el estrés ambiental baja la capacidad de supervivencia y reproducción de las especies vegetales que se encuentran en dichas áreas. Lo anterior involucra además de la disponibilidad de agua, patrones de lluvia altamente impredecibles, suelos pobres en nutrientes (nitrógeno y fósforo) con alta variación espacial y temporal (Schlesinger *et al.*, 1990) y suelos con alta salinidad (Al-Karaki, 2000).

Los sistemas de captación de agua de lluvia, la conservación de la humedad en el suelo y la forestación con especies vegetales, está probando ser una buena integración de prácticas tecnológicas, que permite mitigar el problema de la degradación de los suelos, por el efecto de las erosiones hídrica y eólica, ante la baja cubierta vegetal que tienen los suelos en zonas áridas, así como el carácter torrencial de las lluvias, las cuales en lugar de beneficiar, perjudican por el gran volumen de arrastre de suelos que producen.

Las microcuencas captadoras de agua de lluvia, son una alternativa cada vez más generalizada en las regiones áridas. La ventaja de las técnicas de microcaptación de agua de lluvia, es la posibilidad de combinarlas con las de conservación de humedad en el suelo, ante eventos de precipitación torrencial y altos escurrimientos y con ello tener un mejor control de la erosión. Las microcuencas son unidades espaciales de diversas dimensiones, desde 1 m² hasta de mayores medidas, según lo requieran las condiciones específicas del lugar y que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo. Los procesos asociados al recurso agua, tales como escorrentía, erosión hídrica y producción de sedimentos, normalmente se analizan sobre este tipo de unidades espaciales (Cruz-Martínez, *et al.* 2016). De acuerdo al Manual de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia (FAO, 2000), las técnicas de microcaptación involucran conservación del suelo, aumento de la disponibilidad de agua para las plantas, mitigar los efectos de la sequía y mejorar el entorno ecológico.

La conservación de la humedad en el suelo está directamente relacionada con la precipitación pluvial y la temperatura atmosférica, lo que hace oportuno la búsqueda de técnicas que ayuden a retener el agua y conserven la humedad. El uso de coberturas vegetales como los residuos de cosecha de diferentes cultivos (leguminosas, gramíneas, entre otras), ya sea en forma de esquilmos o residuos, los cuales ayudan a disminuir la evaporación edáfica (Gill & McSorley, 2012; Xiaoli *et al.*, 2012; Taparauskienė & Miseckaitė, 2014). Dentro de los efectos positivos que tiene la mayor disponibilidad hídrica en las plantas cuando éstas son sometidas a un efecto de estrés por la baja y errática precipitación pluvial destacan: el aumento en el porcentaje de supervivencia; aumento en el crecimiento y acumulación de biomasa; mayor

producción de semillas y un mejor comportamiento fisiológico evidenciado a través de la tasa fotosintética (Gutiérrez *et al.*, 1997, Pugnaire *et al.* 2004). Desde esta perspectiva, cualquier factor biótico o abiótico que pueda inducir el buen desarrollo de las plantas en condiciones de estrés hídrico es realmente valioso, porque permite como resultado mayor productividad y estabilidad en la vegetación (Ferrera-Cerrato, 1983).

Los residuos orgánicos de cosecha, así como la composta orgánica, sobre todo ésta última, tiene una actividad como mejorador del suelo y la capacidad de retención de la humedad, mediante el aumento de la porosidad y la aireación, lo que afecta positivamente a los microorganismos benéficos (Navarro, 2009). Adicionalmente, al emplear materia orgánica proveniente de las compostas, permite al suelo estabilizar su estructura y formar agregados, lo cual genera una nueva distribución de la porosidad y por ende contribuye en la capacidad de retención de humedad (Mendoza y Macías, 1998), así como a mejorar la fertilidad del suelo (Pedroza y Durán, 2005).

Adicionalmente, se ha estado generalizando el uso de retenedores sintéticos como los denominados hidrogeles, que pueden representar toda una alternativa en regiones donde la evaporación edáfica llega a ser hasta 15 veces superior a la precipitación potencial (Montaño *et al.*, 2007; Ríos *et al.*, 2010). Estos materiales son copolímeros que al ser aplicados en el suelo, absorben y retienen grandes cantidades de humedad y nutrientes, manteniéndolos disponibles para la planta. Los hidrogeles comerciales son granulados, los cuales tienen un contenido de materia seca de 85-90%, una densidad aparente de 0.85 g mL^{-1} , peso específico de 1.10 g cm^{-3} , un pH de 8.1. Este

tipo de productos ofrecen un máximo de absorción de 150 veces su propio volumen y una capacidad de retención de 980 ml de agua L⁻¹, con una disponibilidad de 95% y una vida productiva de cinco años. Las dosis en que se recomienda varía de 5 a 25 kg ha⁻¹, dependiendo del tipo de suelo, cultivo y clima (SNF Inc., 2011). Adicional al efecto de retención del agua en el suelo, estos productos mejoran la aireación y mantiene los parámetros de temperatura que fomentan un mejor desarrollo de las plantas, con el consecuente efecto en el rendimiento, como se ha mostrado experimentalmente en diferentes cultivos como la soya (Gales *et al.*, 2012), acelga (Gutiérrez *et al.*, 2008), plántulas forestales (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011), plantas forestales (Ríos-Saucedo *et al.*, 2004.) y en apio (Kosterna *et al.*, 2012).

El objetivo del presente estudio fue hacer una evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica y el establecimiento de diferentes especies forestales, para la restauración ecológica de áreas degradadas en zonas áridas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Contribuir al conocimiento sobre prácticas de retención de humedad en el suelo y su impacto en el crecimiento y desarrollo de especies vegetales nativas en un sistema de captación de agua de lluvia, en suelos degradados en zonas áridas.

1.2.2 Objetivos específicos

Identificar las microrregiones de la cuenca baja de los ríos Nazas-Aguanaval en base a la condición de aridez, tipos de vegetación y suelo, para una mejor planeación en el uso de los recursos agua-suelo-planta-animal.

Evaluar la capacidad de retención de agua, de un sistema de microcuencas en un área agroforestal, junto con dos especies vegetales de zonas áridas, con potencial ganadero a base de ramoneo.

Evaluar diferentes retenedores de humedad en el suelo y su impacto en el crecimiento y desarrollo de especies forestales forrajeras en zonas áridas.

1.3 HIPÓTESIS

La región de la cuenca baja de los ríos Nazas-Aguanaval, no presenta variación microrregional en cuanto a grado de aridez y tipos de vegetación y suelo.

El porcentaje de sobrevivencia, crecimiento y desarrollo de las plantas de *Prosopis sp.* y *Atriplex sp.*, no varían ante condiciones diferentes de disponibilidad hídrica producto de captación de agua de lluvia y conservación de la humedad edáfica.

1.4 LITERATURA CITADA

- Al-Karaki, G. (2000). Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, (2000) 10, 51–54. DOI:10.1007/s005720000055
- Cruz-Martínez, A., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I., Samaniego-Gaxiola, J. A. y Hernández-Salgado, R. 2016. Captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica en el establecimiento de buffel (*Cenchrus ciliaris* L). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(2), 159-172. DOI: <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v7i2.4171>
- Cruse M. R. (2012). Agriculture: is climate change a serious issue?. *Agrociencia (Uruguay)*, 16 (3), 9-19.
- CONABIO. (2012). Lista de Regiones Hidrológicas Prioritarias. Consultado el 04 de agosto de 2015. Disponible en: www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html
- CONAFOR y UACH (2013). Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo. Jalisco, México.
- Chávez, R., González, C., González, B. & López, D. (2011). La evapotranspiración de la cuenca baja y media del río Nazas. *Retos de la investigación del agua en México*, (2011) 10, 121-129.
- Fardella, C., Oses, R., Torres-Díaz, C., & Molina-Montenegro. (2014). Hongos endófitos antárticos como herramienta para la reintroducción de especies nativas en zonas áridas. *Bosque*, 35 (2), 235-239. DOI: 10.4067/S0717-92002014000200011
- Ferrera-Cerrato R. 1983. La micorriza vesículo-arbuscular en los diferentes agroecosistemas. In: Symposium: La sequía y su impacto. Colegio de Postgraduados. Edo. de México. Pp.13-17.
- FAO (2000). Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, experiencias en América Latina. Santiago de Chile. Serie zonas áridas y semiáridas.
- FAO. (2008). Bosques, árboles y agua en las tierras áridas: un equilibrio delicado. Consultado el 20 de agosto de 2015. Disponible en: www.fao.org/docrep/010/a1598s/a1598s06.htm
- Galeş, D., Răus, L., Ailincăi, C., Jităreanu, G. (2012) The influence of Aquasorb on morpho-physiological properties on corn and soybeans yield, in the conditions of Iasi County. *Agronomy Series of Scientific Research/Lucrări Științifice Seria Agronomie* 55 (2), 173-178.

- Garrido, P.A., Cuevas, M., Cotler, H., González, D. y Tharme, L. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación ambiental. Ciencia y política pública*, 2 (1), 25-46.
- Gill, H. & McSorley, R. (2011). Effects of different organic mulches on the soil surface arthropod community and weeds in snapdragon. *International Journal of Pest Management*, 58 (1), 33-40. DOI: 10.1080/09670874.2011.641606
- Granados-Sánchez, D., Hernández, G., Vázquez, A. & Ruíz, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19 (1), 45-66.
- Gutiérrez, C., Sánchez, C., Cueto, W., Trucios, C., Trejo, C. & Flores, H. (2008). Efecto del polímero Aquastock en la capacidad de retención de humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la acelga (*Beta vulgaris* var *cycla*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 7 (1), 65-72.
- Gutiérrez, R., Meserve, L. & Herrera, S. (1997). Effects of small mammals and vertebrate predators on vegetation in the Chilean semiarid zone. *Oecologia*, 109 (3), 398-406. DOI: 10.1007 / s004420050099
- Kosterna, E., Zaniwicz, B., Anna, R. & Franczuk, J. (2012) The effect of Agrohydrogel and irrigation on celeriac yield and quality. *Folia Hort*, 24 (2), 123-129. DOI: 10.2478/v10245-012-0015-z
- Larrea-Alcázar, M. & Soriano, J. (2008). Columnar cacti-shrub relationships in an Andean semiarid valley in western Venezuela. *Plant Ecology*, 196 (2), 153-161. DOI: 10.1007/s11258-007-9344-3
- López, S.A. (2016). NEUTRALIZAR LA DEGRADACIÓN DE LAS TIERRAS, UNA ASPIRACIÓN GLOBAL. ¿ES POSIBLE LOGRARLO EN MÉXICO? Land Degradation Neutrality, a Global Aspiration. Is it Possible to Achieve in Mexico?. *Terra Latinoamericana*, 34 (2), 239-249.
- Maldonado-Benítez, K., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H. & Cetina-Alcalá, V. (2011) Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia* 45(3), 389-398.
- Montaño, A., Camargo, R., García, S. & Monroy, A. (2007). *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos*. Distrito Federal, Mundi-Prensa SA DE CV.
- Navarro, G. (2009). Agricultura orgánica y alternativa. Universidad Autónoma, Chapingo, Chapingo, Texcoco, México.
- Nkonya E., N. Gerber, P. Baumgartner, J. von Braun, A. De Pinto, V. Graw, E. kato, J. Kloos, T. Walter. 2011. The economics of land degradation. Toward an integrated global assessment. Series edited by Franz Heidhues, Joachim von Braun and

- Manfred Zeller. Developmen Economics and Policy. PETER LANG. Impreso en Frankfurt, Gr. <http://dnb.d-nb.de>
- Padilla, R. & Pugnaire, I. (2006). The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and Environment*, 4(4),196-202.
- Pedroza, S. A. & Durán B. S. (2005). Efecto del acolchado plástico, fertilización nitrogenada y composta orgánica en el crecimiento y desarrollo de la sábila *Aloe barbadensis* M. con riego por goteo automatizado. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4, 1-7.
- Pugnaire FI, C Armas, F Valladares. (2004). Soil as a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *Journal of Vegetation Science*, 15 (1), 85-92. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2004.tb02240.x
- Ríos, S., Rivera, G., Valenzuela, N., Trucios, C. & Rosales, S. (2010). Diagnóstico de las reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su sobrevivencia en Durango, México. *Revista Chapingo serie Zonas Áridas*, 11 (2). DOI: dx.doi.org/0000
- SAGARPA-SIAP. (2014). Atlas de las Zonas Áridas de México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México, D.F. Págs.: 162.
- Schlesinger, W., Reynolds, J., Cunningham, G., Huenneke, L., Jarell, W., Virginia, R. & Whitford, W. (1990). Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 247 (4946), 1043-1048. DOI: 10.1126/science.247.4946.1043
- SNF Inc., 2011. Water retainers for soils. Data sheet. Recuperado de: <http://snf.com.au/downloads/Aquasorb>
- Taparauskienė, L. & Miseckaitė, O. (2014). Effect of Mulch on Soil Moisture Depletion and Strawberry Yield in Sub-Humid Area. *Pol. J. Environ. Stud.*, 23 (2), 475-482.
- Tarango, A. (2011). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, marzo, 16-22.
- UNCCD (2013b). 2da Conferencia Científica de la CLD; Aspectos económicos de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía: Metodologías y análisis para la toma de decisiones. Ravisado (28/03/2013) En: <http://2sc.unccd.int/es/inicio>.
- Xiaoli, C., Pute, W., Xining, Z., Xiaolong, R. & Zhikuan, J. (2012). Rainfall Harvesting and Mulches Combination for Corn Production in the Subhumid Areas Prone to Drought of China. *J. Agronomy & Crop Science*, 198 (4), 304-313. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2012.00508.x

CAPITULO II

MICRO-REGIONALIZACIÓN MEDIANTE INDICADORES DE ARIDÉZ, TIPOS DE VEGETACIÓN Y TIPOS DE SUELO DE LA CUENCA BAJA DEL RIO NAZAS-AGUANAVAL, MÉXICO

MICRO-REGIONALIZATION THROUGH ARIDITY INDICATORS, VEGETATION TYPES AND SOIL TYPES OF THE NAZAS-AGUANAVAL WATERSHED, MEXICO

Rodríguez-Alvarado María Monserat¹, Pedroza-Sandoval Aurelio²

RESUMEN

La cuenca baja de los ríos Nazas y Aguanaval forma parte de la región hidrológica 36, ubicada en la zona norte-centro de México, donde el clima es árido y su estado se reporta como alterado debido a las actividades agropecuarias. El presente estudio tuvo como objetivo micro-regionalizar la subcuenca, para una mejor planeación en el uso de los recursos naturales. Mediante el uso del software ArcGis 10.1 y mapas digitales y el uso de base de datos históricos climatológicos de temperaturas máximas y mínimas y precipitación, se obtuvo el índice de aridez y se realizó una interpolación IDW para determinar la variación espacial, y asociando este criterio a los tipos de suelo y vegetación, se obtuvieron diferentes micro-regiones del área de estudio. La cuenca baja del río Nazas comprende un área de 41,178 Km², la cual resultó en tres grandes subregiones en base a la condición de aridez: la más árida (Categoría A₂) y menos árida (Categoría B₂) de las zonas áridas; y la más árida (Categoría A₃) de las zonas semiáridas. La integración de los tres criterios (aridez, suelo y vegetación) generaron dos micro-regiones, las cuales presentan condiciones agroecológicas diferentes, información base que puede ser de utilidad para el uso y manejo sustentable de los recursos naturales de esta región.

Palabras clave: Zonas áridas, Manejo de cuencas, Recursos naturales, Regionalización, índice de aridez.

ABSTRACT

Lower watershed of rivers Nazas and Aguanaval is part of the 36 hydrological region, it is located in north-central region in Mexico, where climate is arid and its status is reported as altered due to agricultural activities. The aim of this present study was to identify the different microregions included in the sub watershed, in order for better planning of the use of natural resources. To micro regionalize were necessary to make use of ArcGis 10.1 software and digital maps, and also climatological historical data (maximum and minimum temperatures and precipitation). Aridity index were also calculated and an IDW interpolation was performed to determine the spatial variation, the results obtained from IDW were associated with types of soil and vegetation, obtaining thus different micro-regions in the study area. The sub watershed of Nazas river covers an area of 41.178 km², which it resulted in three major sub-regions based on the condition of aridity: the driest (Category A₂) and less arid (Category B₂) of arid areas; and the driest (Category A₃) in semi-arid areas. The integration of the three criteria (aridity, soil and vegetation) generated two micro regions, which have different ecological conditions, basic information that can be useful for the sustainable use and management of the natural resources of this region.

Key words: Arid lands, Watershed management, Natural resources, Regionalization, aridity index.

1 Alumna

2 Asesor

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas ocupan el 53.9% de la República Mexicana, la cual tiene una extensión cercana a los 196 millones de hectáreas (CONAZA, 2006), distribuidas principalmente en los Estados del norte y centro-norte del país (González, 2004). La carencia del agua en las regiones áridas es cada vez más apremiante para las actividades, desde las más elementales como el doméstico, hasta para las actividades productivas a diferentes escalas. La escasez y el deterioro de la calidad de las fuentes de agua son elementos de una gestión del recurso hídrico, que en su sentido integral conlleva al enfoque de cuenca hidrológica. La gestión de cuencas hidrográficas ha evolucionado pasando por diversas etapas de desarrollo. En las primeras, formaba parte de la silvicultura y de la hidrología. La participación de la población no se tenía en cuenta. En una segunda etapa, se relacionó con la gestión de los recursos naturales. Se incluyeron actividades que consideraban el beneficio económico. Actualmente se dirige la atención a los beneficiarios. Haciendo una gestión “participativa e integrada”, con el compromiso de la población local (FAO, 2007).

La cuenca Nazas-Aguanaval corresponde a la Región Hidrológica 36 (RH 36), la cual se localiza en el centro norte del país, dentro de las provincias Sierra Madre Oriental, subprovincia de las Sierras Transversas y de la Sierra Madre Occidental y subprovincia de la Altiplanicie con cuencas. Está conformado por 21 municipios del estado de Durango, 6 de Coahuila y 7 Zacatecas, con una superficie estimada de 92, 896 km² (CNA, 2010). Esta área es considerada como una de las regiones hidrológicas prioritarias y corresponde a una zona con reconocimiento científico por su alta biodiversidad, pero amenazada ésta por el alto disturbio y depredación. Este gran

territorio, está dividido en tres grandes subregiones: la alta, más asociada a un clima templado con relieve de mediana altura y el bosque de pino como vegetación predominantes; en tanto que la subcuenca media tiene como predominancia la zona de pastizal y; finalmente la subcuenca baja, con predominancia de vegetación micrófila y xerófila y algunas planicies dedicadas a la actividad agropecuaria con sistema de riego (Chávez-Ramírez *et al.*, 2013). La CONABIO (2012), reporta a toda esta área como una zona, sobre todo en la Cuenca baja, como un ecosistema alterado.

La cuenca baja comprende desde las aguas por debajo de la presa Francisco Zarco, hasta llegar a La Laguna de Mayran; tiene una precipitación promedio anual inferior a 300 mm. Se clasifica como zona árida, con un consumo de agua para la producción agropecuaria proveniente de la parte alta y media de la cuenca y con la extracción de pozos profundos. En esta subcuenca es donde está fuertemente acentuada la problemática de agua, desde el tipo administración, hasta la sobreexplotación de acuíferos, con la consecuente disminución acelerada de la calidad del agua (Chávez *et al.*, 2011; Azpilcueta-Pérez *et al.*, 2017).

La micro-regionalización de unidades territoriales con visión de cuenca hidrológica, está siendo cada vez más demandada, como una forma de focalizar la condición de los recursos naturales, tanto bióticos como abióticos, para su identificación de estado actual y potencial. Desde esta perspectiva, se hace necesario una caracterización más específica de las diferentes micro-regiones, en cuanto a los aspectos del clima así como de algunos elementos del ambiente, que aumenten el conocimiento de estas, para entender su potencial y los cuidados que se deben tener en las propuestas de manejo, considerando su fragilidad natural. Las clasificaciones climáticas aplicadas en

México han sido muy diversas, esta divergencia de métodos, superficies y criterios, obedecen en gran medida al objetivo y la utilidad de la información cartográfica que persiguen los diferentes autores y de los elementos técnicos que aplicaron así como la información que disponían (CONABIO, 1998). El objetivo de este estudio, fue hacer una caracterización micro-regional de la subcuenca baja de los ríos Nazas y Aguanaval, que permita generar información agroecológica que contribuya a una mejor planeación, mediante adecuadas estrategias de manejo para un mejor aprovechamiento de los recursos naturales con enfoque sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica. El estudio se llevó a cabo en la cuenca baja del río Nazas-Aguanaval en las inmediaciones de los Estados de Coahuila, Durango y Zacatecas. La región se ubica a los 26° 00' y 26° 10' latitud norte y 104° 10' y 103° 20' longitud oeste, con una altitud promedio de 1,168 m. El clima es seco desértico, con régimen de lluvias en verano e invierno fresco. La temperatura media anual varía de 19 a 21 °C, el promedio de las temperaturas máximas es de 29 °C y las mínimas de 11 °C, por lo que corresponde a un clima extremo. La precipitación media anual de la región es de 215.5 mm. Debido a las altas temperaturas la mayor parte de la precipitación se evapora, con registros de hasta 1,800 mm en promedio anual de evaporación potencial (García, 1973). La cuenca se divide en tres subcuencas: alta, media y baja (Chávez et al., 2011).

Criterios de regionalización. Considerando a la cuenca hidrológica como unidad base de la planeación de las cadenas productivas, se procedió a la regionalización de la cuenca baja, lo cual consistió en la división de su territorio en áreas más pequeñas con características comunes. Lo anterior con base en que es necesario considerar que la variabilidad espacial de propiedades físico-biológicas, así como del clima en cuencas hidrológicas, es considerable y por lo tanto, su observación y caracterización es función de objetivo en este tipo de estudios (Sánchez-Cohen *et al.*, 2015). Como indicadores de micro-regionalización, se utilizaron el índice de aridez, el tipo de vegetación y el uso del suelo.

Delimitación de la cuenca baja. Utilizando el programa ArcMap 10.1 y mediante el uso de la carta de subcuencas hidrológicas, escala 1:250,000 de CONAGUA modificada por CONABIO (2014a), se realizó la unión de las subcuencas comprendidas desde la presa Francisco Zarco, hasta la Laguna de Mayran. Lo anterior en base al área que comprende la cuenca baja de los ríos Nazas y Aguanaval, de acuerdo a Chávez, et al. (2011). La región está comprendida entre Jaboncillo, Estanque del León, Río Alto Aguanaval, Alto Nazas, Laguna de Viesca y una parte de la Río Medio Aguanaval.

Determinación del índice de aridez. De la página de CONABIO (2014b), se obtuvo la carta de estaciones climatológicas, la cual fue reproyectada. Se hizo un corte de las estaciones ubicadas dentro de la cuenca baja y de algunas cercanas al límite, empleando el software ArcGis. De la base de datos climatológica nacional (sistema

CLICOM) se obtuvieron los datos de temperatura máxima y mínima y precipitación para 19 estaciones (Figura 1).

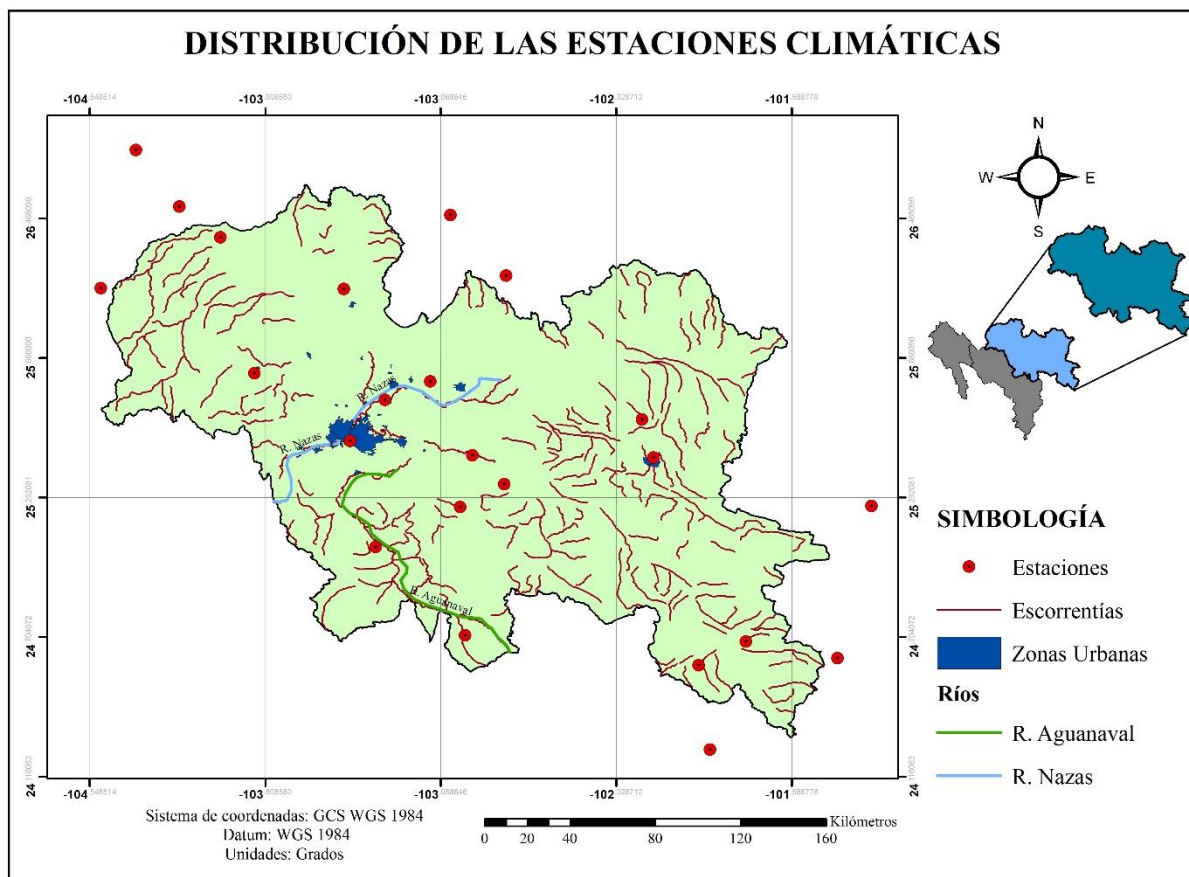


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones climatológicas utilizadas para determinar el índice de aridez.

Para determinar las diferentes micro-regiones con base en el grado de aridez, se calculó el Índice de Aridez de Emberger modificado por Stretta y Mosiño (1963), para las 19 estaciones; la temperatura no se expresa en promedio anual, ya que se eliminaría la influencia preponderante de las temperaturas extremas. Se incluye por tanto la media de las máximas de mes más caliente (M) y la media de las mínimas del mes más frío (m). Dicha ecuación se establece considerando que la evaporación es mayor, cuanto mayor es la oscilación anual de la temperatura, es decir, es función

directa de la diferencia M-m. (Pedroza, 1995). De esta manera la ecuación de Emberger modificada por Stretta y Mosiño (1963) que define el grado de aridez, es:

$$Q' = 1 + \frac{(M + 45)(M^2 - m^2)}{Pp}$$

Figura 2. Ecuación para el cálculo del Índice de Aridez de Emberger modificado por Stretta y Mosiño (1963). Dónde: Q' = Valor del índice de aridez; m = Promedio de la temperatura mínima del mes más frío (°C); M = Promedio de la temperatura máxima del mes más caliente (°C); 45 = constante y; Pp = Precipitación media anual (mm).

Para representar mediante un mapa el índice de aridez de cada estación y su área de influencia, se utilizó el método de interpolación ponderación de distancia inversa (IDW por sus siglas en inglés) en el programa ArcMap 10.1, por ser uno de los interpoladores más utilizados en los estudios de análisis de la variación espacial (Villatoro *et al.*, 2008; Fortis-Hernández *et al.*, 2010).

Generalización de los tipos de vegetación y clases de suelos. La vegetación se generalizó uniendo las subcategorías de bosques, matorrales y pastizales; la vegetación secundaria no fue modificada. La cartografía utilizada corresponde al conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación de la serie V, en la escala 1:250,000 (INEGI, 2015). La cartografía de suelos corresponde a la Serie II del Conjunto Nacional de Datos Vectorial Edafológico Escala 1: 250 000. Para la integración de los suelos se consideraron las clases texturales: fina, media y gruesa. Gruesa (1): Menos del 18 % de arcilla y más del 65 % de arena. Media (2): Menos del 35 % de arcilla y menos del 65 % de arena. Fina (3): Más del 35 % de arcilla (INEGI, 2001).

Integración de criterios de regionalización. La regionalización de la subcuenca se realizó superponiendo las distintas capas: índice de aridez, vegetación y suelos en el programa ArcMap 10.1, identificando las áreas con características comunes de vegetación e índice de aridez, ya que el tipo de suelo con textura media, correspondiente a suelos francos que dominan en toda la subcuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Delimitación de la cuenca baja. La cuenca baja de los ríos nazas y aguanaval está ubicada entre la presa Francisco Zarco y La Laguna de Mayran comprende un área de 41,178 Km², representando el 57.26 % de la cuenca.

Índice de aridez. Se determinaron tres grandes categorías: la más y menos árida de las zonas áridas y la más árida de las zonas semiáridas, correspondiente a 12, 6, y 1 estaciones para cada categoría, respectivamente (Cuadro 1). De acuerdo a la categorización de Straetta y Mosiño (1963), la categoría A₂ de las zonas más áridas de las áridas, pertenece un índice de 222 a 5000, la segunda categoría denominada B₂ que compete a las zonas menos áridas de las áridas, con un índice de 118 a 222. y finalmente la categoría A₃ que corresponde a las zonas más áridas de las semiáridas, el índice es de 67 a 118 (Figura 3).

De acuerdo con lo anterior, la región de la cuenca baja del río Nazas, corresponde la categoría media de aridez, entre las zonas desérticas y semiáridas, correspondiente a áreas en su mayoría con grandes planicies, vegetación predominantemente xerófilo y sujetas a actividad agrícola bajo un sistema de riego, tanto por agua de pozo profundo,

como de agua almacenada en grandes presas de la región, correspondiente a la Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco que integran el Distrito de riego 02. Por otro lado están los sistemas de producción agrícola mucho más reducidos a base de agua de escorrentía y captación de agua mediante un sistema de terrazas. En tanto que el resto del área, corresponde a planicies con diversidad de flora y fauna propia de la región, con uso de suelo para ganado a base de ramoneo, pero muy baja carga animal, que no supera una o dos cabezas por hectárea (Tarango-Arámbula, 2005) .

Cuadro 1. Categorías de índice de aridez para las estaciones, según el Índice de Aridez de Emberger modificado por Stretta y Mosiño (1963).

ESTADO	ESTACIÓN	ÍNDICE DE ARIDEZ
Coahuila	Agua Nueva	A ₂
Coahuila	Viesca	A ₂
Coahuila	Concordia	A ₂
Coahuila	San Pedro	A ₂
Coahuila	El Cuije	A ₂
Coahuila	San Vicente	A ₂
Coahuila	Emiliano Zapata	A ₂
Coahuila	Torreón	A ₂
Coahuila	Presa La Flor	A ₂
Coahuila	San Francisco del Valle	A ₂
Durango	Tlahualilo	A ₂
Zacatecas	Concepción del Oro	A ₂
Coahuila	Parras	B ₂
Durango	Yermo	B ₂
Durango	Mapimí	B ₂
Zacatecas	Gruñidora	B ₂
Zacatecas	Cedros	B ₂
Zacatecas	San Rafael	B ₂
Durango	H. Ganadera El Ojo	A ₃

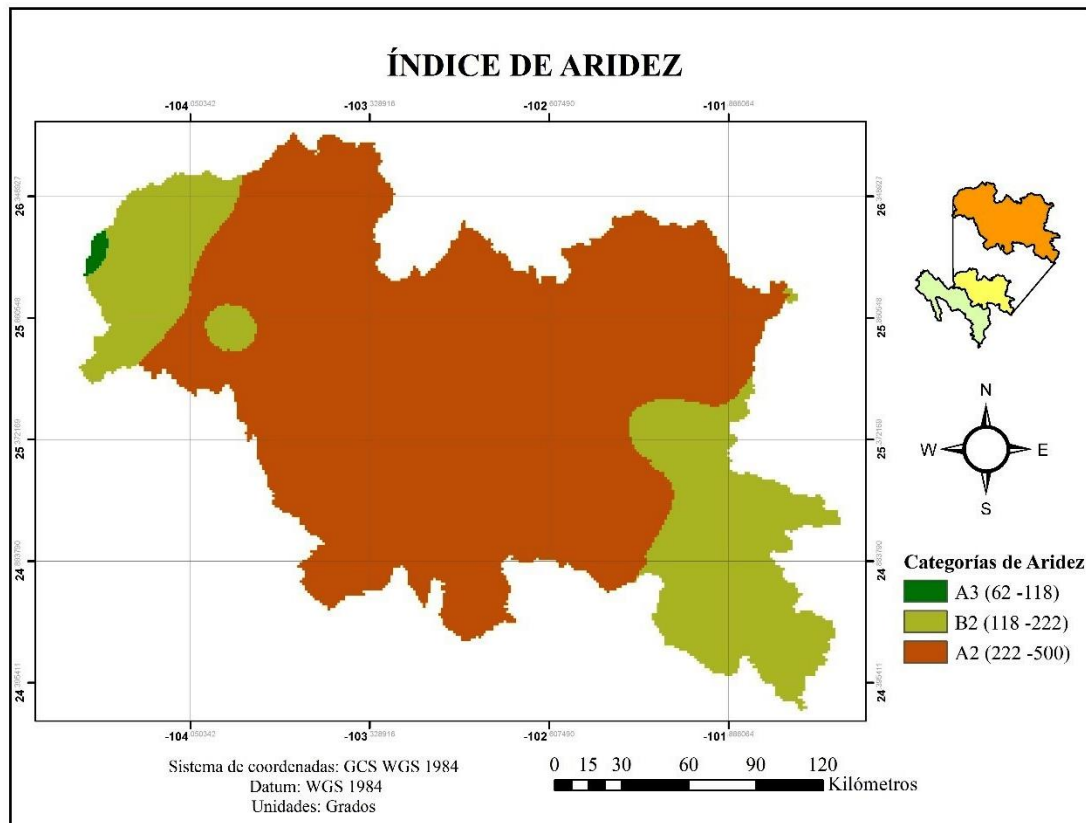


Figura 3. Índice de aridez en la cuenca baja de los ríos Nazas y Aguanaval.

Vegetación y tipos de suelos. En la cuenca baja de la región hidrológica número 36 predomina el matorral xerófilo, ocupando los pastizales, bosques y la vegetación inducida una superficie insignificante en comparación con los matorrales. Las áreas agrícolas ocupan una superficie considerable en la cuenca, ya que la agricultura es una de las actividades económicas de mayor importancia, ocupando alrededor de 450,938 hectáreas (Figura 4). En base a la clase textural en la cuenca, predominan los suelos con textura media, seguidos de los de textura fina (Figura 5). Lo anterior definido en base a la clase textural, la cual indica el tamaño general de las partículas que forman el suelo.

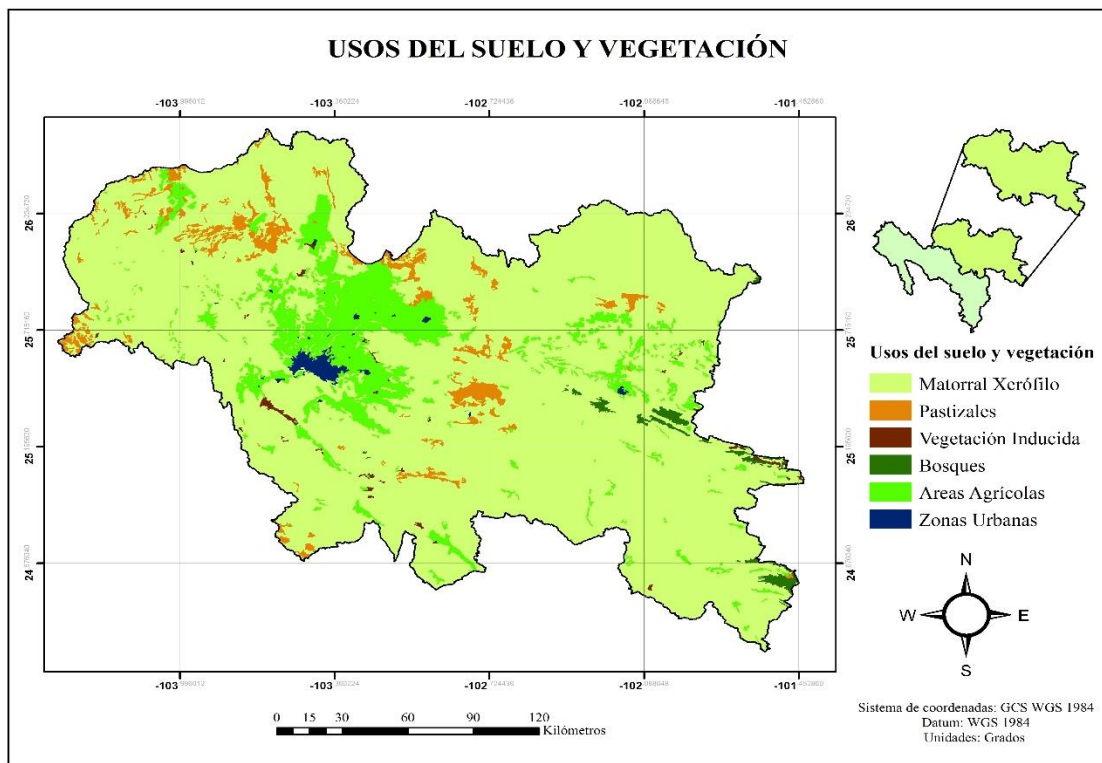


Figura 4. Tipos de vegetación presente en la cuenca baja de los ríos Nazas y Aguanaval.

Regionalización. Al integrar los criterios de vegetación e índice de aridez se identificaron dos subregiones, con las siguientes características (Figura 6): **Región 1:** Suelos de textura media (francos), con predominancia de matorral xerófilo combinado con áreas de pastizales y la última característica, pero la más importante es el índice de aridez A_2 (222-500) que representa a la categoría de zonas áridas de las más áridas; **Región 2:** En esta región dominan los suelos de textura media (francosos), el matorral xerófilo con pequeñas áreas de bosque, e índice de aridez B_2 (118-222) que constituye a las zonas áridas menos áridas.

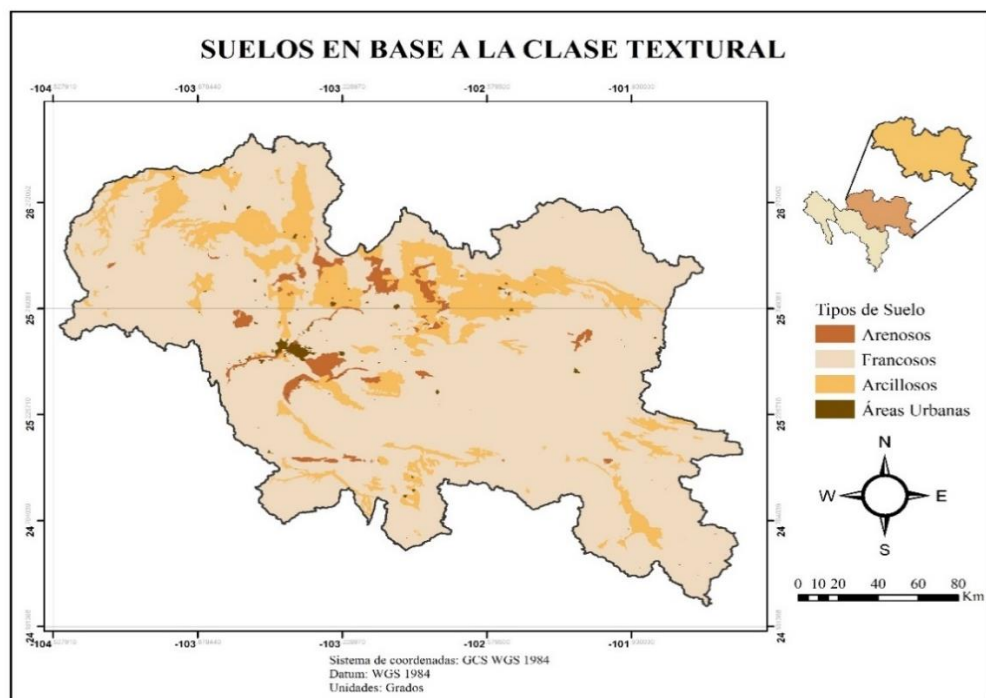


Figura 5. Suelos en base a la clase textural en la cuenca baja de los ríos Nazas y Aguanaval.

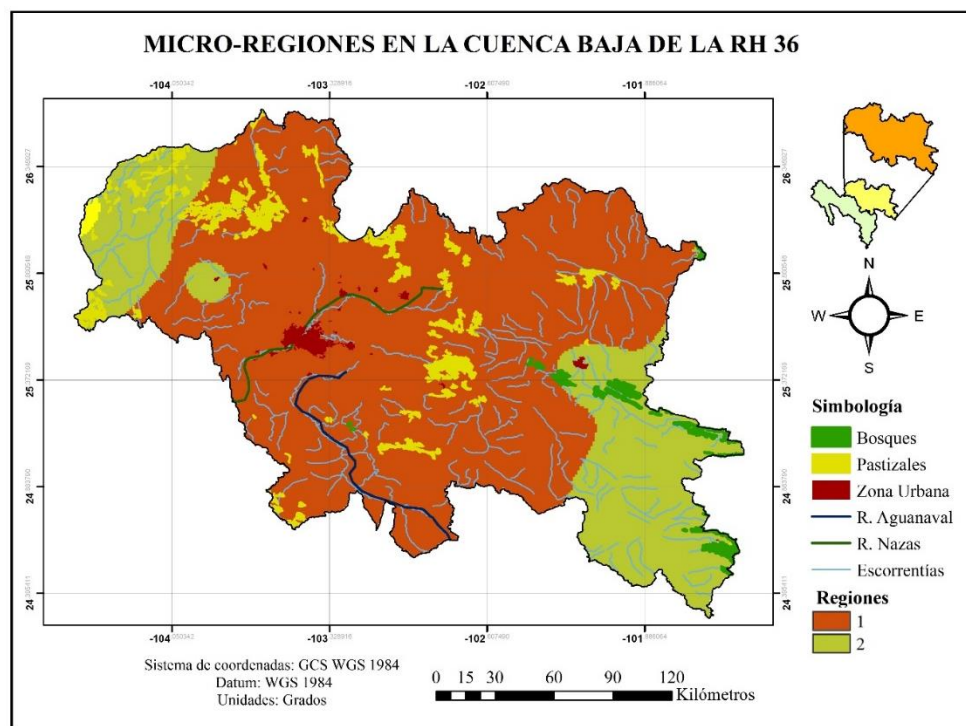


Figura 6. Micro-regionalización en la cuenca baja de la RH 36 integradas por el índice de aridez, la vegetación y el tipo de suelo.

CONCLUSIONES

La cuenca baja corresponde a una superficie de 41,178 Km² que representa el 57.26 % de la cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval, donde se identifican dos micro-regiones que corresponden a las zonas más y menos áridas de las zonas áridas (A₂ y B₂); Cada una de las micro-regiones (A₂ y B₂), presentan condiciones de aridez, tipo de vegetación y tipo de suelo características dentro de sí, lo cual es base para la propuesta de estrategias específicas en el uso, manejo y aprovechamiento de sus recursos naturales.

Las acciones para el manejo de los recursos naturales en la cuenca baja, deben ir encaminadas hacia un aprovechamiento sustentable, considerando la fragilidad ambiental de región con predominancia en categoría de zonas áridas, donde el agua disponible para actividades productivas es el recurso más limitado.

LITERATURA CITADA

- Azpilcueta-Pérez, Pedroza-Sandoval, A. Sánchez-Cohen, Salcedo –Jacobó, M del R. y Trejo-Calzada, R. 2017. Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*zea mays* L.) en la Comarca Lagunera, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 33 (1) 75-83. DOI: 10.20937/RICA.2017.33.01.07
- Consejo de Cuenca Nazas Aguanaval (CCNA). 2010. Marco Político-Administrativo del Consejo de Cuenca Nazas-AguanaVal. Recuperado el 06 de septiembre de 2015, de <http://www.cuencanazasaguanaval.org/>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad). (1998). Carta de Climas de la República mexicana. México, D.F.
- CONABIO. (2012). Lista de Regiones Hidrológicas Prioritarias. Consultado el 04 de agosto de 2015. Disponible en: www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Hlistado.html
- CONAZA (Comisión Nacional de las Zonas Áridas). (2006). Desiertos y Zonas Áridas. Documento de trabajo. Saltillo, Coah.
- CONABIO. (2014^a). Subcuencas hidrológicas. Recuperado el 20 de agosto de la página: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO. (2014^b). Estaciones climáticas. Recuperado el 19 de agosto de la página: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Chávez, R., González, C., González, B. & López, D. (2011). La evapotranspiración de la cuenca baja y media de río Nazas. *Retos de la investigación del agua en México*, 10, 121-129.
- Chávez-Ramírez, E., González-Cervantes, G., González-Barrios, J.L., Dzul-López, E., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A. y Chávez-Simental, J.A. (2013). Uso de estaciones climatológicas automáticas y modelos matemáticos para determinar la evapotranspiración. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4 (4), septiembre-octubre, 2013, pp. 115-126.
- FAO. (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 2007.
- Fortis-Hernández, M., Huerta-García, A., Segura-Castruita, M.A., García-Hernández, J.L., Leos-Rodríguez, J.A., García-Salazar, A. y Valdez-Cepeda, R. (2010). Validación de cuatro modelos de interpolación para cartografiar Nitrato y Amonio en suelo; Validation of Four Interpolation Models for Mapping Nitrate and Ammonium in Soil. *Terra Latinoamericana*, 28 (4), 371-379.
- García, M. E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

- Gómez, D. J.D. & Monterroso, R. A.I. 2012. Caracterización del índice de aridez en México usando dos alternativas de estimación de la evapotranspiración potencial y escenarios de cambio climático. *Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo*, 105-114.
- González, M. (2004). *Las comunidades vegetales de México* (2ª Ed.). México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.
- Global Water Partnership South America (2011). ¿Qué es una cuenca hidrológica? Fondo Peruano para el Agua. Sociedad Geográfica de Lima. Cartilla Técnica. Lima, Perú. 44 p.
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á.; Vázquez-Alarcón, A. y Ruíz-Puga, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19 (1), 45-66.
- INEGI. (2001). Base de datos geográficos, Diccionario de datos edafológicos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Disponible en: [www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/doc/dd_edafologicos\(alf\)_250k.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/doc/dd_edafologicos(alf)_250k.pdf)
- INEGI (2004). Guía para la interpretación de cartografía, Edafología. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EDAFI.pdf>
- INEGI. (2015). Uso de suelo y vegetación; suelos. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/default.aspx>
- Martínez, B. O. y Ruiz, C. M. (2005). *Caracterización y análisis de la sequía en el estado de Coahuila*. Saltillo: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Mercado-Macera, G., Troyo-Diéguez, E., Aguirre-Gómez, A., Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, L. & García-Hernández, J. (2010). Calibración y aplicación del índice de aridez de De Martonne para el análisis del déficit hídrico como estimador de la aridez y desertificación en zonas áridas. *Universidad y Ciencia*, 26, 51-64.
- Pedroza, S. 1995. El déficit hídrico en las plantas. Principios y técnicas de manejo. Universidad Autónoma Chapingo, URUZA. Bermejillo, Dgo. 162 pp.
- Pedroza, S., Sánchez, C., Becerra, L., Ramos, C., Reyes, B., Rosales, P. y Vargas, P. (2014). Regionalización de zonas con escaso régimen pluvial: Estudio de caso zona Centro-Norte del estado de Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9 de abril de 2014.
- Ramírez, A. 1996. Efecto del grado de aridez en la anatomía de cladodios de Morfoespecies de Nopal (*Opuntia spp.*). Tesis para obtener el título de Licenciado

en Biología. División de ciencias biológicas y ambientales, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco.

- Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, Esquivel-Arriaga, G., Bueno-Hurtado, P. y Pedroza-Sandoval, A. (2015). Caracterización hidrológica mínima para estudios en cuencas experimentales con disponibilidad limitada de información en zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 4(2), 185-208 doi: 10.5154/r.rchsza.2015.07.007
- Stretta, E. J.; Mosiño, P. A. 1963. Distribución de las zonas áridas de la república según un nuevo índice de aridez derivado del de Emberger. *Ingeniería Hidráulica en México* Vol. 16.
- Tarango-Arámbula, L. A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 4 (2), 17-21
- Villatoro, M., Enríquez, C. y Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de PH, CA, CICE Y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95-105.

CAPITULO III

ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES FORESTALES BAJO UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y CONSERVACIÓN DE LA HUMEDAD EDÁFICA

ESTABLISHMENT OF FOREST SPECIES UNDER A SYSTEM OF RAIN WATER COLLECTION AND HUMIDITY CONSERVATION

Rodríguez-Alvarado María Monserat¹, Pedroza-Sandoval Aurelio²

RESUMEN

El objetivo del presente estudio, fue evaluar un sistema de microcuencas captadoras de agua de lluvia y el uso de retenedores de humedad edáfica, para el establecimiento de especies nativas forestales nativas que mitiguen el deterioro de los suelos en regiones áridas. El experimento se estableció en la localidad de Roma, municipio de Mapimí, del estado de Durango, México (25° 52' 26.6" LN y 103° 43' 29.7" LW). El diseño experimental fue un bloques al azar en un arreglo de parcelas subdividas, con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron las microcuencas captadoras de agua de lluvia: con y sin microcuencas; las parcelas medianas las fuentes retenedoras de humedad edáfica: hidrogel de la marca Aquagel® (20 Kg ha⁻¹), vermicomposta (60 ton ha⁻¹), fibra de maguey (30 t ha⁻¹), más el testigo (sin nada); y las parcelas chicas fueron dos especies forestales de importancia forrajera (*Atriplex sp.* y *Prosopis sp.*). Se midieron variables morfológicas y fisiológicas desde agosto de 2015 a noviembre de 2016. Para el análisis de datos se utilizó el paquete SAS versión 9.4. Como resultado de la captación de agua de lluvia mediante microcuencas se obtuvo una altura significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en las plantas de mezquite (61.8 cm), en comparación con el testigo (53.3 cm), así mismo el vigor con 8.9 y 7.5 respectivamente. En atriplex la altura de planta fue estadísticamente superior ($p \leq 0.05$) en la microcuenca (58.8 cm) en comparación con las plantas establecidas sin microcuenca (51.7 cm). Por efecto de la aplicación de retenedores de humedad el diámetro de tallo mezquite fue mayor al aplicar hidrogel (4.8 mm) y la sobrevivencia fue mayor estadísticamente al aplicar vermicomposta (84.2 %) y cuando no se aplicó ningún retenedor de humedad (92.6 %). en las plantas de atriplex la sobrevivencia fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$) cuando se aplicó el hidrogel (91.6 %), sin diferencia estadística con el testigo (84.2 %). Respecto al efecto de microcuenca en diferentes indicadores fisiológicos, no hubo diferencias significativas en las diferentes variables medidas. En cuanto al efecto de los retenedores de humedad, sólo el atriplex mostró un efecto significativo en la fotosíntesis, siendo mayor en las plantas en que se incorporó fibra de maguey (21.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e hidrogel (19.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), aunque este último no se diferenció estadísticamente del testigo (18.1% $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Palabras clave: sequía, microcuencas, disponibilidad de agua, conservación de humedad, especies forestales.

ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate a rainwater catchment microbasins system and the use of edaphic soil moisture retention for the establishment of native forest species to mitigate deterioration of soils in arid regions. The experiment was located in the locality of Roma, municipality of Mapimi, Durango, Mexico (25° 52' 26.6" N and 103° 43' 29.7" W). Experimental design was a randomized blocks in an arrangement of subdivide plots, with three replicates. The large plots were the rainwater micro-catchments: with and without micro-basins; medium plots were the soil moisture retention sources: Aquagel® hydrogel (20 kg ha⁻¹), vermicompost (60 ton ha⁻¹), maguey fiber (30 t ha⁻¹) plus the control (without anything); and small plots were two forest species of forage importance (*Atriplex sp.* and *Prosopis sp.*). Morphological and physiological variables were measured from August 2015 to November 2016. For data analysis the program SAS version 9.4 package was used. As a result of the rainwater collection through micro-basins, a significantly higher height was obtained ($p \leq 0.05$) in mesquite plants (61.8 cm), compared to control treatment (53.3 cm), as well the vigor with 8.9 and 7.5 respectively. In atriplex the plant height was statistically higher ($p \leq 0.05$) in microcatchment (58.8 cm) compared to established plants without microcatchment (51.7 cm). Due to the application of moisture retainers the mesquite stem diameter was higher when applying hydrogel (4.8 mm) and the survival percentage was statistically higher when applying vermicompost (84.2%) and when no moisture retainer was applied (92.6%). In atriplex, plants survival percentage was significantly higher ($p \leq 0.05$) when the hydrogel was applied (91.6%), with no statistical difference respecting to control treatment (84.2%). Regarding the effect of microcatchment on different physiological indicators, there were no significant differences in the different variables measured. In relation to the effect of moisture retainers, only atriplex showed a significant effect on photosynthesis, being higher in plants in which maguey fiber (21.4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) and hydrogel (19.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), were incorporated, although the latter one was not statistically different from Control (18.1% $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Key words: Drought, micro basins, water availability, moisture conservation, forest species.

1 Alumna

2 Asesor

3.1 INTRODUCCIÓN

La superficie total de México, es de 1,964 millones de Km², donde más de las dos terceras partes de esta superficie se encuentra en estado de deterioro, ocupando el décimo cuarto lugar en extensión territorial a nivel mundial y el quinto en el continente americano, después de Canadá, Estados Unidos, Brasil y Argentina (SEMARNAT-INECC, 2012). En México, más del 50% de la superficie nacional presenta una condición árida Clase B, con características de escasa precipitación pluvial (Velásquez *et al.*, 2013), donde se asienta alrededor del 18% de la población nacional (González, 2012). Estas áreas son ecosistemas muy susceptibles a los factores climáticos extremos y a las actividades antropogénicas, lo que provoca la degradación de los recursos naturales y la pérdida en la capacidad productiva de los suelos (CONAZA-SEDESOL, 1994).

En México, la desertificación forma parte de un problema de orden nacional que es la degradación de suelos con usos agropecuarios y forestales en tierras secas y montañosas principalmente. Las causas de la degradación del suelo son diversas y es resultado de la interacción de factores ambientales, como el tipo de suelo, la topografía y el clima, y de factores humanos, como la deforestación, el sobrepastoreo y el uso de los recursos naturales (SEMARNAT y CP, 2003). De acuerdo a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) (CONAFOR y UACH, 2013), se estima que el 61.7% la superficie nacional está afectada por erosión hídrica, eólica y degradación química y física; en tanto que el Instituto Nacional de

Estadística y Geografía reporta que el 55% del territorio nacional está afectado por erosión hídrica y eólica (INEGI, 2014).

El proceso más importante de degradación del suelo en México es la erosión hídrica, cuya superficie de afectación asciende a 37%, equivalente a 72 465 144 ha del territorio (Zapata, 2011). Los efectos más dramáticos se presentan con la formación de cárcavas, lo que deriva en zonas improductivas para cualquier actividad económica. De la misma manera, la erosión también afecta las capas superficiales de las tierras, donde si bien es posible seguir desarrollando actividades agropecuarias y forestales, se presenta una baja considerable en la producción y en estas áreas donde es posible revertir el fenómeno mediante un uso sustentable del recurso.

Con base en lo anterior, es urgente diseñar e implementar acciones que ayuden a revertir o mitigar la degradación de los suelos en zonas áridas. La reforestación con especies nativas es una de las estrategias a que se recurre para invertir los procesos de desertificación, ya que éstos juegan un papel importante en la estabilización de los suelos y en la protección de las cuencas (FAO, 2008). Sin embargo el agua es el factor crítico para el buen desarrollo de las plantas (Fardella *et al.*, 2014).

La humedad en el suelo está directamente relacionada con la precipitación pluvial y la temperatura, por ende es necesaria la búsqueda de técnicas que ayuden a retener el agua y conserven la humedad en el suelo. Se reconoce que el uso de coberturas vegetales ayuda a disminuir la evaporación edáfica (Xiaoli *et al.*, 2012; Taparauskienė & Miseckaitė, 2014), y la aplicación de algunos productos sintéticos de nueva generación como los hidrogeles, ayudan a controlar la excesiva evaporación de los

suelos, la cual llega a ser hasta 15 veces superior a la precipitación potencial en estas regiones (Ríos *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2016). De igual forma, algunos compuestos orgánicos y biofertilizantes como la vermicomposta (Pedroza *et al.*, 2015) u otros residuos vegetales, como la fibra de maguey molida, no solo tienen la posibilidad de retención de humedad, sino también de mejorar las propiedades físicas del suelo como la estructura y textura, favoreciendo con todo ello un mejor establecimiento, crecimiento y desarrollo de especies vegetales donde el agua es el elemento restrictivo (Vázquez-Vázquez *et al.*, 2003).

Respecto a los hidrogeles de poliacrilamida, éstos son copolímeros que absorben y retienen grandes cantidades de humedad y nutrientes del suelo, y los mantienen disponibles para la planta. Los hidrogeles comerciales son granulados, tienen un contenido de materia seca de 85 a 90 %, densidad aparente de 0.85 g mL⁻¹, peso específico de 1.10 g cm⁻³, y pH de 8.1 (SNF Inc., 2011).

El objetivo del presente estudio, fue evaluar un sistema de microcuencas captadoras de agua de lluvia y el uso de retenedores de humedad edáfica, para el establecimiento de especies nativas forestales nativas que mitiguen el deterioro de los suelos en regiones áridas.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Roma, Municipio de Mapimí, del Estado de Durango, México. La región se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 25° 52' 26.6" LN y 103° 43' 29.7" LW, con una altitud de 1168 msnm. La temperatura máxima de 41° C, una mínima de 9° C y la media es de 18° C. La precipitación pluvial media anual es de 263.1 mm (García, 1973).

El municipio de Mapimí forma parte de la cuenca Nazas-Aguanaval se ubica entre las latitudes 22° 40' y 26° 35' Norte, y los Meridianos 101° 30' y 106° 20' Longitud Oeste (CONAGUA-UJED, 2014).

3.2.2 Diseño experimental y tratamientos

Se usó un diseño de Bloques al azar en un arreglo de parcelas subdividas, con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron las microcuencas captadoras de agua de lluvia: con y sin microcuencas; las parcelas medianas las fuentes retenedoras de humedad edáfica: hidrogel de la marca Aquagel® (20 Kg ha⁻¹), vermicomposta (60 Ton ha⁻¹), fibra de maguey (30 t ha⁻¹), más el testigo; y las parcelas chicas fueron dos especies forestales de importancia forrajera: (*Atriplex sp.* y *Prosopis sp.*). De esta manera se tienen 16 tratamientos producto del factorial 2x4x2.

La unidad experimental fue de 4 microcuencas construidas cada 2 m dentro en cada hilera de 10 m de largo y un 1 m de ancho entre hileras. Puesto que las parcelas grandes, correspondiente a con y sin microcuencas por especie forestal, se tuvo un

arreglo en parcelas apareadas donde dos hileras contienen las 16 unidades experimentales por repetición (Figura 1).

3.2.3 Obtención de la fibra de maguey

En la localidad de Roma, Mapimí, se colectaron plantas secas de maguey (*Agave scabra*), posteriormente se deshojaron, para finalmente proceder a moler en una trituradora y picadora de forraje. Se obtuvieron aproximadamente 580 kg de fibra de maguey molida.

3.2.4 Establecimiento del experimento

El experimento se estableció en junio de 2015. Con uso de máquina retroexcavadora, se construyeron las microcuencas captadoras de agua de lluvia, una por cada especie forestal utilizada. La microcuenca fue de 1 m² de superficie por 0.5 m de profundidad. Las especies forestales forrajeras utilizadas fueron costilla de vaca (*Atriplex sp*) y mezquite (*Prosopis sp*), las cuales fueron sembradas y desarrolladas hasta la fase de plántula en condiciones de vivero. Cuando las plántulas tuvieron un promedio de 40 cm de altura, se realizó la selección de plantas procurando uniformidad en altura, vigor y dosel vegetal, y el 30 de junio de 2015 se procedió al trasplante en el área experimental conforme al diseño de tratamientos previamente indicado. Para ello, después de realizar la excavación de la cepa, se hizo una mezcla del suelo extraído con el retenedor de humedad (hidrogel, vermicomposta o fibra de maguey), de acuerdo al tratamiento respectivo y se procedió a colocar la planta y rellenar la cepa con la mezcla suelo-retenedor de humedad edáfica.

TES	FM	HI	VER	FM	TES	HI	VER	FM	TES	HI	FM
VER	HI	FM	TES	VER	HI	FM	TES	VER	FM	FM	TES
FM	TES	VER	FM	HI	VER	TES	FM	HI	VER	TES	HI
HI	VER	TES	HI	TES	FM	VER	HI	TES	HI	VER	VER
← CON MIC. →		← SIN MIC. →		← CON MIC. →		← SIN. MIC. →		← CON MIC. →		← SIN MIC. →	

Figura 1. Croquis experimental. Tratamientos: HI (Hidrogel), VER (Vermicomposta), FM (Fibra de maguey), TES (Testigo). Especies forestales: *Prosopis sp.* (Color azul) y *Atriplex sp.* (Color beige).

3.2.5 Variables medidas

El tamaño de muestra en cada unidad de muestreo fue de dos plantas, de un total de cuatro, correspondientes a los dos ubicadas en la parte central de cada hilera. De agosto de 2015 a noviembre de 2016, se midieron las siguientes variables: sobrevivencia (%), obtenida de las plantas muertas respecto del total de plantas por tratamiento; altura de planta (cm), medida con cinta métrica; diámetro de tallo (mm) medido con vernier marca Knova; vigor de planta (0 a 10), medida en una escala de 0 a 10, donde 0 es sin vigor en estado de marchitez, en tanto que 10 correspondió al estado más vigoroso de la planta, pasando por los valores intermedios; fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); Conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$); concentración de CO_2 intercelular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); tasa de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Las últimas cuatro variables medidas con el medidor de flujo de gases a base de rayos infrarrojos

(IRGA, por sus siglas en inglés) Modelo LI-6400 (LI-COR Lincoln, Nebraska USA); también se obtuvo la eficiencia en el uso de agua, mediante el cociente entre fotosíntesis y la tasa de transpiración ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$). Adicionalmente se midió el contenido de humedad del suelo en porcentaje, mediante el uso del medidor Marca Lutron Modelo PMS-714 con lectura digital en tiempo real.

También se realizó un análisis físico-químico del suelo, de cada uno de los tratamientos: hidrogel (Aquagel®), vermicomposta, fibra de maguey y testigo; para lo cual se colectaron muestras compuestas de suelo a los 15, 20 y 30 cm de profundidad. Las variables analizadas correspondieron a características físicas como: arena (%), limo (%), arcilla (%), textura, capacidad de campo (CC, %), punto de marchitez permanente (PMP, %) y densidad aparente (gr/cm^3); fertilidad: N-Nítrico (N-NO_3 en mg Kg^{-1}), fósforo disponible (P en mg Kg^{-1}), potasio disponible (K en mg Kg^{-1}) y materia orgánica (%); salinidad y sodicidad: pH y conductividad eléctrica (CE, ds m^{-1}); cationes solubles: calcio (Ca en meq L^{-1}), magnesio (Mg en meq L^{-1}), sodio (Na en meq L^{-1}) y potasio (K en meq L^{-1}); y micronutrientes: hierro (Fe en mg Kg^{-1}), manganeso (Mn en mg kg^{-1}), cobre (Cu en mg kg^{-1}), zinc (Zn en mg kg^{-1}) y boro (B en mg kg^{-1}).

3.2.6 Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados con uso del paquete SAS Versión 9.4. Se realizó un análisis de varianza para cada variable mediante el procedimiento GLM y prueba de rango múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$) para determinar el efecto de tratamiento; así como un análisis de regresión para identificar la tasa de abatimiento de humedad por tratamiento y otras variables de crecimiento y desarrollo de las plantas. También se

realizó un análisis de correlación puntual de Pearson para identificar la relación de las variables morfológicas y fisiológicas con la precipitación.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Características físico-químicas del suelo

Respecto a las características físicas del suelo, éstas no fueron modificadas por efecto de la aplicación de los retenedores de humedad, ni de los productos orgánicos (vermicomposta o fibra de maguey molida), ni del hidrogel, excepto la textura, la cual cambió de franco-arcillosa a franco, lo cual es coincidente con Velázquez-Velázquez (2003). Lo anterior está directamente relacionado al aporte de materia orgánica que los retenedores de humedad están haciendo, al menos de los de tipo orgánico, que no es el caso del hidrogel, el cual también modifica la textura y ello podría estar relacionado a su capacidad de absorber y retener grandes cantidades de agua y nutrientes en el suelo (SNF Inc. 2011) (Cuadro 1).

La concentración de los macro y microelementos en la mayoría se vieron favorecidos con la incorporación de los retenedores de humedad edáfica, tanto de los de tipo orgánico como sintético, principalmente en lo que se refiere al Nitrógeno, Calcio y Manganeso; en tanto que el Magnesio y el Sodio, fueron incrementados al aplicar fibra de maguey molida, lo cual pudiera estar relacionado a la tendencia en el incremento de la salinidad en el suelo. El resto de los elementos químicos no fueron significativamente modificados respecto del testigo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físico-químicas en diferentes fuentes de retenedores de humedad en el suelo.

		Testigo	Hidrogel	Vermicomposta	Fibra de maguey
Características físicas	Arena (%)	45	43	41	45
	Limo (%)	28	32	36	30
	Arcilla (%)	27	25	23	25
	Textura	Franco Arcillosa	Franca	Franca	Franca
	*CC (%)	28.9	28.4	27.9	28
	**PMP (%)	16.8	16.1	15	16.3
	Densidad aparente (gr/cm3)	1.53	1.52	1.51	1.52
Fertilidad	N-Nítrico (N-NO3, mg/kg)	3.5	22.8	10.2	3.7
	Fósforo disponible (P, Mg/Kg)	19.3	7.37	24.02	4.71
	Potasio disponible (K, Mg/Kg)	1272	874	847	843
	Materia orgánica (%)	0.95	1.22	1.34	1.16
Salinidad y sodicidad	pH	8.5	8.3	8.3	8.3
	CE (ds/m)	0.3	2.01	2.05	3.15
Cationes solubles	Calcio (Ca, meq/L)	2.88	13.74	15.24	16.19
	Magnesio (Mg, meq/L)	0.2	2.1	1.93	4.65
	Sodio (Na, meq/L)	0.45	2.57	1.89	7.23
	Potasio (K, meq/L)	0.42	1.56	1.37	1.95
Micronutrientes	Fierro (Fe, mg/kg)	2.28	3.24	3.27	3.2
	Manganeso (Mn, mg/kg)	4.62	10.58	13.23	14.14
	Cobre (Cu, mg/kg)	0.6	1.17	1.14	1.28
	Zinc (Zn, mg/kg)	0.5	0.58	0.99	0.62
	Boro (B, mg/kg)	0.46	0.15	0.47	0.71

*Capacidad de campo, **Punto de marchitez permanente.

3.3.2 Crecimiento y desarrollo

La altura de planta en *Prosopis sp.* y *Atriplex sp.* tuvo un comportamiento que muestra la relación de los días después del trasplante, con un crecimiento ascendente, mostrando un comportamiento lineal en ambas especies, en mezquite con una tasa de crecimiento de 0.0002 ($R^2=0.95$) y en atriplex de 0.0003 ($R^2=0.94$). Lo anterior indica que ambas especies aún se encuentran en plena fase de crecimiento, sin aún identificar un comportamiento asintótico.

Las plantas de *Prosopis spp.* mostraron poco crecimiento durante el periodo de medición, incrementándose hasta 355 días después del trasplante. Estos resultados coinciden con lo reportado por González (2007) en *Prosopis laevigata*, donde se tiene un crecimiento en los primeros meses después del trasplante, manteniéndose durante el resto del tiempo de la realización del experimento. La altura de *Atriplex spp.* se mantuvo entre 40 y 50 cm de altura durante la mayor parte del año, no obstante a partir de los 330 días después de la plantación (DDP), tuvo un crecimiento exponencial, alcanzando los 86 cm a los 472 días después del trasplante, atribuyéndose al incremento de la disponibilidad de agua de lluvia (Figura 2). Estos resultados son semejantes a los reportados por Ruíz y Robles (2010) en *Atriplex halimus*, donde alcanza 75 cm en el primer año después de su establecimiento.

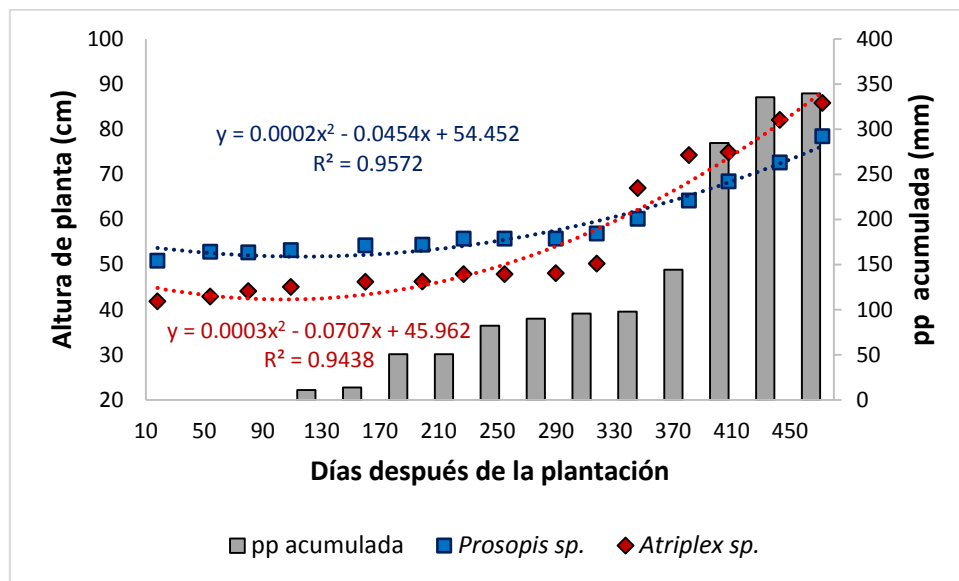


Figura 2. Altura de planta a través del tiempo de *Prosopis sp.* y *Atriplex sp.* en relación a la disponibilidad hídrica por efecto de lluvia.

El diámetro de tallo, mostró tendencia de tipo aproximado al comportamiento lineal en ambas especies, con cierto dinamismo diferente entre especies, ya que el *Atriplex* inició con menor diámetro, respecto del mezquite. Los tallos de las plantas de *Atriplex sp.* tuvieron un crecimiento mayor a partir de los 346 días después de la plantación; esto puede atribuirse a una respuesta de mayor sensibilidad por parte de esta especie al incremento de humedad en el suelo, debido a la presencia de lluvia (Figura 3).

La sobrevivencia de las plantas de *Atriplex sp.* tuvieron un comportamiento potencial negativo ($R^2=0.9$), conforme al incremento de DDT; mientras que la sobrevivencia *Prosopis sp.* se ajustó a una línea de tendencia lineal negativa ($R^2= 0.78$) (Figura 4).

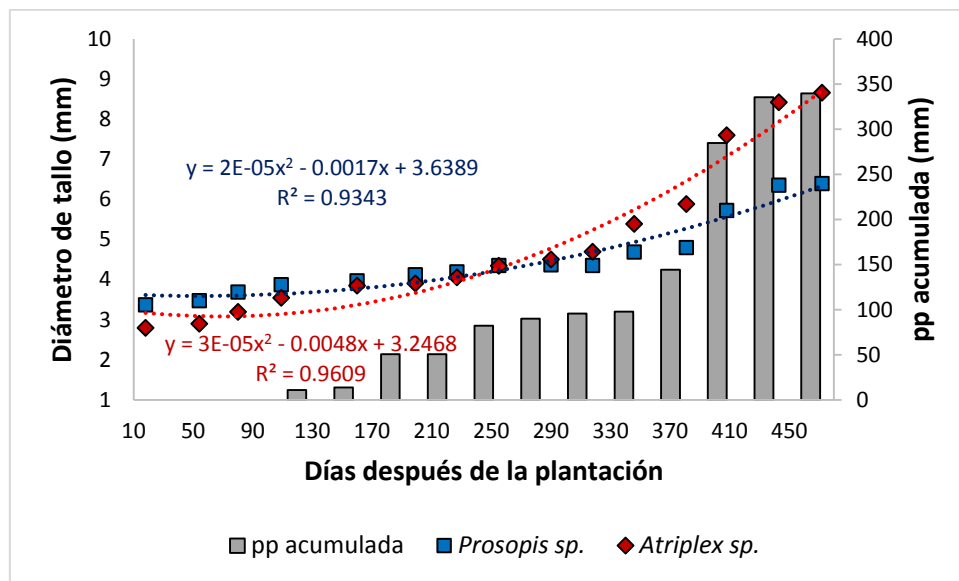


Figura 3. Diámetro del tallo a través del tiempo de *Prosopis sp.* y *Atriplex sp.* en relación a la disponibilidad hídrica por efecto de lluvia.

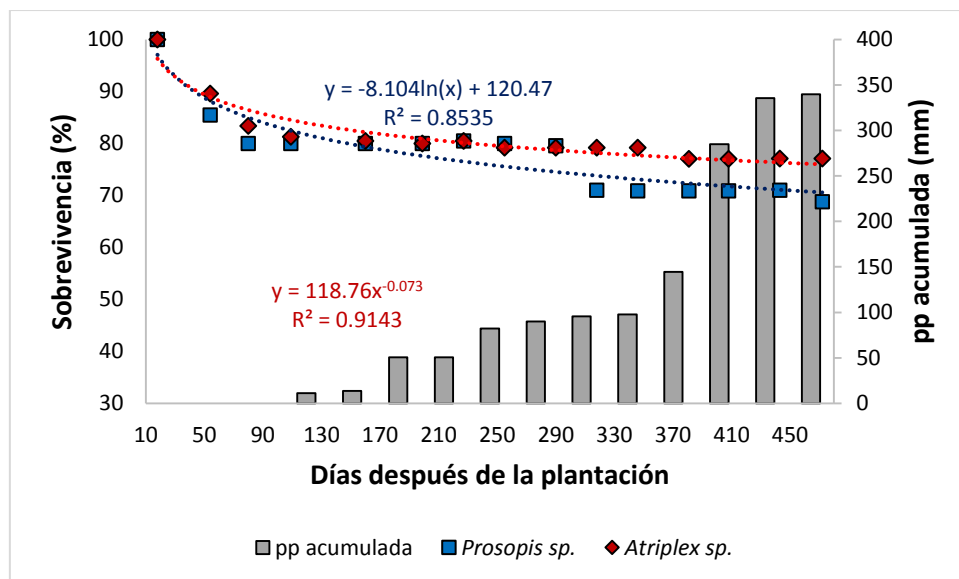


Figura 4. Porcentaje de sobrevivencia en *Prosopis sp.* y *Atriplex sp.*

El vigor de planta en las especies evaluadas, fue de las variables de mayor fluctuación a través del tiempo, lo cual puede estar directamente relacionado a la disponibilidad hídrica; a baja disponibilidad de agua en el suelo, las plantas tienden a tener una mayor

expresión de marchitez, en tanto que, después de un régimen de lluvias, las plantas recuperan su estado de turgencia. El comportamiento de fluctuación fue muy similar en ambas especies de plantas, lo cual demuestra que la falta de agua les afecta por igual (Figura 5). Lo anterior se confirma, al analizar el contenido de humedad edáfica, la cual tuvo la misma variación en las cepas plantadas con *Atriplex* y con *Prosopis* (Figura 6).

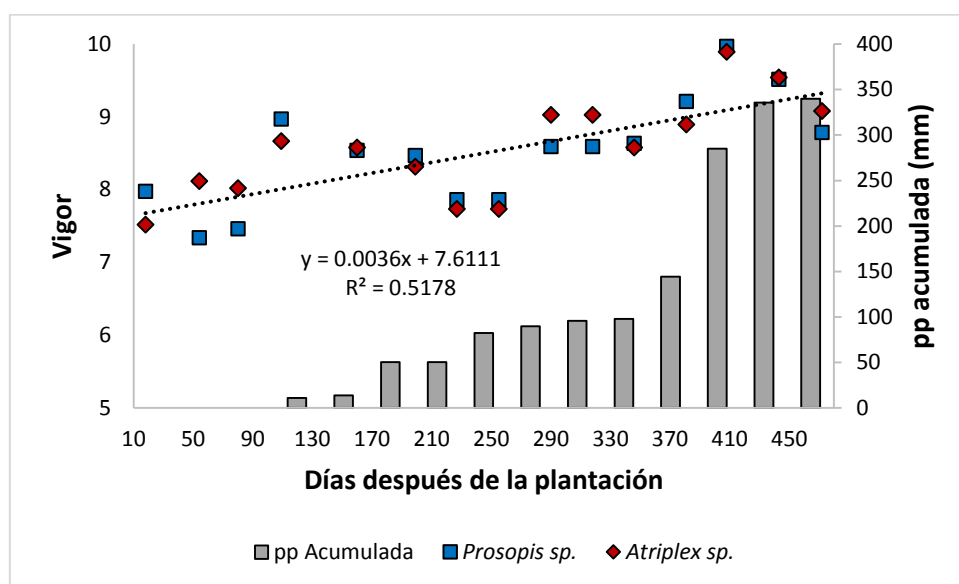


Figura 5. Vigor en las plantas *Prosopis sp.* y *Atriplex sp.* durante el primer año después del trasplante.

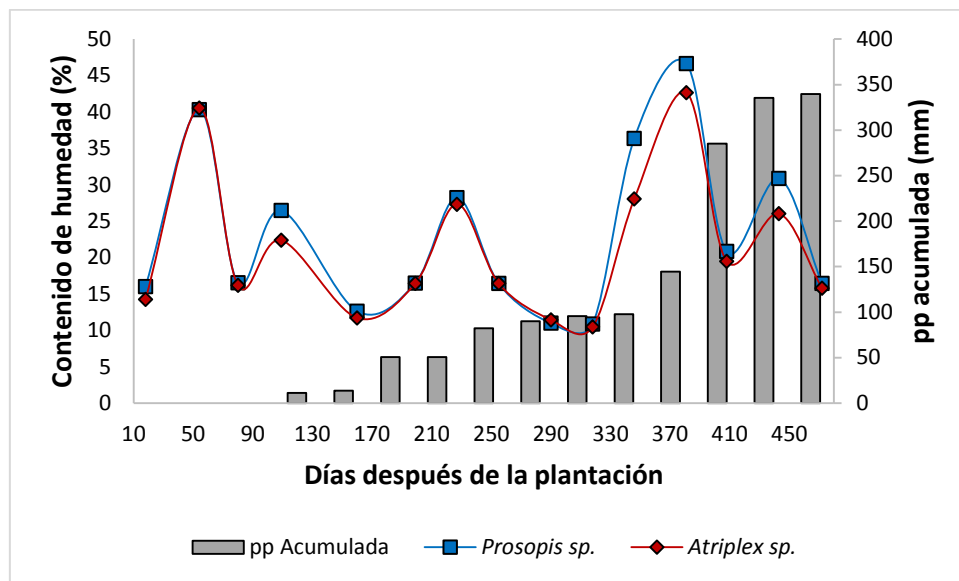


Figura 6. Comportamiento de la humedad edáfica en *Prosopis sp.* y *Atriplex sp.*

3.3.3 Microcuencas captadoras de agua de lluvia en el establecimiento y desarrollo de mezquite y atriplex.

La sobrevivencia de plantas en mezquite y atriplex no varió estadísticamente por efecto de microcuenca ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), lo cual significa que al inicio del replante, aunque con ausencia de lluvias, había un adecuado contenido de humedad edáfica de aproximadamente 15% , incrementándose a un contenido superior al 35% en los primeros 50 DDT (Figura 4) producto de un riego de auxilio de 20 mm, lo cual se hizo para para asegurar la sobrevivencia de las especies forestales recientemente replantadas, en tanto llegaban las lluvias del temporal. El resto del crecimiento y desarrollo fue en base al contenido de humedad edáfica producto de la lluvia *in situ* en sitios con y sin microcuencas.

La altura y vigor del mezquite, fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en aquellas plantas que fueron plantadas en sistema de microcuenca, con 61.8 cm en comparación a cuando se plantaron superficialmente sin microcuenca, las cuales obtuvieron un

promedio de 53.3 cm de crecimiento; en tanto que el vigor registró valores de 8.9 en microcuencas, respecto a 7.5 sin microcuencas. Lo anterior sugiere estar relacionado directamente al contenido de humedad, el cual fue significativamente mayor en las microcuencas que en el suelo sin microcuenca, con valores de 25.3 y 19.2 %, respectivamente (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Becerra et al. (2012), donde el sistema de microcuencas favoreció el crecimiento y desarrollo de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); así como lo reportado por Cruz et al. (2016), quienes indican un mejor comportamiento de altura, al crecer el pasto buffel en el sistema de microcuencas, producto de un mayor contenido de humedad en el suelo. No hubo ningún efecto de microcuenca para el caso del diámetro del tallo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica con y sin microcuenca en diferentes características biológicas del mezquite (*Prosopis* sp.).

Microcuenca	Contenido humedad suelo (%)	Sobrevivencia (%)	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (mm)	Vigor
Con	25.3a	87.6a	61.8a	4.6a	8.9a
Sin	19.2b	66.0a	53.3b	4.3a	7.5b

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

En el caso del atríplex, solo se reportó efecto de tratamiento de microcuenca para la altura de planta, la cual fue estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) en la microcuenca con 58.8 cm, en comparación con las plantas establecidas sin microcuenca, donde se obtuvo un promedio de 51.7 cm; esto también está relacionado a un menor contenido de humedad edáfica en este sistema (Cuadro 3). El hecho de que no se haya

identificado diferencias significativas en las demás variables como el diámetro de tallo y el vigor, pudiera estar relacionado a su mayor tolerancia al estrés hídrico, dado que es una especie que fisiológicamente está adaptada para hacer ajuste osmótico en caso de déficit hídrico, con lo cual la planta soporta potenciales hídricos bajos ante situaciones de sequía (Pedroza, 1995) y recuperar su crecimiento y desarrollo normal ante condiciones favorables de humedad edáfica (Ganassali *et al.*, 2016). La sobrevivencia, fue estadísticamente igual, esto debido a que las plantas al haber déficit hídrico disminuyen sus funciones metabólicas para sobrevivir, y aunque se mantienen vivas su crecimiento es lento, lo anterior de acuerdo a lo descrito por Moreno (2009).

Cuadro 3. Efecto de captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica con y sin microcuenca en diferentes características biológicas del atriplex (*Atriplex sp.*).

Microcuenca	Contenido humedad suelo (%)	Sobrevivencia (%)	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (cm)	Vigor
Con	24.8a	81.4a	58.8a	5.45a	8.7a
Sin	17.6b	81.4a	51.7b	4.2a	8.2a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

3.3.4 Efecto de los retenedores de humedad

El diámetro de tallo en las plantas de mezquite fue mayor cuando se aplicó el hidrogel, con 4.8 mm, aunque no se diferenció estadísticamente del testigo, con 4.5 mm. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cruz *et al.* (2016), donde el hidrogel tiene efectos positivos en las características de *Cenchrus ciliaris* L. La sobrevivencia fue mayor estadísticamente al aplicar vermicomposta y cuando no se aplicó ningún retenedor de humedad con valores de 84.2 y 92.6%, respectivamente, en correspondencia a un efecto significativamente mayor en ambos casos en el contenido

de humedad edáfica, respecto a cuándo se aplicó hidrogel y fibra molida de maguey, lo cual aparentemente no influyen en establecimiento del mezquite (Cuadro 4). Estos resultados difieren con lo reportado por Ríos-Saucedo y colaboradores (2012), quienes identificaron que, al aplicar 20 g de hidrogel puede auxiliar en el incremento de la sobrevivencia de plantas de mezquite en condiciones de campo.

Cuadro 4. Efecto de diferentes retenedores de humedad edáfica en diferentes características biológicas de mezquite (*Prosopis sp*).

Retenedor de humedad edáfica	Sobrevivencia (%)	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (cm)	Contenido humedad suelo (%)	Vigor
Hidrogel	62.6b	59.1a	4.8a	25.2a	8.1b
Vermicomposta	84.2a	60.7a	4.2b	20.5b	8.1b
Fibra de maguey	68.6b	54.0b	4.3b	21.2ba	8.0b
Sin aplicar	92.6a	58.5a	4.5ba	23.9ba	8.8a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

En las plantas de atriplex la sobrevivencia fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) cuando se aplicó el hidrogel, sin diferencia estadística con el testigo y éste sin diferenciarse de los tratamientos de vermicomposta y fibra de maguey. En tanto que el resto de las variables, no variaron por efecto de tratamiento, inclusive ni del contenido de humedad en el suelo, el cual fue del 20% en promedio (Cuadro 5), que puede considerarse de nivel medio, si se considera que el rango de humedad aprovechable es de 13 y 27 % de Punto de Marchitez Permanente (PMP) y Capacidad de Campo (CC). Esta respuesta puede deberse a que este tipo de especies de plantas tienen una elevada tasa de crecimiento en condiciones medias o relativamente bajas de humedad en el suelo (Terán *et al.*, 1988).

Cuadro 5. Efecto de diferentes retenedores de humedad edáfica en diferentes características biológicas de atriplex (*Atriplex sp.*).

Retenedor de humedad edáfica	Sobrevivencia (%)	Altura planta (cm)	Diámetro tallo (cm)	Contenido humedad suelo (%)	Vigor
Hidrogel	91.6a	54.3a	4.9a	21.1a	8.5ba
Vermicomposta	79.2bc	54.3a	4.6a	21.1a	8.2b
Fibra de maguey	70.6c	55.85a	4.7a	22.8a	8.5ba
Sin aplicar	84.2ba	56.7a	5.05a	20.3a	8.7a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

3.3.5 Indicadores fisiológicos

Respecto al efecto de microcuenca en diferentes indicadores fisiológicos, no hubo diferencias significativas en las diferentes variables medidas. El atriplex sólo mostró efecto significativo en la transpiración, siendo más alta cuando dispuso de mayor humedad en la microcuenca, respecto de cuando no hubo captación de agua de lluvia, lo cual hizo que en este último caso, fuera más eficiente en el uso de agua por la planta, aunque repercutió en una menor actividad fotosintética (Cuadro 6). Lo anterior, significa que, ante condiciones deficientes de humedad en el suelo, el atriplex disminuye su actividad fotosintética, pero es capaz de elevarla en casos de un incremento en la disponibilidad de agua.

Cuadro 6. Efecto de microcuenca captadora de agua de lluvia en diferentes indicadores fisiológicos en dos especies forestales de zonas áridas.

<i>Prosopis sp.</i>					<i>Atriplex sp.</i>			
Microcuenca	Foto	Cond	Trans	EUA	Foto	Cond	Trans	EUA
Con	18.3a	0.139a	4.3a	3.15a	20.3a	0.063a	2.4a	13.7a
Sin	17.4a	0.116a	3.8a	0.339a	17.8a	0.060a	2.1b	11.7a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de cada columna, son estadísticamente iguales. Foto= Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); Cond= Conductancia ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$); Trans= Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$); EUA= Eficiencia del uso de agua por la planta ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$).

En cuanto al efecto de los retenedores de humedad, sólo el atriplex mostró un efecto significativo en la fotosíntesis, siendo mayor en las plantas en que se incorporó fibra de maguey e hidrogel, aunque este último no se diferenció estadísticamente del testigo. No hubo ningún efecto significativo en el caso del mezquite, para ninguna de las variables fisiológicas incluidas en este estudio (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de retenedores de humedad edáfica en diferentes indicadores fisiológicos en dos especies forestales de zonas áridas.

Retenedor de humedad edáfica	<i>Prosopis sp.</i>				<i>Atiplex sp.</i>			
	Foto	Cond	Trans	EUA	Foto	Cond	Trans	EUA
Hidrogel (T ha ⁻¹)	19.3a	0.150a	4.7a	5.3a	19.9ba	0.073a	2.7a	15.4a
Vermicomposta (T ha ⁻¹)	16.3a	0.110a	3.5a	2.6a	17.1b	0.052a	1.9a	-0.22a
Fibra de maguey (T ha ⁻¹)	15.85a	0.106a	3.3a	-6.7a	21.4a	0.063a	2.2a	23.1a
Sin aplicar (testigo)	19.98a	0.156a	4.9a	5.5a	18.1ba	0.057a	2.2a	13.2a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de cada columna, son estadísticamente iguales. Foto= Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); Cond= Conductancia ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$); Trans= Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$); EUA= Eficiencia del uso de agua por la planta ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$).

3.3.6 Correlación de las variables morfológicas y fisiológicas con la precipitación

Se encontró una correlación ($P \leq 0.05$) entre la precipitación con el diámetro de tallo y el vigor, con una R de 0.53 y 0.55 respectivamente. Así mismo con las variables fisiológicas fotosíntesis y conductancia con los valores de R de 0.59 y 0.62 respectivamente.

3.4 CONCLUSIONES

La altura del mezquite fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) en el sistema de microcuenca, en comparación a cuando las plantas se plantaron superficialmente con 61.8 cm y 53.3 cm, respectivamente; el vigor tuvo un comportamiento similar con 8.9 y 7.5, respectivamente.

La altura de la planta de atriplex fue estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) en la microcuenca con 58.8 cm, en comparación con las plantas establecidas sin microcuenca con 51.7 cm.

El diámetro de tallo del mezquite fue mayor cuando se aplicó el hidrogel y cuando no se aplicó nada, con 4.8 y 4.5 mm, respectivamente; en tanto que la sobrevivencia fue mayor al aplicar vermicomposta y cuando no se aplicó ningún retenedor de humedad con valores de 84.2 y 92.6%. En atriplex la sobrevivencia fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) cuando se aplicó el hidrogel (91.6%), sin diferencia estadística con el testigo (84.2%).

El atriplex la transpiración, fue más alta cuando dispuso de mayor humedad en la microcuenca, respecto de cuando no hubo captación de agua de lluvia, con 2.4 y 2.1 mmol H₂O m⁻²s⁻¹.

La actividad fotosintética en atriplex fue mayor cuando se incorporó fibra de maguey (21.4 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹) e hidrogel (19.9 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹), éste último sin diferencia estadística con el testigo (18.1 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹). No hubo efecto de tratamiento en el resto de las variables fisiológicas.

3.5 LITERATURA CITADA

- Carmona, H. D., Trejo, C.R., Esquivel, A. O., Arreola, A. J.G. y Flores, H. A. (2007). Evaluación de un método para medir fotosíntesis en mezquite (*Prosopis glandulosa*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 2007 (6), 185-190.
- COMISIÓN NACIONAL DE ZONAS ÁRIDAS (CONAZA) y SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL) (1994). Plan de acción para combatir la desertificación en México. CONAZA-SEDESOL, México.
- CONAFOR y UACH (2013). Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. Informe Final. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo. Jalisco, México.
- CONAGUA-UJED. (2014). Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) en el consejo de cuenca nazas-aguanaval. Convenio de colaboración CONAGUA-UJED. Comisión Nacional del Agua, Universidad Juárez del estado de Durango, CNA-SGT-GIABA-UJED/2013.
- Cruz M., A.; Pedroza S., A.; Trejo C., R.; Sánchez C, I; Samaniego G., J.A. & Hernández S., J. R. (2016). Captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica en el establecimiento de buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(2), 159-172.
- FAO. (2008). Bosques, árboles y agua en las tierras áridas: un equilibrio delicado. Consultado el 20 de septiembre de 2016. Disponible en: www.fao.org/docrep/010/a1598s/a1598s06.htm
- Fardella C.; Oses, R.; Torres-Díaz, C. & Molina-Montenegro. (2014). Hongos endófitos antárticos como herramienta para la reintroducción de especies nativas en zonas áridas. *Bosque*, 35 (2), 235-239.
- Granados-Sánchez., D.; Hernández-García., M. Á.; Vázquez-Alarcón., A. & Ruíz-Puga., P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19, (1), 45-66.
- González M. G. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México, y su vegetación. Primera ed. Ed. SEMARNAT-INECC. Impreso en México, 194 pp.
- González H., M.E. (2007). Establecimiento y crecimiento en las primeras etapas de diez especies arbustivas nativas, en la microcuenca de Santa Rosa Jáuregui, Querétaro. Tesis para obtener el grado de Maestro en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, Qro., México.
- INEGI (2014). Erosión de suelos en México, escala 1: 250 000. Boletín de prensa Núm. 295/14 2014. Aguascalientes, México.

- Ríos-Saucedo, J.C., Rivera-González, M; Valenzuela-Nuñez, L.M, Trucios-Caciano, R. y Rosales-Serna, R. (2011). Diagnóstico de las reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su sobrevivencia en Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 63-67.
- Ruiz, M. J. & Robles, C. A.B. (2010). Establecimiento y desarrollo de *Atriplex halimus* L.: técnicas de implantación y efecto del pastoreo. En González-Rebollar, J.L. & Chueca, A. (2010). C4 y CAM. Características generales y uso en programas de desarrollo de tierras áridas y semiáridas. Homenaje al Dr. Julio López Gorgé. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Granada, España.
- Moreno, F. L.P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191.
- Pedroza-Sandoval, A. Aba-Guevara, C.G., Samaniego-Gaxiola, J.A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I. y Chávez-Rivero, J.A. (2015). Características morfológicas y calidad de gel en sábila (*Aloe barbadensis* M.) aplicando algaenzimas y composta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(1): 7-18.
- Pedroza Sandoval Aurelio, 1995. El déficit hídrico en las plantas. Principios y técnicas de manejo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 968-884-300-8. Bermejillo, Dgo. 162 pp. DOI: 10.13140/2.1.3052.9288
- SEMARNAT-INECC (2012). México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Primera edición, 2012, Impreso y hecho en México. Printed in Mexico. Disponible en: In: www.inec.gob.mx Consultado (9/11/2016)
- SEMARNAT y CP (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. *México*.
- SNF Inc. (2011). Water retainers for soils and substrates. Disponible en: http://snf.com.au/downloads/Aquasorb_E.pdf. Fecha de consulta: noviembre 7 de 2016.
- SAGARPA-SIAP. (2014). Atlas de las Zonas Áridas de México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México, D.F. Págs.: 162.
- Taparauskienė L. & Miseckaitė, O. (2014). Effect of Mulch on Soil Moisture Depletion and Strawberry Yield in Sub-Humid Area. *Pol. J. Environ. Stud.*, 23 (2), 475-482.
- Terán, A. F., Asxarrunz, M. E., Tejeda, E. y Zapata, A. (1988). Propagación de tres especies de *Atriplex* mediante cultivo de tejidos *in vitro* por Organogénesis. *BIOFARBO*, 6, 3-10.

- Velázquez, M. A., G. Medina Garcia, I. Sanchez Cohen, L. Klauudia Oleschko, J. A. Ruiz Corral and G. Gabor Korvin. (2013). Spatial Variability of the Hurst Exponent for the daily Scale Rainfall Series in the state of Zacatecas Mexico. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. (52): 2771 – 2780.
- Vázquez-Vázquez, C.; Salazar-Sosa, E. y Trejo-Escareño, H. I. 2010. Producción de fertilizantes orgánicos con dos especies de lombrices en diferentes medios de cultivo. *In: agricultura orgánica*. García, H. J. L.; Salazar, S. E.; Orona, C. I.; Fortis, H. E. y Trejo, E. I. (Eds.). Universidad Juárez del Estado de Durango. 438 p.
- Xiaoli C.; Pute W.; Xining Z.; Xiaolong R. & Zhikuan, J. (2012). Rainfall Harvesting and Mulches Combination for Corn Production in the Subhumid Areas Prone to Drought of China. *J. Agronomy & Crop Science*, 198 (4), 304-313.
- Zapata, E.S. (2011). Problemas Ecológicos de México. Erosión, Desertificación, Deforestación y Pérdida de la Biodiversidad En México (2011). Disponible en: <http://www.dforceblog.com/2010/04/04/erosion-desertificacion-deforestacion-y-perdida-de-la-biodiversidad-en-mexico/>