



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas

**RESPUESTA DEL *Atriplex sp.* A DIFERENTES TIPOS DE
RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA Y SU IMPACTO EN LA
EROSIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN ZONAS ÁRIDAS**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS



PRESENTA:

GUSTAVO CARMONA GODINA

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

Bermejillo, Durango. Marzo 2019



El presente trabajo de tesis titulado “**Respuesta del *Atriplex sp.* a diferentes tipos de retenedores de humedad edáfica y su impacto en la erosión de suelos degradados en zonas áridas**”, fue realizado por el C. Gustavo Carmona Godina bajo la dirección del Dr. Aurelio Pedroza Sandoval y asesorada por el Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle y el Dr. Ignacio Sánchez Cohen. Ha sido revisada y aprobada por el Comité Revisor como requisito parcial para obtener el título de:

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

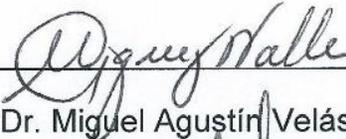
Comité Revisor:

DIRECTOR:



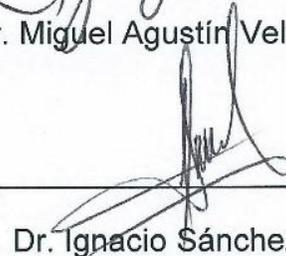
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

ASESOR:



Dr. Miguel Agustín Velásquez Valle

ASESOR:



Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Bermejillo, Dgo. Marzo, 2019

DEDICATORIA

A mis padres Gustavo y Luisa y a mi hermana Karina, por todo su apoyo incondicional, motivación, amor y consejos que siempre me han brindado a lo largo de mi vida, dándome la fuerza para siempre seguir adelante frente a cualquier problema y superarme día con día.

A todos mis amigos y compañeros, por todo el apoyo, cariño y buenos momentos que vivimos a lo largo de nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, por darme la oportunidad de estudiar y formarme profesionalmente.

Al Dr. Aurelio Pedroza Sandoval por sus conocimientos y guía durante mi estancia en la maestría.

A todos mis profesores, por darme las herramientas para culminar mis estudios a lo largo de estos dos años.

A mis amigos del CAISZA, laboratorio y estudiante de doctorado José Antonio, Joel, Alondra Gisela y Luis Gerardo, por sus buenos consejos y apoyo para la realización de mi experimento

A mi comité revisor, por tomarse el tiempo para corregir y mejorar mi trabajo de tesis.

Mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para la realización y culminación de mis estudios en maestría.

DATOS BIOGRÁFICOS

El C. Gustavo Carmona Godina, nació el 8 de marzo de 1993, originario de Zacatecas, Zacatecas. Licenciado en Biología por la Unidad Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Zacatecas, realizando en el laboratorio de micología de la misma institución su servicio social del cual derivó el proyecto “Colección Micológica de Macromicetes del Estado de Zacatecas” obteniendo con éste el segundo lugar en el concurso de investigación científica “José Árbol y Bonilla” Expo Ciencias Zacatecas 2013, lo cual dio el pase para la presentación del mismo proyecto en el congreso Expo-Ciencias Nacional, Mazatlán 2013. Participación como asistente en el 6° curso intensivo de campo “Ecología tropical y técnicas de muestreo en campo” impartido por la Maestría en Enseñanzas de la Ciencia de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Participación en el proyecto de desarrollo territorial sustentable “Uso Sostenible del Pastizal en el Municipio de Monte Escobedo, Zacatecas. Estimación de carga animal” por parte de Coordinación de Vinculación de la Universidad Autónoma de Zacatecas, dicho proyecto fue presentado en el II Simposio Internacional de Cultura Ambiental y Desarrollo Sostenible, octubre 2014. Realizó su estancia profesional en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias campo experimental Zacatecas en 2015, egresando de la licenciatura en el mismo año. Miembro activo de La Sociedad Mexicana de Manejo de

Pastizales A.C. de noviembre de 2016 a octubre de 2017, participando como ponente en el VII Congreso Internacional de Manejo de Pastizales “El futuro de la ganadería extensiva ante el cambio climático”. Obtuvo el grado de licenciatura mediante la presentación de tesis, titulada “Respuesta hidrológica del suelo a diferentes tipos de pastizal mediano abierto en Zacatecas” en Mayo del 2017, dirigida por el Ph. D. Ramón Gutiérrez Luna.

En el año 2017 ingresa a la Maestría de Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, impartida por la Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, culminando sus estudios el mes de Diciembre de 2018. Desarrolla el proyecto de investigación titulado “Respuesta del *Atriplex sp.* a diferentes tipos de retenedores de humedad edáfica y su impacto en la erosión de suelos degradados en zonas áridas” por medio del cual termina la presente tesis bajo la supervisión del Dr. Aurelio Pedroza Sandoval.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	1
GENERAL ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I.....	3
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo general.....	5
2.2 Objetivo específico	5
HIPÓTESIS.....	5
LITERATURA CITADA	6
CAPÍTULO II.....	10
INTRODUCCIÓN	12
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Ubicación geográfica del área de estudio.....	14
Diseño experimental y de tratamientos.....	15
Análisis físico-químico del suelo.....	16
Establecimiento del experimento.....	17

VARIABLES MEDIDAS	17
Delimitación de caudal.....	19
Volumen de agua de esorrentía calculado por el método de aproximación.	19
Estimación de la curva carga-gasto.....	21
Cálculo de la lámina escurrida.....	24
Análisis estadístico	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
Erosión y deposición del suelo	28
Crecimiento y desarrollo de Atriplex sp.	29
Fisiología y eficiencia en el uso del agua	34
CONCLUSIONES	36
LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Acequia trapezoidal a la entrada al campo de pastizal (a) y entrada al área experimental (b)	20
Fig. 2 Perímetro de mojado (correspondientes a la línea punteada = $h + h' + \text{Base}$)	21
Fig. 3 Curva carga-gasto con línea de tendencia de regresión ajustada a los datos de Q en el sitio 1 (entrada al campo de pastizal).....	23
Fig. 4 Curva carga-gasto con línea de tendencia de regresión ajustada a los datos de Q en el sitio 2 (entrada al área experimental).	23
Fig. 5 Precipitación pluvial (mm) ocurrida durante el año de 2017 en el área de Roma-Texas del municipio de Mapimí, Dgo.	26
Fig. 6 Hidrogramas estimados para los eventos de lluvia-escorrentía en el área experimental.	27
Fig. 7 Comportamiento del contenido de humedad en el suelo y crecimiento del Atriplex sp en diferentes días después del trasplante.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis físico-químico del suelo del área de estudio	17
Cuadro 2. Variación de alturas de la sección hidráulica del sitio 1 (entrada al campo de pastizal) y cálculo de gasto en m^3s^{-1}	22
Cuadro 3. Variación de alturas de la sección hidráulica del sitio 2 (entrada al área experimental) y cálculo de gasto en m^3s^{-1}	22
Cuadro 4. Cálculo de lámina escurrida de acuerdo a los hidrogramas obtenidos	28
Cuadro 5. Efecto de diferentes fuentes y dosis de retenedores de humedad en la erosión y deposición del suelo.	29
Cuadro 6. Efecto de los diferentes retenedores de humedad en las características de crecimiento y desarrollo de <i>Atriplex sp.</i>	32
Cuadro 7. Efecto de los retenedores de humedad en la fisiología y eficiencia del agua en <i>Atriplex sp.</i> en suelos degradados.	35

RESUMEN GENERAL

Respuesta del *Atriplex sp.* a diferentes tipos de retenedores de humedad edáfica y su impacto en la erosión de suelos degradados en zonas áridas

El establecimiento de especies nativas es una alternativa que ayuda al ecosistema en el proceso de regeneración evitando la pérdida de suelo por erosión y favoreciendo la retención de humedad del suelo. El objetivo de este estudio, fue evaluar el establecimiento de *Atriplex sp.* aplicando diferentes dosis y fuentes orgánicas y químicas de retenedores de humedad y su impacto en la erosión del suelo. Se usó un diseño experimental en bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones; los retenedores de humedad utilizados fueron: rastrojo de maíz molido, hidrogel y bagazo de sábila molido a dosis de 0, 25 y 50 g, cada uno. La unidad experimental fue de dos plantas por tratamiento. La altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), área foliar (cm²), vigor de la planta, fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$); transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), índice de clorofila, contenido de humedad en el suelo (%), erosión y deposición del suelo (Ton ha^{-1}) fueron medidas. Se observó un desarrollo exponencial de la planta, lo cual muestra la capacidad del *Atriplex* a la adaptación en un ecosistema árido. La humedad del suelo no se vio afectada por ninguno de los retenedores de humedad del suelo aplicados pero el desarrollo del *Atriplex sp.* fue mejor al aplicar 25 g de bagazo de sábila, el cual favoreció la cobertura del suelo.

Palabras clave: Déficit hídrico, vegetación nativa, humedad edáfica, aridez, desertificación.

GENERAL ABSTRACT

Response of *Atriplex sp.* to different types of retainers of edaphic moisture and its impact on the erosion of degraded soils in arid lands

The establishment of native species is an alternative that helps the ecosystem in the regeneration process avoiding the loss of soil by erosion and favoring the retention of soil moisture. The objective of this study was to evaluate the establishment of *Atriplex sp.* applying different doses and organic and chemical sources of moisture retention and its impact on soil erosion. A randomized block experimental design was used in an array of divided plots with three replications; the used moisture retainers used were: stubble of ground corn, hydrogel and bagasse of milled aloe at doses of 0, 25 and 50 g, each. The experimental unit was two plants per treatment. The height of the plant (cm), stem diameter (mm), leaf area (cm²), plant vigor, photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$) were measured; transpiration ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), chlorophyll index, soil moisture content (%), erosion and soil deposition (Ton ha^{-1}) were measured. The observed exponential development of the plant shows the ability of *Atriplex* to adapt itself into an arid ecosystem. Soil moisture was not affected by any of the applied soil moisture retainers but the development of *Atriplex sp.* It was better to apply 25 g of aloe bagasse, which favored coverage.

Keywords: Water deficit, native vegetation, soil moisture, aridity, desertification.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las zonas áridas de la superficie terrestre ocupan más de 6 mil millones de hectáreas; aproximadamente mil millones de hectáreas son desiertos naturales hiperáridos, en tanto que los cinco mil millones restantes son regiones áridas, semiáridas y áridos subhúmedas, lo que equivale a que el 47% de la superficie del planeta sean tierras secas (Campos & De Pedro, 2001; FAO, 2007b). Gran parte de estas regiones, se han convertido en desiertos y se estima que el 70% de las tierras secas productivas se encuentran amenazadas por la degradación de los suelos producto de la desertificación, lo que hace evidente un déficit hídrico por la deficiente precipitación pluvial (Tarango, 2005; Granados *et al.*, 2013). Las regiones que presentan los mayores impactos de degradación de los suelos son Asia, África, América Latina y Europa con 38, 25.2, 15.6 y 11.3% respectivamente (Nkonya *et al.*, 2011).

Actualmente el uso de sistemas de captación de agua de lluvia se han vuelto más frecuentes en zonas áridas, ya que se les cataloga como unidades básicas de operación en proyectos relacionados como la conservación y el manejo integral del medio ambiente (Díaz *et al.*, 2012). Adicionalmente, 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, ya que 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, 2007a).

La conservación de la humedad en el suelo para el establecimiento de una cubierta vegetal efectiva, podría representar toda una alternativa viable para mitigar el problema de la degradación de los suelos por efecto de erosión y deposición y en un mediano plazo, desarrollar una cobertura vegetal a base de especies forestales nativas (Saucedo, 2003; Cruz *et al.*, 2016), que permitan desarrollar una actividad productiva de ganadería debidamente planificada y con ello contribuir al restablecimiento del ecosistema y a mejorar el nivel de vida de los pobladores del semidesierto (Pedroza *et al.*, 2016).

El uso de retenedores de humedad en el suelo como los residuos de cosecha de diferentes cultivos (leguminosas, gramíneas, entre otras) han mostrado ser efectivos, ya sea en forma de esquilmos o residuos, los cuales ayudan a disminuir la evaporación edáfica (Gill & McSorley, 2012; Xiaoli *et al.*, 2012; Taparauskiénė & Miseckaitė, 2014). Una mayor disponibilidad hídrica en el suelo, permite a las plantas superar su condición de estrés hídrico a las que está sometida la mayor parte del año, permitiéndoles: un aumento en el porcentaje de supervivencia; aumento en el crecimiento y acumulación de biomasa; mayor producción de semillas y; un mejor comportamiento fisiológico a través de la tasa fotosintética (Gutiérrez *et al.*, 1997, Pugnaire *et al.* 2004). Desde esta perspectiva, las diferentes prácticas de manejo de los recursos agua-suelo, puedan inducir el buen desarrollo de las plantas y permitir un mejor resultado en la productividad y estabilidad de la vegetación (Ferrera-Cerrato, 1983).

Adicionalmente, se ha estado generalizando el uso de retenedores sintéticos denominados hidrogeles, los cuales pueden representar una alternativa en regiones donde la evaporación edáfica llega a ser hasta 15 veces superior a la precipitación potencial, lo cual genera un déficit rápido de agua después de las lluvias (Montaño *et al.*, 2007; Ríos *et al.*, 2010; Pedroza *et al.* 2017). 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 (Gales *et al.*, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2008; Maldonado-Benítez *et al.*, 2011).

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Contribuir a la generación de conocimiento y tecnología para mitigar la degradación de los suelos, mediante prácticas adecuadas de manejo del agua, suelo y vegetación en zonas áridas.

2.2 Objetivo específico

Evaluar diferentes sustratos orgánicos y químicos como retenedores de humedad edáfica y su impacto en la erosión/deposición del suelo y establecimiento, crecimiento y desarrollo de chamizo (*Atriplex sp.*) en zonas áridas.

HIPÓTESIS

Ha: El porcentaje de supervivencia, crecimiento y desarrollo de las plantas de chamizo (*Atriplex sp.*) es favorecido por el efecto positivo de retención de la

humedad del suelo, lo cual mitiga de manera simultánea el impacto de la erosión hídrica en suelos degradados en zonas áridas.

LITERATURA CITADA

Campos, C., & De Pedro, M. (2001). La vida en las zonas áridas: el desierto mendosino. Argentina: zeta editores.

Cruz M. A., Pedroza S. A., Trejo C. R., Sánchez C. I., Samaniego G. J. A., Hernández S. 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.

Díaz, G., Sánchez, I., Guajardo, R. A., Barbosa, F., Gómez, M., & Uribe, J. M. (2012). Moderación espacial de la producción de agua y escurrimiento superficial del agua de lluvia en la zona sur del estado de Puebla, México. Tecnología y Ciencias del Agua, 3 (especial TyCA-RETAC), 69-85.

FAO. (2007a). Bosques, árboles y agua en las tierras áridas: un equilibrio delicado. Recuperado el 13 de marzo de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/010/a1598s/a1598s06.htm>

FAO. (2007b). Secuestro de carbono en zonas áridas. Recuperado el 16 de enero de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-Y5738s.pdf>

- 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.
- 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 Ştiinţifice Seria Agronomie 55 (2), 173-178.
- 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, D., Hernández, M. A., Vázquez, A., & Ruíz, P. (2013). Los procesos de desertificación y las regiones áridas. Revista Chapingo, 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

- 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.
- 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>
- Pedroza S. A., Chávez R. J. A., Trejo C. R., Sánchez C. I. & Ruíz T.J. (2016). Captación y aprovechamiento integral del agua de lluvia y manejo de aguas residuales en zonas áridas. *Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente*. Editorial CLAVE México. Vol. IV. 68-88.
- Pedroza S. A., Yáñez C. L. G., Sánchez C. I., Samaniego G. J. A. & Trejo C. R. (2017). Hydrogel, biocompost and its effect on photosynthetic activity and production of forage maize plants (*Zea mays L.*). *Acta agronómica*. 66(1). 63-68.
- Pugnaire, F.I., Armas, C. & Valladares, F., 2004. Soil as a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *J. Veg. Sci.* 15, 85-92.

- 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](https://doi.org/10.1000/0000)
- Saucedo T. R. A. (2003). Guía técnica para el establecimiento y utilización de plantaciones de chamizo. Folleto Núm. 10. INIFAP-Campo Experimental
- Taparauskiené L. & Miseckaité O. (2014). Effect on soil moisture depletion and strawberry yield in sub-humid area. *Pol. J. Environ. Stud.* 23(2), 475-482.
- Tarango, L. A. (2005). Problemática y alternativa de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo, serie zonas áridas*, 4(2), 17-21
- 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](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00508.x)

CAPÍTULO II

RESPUESTA DEL *Atriplex sp.* A DIFERENTES TIPOS DE RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA Y SU IMPACTO EN LA EROSIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN ZONAS ÁRIDAS

RESPONSE OF *Atriplex sp.* TO DIFFERENT TYPES OF RETAINERS OF EDAPHIC MOISTURE AND ITS IMPACT ON THE EROSION OF DEGRADED SOILS IN ARID LANDS

Resumen

El establecimiento de especies nativas es una alternativa que ayuda al ecosistema en el proceso de regeneración evitando la pérdida de suelo por erosión y favoreciendo la retención de humedad del suelo. El objetivo de este estudio, fue evaluar el establecimiento de *Atriplex sp.* aplicando diferentes dosis y fuentes orgánicas y químicas de retenedores de humedad y su impacto en la erosión del suelo. Se usó un diseño experimental en bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones; los retenedores de humedad utilizados fueron: rastrojo de maíz molido, hidrogel y bagazo de sábila molido a dosis de 0, 25 y 50 g, cada uno. La unidad experimental fue de dos plantas por tratamiento. La altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), área foliar (cm²), vigor de la planta, fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$); transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), índice de clorofila, contenido de humedad en el suelo (%), erosión y deposición del suelo (Ton ha^{-1}) fueron medidas. Se observó un desarrollo exponencial de la planta, lo cual muestra la capacidad del *Atriplex* a la adaptación en un ecosistema árido. La humedad del

suelo no se vio afectada por ninguno de los retenedores de humedad del suelo aplicados pero el desarrollo del *Atriplex sp.* fue mejor al aplicar 25 g de bagazo de sábila, el cual favoreció la cobertura del suelo.

Palabras clave: Déficit hídrico, vegetación nativa, humedad edáfica, aridez, desertificación

Abstract

The establishment of native species is an alternative that helps the ecosystem in the regeneration process avoiding the loss of soil by erosion and favoring the retention of soil moisture. The objective of this study was to evaluate the establishment of *Atriplex sp.* applying different doses and organic and chemical sources of moisture retention and its impact on soil erosion. A randomized block experimental design in split plots with three replications; the used moisture retainers used were: stubble of ground corn, hydrogel and bagasse of milled aloe at doses of 0, 25 and 50 g, each. The experimental unit was two plants per treatment. The height of the plant (cm), stem diameter (mm), leaf area (cm²), plant vigor, photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$) were measured; transpiration ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), chlorophyll index, soil moisture content (%), erosion and soil deposition (Ton ha^{-1}) were measured. The observed exponential development of the plant shows the ability of *Atriplex* to adapt itself into an arid ecosystem. Soil moisture was not affected by any of the applied soil moisture retainers but the development of *Atriplex sp.* It was better to apply 25 g of aloe bagasse, which favored coverage.

Keywords: Water deficit, native vegetation, soil moisture, aridity, desertification

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas de México ocupan más del 50% del territorio nacional (Cervantes, 2005), presentando ambientes áridos clase B, con diversos grados de aridez (Velásquez *et al.*, 2013b), con una topografía muy variada como grandes regiones planas con pastizales, grandes dunas de arena o escarpadas laderas de montañas en donde se presenta una escasa y errática precipitación pluvial (UNAM, 2007).

Aun cuando las zonas áridas son de los ecosistemas más frágiles que existen debido a las sequías recurrentes y a la sobreexplotación de sus recursos naturales, incluyen regiones boscosas y con una diversidad de vegetación nativa y presencia de matorrales y pastos que, en combinación con la fauna silvestre, contribuyen a mantener las condiciones para la subsistencia de las poblaciones rurales que se encuentran enclavadas en estas regiones (FAO, 2007).

La erosión es uno de los efectos negativos en los ecosistemas, el cual afecta una superficie de 1,964 millones de km² en México. La erosión hídrica afecta en un 55.7 % de la superficie y la erosión eólica en un 27.9 %; en tanto que la erosión química y física es en 11.8 y 4.6 %, respectivamente. (López, 2016). El suelo erodado por las lluvias torrenciales (las cuales son propias de zonas áridas), es el de las capas más fértiles, lo que conlleva a su degradación (Tarango, 2005). Más del 81% de las 393 cuencas hidrológicas del país, presentan algún grado de afectación por degradación de suelos (Garrido *et al.*, 2010).

En el caso de México, aproximadamente el 18% de la población vive en regiones áridas, enfrentando un clima diverso y adverso. Se reconoce que existe un gran potencial regional, pero fuertemente limitado por la escasa precipitación pluvial (Velásquez *et al.*, 2013b; Pedroza *et al.*, 2016). Con base en lo anterior, diversas prácticas de manejo de los recursos naturales agua-suelo-planta-animal, son herramientas útiles en el mejor uso y manejo de estos recursos (Carmona, 2017); los sistemas de captación de agua de lluvia, sistemas eficientes de riego, así como las técnicas de retención de humedad edáfica y el uso de materiales genéticos tolerantes al estrés hídrico (Cruz *et al.*, 2016), se han estado explorando en el semidesierto mexicano, con el propósito de revertir el grado de deterioro del ecosistema y, paralelamente, mejorar las condiciones de vida de los habitantes, mediante esquemas de un mejor manejo y aprovechamiento de los recursos naturales propios de estas regiones (Pedroza *et al.*, 2016).

El establecimiento de especies nativas o inducidas, es una alternativa adicional que ayuda al ecosistema en el proceso de regeneración, evitando la pérdida de suelo por erosión, favoreciendo la infiltración (Velásquez *et al.*, 2013a) y retención de humedad en el suelo (Cruz *et al.*, 2016). Además, las prácticas de revegetación de pastizales, ofrece la posibilidad de incrementar la disponibilidad de forrajes, tal es el caso del chamizo (*Atriplex sp.*) la cual es una especie nativa viable para repoblar las áreas de matorrales, ya que es una especie nativa de alto valor forrajero en los agostaderos de las zonas áridas y semiáridas de México (Saucedo, 2003).

Si al establecimiento de vegetación, se le agrega la aplicación de retenedores de humedad edáfica y el uso de materiales genéticos tolerantes al estrés hídrico, el efecto de captación de agua se puede potencializar (Cruz *et al.*, 2016). Los retenedores de humedad se han explorado tanto los de origen natural como los de origen sintético. Entre los primeros destacan los rastrojos de cultivos y, en los segundos, es cada vez más común el uso de hidrogeles de poliacrilamida (Pedroza *et al.*, 2017). El objetivo de este estudio, fue evaluar el establecimiento de chamizo (*Atriplex sp.*) mediante el uso de diferentes fuentes y dosis de retenedores de humedad del suelo, tanto orgánicos como sintéticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica del área de estudio

El estudio se realizó en la localidad de Roma-Texas, municipio de Mapimi, estado de Durango, México. La región se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 25° 52' 5.75" N y 103° 44' 16.63" O, a una altitud de 1166 msnm. Presenta un clima BWhw(e), que corresponde a muy árido, semicálido con lluvias en verano y una amplitud térmica extrema, con una precipitación promedio anual de 200 a 400 mm (Vidal, 2005) y la evaporación anual de 2,347 mm (SMN, 2010). El promedio de la temperatura máxima mensual es de 34.3 °C y la temperatura mínima mensual media es de 5.4 °C (SMN, 2010). El municipio de Mapimí se encuentra en la cuenca Nazas-Aguanaval ubicada entre las latitudes

22° 40' y 26° 35' Norte, y los Meridianos 101° 30' y 106° 20' Longitud Oeste (CONAGUA-UJED, 2014).

Diseño experimental y de tratamientos

Se usó un diseño experimental en bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Los materiales de retención de humedad edáfica fueron: rastrojo de maíz, hidrogel y bagazo de sábila, cada uno a dosis de 0, 25 g y 50 g. Como material genético para el control de la erosión se utilizó *Atriplex sp.* utilizando dos plantas por tratamiento a una distancia de un metro entre plantas en la parte medie del cuadrado, utilizando así 42 plantas en total. Para ello se excavó una cepa para cada planta, con el uso de pala pocera. Se sacó la tierra y se revolvió cada uno de los retenedores con suelo, el cual posteriormente fue aplicado ya con la planta en zona de la rizósfera.

La unidad experimental fue de una superficie de $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$, lo que daría 90 m de largo y 15 m de ancho, dejando una calle de 1 m entre repeticiones.

Las plantas de *Atriplex sp.* fueron adquiridas en un vivero, buscando tuvieran la misma uniformidad en cuanto a altura, vigor y dosel.

Los retenedores de humedad fueron preparados conforme a la naturaleza de cada uno de ellos: el hidrogel de poliacrilamida, fue adquirido en su forma comercial como Aquasorb 3005 KM de la marca SNF FLOERGER; el bagazo de sábila fue obtenido de plantas de aloe (*Aloe barbadensis m.*) de una plantación existente en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Dgo. Para ello se cortaron las hojas de las

cuales les fue extraído el gel de sábila mediante la utilización de un cuchillo y una espátula, el bagazo obtenido se llevó a un horno de secado marca Blinder a 55 °C hasta llevarlas a peso seco constante, para después ser trituradas; finalmente el rastrojo de maíz fue obtenido de desechos de cosecha de maíz de los campos productivos de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, el cual fue molido en una trituradora y picadora de forraje.

Análisis físico-químico del suelo

Como parte de los análisis del área experimental, se realizó un análisis físico-químico del suelo. De acuerdo al cuadro 1, corresponde a un suelo Franco-arenoso con un porcentaje de 56, 28 y 16% de arena, limo y arcilla, respectivamente, con un punto de marchitez permanente (PMP) de 9.6% y una capacidad de campo (CC) de 19.7%. Son suelos pobres en macroelementos y microelementos, aunque un tanto de buen nivel de potasio (K) disponible (68.4 mg Kg⁻¹) y calcio (Ca) con un valor de 33.7 meq L⁻¹, derivado de lo cual presenta un pH alcalino (8.3).

Cuadro 1. Análisis físico-químico del suelo del área de estudio

Arena (%)	56
Limo (%)	28
Arcilla (%)	16
Textura	Franco Arenosa
Punto de marchites permanente (PMP)(%)	9.6
Capacidad de campo (CC)/%	19.7
N-Nítrico (N-NO ₃ , mg/kg)	N/D
Fósforo disponible (P, mg/kg)	7.25
Potasio disponible (K, mg/kg)	68.44
Cloro (Cl) meq/L	21.3
pH	8.31
Calcio (Ca, meq/L)	33.71
Magnesio (Mg, meq/L)	6.29
Sodio (Na, meq/L)	2.6
Potasio (K, meq/L)	1.35
Fierro (Fe, mg/kg)	1.84
Manganeso (Mn, mg/kg)	3.51
Cobre (Cu, mg/kg)	0.7
Zinc (Zn, mg/kg)	0.46

Establecimiento del experimento

Mediante el uso de una retroexcavadora, se procedió a limpiar y despejar el terreno donde se llevó a cabo el experimento. El día 20 de Junio de 2017 se realizó el trasplante de *Atriplex sp.* conforme al diseño de los tratamientos. Posteriormente se rellenó la cepa ya con la planta, utilizando una mezcla en el suelo según el tipo de retenedor de humedad correspondiente (hidrogel, bagazo de sábila, rastrojo de maíz).

Variables medidas

Del 3 de agosto de 2017 al 22 de marzo de 2018 se recabaron los datos. De acuerdo al crecimiento y desarrollo de la planta se midió: la altura a través del tiempo (cm), con uso de cinta métrica; diámetro del tallo (mm), mediante el uso

de un vernier marca pretul; cobertura foliar (cm^2) midiendo el dosel con cinta (largo por el ancho de la planta); vigor de la planta, mediante el uso de una escala de 0 a 10, donde 0 corresponde a sin vigor de la planta en estado de marchitez y 10 correspondió al estado de mayor vigor de la planta; fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); Conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-1}\text{s}^{-2}$) y transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), estas últimas tres variables medidas con el medidor de flujo de gases a base de rayos infrarrojos (IRGA, por sus siglas en inglés) Modelo LI-6400; índice de clorofila, utilizando un medidor de clorofila marca fieldscout CM 1000; contenido de humedad en el suelo en porcentaje utilizando un tensiómetro marca Lutron modelo PMS-714 con lectura digital en tiempo real. Finalmente se midió la eficiencia en el uso del agua mediante la división de los datos de la fotosíntesis entre los de transpiración multiplicando el cociente por 100. También se cuantificó el movimiento de las partículas del suelo por efecto de arrastre de la lluvia y el escurrimiento superficial. Para ello, se usaron varillas de metal con plancha metálica en la parte superior. El método consiste clavar en el suelo una varilla de manera que en la parte superior se pueda identificar la falta de suelo por erosión mediante la formación de pequeñas cárcavas por debajo de la plancha metálica, o bien la deposición de suelo con la altura del suelo sobre la placa. (Hudson, 1997). Cada unidad experimental contó con un total de tres varillas de metal clavadas aleatoriamente, lo cual hace un total de 63 varillas medidoras por todo el experimento. La erosión (mm) y deposición (mm), medidas con vernier a partir de la plancha de metal de 400 cm^2 insertada en el suelo al inicio del experimento, la conversión del espesor de la lámina erosionada o sedimentada de mm a Ton ha^{-1} , se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$Y = X * Da * 10 \dots \dots \dots (1)$$

Donde Y es el suelo erosionado o sedimentado en Ton ha⁻¹, X es la altura en mm del suelo erosionado o sedimentado, Da es la densidad aparente del suelo en Ton m⁻³ (1.52) y diez es una constante de la ecuación en función del área de la placa (Pizarro y Cutiño, 2002).

Delimitación de caudal

Mediante el simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL 3.1), se delimitó la procedencia del agua que llegó a la parcela experimental, de esta manera se obtuvo información para el cálculo de la lámina escurrida causante del movimiento de partículas del suelo.

Volumen de agua de escorrentía calculado por el método de aproximación

Para medir la escorrentía superficial, se utilizó el método de aproximación para el cálculo del volumen de agua del cauce en cada evento de lluvia. Ésta información de la velocidad del flujo y de la geometría del canal es la base para determinar el volumen que pasa por el cauce por unidad de tiempo; a este proceso de medición se le denomina aforo (Linsley *et al.*, 1998). En el presente estudio la escorrentía registrada fue en una acequia formada de manera natural por los escurrimientos sucesivos registrados en años anteriores a 2017 y ambos de forma geométrica trapezoidal. El primer sitio de aforo se encuentra ubicado en la acequia a la entrada del pastizal y el segundo sitio sobre la misma acequia, pero a la entrada del área experimental, la cual se ubicó en la parte baja del campo en sentido Oeste-Este (Fig. 1a y 1b).

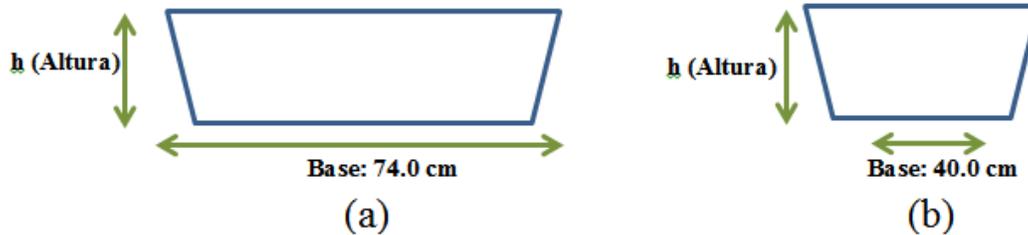


Fig. 1 Acequia trapezoidal a la entrada al campo de pastizal (a) y entrada al área experimental (b)

La expresión del gasto o el volumen por unidad de tiempo, es definido por la siguiente ecuación (Breña y Jacobo, 2006):

$$Q = A * V \dots \dots \dots (2)$$

Donde **Q** es el gasto, en $m^3 s^{-1}$; **V** es la velocidad representativa del flujo en $m s^{-1}$; y **A** es el área de la sección o canal, la cual es perpendicular a la dirección de la velocidad del flujo en m^2 .

El valor de área de la sección de un río o canal se obtiene tanto de sus características geométricas, como del nivel del agua en diferentes tiempos, en este caso mediante la ecuación del área del trapecio:

$$A = \frac{(B+b)(h)}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

A= Área de la sección de la acequia; **B**= Base mayor; **b**= Base menor; y **h**= Altura (nivel del agua de escorrentía), todo el producto dividido entre dos.

Para determinar la velocidad de la corriente de agua que varía tanto en perfil como en sección se utilizó la siguiente expresión de resistencia al flujo sugerida por Manning representa su cálculo (Bolinaga, 1979; Sánchez *et al.*, 2015):

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

V =Velocidad en $m\ s^{-1}$; n = Coeficiente de Rugosidad de Manning (dependerá de la disposición de la naturaleza de las paredes de la sección de aforo). Se identificó un canal natural abierto con fondo de piedra y secciones irregulares con vegetación aislada, correspondiente a un coeficiente de 0.050 (Bolinaga, 1979);

R = Radio hidráulico, determinado a su vez con la siguiente ecuación: $R = \frac{A}{P_m}$

donde A es el área de la sección y P_m es el valor del Perímetro de mojado (Fig.

2); S = Pendiente del fondo del canal, el cual para este caso se estimó en 0.001.

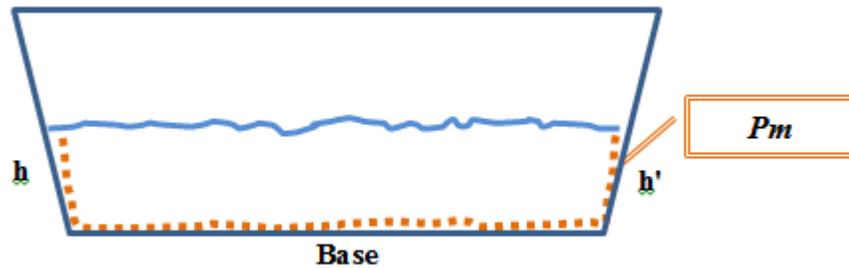


Fig. 2 Perímetro de mojado (correspondientes a la línea punteada = $h + h' +$ Base)

Estimación de la curva carga-gasto

Con base en la ecuación 2, se procedió a aforar la sección hidráulica a diferentes alturas, se hizo variar las alturas cada 2 cm y de esta manera obtener la curva carga-gasto; derivando así la forma matemática y obteniendo de esta manera una ecuación que mejor ajuste al comportamiento de los datos de la curva (Cuadro 2 y 3).

Cuadro 2. Variación de alturas de la sección hidráulica del sitio 1 (entrada al campo de pastizal) y cálculo de gasto en m^3s^{-1} .

Alturas (h), metros	$Q_i, \text{m}^3 \text{s}^{-1} *$
0.02	0.0028
0.04	0.0089
0.06	0.0172
0.08	0.0275
⋮	⋮
⋮	⋮
0.40	0.3412
0.42	0.3667
0.44	0.3928

*Calculado con la ecuación (2).

Cuadro 3. Variación de alturas de la sección hidráulica del sitio 2 (entrada al área experimental) y cálculo de gasto en m^3s^{-1} .

Alturas (h), metros	$Q_i, \text{m}^3 \text{s}^{-1} *$
0.02	0.0026
0.04	0.0081
0.06	0.0155
0.08	0.0246
⋮	⋮
⋮	⋮
0.36	0.2383
0.38	0.2571
0.40	0.2762

*Calculado con la ecuación (2).

Mediante la técnica de regresión lineal simple con base en los datos del Cuadro

2 (Fig. 3), se generó la siguiente ecuación: $Y = 1.4994x^{1.589}$ $R^2 = 0.99$

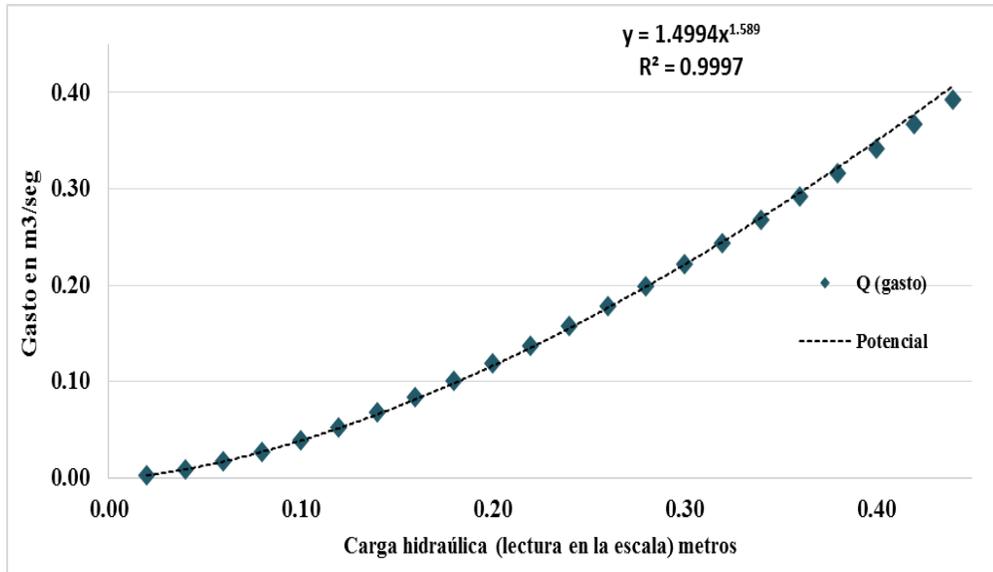


Fig. 3. Curva carga-gasto con línea de tendencia de regresión ajustada a los datos de Q en el sitio 1 (entrada al campo de pastizal).

En tanto que la ecuación generada para el sitio 2 (entrada al área experimental)

(Cuadro 3) (Fig. 4) fue: $Y = 1.1955x^{1.548}$ $R^2=0.99$

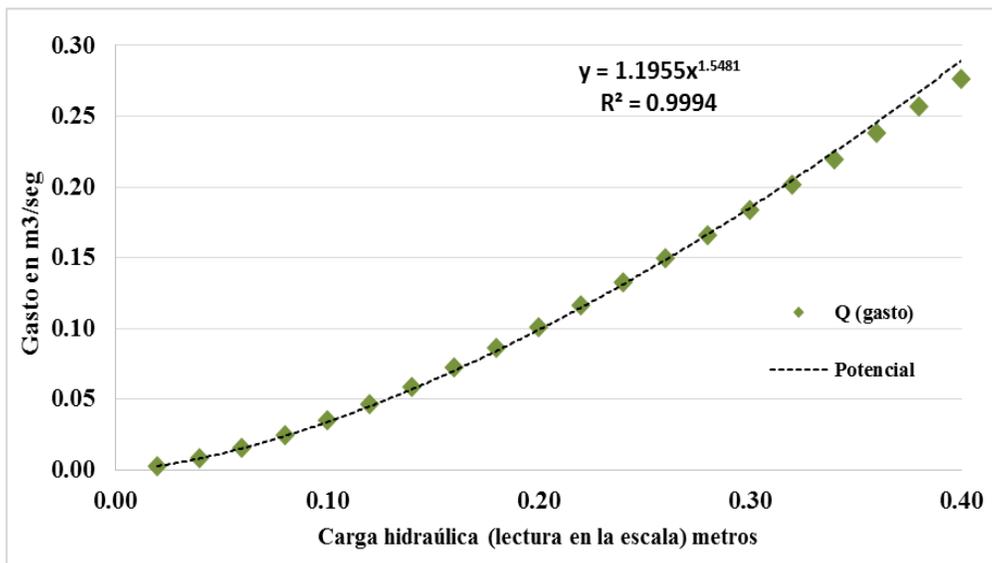


Fig. 4. Curva carga-gasto con línea de tendencia de regresión ajustada a los datos de Q en el sitio 2 (entrada al área experimental).

Posteriormente se calculó el gasto de agua que pasó en el sitio 2, lo anterior con los datos que fueron tomados en seis avenidas registrando diversas alturas en diferentes tiempos. Con la escala anotada y la relación carga-gasto del dren principal de la cuenca, se obtuvieron 6 hidrogramas productos de las precipitaciones ocurridas en el sitio durante el periodo de estudio (Fig. 5).

Con esta base, se utilizó la aproximación analítica para conocer el volumen de cada hidrograma, lo cual consiste en la solución exacta que se obtiene al integrar la función matemática que lo describe. Esta función se obtuvo mediante el paquete computacional *CurveExpert 1.40* que permitió ajustar datos observados a diferentes funciones polinomiales (Sánchez *et al.*, 2015).

En el modelo polinomio que describe el hidrograma (x) el volumen total sería:

$$V = \int_{x_0}^{x_n} f(x)dx = \int_{x_0}^{x_1} f(x)dx + \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^{x_n} f(x)dx \quad (3) \dots \dots \quad (5)$$

Donde V es el volumen total, la integral del tiempo cero al tiempo máximo y la $f(x) dx$ que describe el hidrograma con una función de ajuste a los datos de flujo observados.

Cálculo de la lámina escurrida

De acuerdo al volumen dado por cada hidrograma en la sección de aforo a la entrada del área experimental, la lámina escurrida se calculó con la ecuación 6,

de acuerdo a lo especificado por Bolaños *et al.*, 2001. La lámina escurrida por hectárea aplicada en cada evento de lluvia.

$$LE = \frac{V}{A} \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

LE = lámina escurrida; **V** = volumen (m³); **A** = área (m²)

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre las variables en los tratamientos que más influyeron el proceso de establecimiento y desarrollo de las plantas de *Atriplex sp.*

Los datos fueron analizados mediante el paquete SAS versión 9.0. Se realizó un análisis de varianza para las variables mediante el procedimiento GLM y pruebas de rango estandarizado de Tukey ($P \leq 0.05$) para determinar los efectos de los tratamientos entre las variables, así como un análisis de correlación puntual de Pearson para identificar la relación entre las mismas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de la precipitación para el año 2017 fue de 274.4 mm de enero a diciembre, lo que se puede considerar como un año normal de lluvia congruente con lo reportado por Vidal (2005); SMN (2010), donde el promedio anual para la región es de 200 a 400 mm. La lluvia se presentó todo el año a excepción del

mes de noviembre que se reportó con cero mm; en tanto que el período de máximas precipitaciones pluviales fue del mes de julio a septiembre, con un promedio trimestral de 165.5 mm (Fig. 5) Lo anterior corrobora el carácter torrencial de la región, con los consecuentes riesgos de erosión hídrica de los suelos bajo estas condiciones (Velásquez *et al.*, 2017).

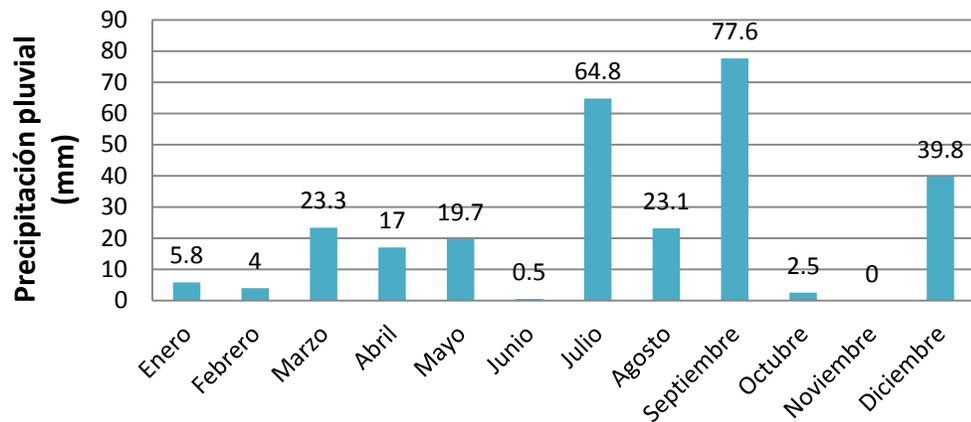


Fig. 5 Precipitación pluvial (mm) ocurrida durante el año de 2017 en el área de Roma-Texas del municipio de Mapimí, Dgo.

Se obtuvo un hidrograma por cada uno de los eventos de lluvia-escorrentía registrados (Fig. 6) en el área experimental, mostrando el momento en el que comenzaba el escurrimiento de agua en el área hasta que éste cesaba.

Mediante éstos hidrogramas se calculó la lámina escurrida (Cuadro 4) de cada uno de los eventos de lluvia-escorrentía en el área experimental, siendo el evento registrado del 29 de septiembre el que mayor cantidad de agua escurrida aportó al área experimental, con un volumen de 424.37 m³ y una lámina escurrida calculada por hectárea de 4.24 cm. Como total de los 6 eventos de lluvia-escorrentía se obtuvo una lámina de 7.88 cm por hectárea.

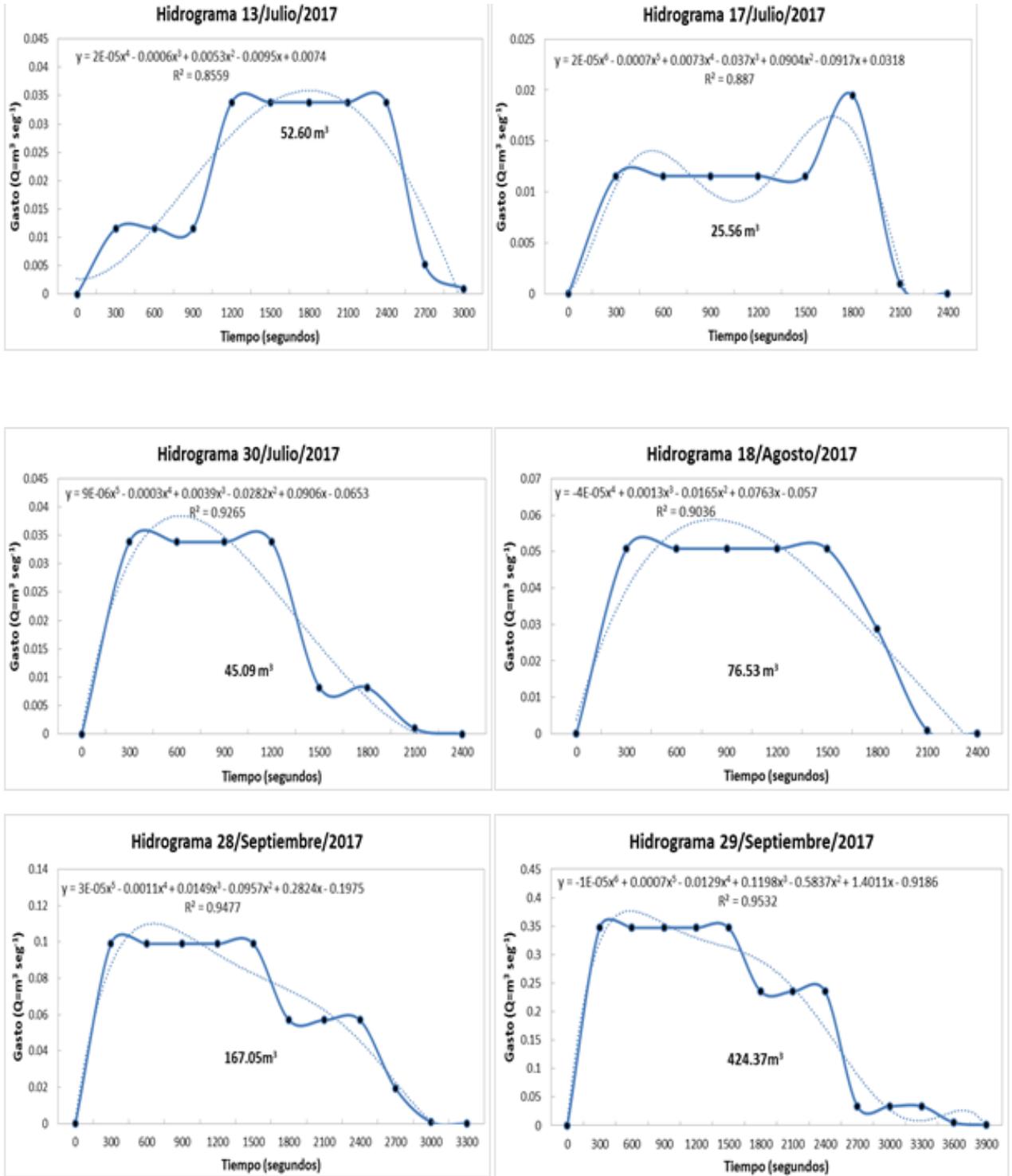


Fig. 6 Hidrogramas estimados para los eventos de lluvia-escorrentía en el área experimental.

Cuadro 4. Cálculo de lámina escurrida de acuerdo a los hidrogramas obtenidos

Avenida	Fecha del evento	Volumen (m ³)	Lámina escurrida calculada por hectárea (cm)
1	13/Julio/2017	52.60	0.52
2	17/Julio/2017	25.56	0.25
3	30/Julio/2017	45.09	0.45
4	18/Agosto/2017	75.53	0.75
5	28/Septiembre/2017	167.05	1.67
6	29/Septiembre/2017	424.37	4.24
Total			7.88

Erosión y deposición del suelo

El efecto de erosión-deposición fue reducido, al aplicar el tratamiento de bagazo de sábila al suelo; la erosión fue significativamente menor cuando se aplicó éste producto como retenedor de humedad edáfica, a una dosis de 25 g, con un valor de erosión de 11.8 Ton ha⁻¹, siguiéndole en importancia de menor erosión al aplicar el mismo producto a una dosis de 50 g o aplicar rastrojo de maíz molido a una dosis de 25 g, con valores de 16.3 Ton ha⁻¹ y 15 Ton ha⁻¹, respectivamente. No hubo diferencia estadística en el resto de los tratamientos para esta variable. En cambio, para la deposición del suelo, esta variable no fue afectada por ningún tratamiento, sin diferencia estadística con el testigo (Cuadro 5). El efecto anterior significa que al aplicar el bagazo de sábila al suelo donde se plantó *Atriplex sp.* el movimiento de partículas de suelo fue significativamente menor debido a una mayor cobertura vegetal de *Atriplex sp.* Lo anterior coincide con lo reportado por

Velásquez *et al.*, (2013) quienes trabajaron con simuladores de lluvia en parcelas de zacate nativo y buffel, reportando diferencias en cuanto a volúmenes de agua escurridos y un bajo contenido de sedimentos, debido a una excelente cobertura vegetal de pasto buffel.

Cuadro 5. Efecto de diferentes fuentes y dosis de retenedores de humedad en la erosión y deposición del suelo.

Tratamiento	Erosión de suelo (Ton ha ⁻¹)	Deposición del suelo (Ton ha ⁻¹)
Testigo	19.6 abc	21.1 a
25 g de rastrojo de maíz	15.0 bc	25.5 a
50 g de rastrojo de maíz	30.2 a	20.1 a
25 g de hidrogel	26.8 ab	24.1 a
50 g de hidrogel	28.3 ab	20.9 a
25 g de bagazo de sábila	11.8 c	29.6 a
50 g de bagazo de sábila	16.3 bc	29.6 a

Testigo= sin rastrojo de maíz, sin bagazo de sábila y sin hidrogel
Prueba de Tukey (P≤0.05). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales

Crecimiento y desarrollo de *Atriplex* sp.

Respecto a los efectos de los diferentes retenedores de humedad, el % de humedad, no se encontró efecto de tratamiento por tipo de retenedor de humedad edáfica, sin diferenciarse estadísticamente con el testigo (Cuadro 6). Lo anterior es coincidente con los resultados obtenido por Taban & Movahedi (2006), quienes al trabajar con hidrogel Aquasorb y composta orgánica, no obtuvieron efecto de retención de humedad edáfica. Estos autores, señalan que es necesario una mayor cantidad de hidrogel y de composta orgánica para que

funcionen correctamente como retenedores de humedad a la vez de que el hidrogel necesita una mayor cantidad de agua para un mejor desempeño por parte del producto; sin embargo, la composta orgánica pueden influenciar como aportadora de nutrientes a la planta, con efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sánchez *et al.*, 2011), tal como sucedió en este estudio, donde el diámetro de tallo, vigor y altura de planta, fueron significativamente mayores al incorporar el retenedor de humedad, en comparación al testigo. Algunos estudios señalan que la incorporación de restos de cosecha al suelo como abonos verdes mejora la fertilidad del suelo, mediante el aporte de nutrimentos necesarios para un mejor desarrollo de los cultivos (FAO, 2005; SEAE, 2008). Caso similar ocurrió con el uso del hidrogel en cuanto a diámetro de tallo, vigor y altura de planta. Al respecto, un estudio realizado por Chirino *et al.*, (2011) señala que el hidrogel puede mitigar el estrés post trasplante al que puede estar sometido la planta, proporcionando condiciones favorables para un mejor desarrollo, en comparación del testigo. Otro estudio realizado por Shi *et al.*, (2010), reporta que el hidrogel no solo es capaz de mitigar el estrés hídrico en plantas de *Populus popularis*, sino que también es capaz de mitigar el estrés salino, al indicar que al exponer a las plantas a estos tipos de estrés de manera individual, disminuía significativamente el incremento en biomasa radicular, aérea, yemas, y el peso total. Por lo que se esperaba que, al combinar ambos tipos de estrés, disminuyera drásticamente e incluso murieran las plantas afectadas. Sin embargo, al adicionar hidrogel, la biomasa no fue estadísticamente diferente con respecto a las plantas afectadas por solo un tipo de estrés, aunque siguió siendo significativamente menor con respecto a las plantas testigo.

La cobertura vegetal, fue significativamente mayor cuando se aplicó bagazo de sábila, con un valor de 1,073 cm² en la dosis de 25 g en contraste con el testigo, el cual registro un valor significativamente menor (711.6 cm²) y sin diferencia estadística de éste en los tratamientos de rastrojo de maíz y el hidrogel. Contrario a esto, Crespo *et al.* (2013), que el bagazo de agave produjo en agave azul tequilero con una mayor cobertura vegetal con un mayor número de hojas y mayor longitud de éstas.

Cuadro 6. Efecto de los diferentes retenedores de humedad en las características de crecimiento y desarrollo de *Atriplex sp.*

Tratamiento	Humedad en el suelo (%)	Diámetro del tallo (mm)	Altura de la planta (cm)	Vigor de la planta (0-10)	Cobertura de vegetación (cm ²)
Testigo	15.01 a	0.44 c	23.75 d	7.57 ab	711.6 b
25 g de rastrojo de maíz	14.28 a	0.58 ab	41.58 a	7.69 ab	868 ab
50 g de rastrojo de maíz	14.75 a	0.65 a	34.21 abc	7.97 ab	804.7 ab
25 g de hidrogel	14.88 a	0.53 ab	29.37 bcd	7.63 ab	687 b
50 g de hidrogel	13.06 a	0.59 ab	36.27 ab	8.16 a	990.7 ab
25 g de bagazo de sábila	13.68 a	0.56 abc	38.9 a	7.95 ab	1073.3 a
50 g de bagazo de sábila	14.71 a	0.51 bc	27.28 d	7.4 b	886.6 ab

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

De acuerdo al comportamiento de la humedad del suelo y crecimiento del *Atriplex sp.* en diferentes días después del trasplante (Fig. 7) se tiene que el crecimiento del *Atriplex sp.* se mantuvo relativamente constante a través del tiempo, con una leve tendencia de crecimiento hacia el final de la toma de datos, más concretamente a partir del día 106 después del trasplante (DDT). Lo anterior demuestra la capacidad de la planta a adaptarse a condiciones de déficit hídrico en las diferentes etapas de desarrollo.

En cuanto al contenido de humedad en el suelo, se puede observar una disminución a partir del día 62 y manteniendo estos contenidos de humedad muy semejantes hasta la toma de datos del día 207 donde incrementa nuevamente un poco, tal vez debido a algún evento de precipitación.

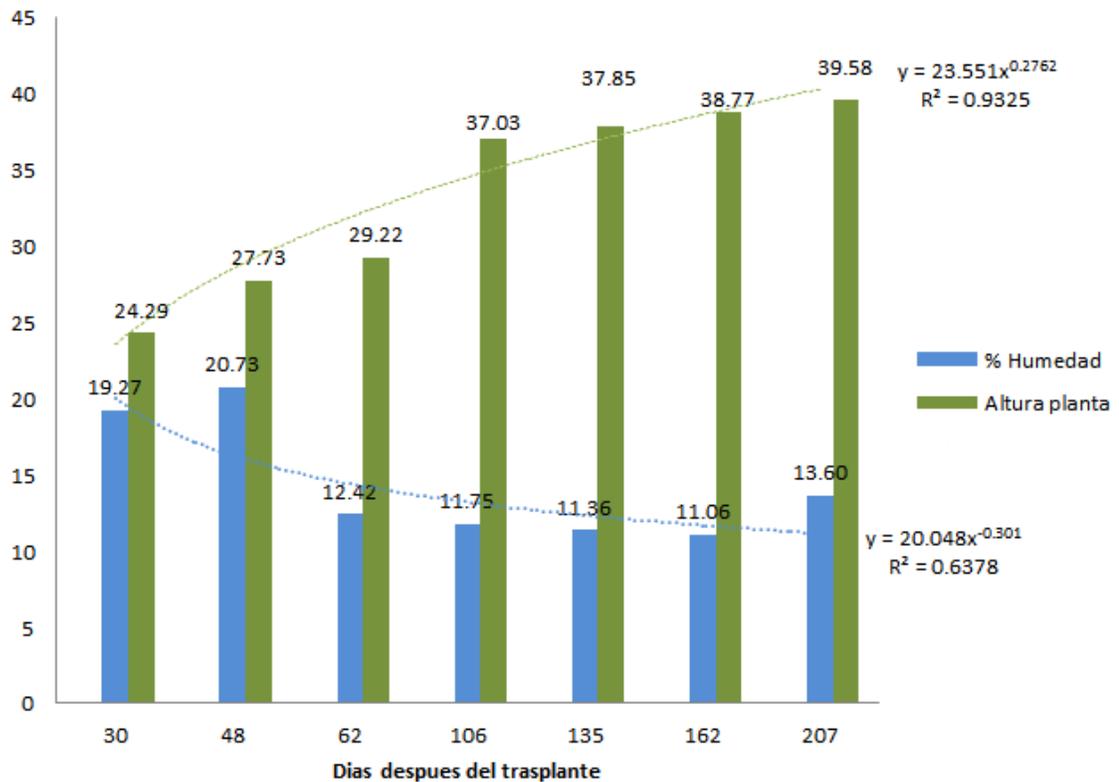


Fig. 7. Comportamiento del contenido de humedad en el suelo y crecimiento del *Atriplex sp* en diferentes días después del trasplante.

Fisiología y eficiencia en el uso del agua

Los efectos de los retenedores de humedad en la fisiología y eficiencia del agua en *Atriplex sp.* (Cuadro 7) no muestran ninguna diferencia estadística entre los tratamientos utilizados, posiblemente relacionado a la falta de diferencia estadística en el contenido de humedad en los diferentes tratamientos y el testigo, contrario a lo obtenido en otros estudios realizados por Tezara *et al.*, (1999); Cabrera (2002); Cruz *et al.*, (2016); Pedroza *et al.*, (2018), quienes identificaron que el estrés hídrico, producto de contenidos menores de humedad disponible para plantas, inhiben su fisiología y desarrollo. Pedroza *et al.*, (2017) utilizaron hidrogel y biocomposta para medir el efecto en la fotosíntesis y la actividad

forrajera en plantas de maíz, en este caso si se tuvo un mejor efecto en el contenido de humedad de suelo mejorando la actividad fotosintética, sin embargo, en otras variables como lo fue la transpiración y la conductancia estomática no fueron afectadas.

Cuadro 7. Efecto de los retenedores de humedad en la fisiología y eficiencia del agua en *Atriplex* sp. en suelos degradados.

Tratamiento	Fotosíntesis ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	EUA (Foto/Trans)	Índice de clorofila
Testigo	7.78 a	0.03 a	0.63 a	14.61 a	99.24 a
25 g de rastroyo de maíz	10.17 a	0.05 a	0.99 a	10.54 a	84 a
50 g de rastroyo de maíz	10.05 a	0.06 a	1.18 a	8.59 a	99.73 a
25 g de hidrogel	7.71 a	0.03 a	0.75 a	10.23 a	92.19 a
50 g de hidrogel	10.69 a	0.06 a	1.24 a	9.3 a	94.03 a
25 g de bagazo de sábila	9 a	0.05 a	0.95 a	9.86 a	94.93 a
50 g de bagazo de sábila	8.34 a	0.05 a	0.95 a	9.19 a	88.34 a

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. EUA= Eficiencia del uso del agua.

CONCLUSIONES

El método hidrológico por aproximación, es una opción adecuada para relacionar los eventos de lluvia, escorrentía y erosión hídrica del suelo, sobre todas las estaciones experimentales semi-instrumentadas, donde no hay suficiente instrumentación para medir todas las variables hidrológicas requeridas en este tipo de estudios.

La humedad edáfica no fue afectada por ninguno de los retenedores aplicados al suelo, pero si mejoraron el crecimiento y desarrollo del *Atriplex sp.* al 25 g de bagazo de sábila, lo cual favoreció la cobertura vegetal, y ésta a su vez mitigó la erosión hídrica del suelo.

El *Atriplex sp.* mostró incremento sostenido de crecimiento a través del tiempo, independientemente de una tendencia de decremento de la humedad edáfica, lo que indica la capacidad de la especie para adaptarse en ambientes áridos y su importancia para la recuperación de ecosistemas degradados.

No se encontró ningún efecto de respuesta fisiológica en el *Atriplex sp.* por el tipo y dosis de retenedor utilizados en este estudio, debido principalmente a que no se obtuvo diferencia estadística en cuanto al contenido de humedad en suelo.

LITERATURA CITADA

- Bolaños G. M., Palacios V. E., Scott C., Excebio G. A. (2001). Estimación del volumen de agua usado en una zona de riego mediante una imagen de satélite e información complementaria. *Agrociencia*, 35(6).
- Bolinaga J. J. (1979). Valores de coeficiente de rugosidad de Manning (n). Drenaje urbano. Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS).
- Breña P. A. F. y Jacobo V. M. A. (2006). Principios y fundamentos de la hidrología superficial. Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.
- Cabrera, H. (2002). Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural*. 75(3). 625-637.
- Carmona, G. G. (2017). Respuesta hidrológica del suelo a diferentes tipos de pastizal mediano abierto en Zacatecas. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México.
- Cervantes, M. C. (2005). Plantas de Importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina*. (3388-3407).
- Chirino E., Vilagrosa A., Ramon V. V. (2011). Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant Soil*. 344. 99-110

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.

Crespo G. M. R., González E. D. R., Rodríguez M. R., Redón S. L. A., Del Real L. J. I., Torres M. J. P. (2013). Evaluación de la composta del bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4 (8). 1161-1173.

Cruz M. A., Pedroza S. A., Trejo C. R., Sánchez C. I., Samaniego G. J. A., Hernández S. 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.

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.

Hudson, N. W. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. FAO- 68.

FAO. (2005). Manejo de humedad del suelo en zonas secas. Recuperado el 7 de agosto de 2018, de <http://www.fao.org/3/a-at780s.pdf>

FAO, (2007). Recuperado el 13 de marzo de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/010/a1598s/a1598s06.htm>

Linsley R. K., Kohler M. A., Paulhus J. L. H. (1988). Hidrología para ingenieros. Segunda edición. McGraw-Hill. México, D.F.

López, S.A. (2016). Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? Terra Latinoamericana, 34 (2), 239-249.

Pedroza S. A., Chávez R. J. A., Trejo C. R., Sánchez C. I., Ruíz T.J. (2016). Captación y aprovechamiento integral del agua de lluvia y manejo de aguas residuales en zonas áridas. Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente. Editorial CLAVE México. Vol. IV. 68-88.

Pedroza S. A., Trejo C. R., Sánchez C. I., Yáñez C. L. G., Cruz M. A., Figueroa V. U. (2018). Water Harvesting and Soil Water Retention Practices for Forage Production in Degraded Areas in Arid Lands of Mexico, New Perspectives in Forage Crops Ricardo Loiola Edvan, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.69618. Available from: <https://www.intechopen.com/books/new-perspectives-in-forage-crops/water-harvesting-and-soil-water-retention-practices-for-forage-production-in-degraded-areas-in-arid->

Pedroza S. A., Yáñez C. L. G., Sánchez C. I., Samaniego G. J. A., Trejo C. R. (2017). Hydrogel, biocompost and its effect on photosynthetic activity and

production of forage maize plants (*Zea mays L.*). *Acta agronómica*. 66(1). 63-68.

Pizarro, T.R. y Cutiño, M.H. (2002). Método de evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 13:165-170.

Sánchez C. I., Velásquez V. M. A., Esquivel A. G., Bueno H. P., Pedroza S. A. (2015). Minimum hydrologic characterization for research in experimental watersheds with limited availability of information in arid lands. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 15(2): 185-208

Sánchez S., Hernández M., Ruz F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastor y Forrajes*. 34 (4). 375-392.

Saucedo T. R. A. (2003). Guía técnica para el establecimiento y utilización de plantaciones de chamizo. Folleto Núm. 10. INIFAP-Campo Experimental.

SEAE. (2008). La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. Manual técnico

Shi Y., Li J., Shao J., Deng S., Wang R., Li N., Sun J., Zhang H., Zhu H., Zhang Y., Zheng X., Zhou D., Hüttermann A., Chen S. (2010). Effects of Stockosorb and Luquasorb polymers on salt and drought tolerance of *Populus popularis*. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*., 124(2). 268–273.

SMN. (2010). Normales climatológicas. Recuperado el 26 de noviembre de 2018, de:

<http://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales81110/NORMAL10045.TXT>

Taban M. & Movahedi N. S. A. R. (2006). Effect of Aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil textures. *Communications in soil science and plant analysis*. Vol. 37. 2031-2055.

Tarango, L. A. (2005). Problemática y alternativa de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo, serie zonas áridas*, 4(2), 17-21

Tezara W., Mitchell V. J., Driscoll S. D., Lawlor D. W. (1999). Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*. Vol. 401, 914-917.

UNAM. (2007). *rua*. Recuperado el 28 de Febrero de 2017, de <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/regionesnaturalesbiogeografiamexico.pdf>

Velásquez V. M. A., Median G. G., Sánchez C. I., Oleschko L. K., Ruiz C. J. A., Gabor K. Spatial Variability of the Hurst Exponent for the Daily Scale Rainfall Series in the State of Zacatecas, Mexico. *J Appl Meteor Climatol* (2013a); (52): 2771-2780.

Velásquez V. M. A., Esquivel A. G., Sánchez C. I., Gutiérrez L. R., Muños V. J. A., Macías R. H., Bueno H. P. (2013b). Respuesta hidrológica de diferentes usos del suelo en las zonas áridas del estado de Durango, México. Folleto Técnico N° 29. Centro Nacional De Investigación Disciplinaria En Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. INIFAP. 41 p. ISBN: 978-607-37-0120-4.

Velásquez V. M. A., Sánchez C. I., Hawkins R. H., Serna P. A., Gutiérrez L. R., Pedroza S. A. (2017). Rainfall-runoff relationships in a semiarid watershed in central Mexico, based on the CN-NRCS approach. Model. Earth Syst. Environ. 3: 1263-1272.

Vidal Z. R. (2005). Las regiones climáticas de México I.2.2. Primera Edición. México. D.F.