

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas
Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas

**EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE RETENCIÓN DE
HUMEDAD PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PASTO BUFFEL
(*Cenchrus ciliaris* L.) EN ZONAS ÁRIDAS**

TESIS

Que como requisito parcial para

obtener el título de

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

ADRIANA CRUZ MARTÍNEZ



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Bermejillo, Durango. Febrero, 2014.



El presente trabajo de tesis titulado “Evaluación de prácticas de retención de humedad para el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en zonas áridas”, fue realizado por la C. Adriana Cruz Martínez, bajo la dirección del Dr. Aurelio Pedroza Sandoval, ha sido evaluado y aprobado por el Comité Revisor como requisito parcial para obtener el título de:

Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas

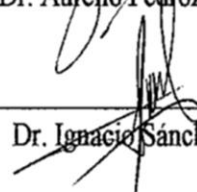
Comité Revisor

Director de tesis



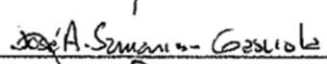
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

Co-director



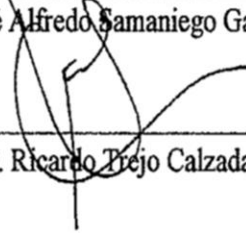
Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Asesor



Dr. José Alfredo Samaniego Gaxiola

Asesor



Dr. Ricardo Trejo Calzada

DEDICATORIA

A mis padres Rosalía Araceli Martínez y Mario Cruz Hernández por ser el motor que me impulsa en la vida, por ustedes soy lo que soy y por ustedes seguiré luchando.

A mis hermanos Andrea, Isabel y Eduardo por ser mis amigos, compañeros y cómplices.

A la luz de nuestras vidas Marianita y Naty, por la alegría que nos inyectan y la sabiduría que nos transmiten.

A mi compañero de vida, Ambrocio Viera Briones.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo-Unidad Regional Universitaria de Zonas áridas, por darme la oportunidad de formarme como profesional y como ser humano.

Al Dr. Aurelio Pedroza Sandoval, por su confianza y apoyo, durante la Maestría.

A los profesores que me compartieron su experiencia y conocimientos durante este ciclo, Dr. Ricardo Trejo Calza, Dr. Bernardo López Ariza, Dr. Jesús G. Arreola Ávila, M. C. Gabriel García Herrera, Dr. Rafael Castro Franco, Dr. Ignacio Sánchez Cohen, M. C. Rafael Carrillo Flores, Dr. Arnoldo Flores Hernández, Dr. Armando López Santos.

Al comité Revisor y al Dr. Miguel A. Velásquez Valle por sus valiosas aportaciones.

Al personal de apoyo, laboratorio y de campo de la URUZA, por las facilidades prestadas para la realización de este proyecto. Especialmente a la C. Margarita Ávila y al C. Joel Bruguño.

A Héctor Paul Vergara Hernández, por su amistad honesta y su apoyo.

A la Sr. Ana María García por recibirme en su casa y en su familia.

Con especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo por su gran labor en el desarrollo científico, de manera particular por el apoyo proporcionado para la culminación de mis estudios de Maestría.

DATOS BIOGRÁFICOS

1.- Estudios superiores en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en la carrera de Ingeniero en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas.

2.- Miembro del Cuadro de Honor durante los cinco años de la licenciatura.

3.- Alto rendimiento universitario durante los ciclos 2006-2007 y 2007-2008.

4.- Miembro del H. Consejo Universitario durante el periodo 2008-2010.

5. Participación como asistente y apoyo logístico en diferentes eventos académicos, talleres y conferencias.

6.- Participación como ayudantía en el Instituto en Biosistemas de Zonas Áridas durante 2010.

7.- Servicio social en el Centro de Autoaprendizaje e intercambio de Saberes (CAIS) de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, trabajando en el fondo de ahorro y microfinanciación con comunidades marginadas en el municipio de Mapimí.

8.- Estancia preprofesional en el Departamento de Desarrollo Rural en el Ayuntamiento de Mapimí, Durango.

9.- Titulación por mérito académico.

10.- Ingreso a la Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas, 2012.

11.- Curso-Taller “Modelación de procesos hidrológicos usando el modelo WEAP”. CENID-RASPA, INIFAP, USDA-ARS, The University of Arizona 17-18 de junio de 2012.

Workshop “Use of KINEROS2-AGWA Model”. CENID-RASPA, INIFAP, USDA-ARS, The University of Arizona. June 19-20, 2013.

12. - Curso “Ecology and Physiology of arid land plants: implications for management under environmental variations. Universidad Autónoma Chapingo. 16-18 de diciembre de 2013.

13.- Participación en el X Nacional sobre recursos bióticos de zonas áridas. Con la ponencia “Evaluación de prácticas de retención de humedad para el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en suelos degradados de zonas áridas ”. Universidad Autónoma Chapingo. 23-25 de octubre de 2012.

14.- Participación en el I Congreso internacional, IX Nacional sobre recursos bióticos de zonas áridas y VI reunión nacional del orégano y otras aromáticas. Con la ponencia “Evaluación de dosis de hidrogel y lombricomposta aplicados al suelo en la capacidad de repastización con zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en condiciones de temporal”. Universidad Autónoma Chapingo. 23-25 de octubre de 2013.

16.- Participación en el I Congreso internacional, IX Nacional sobre recursos bióticos de zonas áridas y VI reunión nacional del orégano y otras aromáticas. Con la ponencia “Toma de decisiones para mejorar el manejo de recursos naturales: Caso ejido Roma-Texas, Mapimí, Dgo.”. Universidad Autónoma Chapingo. 23-25 de octubre de 2013.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	6
TOMA DE DECISIONES EN EL MANEJO DE RECURSOS NATURALES: CASO	
EJIDO ROMA-TEXAS, MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO	6
INTRODUCCIÓN	7
MATERIALES Y MÉTODOS	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
CONCLUSIONES	17
CAPÍTULO II	19
REHABILITACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS MEDIANTE UN SISTEM A DE	
CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y RETENCIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA	19
INTRODUCCIÓN	20
MATERIALES Y MÉTODOS	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
CONCLUSIONES	42
CAPÍTULO III	44
USO DE RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA EN EL ESTABLECIMIENTO DE	
PASTO BUFFEL (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) EN MICROCUENCAS BAJO CONDICIONES	
CONTROLADAS DE LLUVIA	44
RESUMEN	44
INTRODUCCIÓN	45
MATERIALES Y MÉTODOS	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales problemas de manejo de recursos naturales identificados en el ejido Roma-Texas.	10
Cuadro 2. Resultados de la matriz de efectos físicos, donde se indica de manera cualitativa en qué medida se disminuye o incrementa el problema planteado al aplicar las alternativas propuestas.	11
Cuadro 4. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) durante el período de Agosto a Diciembre de 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.	25
Cuadro 5. Evaluación de hidrogel y lombricomposta como retenedores de humedad edáfica en la germinación y cobertura de pasto en microcuencas. Bermejillo, Dgo. 2012.	26
Cuadro 6. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) a los 149 días del año (29 de mayo de 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.	29
Cuadro 7. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) a los 254 días del año (11 de septiembre de 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.	32
Cuadro 8. Efecto de la dosis de lombricomposta en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) a los 149 días del año (Mayo, 2013) en captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.	33

Cuadro 9. Efecto de la dosis de lombricomposta en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) a los 254 días del año (11 de Agosto de 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. __	34
Cuadro 10. Efecto de la dosis de hidrogel y de lombricomposta en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) a los 280 días del año (7 de octubre de 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	35
Cuadro 11. Abatimiento del contenido de humedad en el suelo a través del tiempo en microcuencas captadoras de agua de lluvia con pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L). Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	35
Cuadro 12. Porcentaje de proteína cruda en el pasto buffel por dosis de hidrogel. _____	38
Cuadro 13. Porcentaje de proteína cruda en hojas de (<i>Cenchrus ciliaris</i> L) por tratamiento en los años 2012 y 2013. _____	39
Cuadro 14. Actividad fotosintética del pasto buffel en condición de humedad favorable en el suelo. _____	41
Cuadro 16. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) a los 91 días del año (abril, 2013) en microcuencas captadoras de agua con uso de simulador de lluvia. Bermejillo, Dgo. _	49
Cuadro 17. Abatimiento del contenido de humedad en el suelo a través del tiempo en microcuencas captadoras de agua de lluvia con pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L). Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evaluación de alternativas en el aspecto ambiental. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1. _____	14
Figura 2. Evaluación de alternativas en el aspecto del medio físico. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1. _____	15
Figura 3. Evaluación de alternativas en el aspecto social. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1. _____	16
Figura 4. Evaluación de alternativas en el aspecto económico. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1. _____	17
Figura 5. Efecto de la dosis de hidrogel en el porcentaje de germinación de pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) durante el periodo de Agosto de 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	27
Figura 6. Efecto de la dosis de hidrogel en la altura de la planta de pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) durante el periodo de Agosto de 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	27
Figura 7. Crecimiento de la planta de pasto buffel (<i>Cenchrus ciliaris</i> L.) en diferentes fechas de evaluación durante el 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	28
Figura 8. Efecto de la dosis de hidrogel en contenido de humedad edáfica a los 149 días del año (29 de mayo de 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	30

Figura 9. Efecto de la dosis de hidrogel en la altura de planta a los 149 días del año (29 de Mayo de 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	30
Figura 10. Efecto de dosis de hidrogel en la producción de materia seca de pasto buffel en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	31
Figura 11. Efecto de la dosis de hidrogel en contenido de humedad edáfica a los 254 días del año (11 de septiembre 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí. _____	32
Figura 12. Efecto de la dosis de lombricomposta en el contenido de humedad en el suelo a los 149 días del año (Mayo, 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	34
Figura 13. Comportamiento temporal del contenido de humedad en el suelo y la altura de planta de pasto en diferentes épocas del año en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	36
Figura 14. Efecto de interacción entre dosis de hidrogel y dosis de lombricomposta en la cobertura vegetal de pasto en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. _____	37
Figura 15. Porcentaje de PC por tratamiento. _____	40
Figura 16. Abatimiento de humedad en el suelo. _____	42
Figura 17. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad del suelo y cobertura de pasto por área del mismo a los 91 días del año (Marzo, 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia, en condiciones de lluvia simulada. URUZA, Bermejillo, Dgo. _____	49

Figura 18. <i>Contenido de humedad del suelo en diferentes días del año (De Marzo a Octubre, 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia, en condiciones de lluvia simulada. URUZA, Bermejillo, Dgo.</i>	51
Figura 19. <i>Crecimiento de la planta de pasto buffel en microcuencas captadoras de agua bajo condiciones de lluvia simulada. Bermejillo, Dgo.</i>	51
Figura 20. <i>Curvas de abatimiento de humedad del suelo.</i>	53

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PASTO BUFFEL (*Cenchrus ciliaris* L.) EN ZONAS ÁRIDAS

EVALUATION OF MOISTURE RETENTION PRACTICES FOR ESTABLISHING BUFFEL GRASS (*Cenchrus ciliaris* L.) IN ARID LANDS

Adriana Cruz-Martínez; Aurelio Pedroza-Sandoval; Ignacio Sánchez-Cohen; Alfredo Samaniego Gaxiola; Miguel Agustín Velásquez Valle

RESUMEN

Las zonas áridas son de alta vulnerabilidad ecológica por la escasez de agua debida a la disminuida y errática precipitación. El objetivo del estudio fue identificar prácticas eficientes de retención de humedad en un sistema de captación de agua de lluvia en microcuencas de 2 m² de superficie, sembradas con pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). El estudio se llevó a cabo en el Municipio de Mapimí, Dgo. México. Se establecieron dos experimentos, uno bajo condiciones de lluvia natural (2012 y 2013) y otro con lluvia simulada (2013), el trabajo experimental fue acompañado de un diagnóstico de la problemática del manejo de recursos naturales. Se establecieron ocho tratamientos producto de la combinación de las dosis de lombricomposta (0 y 40 ton ha⁻¹) y de hidrogel (0, 5, 10 y 15 Kg ha⁻¹), en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se midió el contenido de humedad del suelo, y variables crecimiento y desarrollo del pasto. El contenido de humedad fue consistentemente mayor cuando se aplicó el hidrogel en cualquiera de sus dosis, respecto a la no aplicación, bajo un régimen adecuado de lluvia. Un efecto de interacción fue observado al aplicar 10 Kg ha⁻¹ de hidrogel y 40 Ton ha⁻¹ de lombricomposta que derivó en un mayor en el contenido de humedad, respecto de otros tratamientos y el propio testigo. Como consecuencia del mayor contenido de humedad por efecto del hidrogel, la germinación, altura de planta, producción de biomasa, actividad fotosintética y contenido de proteína fueron mayores, durante el 2013, bajo condiciones de lluvia natural. En los casos donde se registraron niveles de humedad más bajos, aun bajo condiciones de lluvia simulada, se pudo identificar un crecimiento significativo exponencial a través del tiempo de la planta, lo que demuestra la adecuada capacidad de adaptación de pasto a los ambientes de déficit hídrico.

Palabras clave: Microcuenca, hidrogel, lombricomposta, humedad del suelo.

ABSTRACT

Drylands are of high ecological vulnerability to water scarcity and diminished by erratic rainfall. The aim of the study was to identify efficient moisture retention practices in a 2 m² microdikes rainwater collection system, planted with buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.). The study was conducted in Mapimí, Durango, Mexico. Two experiments, one under natural rainfall (2012 and 2013) and one with simulated rainfall (2013) were established, the experimental work was accompanied by a diagnosis of the natural resource management trouble. Eight treatments product of the combination of the dose vermicompost (0 and 40 Ton ha⁻¹) and hydrogel (0, 5, 10 and 15 kg ha⁻¹) were established in a completely random design with three replicates. The soil moisture content, growth, and development variables of grass were measured. The moisture content was consistently higher when the hydrogel was applied in any dose, compared to no application under adequate rainfall regime. An interaction effect was observed when applying 10 kg ha⁻¹ of hydrogel and 40 Ton ha⁻¹ vermicompost, which resulted in an increase in moisture content, compared to other treatments and the control. Because of the highest moisture content of the hydrogel effect, germination, plant height, biomass production, photosynthetic activity and protein content were higher during 2013, under natural rainfall. In cases where lower levels of humidity were recorded, even under conditions of simulated rainfall, an exponential significant growth could be identified over time the plant, demonstrating proper grazing adaptability to water deficit environments.

Keywords: Microdikes, hydrogel, vermicompost, soil moisture.

INTRODUCCIÓN

El Bolsón de Mapimí corresponde a la región de Sierras y llanuras del norte del Estado de Durango, tiene entre las actividades productivas principales, la ganadería de caprinos y bovinos para lo cual se aprovechan los escasos recursos naturales. En el Bolsón de Mapimí, como en la mayor parte de las regiones de climas desérticos, la precipitación pluvial, es insuficiente para satisfacer las demandas hídricas de las plantas. A lo anterior, se suma la existencia de terrenos que por efecto del sobrepastoreo tienen un deterioro considerable, con pérdida parcial de la cubierta vegetal y una progresiva pérdida de suelo.

El manejo inadecuado de las áreas de pastoreo ha propiciado su degradación física, lo cual las hace más vulnerables a retrasos en la temporada de lluvia y a precipitaciones menores a las esperadas, generándose un problema para los habitantes de las comunidades a causa de la disminución de la capacidad productiva de sus tierras. Para minimizar los efectos de las sequías de las zonas áridas y semiáridas, se debe considerar incorporar prácticas que permitan amortiguar los efectos de años secos y su impacto en la economía de las comunidades de estas regiones.

El establecimiento de pastizales en suelos con degradación física en zonas en zonas áridas, implica la posibilidad de obtener alimento para el ganado y a la vez mejorar la condición del terreno. Para la rehabilitación de estas zonas, es importante considerar especies de pastos tolerantes a las condiciones imperantes. Mantener la humedad en el suelo con sistemas de microcaptación eficientes, puede contribuir a mejorar la calidad del suelo, evitando la erosión por arrastre eólico y pluvial. La integración del uso de retenedores de la humedad y biofertilización, pueden significar toda una alternativa de impacto económico-social en regiones donde, por el

grado de aridez e intensidad de sequía, están en completo riesgo de degradación, ante la incapacidad de los productores de mantener el mínimo de carga animal en sus terrenos.

Diversos trabajos de investigación han sido encaminados hacia el mejoramiento de la calidad del suelo, incluyendo la capacidad de proporcionar a la planta la cantidad de agua necesaria para su desarrollo. Las prácticas complementarias están basadas, por un lado en la incorporación de biofertilizantes y por otro lado, el uso de productos a base de copolímeros que retienen el agua. Estos últimos han sido utilizados predominantemente en la agricultura intensiva bajo condiciones controladas. El uso de estos materiales poliméricos de poliacrilamida que aumentan la capacidad del suelo de mantener la humedad disponible para la planta, ha sido ampliamente difundido en los últimos años. Sin embargo hacen falta estudios más específicos que permitan conocer los efectos de la combinación de este tipo de productos en diferentes dosis y sobre todo en condiciones de déficit de precipitación pluvial.

El objetivo de este trabajo fue contribuir a un desarrollo tecnológico de repastización de áreas degradadas en zonas áridas, con base en un sistema de captación de agua de lluvia y retención de humedad en el suelo. Por ello se evaluaron diferentes dosis de hidrogel y lombricomposta, como prácticas de retención de humedad edáfica para el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), en un sistema de microcuencas retenedoras de agua en condiciones de lluvia natural y simulada.

La hipótesis de este trabajo, fue que las áreas con degradación física de muy baja precipitación, son susceptibles de rehabilitar mediante el diseño y manejo de microcuencas captadoras de agua de lluvia *in situ* y el uso de prácticas eficientes de retención de humedad edáfica.

El documento se presenta en tres artículos que contienen un diagnóstico participativo y la toma de decisiones, para un mejor manejo de recursos naturales. Lo anterior como base del diseño de prácticas que contribuyan a un sistema de captación de agua de lluvia y la retención de humedad edáfica para el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), en áreas con degradación física y baja precipitación.

CAPÍTULO I

TOMA DE DECISIONES EN EL MANEJO DE RECURSOS NATURALES: CASO EJIDO ROMA-TEXAS, MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO

MAKING DECISIONS IN NATURAL RESOURCE MANAGEMENT: CASE ROMA- TEXAS, MAPIMI, DURANGO, MÉXICO

Adriana Cruz-Martínez; Aurelio Pedro-Sandoval; Ignacio Sánchez Cohen; José Alfredo Samaniego Gaxiola; Miguel A. Velásquez Valle

RESUMEN

El manejo de los recursos naturales tanto en las zonas áridas como en cualquier otro sitio, debe estar respaldado por un adecuado análisis de las necesidades reales del sitio en cuestión. El objetivo del presente estudio fue identificar y evaluar diferentes alternativas de manejo de recursos en Roma-Texas en el municipio de Mapimí, Durango, México. Lo anterior con la finalidad de desarrollar opciones de manejo que permitan mejorar las condiciones físicas del suelo en los agostaderos y a la vez, contribuir a las actividades productivas de la población. El estudio fue llevado a cabo en la localidad Roma-Texas que se encuentra a 25° 52'25.83" N y 103° 43'33.8" W a una altura de 1168 msnm. En el presente estudio se identificó, mediante recorridos de campo, la principal problemática en cuestión de recursos naturales en el área. Con el uso de la herramienta RNS Planningtool – SWAPA se definieron probables alternativas a aplicar en el sitio, mientras que con ayuda de expertos relacionados con el manejo de recursos naturales y la herramienta DSS Facilitator, se procedió a la evaluación y definición de las mejores alternativas para contribuir a la resolución de las problemática de manejo de recursos naturales en el área de estudio. Las prácticas mejor evaluadas por su factibilidad, viabilidad y facilidad, considerando los aspectos físico, social, económico y ambiental fueron: el establecimiento de plantas leñosas (*Prosopis* spp), y de pastoreo, particularmente el pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), que son capaces de adaptarse a las condiciones de aridez de la zona.

Palabras clave: Alternativas de manejo, herramientas de toma de decisiones, establecimiento de vegetación adaptada.

ABSTRACT

The management of natural resources both in arid areas as elsewhere, must be supported by an appropriate analysis of the real needs of the site in question. The aim of this study was to identify and evaluate different alternatives of resource management in the ejido Rome -Texas in the town of Mapimí, Durango, Mexico. In order to develop management options to improve the physical conditions of the soil in rangeland and simultaneously contribute to the productive activities of the population. The study was conducted in the Rome - Texas town located at 25 ° 52'25 .83 " N and 103 ° 43'33 .8" W at an elevation of 1168 meters. In this paper were identified through field trips the main problems in matter of natural resources in the area. Using the tool Planningtool RMS - SWAPA likely alternatives were defined to implement on the site, while with the help of experts related to the management of natural resources and facilitator DSS Facilitator tool, we proceeded to the assessment and definition of the best alternatives to contribute to solving the problems of natural resource management in the studied area. The best evaluated practices for their feasibility, practicality and ease , considering the physical, social, economic and environmental aspects were: the establishment of woody plants (*Prosopis* spp), and pasture grazing, particularly buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.), that are able to adapt to arid conditions of the area.

Keywords: Natural resources management, arid zones, making decisions.

INTRODUCCIÓN

El manejo de recursos naturales está ligado a más de un enfoque, ya que puede ser abordado desde el punto de vista de la conservación, el aprovechamiento económico, la función social en las áreas rurales y el aspecto ambiental. Dichos enfoques normalmente están relacionados, aunque en ocasiones de manera opuesta.

La falta de atención y regulación de uso de los recursos naturales en zonas áridas, se observa en altos niveles de degradación y las repercusiones sociales, económicas y ambientales, aunque graves, difícilmente pueden ser valoradas (CONAFOR, 2005). Oropeza (1995) señala que en México se carece de un ordenamiento territorial y en consecuencia, no hay ninguna planificación en el manejo de los recursos naturales, limitando las posibilidades de definir estrategias y líneas de acción para el manejo de recursos naturales.

Se ha indicado que, el 64% de los suelos en México presentan problemas de degradación en diferentes niveles, el 13% son suelos desérticos o rocosos y zonas abandonadas e improductivas (CONAFOR, 2005). Precisamente en zonas áridas, el principal problema que se tiene en cuanto a recursos naturales renovables, es la erosión del suelo (Peña *et al.*, s. f.). Adicionalmente, el cambio de uso del suelo provoca la desertificación de los terrenos. Se ha estimado que 13% de la desertificación México, se ha originado por factores y elementos climáticos y el 87% restante, se puede adjudicar al manejo equivocado que el hombre ha hecho de los recursos naturales por falta de una planeación adecuada. Los impactos de la desertificación se manifiestan en la pérdida de suelos, flora y fauna, en el desequilibrio del ciclo hidrológico y en la disminución de la diversidad (FAO, 1993).

En México, la capacidad productiva se ha ido degradando en forma considerable, debido a la explotación de los recursos naturales. Las zonas áridas son ecosistemas de por sí vulnerables al deterioro, debido a limitaciones físicas como la baja precipitación, topografía, drenaje deficiente o temperatura (Aizpuru, 1995; citado por Loredó *et al.*, 2005). En la actualidad, zonas dedicadas al pastoreo están expuestas a la erosión por acción del viento, incrementando la degradación ya existente a causa de la actividad productiva, además de no aportar a los propietarios de estos terrenos, posibilidades de desarrollo económico.

El carácter torrencial con que se presenta la precipitación pluvial en las zonas áridas y semiáridas 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 y a la pérdida de su capacidad productiva. La erosión eólica afecta de manera similar a estas zonas de México. Actualmente, es común observar un sobre-pastoreo, una excesiva deforestación y extracción de leña, entre otros. Estos aspectos no solo afectan las capacidades de estas regiones para producir, sino que contribuyen a la pérdida de biodiversidad y a su invasión por especies exóticas (Tarango s.f.).

En la mayoría de las zonas áridas y semiáridas de México, las tecnologías tradicionales de producción de cultivos se han basado en la combinación de prácticas hídricas y de conservación de suelos. Sin embargo, la especialización de los sistemas agrícolas en estas zonas ha ocasionado el empobrecimiento y causado la erosión del suelo y, consecuentemente aumentado el riesgo inherente a las variaciones climáticas, reduciendo con ello la seguridad alimentaria y económica de los productores. Por el contrario, los sistemas en los que se practica un manejo integrado de los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna) constituyen proyectos viables para contribuir a

mejorar el nivel de vida de los productores y sus familias (SEMARNAT, 1997). El aprovechamiento adecuado y la conservación de los recursos naturales son criterios en la toma de decisiones para el diseño de prácticas de manejo. El objetivo del presente estudio, fue identificar y evaluar prácticas alternativas para mejorar el manejo de recursos naturales en el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la localidad de Roma, Municipio de Mapimí, Durango. Sus coordenadas geográficas son 25° 52' 23.65" latitud norte y 103° 43' 41.74" de longitud oeste, con una altitud de 1171 msnm. El clima de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1973) es seco, 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

El estudio inició con un recorrido de campo para la identificación de la principal problemática de manejo de recursos naturales en el área de estudio. Con apoyo de la matriz de efectos físicos SWAPA, se propusieron seis alternativas para contribuir a la solución de la problemática identificada. De acuerdo con lo anterior, la proporcionada por el SWAPA y recorridos de campo, se pudieron identificar los siguientes problemas:

Cuadro 1. Principales problemas de manejo de recursos naturales identificados en el ejido Roma-Texas.

Problema	Descripción
Erosión eólica	
Compactación del suelo	
Calidad y cantidad inadecuada de forraje	
Almacén inadecuado de agua	

Una vez identificados los principales problemas, el RMS Planningtool (USDA-Natural Resources Conservation Service, 2005), proporcionó una serie de alternativas para la atención de

los problemas encontrados, las cuales fueron ajustadas acorde a las condiciones particulares para Roma-Texas. Con la colaboración del grupo de expertos relacionado con el manejo de recursos naturales, se determinó que las propuestas que podrían representar mayor impacto en la resolución de la problemática del ejido fueron las siguientes:

- Captación de agua proveniente de escurrimientos en sistemas de microcuencas.
- Establecimiento de plantas leñosas (mezquite).
- Establecimiento de vegetación que se adapte a las condiciones del sitio.
- Pastoreo controlado.
- Quemadas controladas.
- Establecimiento de especies de pastoreo.

RMS Planningtool-SWAPA presentó una respuesta de impacto para cada alternativa en términos alfanuméricos, considerándose una buena alternativa aquella que aplicó para diferentes problemas, además de no tener efectos colaterales adversos.

Cuadro 2. Resultados de la matriz de efectos físicos, donde se indica de manera cualitativa en qué medida se disminuye o incrementa el problema planteado al aplicar las alternativas propuestas.

Alternativa	Problema			
	Erosión eólica	Compactación de suelo	Calidad y cantidad inadecuada de forraje	Almacén inadecuado de agua
Establecimiento de plantas leñosas (mezquite)	Disminución significativa	Disminución significativa	Incremento situacional a significativo	Disminución significativa
Establecimiento de vegetación (pasto) que se adapte a las condiciones del sitio.	Disminución situacional a significativa	Disminución situacional a moderada	Incremento situacional a moderado	Situational

Pastoreo controlado.	Disminución significativa	Disminución moderada	Disminución situacional a significativa	Situational
Quemas controladas	Disminución moderada a significativa	N/A	Disminución moderada a significativa	Incremento situacional
Establecimiento de especies de pastoreo.	Disminución significativa	Disminución situacional a significativa	Disminución significativa	Situational

Evaluación de alternativas: Las propuestas de manejo obtenidas de la matriz de decisión SWAPA, fueron evaluaron con ayuda de un grupo de profesionales del área de manejo de recursos naturales, con la finalidad de asignar una calificación cuantitativa de 0 a 1 a cada alternativa en función de su impacto positivo en la resolución de los problemas identificados en el área de estudio. Para la evaluación se consideraron los criterios físico (más es mejor), económico (más es mejor), social (más es mejor) y ambiental (más es mejor). La herramienta DSS facilitator promedió las calificaciones de cada alternativa jerarquizando las mejores en función de la problemática planteada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los principales problemas identificados en el área de estudio fueron: erosión eólica, compactación de suelo, calidad y cantidad inadecuada de forraje e inadecuado almacén de agua.

Los resultados proporcionados por el DSS Facilitator, están relacionados directamente con la jerarquización de los criterios físico, social, económico o ambiental, dada por el usuario, tal como lo mencionan Medina *et al.* (2004) quienes discuten la aplicación del análisis de sistemas en la planeación regional de los recursos naturales en términos de: (1) La satisfacción de

los requisitos y demandas sociales; (2). La identificación de estrategias óptimas de manejo y; (3). La asignación eficiente de los recursos limitantes de tierra, mano de obra y capital. En el caso del presente estudio se considera principalmente el problema productivo, aunque éste está ligado directamente a los problemas de tipo físico y ambiental, de tal manera que las mejores alternativas serán aquéllas que sean más recurrentes en la solución de diferentes situaciones y que cumplan las condiciones de facilidad, factibilidad y viabilidad.

Se establecieron diferentes jerarquizaciones para encontrar las alternativas más recurrentes:

Ambiental

En el aspecto ambiental el establecimiento de especies de pastoreo como el pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) y otras especies además de plantas leñosas, fueron las alternativas mejor evaluadas por el sistema DSS (Fig. 1), como opciones para mejorar las condiciones ecológicas del sitio de estudio, lo cual coincide con lo reportado por Beltrán *et al.* (2008) quienes, describen al pasto buffel como una especie tolerante a la aridez, que protege al suelo contra la erosión y es resistente al pastoreo, tolerante a la salinidad; además es muy apetecido por el ganado, llegando a ser la principal fuente utilizada para el establecimiento de praderas de temporal. Por otro lado Ríos *et al.* (2012), determinaron la eficiencia de la asociación de mezquite con pasto buffel en zonas degradadas de zonas áridas, particularmente del estado de Chihuahua. Resendez *et al.* (2012) mencionan la importancia ecológica del mezquite como fuente de alimento y refugio de fauna silvestre.

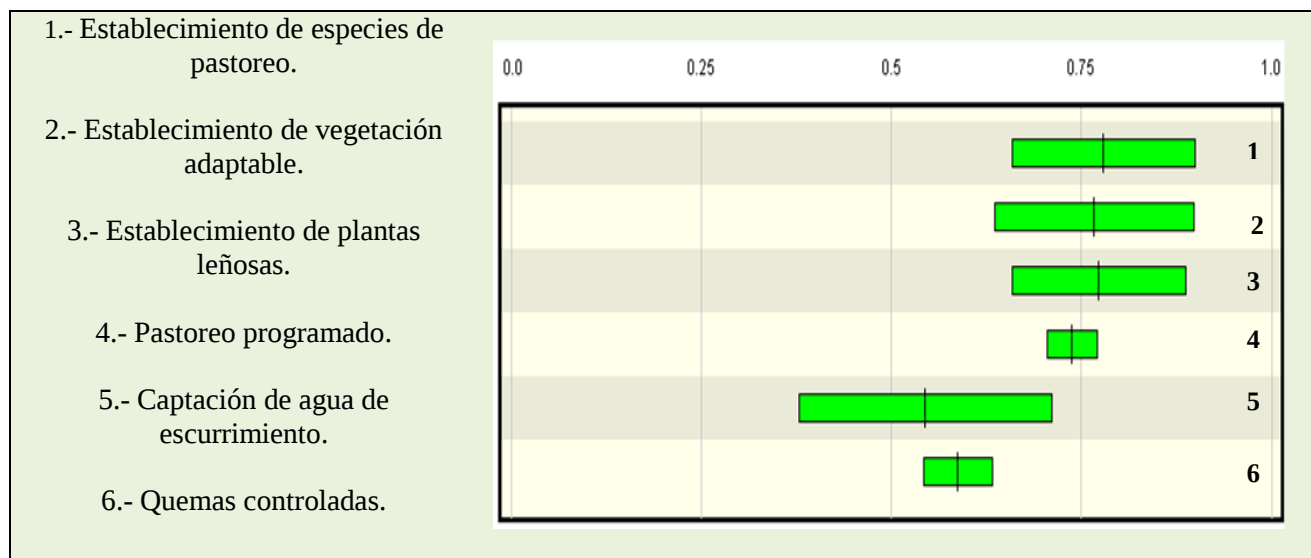


Figura 1. Evaluación de alternativas en el aspecto ambiental. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1.

Físico

En cuanto al impacto en la mejora de las características físicas del medio, particularmente del suelo, el DSS mostró que el establecimiento de plantas leñosas y especies de pastoreo ofrece las mejores condiciones (Fig. 2). Lo anterior se puede asociar al efecto benéfico de especies como el mezquite, ya que de acuerdo con Resendez *et al.* (2012) esta especie es un excelente controlador de erosión eólica y fija nitrógeno de la atmósfera al suelo, mejorando su fertilidad. Además se considera útil para estabilizar y mejorar el suelo al incrementar el contenido de materia orgánica, mejora la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración y posee una de las capacidades fotosintéticas más altas, debido a su buen aprovechamiento de agua y de nitrógeno (Ruiz, 2011).

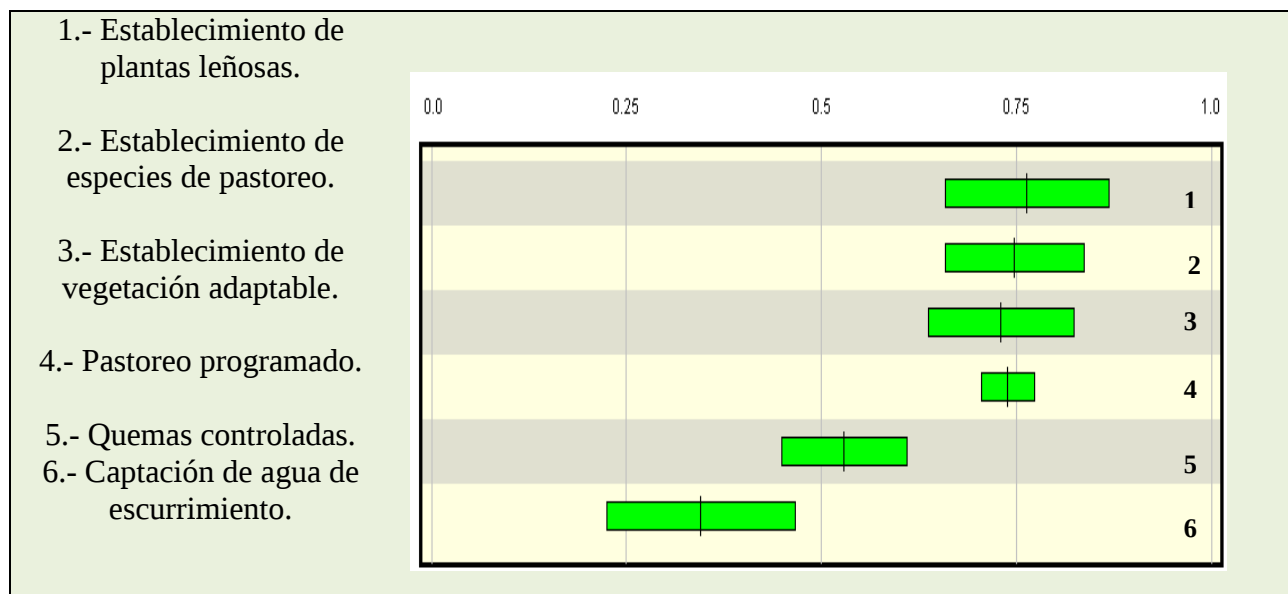


Figura 2. Evaluación de alternativas en el aspecto del medio físico. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1.

Social

Al igual que para los criterios ambiental y físico, en el aspecto social, el establecimiento de plantas leñosas y especies de pastoreo (en ambos casos deben ser especies adaptables a las condiciones de aridez) las alternativas mejor evaluadas fueron, las siguientes el establecimiento de leñosas y especies de pastoreo (Figura 3).

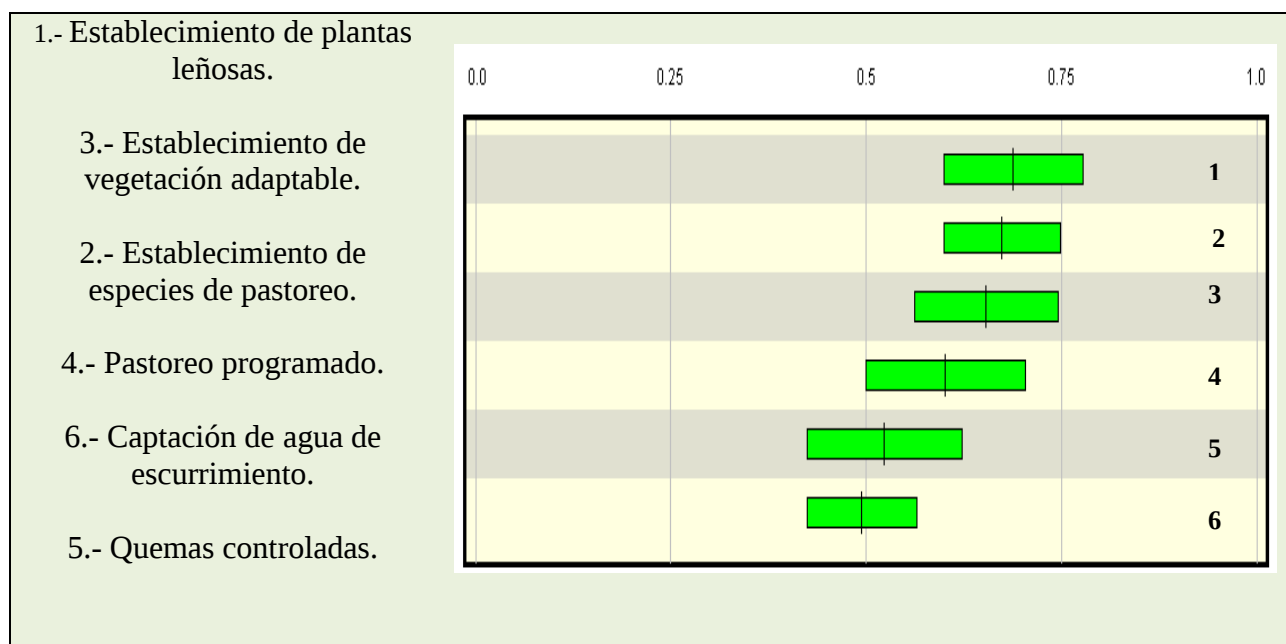


Figura 3. Evaluación de alternativas en el aspecto social. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1.

Lo anterior se explica debido a que el mezquite al ser una planta multiusos (SEMARNAT, 2008), permite que las comunidades rurales en zonas áridas, accedan al autoempleo manteniendo, así las poblaciones asentadas en su región de origen. Además, el establecimiento de pastizales permite mantener las actividades de pastoreo que lo productores conocen y con las cuáles puedan sostenerse. Beltrán *et al.* (2002) indica que el pasto buffel es la mejor especie de pastoreo para establecer en ambientes áridos.

Económico

Aunque en los aspectos, físico, ambiental y social las quemadas controladas fueron la alternativa peor evaluada, en el criterio económico el DSS sugiere que es la más adecuada para aumentar la productividad del agostadero. Lo anterior se sustenta en que la FAO (1995) y Alcalá (1995), señalan que la quema controlada del pastizal, redundará en un rebrote nutritivo para el ganado, con lo cual se mejora la capacidad de carga y la calidad del forraje.

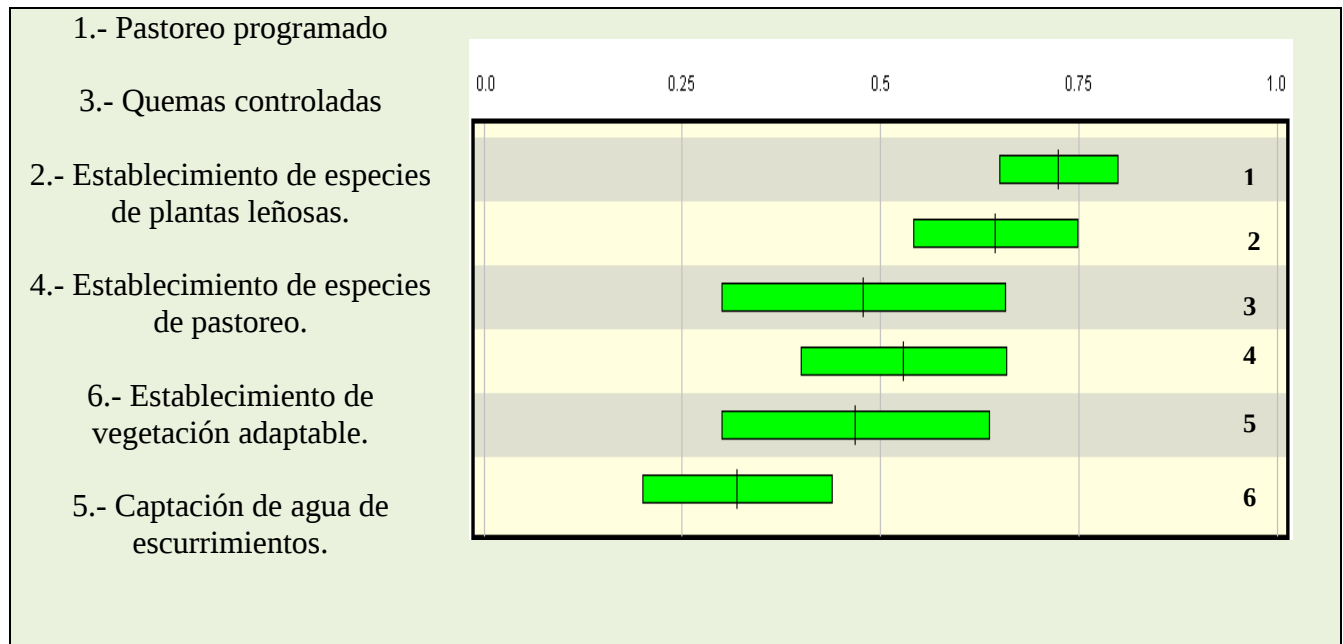


Figura 4. Evaluación de alternativas en el aspecto económico. Las barras indican la valuación cuantitativa dada por el DSS Facilitator, en una escala de 0 a 1.

CONCLUSIONES

El adecuado diagnóstico participativo de la problemática de un sitio en el manejo de los recursos naturales, es el principal elemento para el desarrollo de alternativas para un plan de manejo que resulte lo más integral posible.

Los principales problemas identificados en el sitio de estudio fueron: la erosión eólica, compactación de suelo, calidad y cantidad inadecuada de forraje y almacenamiento inadecuado de agua. De acuerdo con las herramientas de toma de decisiones usadas.

Las mejores alternativas para mejorar las condiciones del terreno y de manejo de los recursos, fueron: en el aspecto social, el establecimiento de especies de pastoreo y el

establecimiento de plantas leñosas, en las que destacan el mezquite (*Prosopis* spp) y el pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), ambas prácticas obtuvieron un valor de 0.75; en el aspecto social, estas mismas prácticas obtuvieron la mejor calificación, con un valor de 0.7; en el aspecto físico, las alternativas de establecimiento de especies de pastoreo y leñosas, se mantuvieron como las más adecuadas, con una calificación de 0.7.

En el aspecto económico, la práctica de quemas controladas, obtuvo una calificación de 0.7, por encima del establecimiento de leñosas que obtuvieron un valor de 0.6.

CAPÍTULO II

REHABILITACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS MEDIANTE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA Y RETENCIÓN DE HUMEDAD EDÁFICA

GRASS ESTABLISHMENT IN DEGRADED AREAS THROUGH RAINWATER HARVESTING AND EDAPHIC MOISTURE RETENTION SYSTEM

Adriana Cruz-Martínez; Aurelio Pedro-Sandoval; Ignacio Sánchez Cohen; José Alfredo Samaniego Gaxiola; Miguel A. Velásquez Valle

RESUMEN

Las zonas áridas son de alta vulnerabilidad ecológica por la escasez de agua dada la disminuida y errática precipitación pluvial. El objetivo del estudio fue evaluar un sistema de captación de agua de lluvia en microcuencas, para la rehabilitación de áreas degradadas en zonas áridas. El estudio se llevó a cabo en el ejido Roma-Texas en el Municipio de Mapimí, Dgo. México. Se estableció un experimento en el que se instalaron ocho tratamientos producto de la combinación de las dosis de lombricomposta (0 y 40 ton ha⁻¹) y dosis de hidrogel (0, 5, 10 y 15 Kg ha⁻¹), en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se midió el contenido de humedad del suelo y variables de crecimiento y desarrollo de la planta. Las evaluaciones se realizaron en 2012 y 2013, con precipitaciones de 100.3 y 130 mm, respectivamente. En una condición de sequía más severa (2012) los efectos de los tratamientos fueron erráticos y con alta variabilidad, tanto para el porcentaje de humedad edáfica, como para las variables de crecimiento y desarrollo de la planta. Mientras que para el año 2013, en el que se tuvo una cantidad de precipitación pluvial mayor, se pudieron identificar efectos altamente significativos de la presencia del hidrogel a dosis de 5, 10 y 15 Kg ha⁻¹ en la capacidad de retención de humedad y en el desarrollo y fisiología del pasto. La lombricomposta mostró un efecto más moderado en ambos años, en comparación con el hidrogel. Por otro lado, la microcuenca por otro lado mostró ser una alternativa eficiente como práctica de captación de agua de lluvia para el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.)

Palabras clave: Microcuenca, Hidrogel, Lombricomposta, Humedad edáfica, Agua de lluvia.

ABSTRACT

Drylands are high ecological vulnerability areas because to water scarcity due to the diminished and erratic rainfall. The aim of this study was to evaluate a rainwater collection system in small watershed to rehabilitate degraded areas in arid lands. The study was carried out in Roma-Texas, Mapimí, Durango, Mexico. Experimental design was completely randomized with eight treatments product of the combination of the dose of vermicompost (0 and 40 t ha⁻¹) and hydrogel dose (0, 5, 10 and 15 kg ha⁻¹), with three replications. The soil moisture content and plant growth and development were measured. The evaluations were conducted in 2012 and 2013, with rainfall of 100.3 and 130 mm, respectively. In a more severe drought condition (2012) the effects of the treatments were erratic and highly variable, both, the edaphic moisture as plant development and growth variables. While in 2013 in which an amount of rainfall was greater, it was possible to identify highly significant effects of the presence of the hydrogel in doses of 5, 10 and 15 kg ha⁻¹ in the moisture retention capacity and development and physiology of the grass. The vermicompost showed a moderate effect in both years compared with hydrogel. On the other hand, the microdikes proved to be an efficient and practical alternative to capture rainwater for the establishment of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.).

Keywords: Watershed, Hydrogel, vermicompost, soil humidity, Rainwater.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de microcaptación o microcuencas consisten en una serie de unidades en conjunto, aunque cada microcaptación está separada de la otra (FAO, 2000). Generalmente se utilizan las microcaptaciones conjuntamente con técnicas auxiliares como labranza y prácticas de conservación del agua en el suelo. La gran ventaja de las técnicas de microcaptación es que es posible combinarlas con las de conservación del agua y las de control de erosión; además de ser relativamente sencillas, económicas y de alta efectividad. Las microcuencas son unidades geográficas que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo. Los procesos asociados al agua, tales como escorrentía, calidad, erosión hídrica, producción de sedimentos, entre otros, normalmente se analizan sobre esas unidades geográficas.

Otra alternativa a considerar para contribuir a la recuperación de suelos degradados, es el establecimiento de vegetación; la presencia de especies vegetales coadyuva al proceso de regeneración, evitando la pérdida de suelo por efecto de la erosión y aumentando la retención de humedad en el suelo. Por otro lado y de acuerdo con Silva *et al.* (s. f.), es importante considerar también, el establecimiento de pastos que tengan una alta calidad nutricional en el caso de regeneración de áreas de agostadero.

Si al establecimiento de vegetación se le suma el uso de biofertilizantes, los resultados de mejoramiento del suelo pueden ser potenciados. Por ejemplo, Jurado *et al.*, (2011), establecieron que la emergencia y desarrollo de zacate banderita, son favorecidos con la aplicación de biosólidos en determinadas dosis. Además de las microcuencas, hoy en día existen otras

alternativas para contribuir a la conservación de humedad en el suelo, tal es el caso del retenedor de humedad a base de hidrogel, el cual es un copolímero de poliacrilamida que al ser usado en el suelo como sustrato, absorbe y retiene grandes cantidades de humedad y nutrientes, manteniéndolos disponibles para la raíz Silva *et al.* (s. f.).

Las técnicas de microcaptación involucran conservación del suelo, aumento de la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de la sequía y mejoran el entorno ecológico el Manual de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia (FAO, 2000).

El objetivo del presente estudio, fue evaluar la efectividad de uso de microcuencas y otras prácticas para retención de humedad, de manera individual y su interacción, en el establecimiento de pastizales en suelos degradados de zonas áridas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Roma, Municipio de Mapimí, Durango a 25° 52' 23.65" latitud norte y 103° 43' 41.74" de longitud oeste, con una altitud de 1171 msnm. Con un clima seco, una temperatura máxima de 41° C, una mínima de 9° C y la media es de 18° C. La precipitación pluvial es de 263.1 (García, 1973).

Diseño experimental y tratamientos: Se usó un diseño experimental de bloques al azar, de acuerdo a la variabilidad del terreno, el tipo de suelo y la vegetación presente (Montgomery, 2012). El experimento correspondió a un factorial 4x2, haciendo un total de 24 tratamientos en 3 repeticiones. El primer factor de variación correspondió a las dosis lombricomposta: 0 y 40 Ton ha⁻¹, la lombricomposta fue elaborada mediante la acción de la lombriz tigre (*Eisenia*

fetida). La carga nutricional fue descrita por (Pedroza *et al.* 2010.), estableciendo los siguientes contenidos: Fósforo (0.37 %), Potasio (0.81 %) y, Calcio (3.51 %); también con adecuado contenido de ácidos húmicos (2.5 %) y fúlvicos (1.8 %). Respecto a la presencia de micronutrientes se detectó un contenido de Hierro (127.8 y 3.8 ppm) y Zinc (169.0 y 4.4 ppm), respectivamente.; el Boro también fue considerablemente alto (105.3 ppm). El segundo factor de variación correspondió a las 4 dosis del hidrogel a base de poliacrilamida de 0, 5, 10 y 15 Kg ha¹. El hidrogel utilizado fue el producto comercial de apariencia granulada, Aquasorb® el cual tiene un contenido de materia seca de 85%-90%, una densidad aparente de 0.85, peso específico de 1.10 g/cm³, un pH de 8.1; tiene un máximo de absorción 150 veces su volumen en suelo y una capacidad de retención de 980 ml/l, con una disponibilidad de 95% y una vida productiva de cinco años (SNF, 2002).

Establecimiento del experimento: El experimento se llevó a cabo durante 2012 y 2013, para lo cual se procedió a la aplicación de lombricomposta en las dosis señaladas en cada microcuenca. Posteriormente se realizó la siembra del pasto de manera simultánea a la aplicación del hidrogel, como retenedor de humedad edáfica. La aplicación de la biocomposta como del hidrogel y la siembra, se hizo de manera manual, realizando la mezcla del producto en suelo previamente preparado con una remoción a una profundidad de 30 cm. Una vez que se depositó la semilla de pasto y el hidrogel, se procedió a un paso de rastrillo para su incorporación al suelo y se proporcionó un pequeño riego de establecimiento, mediante el uso de regadera manual.

Variables medidas. Se midió la humedad edáfica, mediante un medidor de humedad Modelo pms-714. La toma de datos se realizó 24 horas después de cada precipitación registrada.

Las mediciones se realizaron de manera sucesiva con el mismo intervalo de tiempo, con la finalidad de establecer el porcentaje de abatimiento de humedad dentro de la microcuenca. El porcentaje de germinación del pasto dentro de las microcuencas, se llevó a cabo haciendo un conteo de las semillas germinadas, obteniéndose así la proporción de germinados del total de las semillas sembradas por unidad de superficie (m^2). La altura de planta (cm) se midió usando una cinta de métrica; se hicieron evaluaciones en diferentes etapas vegetativas del pasto. La cobertura vegetal por unidad de superficie, se midió con una malla de $1m^2$ graduada en decímetros cuadrados, misma que se colocó dentro de la microcuenca y se contaron los decímetros ocupados por el pasto. Adicionalmente se evaluó el porcentaje de proteína cruda del pasto y la actividad fotosintética de la planta, usando el método de digestión Kjeldahl y el medidor de fotosíntesis LICOR-6400, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera fase de evaluación, fue durante el período de agosto a diciembre del 2012, correspondiente a los dos meses posteriores al establecimiento del experimento. Durante ese año, se registró un promedio de precipitación en la región de 100.4 mm de acuerdo con los registros de la estación meteorológica de la Unidad regional Universitaria de Zonas Áridas, ubicada en Bermejillo; Durango. Este volumen de precipitación, está por debajo de la media de precipitación anual reportada en los últimos 20 años, la cual es de 240 mm (Ramírez *et al.*, 2005), lo que significa que se tuvo una sequía de 68 % de déficit, respecto a la media regional anual. Lo anterior se considera de alto impacto desde el punto de vista agropecuario y forestal, en particular de la vegetación nativa, como el pasto y otras especies de plantas que son parte de la dieta del ganado de pastoreo (Ramírez *et al.* 2001). La información obtenida fue un tanto

errática y de baja precisión, pero permitió identificar algunas tendencias de causalidad. El efecto poco significativo de los tratamientos a causa de la baja precipitación, es similar al reportado por Hernández *et al.* (2007) pero en condiciones de alta precipitación, quienes encontraron que al presentarse temporal muy favorable tampoco fue posible identificar diferencias estadísticas entre los tratamientos aplicados en el cultivo de *Brachiaria* spp.

Contenido de humedad en el suelo: De acuerdo con los datos generados durante cuatro fechas de evaluación (14 y 29 de Agosto; 4 y 19 de Diciembre, 2012), se identificó un bajo contenido de humedad en un rango de 14.4 a 17 %, que corresponde a niveles cercanos al punto de marchitez permanente (PMP), si se considera que para los suelos de esta región el PMP en promedio se alcanza a 12 % de humedad edáfica (Pedroza, 2012). No hubo diferencias significativas por efecto de hidrogel, ni por dosis de lombricomposta para esta variable (Cuadros 3 y 4), lo cual puede ser debido a que el hidrogel requiere de un grado de hidratación suficiente que permita absorber y retener el agua, para luego liberarla conforme se vaya requiriendo para el consumo por la planta (Estrada *et al.*, 2010). No obstante, al analizarse los datos por fecha de evaluación, se logró identificar un efecto de interacción en la segunda fecha (29 de agosto), donde se observó que al aplicar 10 Kg ha⁻¹ de hidrogel y 40 Ton ha⁻¹ de lombricomposta se tuvo el mejor efecto de contenido de humedad (18.1 %). Lo anterior está en correspondencia a lo encontrado por Olivares *et al.* (2012) y Moreno (s.f.) quienes reportaron que el uso de lombricomposta favorece la mejora de las características físicas del suelo incluyendo la capacidad de retención de humedad; en contraste con el resto de los tratamientos que registraron humedad por abajo del 16 %. Sin embargo, cuando se aplicó esta misma dosis de hidrogel, pero sin aplicar lombricomposta, se obtuvo, junto con el resto de los tratamientos,

el menor contenido de humedad en el suelo, lo cual pudiera parecer un contrasentido, pero también puede entenderse como el efecto de interacción que en este caso le proporciona la lombricomposta a la capacidad de retención de humedad, específicamente en dosis intermedias de hidrogel (Cuadro 4).

Cuadro 3. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) durante el período de Agosto a Diciembre de 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Dosis de hidrogel (Kg ha⁻¹)	Humedad edáfica (%)	Germinación (%)	Cobertura (% 2m⁻²)	Vigor (0-5)	Altura planta (cm)
0	15.3 a	29.0 a	26.3 a	2.3 a	40.1 b
5	17.0 a	42.2 ab	23.8 a	2.3 a	44.3 ab
10	16.0 a	25.8 b	39.5 a	2.2 a	42.7 b
15	14.4 a	47.7 a	26.7 a	2.2 a	51.3 a

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

Crecimiento y desarrollo del pasto: La germinación fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor cuando se aplicó 15 Kg ha⁻¹ de hidrogel con 47.7 % de germinación, superior al 29 %, del testigo (Cuadro 3, Fig. 5). Lo anterior concuerda con lo establecido por Rojas *et al.* (2006), al encontrar que el uso de hidrogeles retenedores de humedad (comerciales o sintetizados), mostraban un efecto positivo en la capacidad de germinación de semillas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill); en tanto que las dosis medias, fueron un tanto menos expresivas, siendo un indicativo que en esta etapa del cultivo, se requiere una alta cantidad de humedad, la cual tendió a proporcionarla la mayor dosis de hidrogel. De igual forma, la altura de la planta fue significativamente mayor, con un promedio de 51 cm; en tanto que el testigo creció 40.1 cm, 21.4% más de crecimiento respecto a éste último, ya que la retención de humedad mejora las condiciones para el adecuado crecimiento del pasto buffel como lo describe Gómez (s.f.); las dosis medias de hidrogel mantuvieron valores intermedios entre estos valores

(Cuadro 3). No obstante lo anterior, puede identificarse un comportamiento casi lineal de a mayor dosis de hidrogel, mayor crecimiento de la planta de pasto (Fig. 6). No hubo diferencia estadística para las demás variables de cobertura vegetal y vigor, ni por dosis de hidrogel, ni por dosis de biocomposta (Cuadros 2 y 3). Aún con lo errático de los efectos encontrados, es bueno identificar que el crecimiento del pasto buffel fue adecuado con un comportamiento casi lineal respecto a los tiempos de evaluación (Fig. 7), lo cual es un indicador de la alta capacidad de adaptación de esta especie forrajera aún en años con baja intensidad pluviométrica, como lo fue el año 2012, Beltrán *et al.* (2002), Beltrán *et al.* (2008) y Burquez, (2007).

Cuadro 4. Evaluación de hidrogel y lombricomposta como retenedores de humedad edáfica en la germinación y cobertura de pasto en microcuencas. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de hidrogel (Kg ha-1)	Contenido de humedad edáfica (%) (14 Agosto)	Contenido de humedad edáfica (%) (29 Agosto)	Contenido de humedad edáfica (%) (4 Diciembre)	Contenido de humedad edáfica (%) (19 Diciembre)
0 – 0	18.0 a	15.4 ab	13.5 a	14.9 a
0 – 40	17.0 a	12.5 ab	11.3 a	14.0 a
5 – 0	21.3 a	16.2 ab	12.5 a	15.1 a
5 -40	18.0 a	13.6 ab	12.3 a	16.5 a
10 – 0	16.0 a	7.7 b	12.2 a	23.3 a
10 – 40	15.6 a	18.1 a	12.0 a	15.4 a
15 – 0	21.0 a	11.2 ab	10.9 a	15.1 a
15 – 40	20.3 a	12.4 ab	12.8 a	15.8 a

Prueba de Tukey (P<0.05). Letras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales.

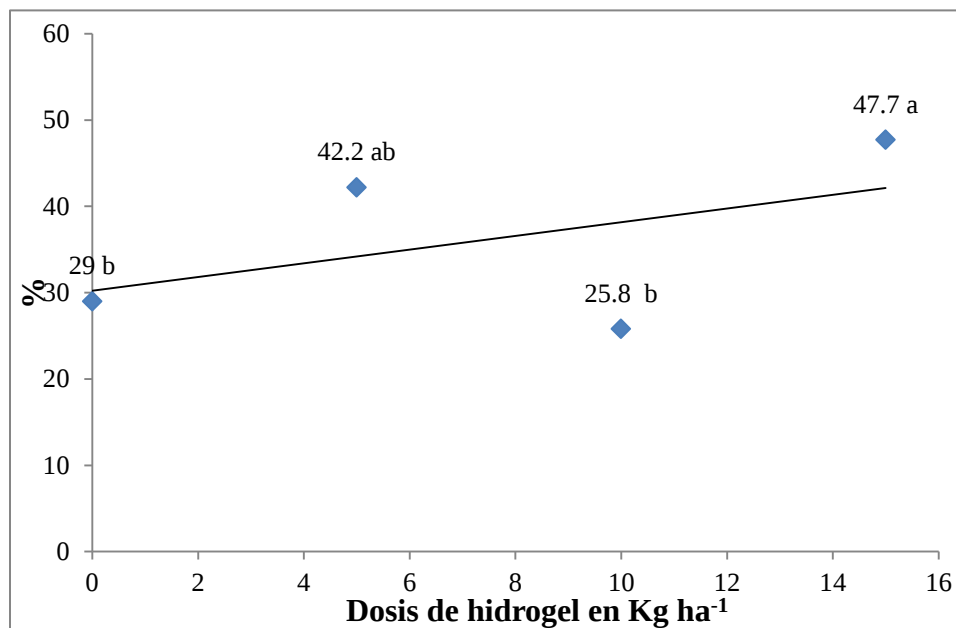


Figura 5. Efecto de la dosis de hidrogel en el porcentaje de germinación de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) durante el periodo de Agosto de 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

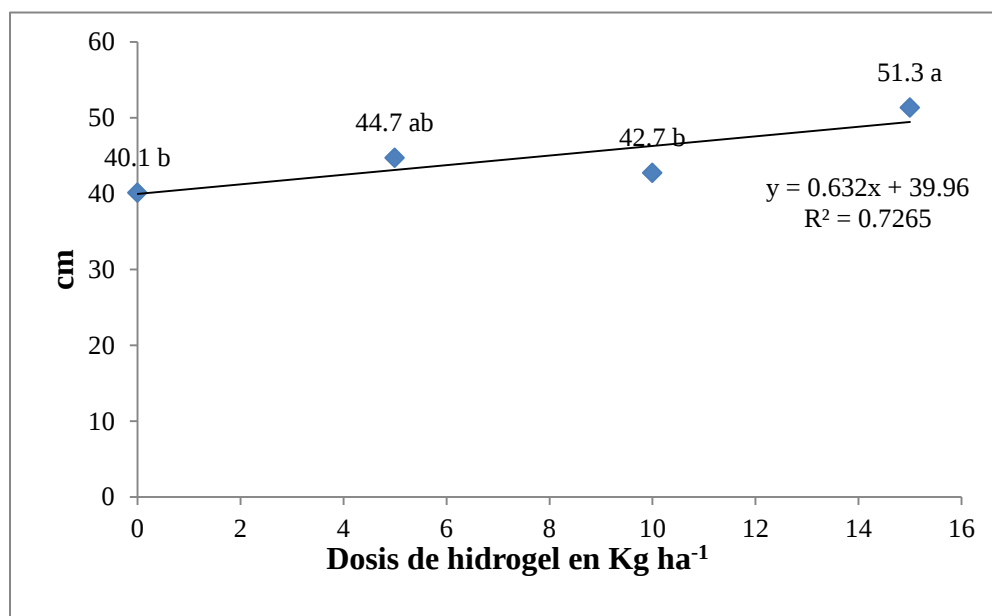


Figura 6. Efecto de la dosis de hidrogel en la altura de la planta de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) durante el periodo de Agosto de 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

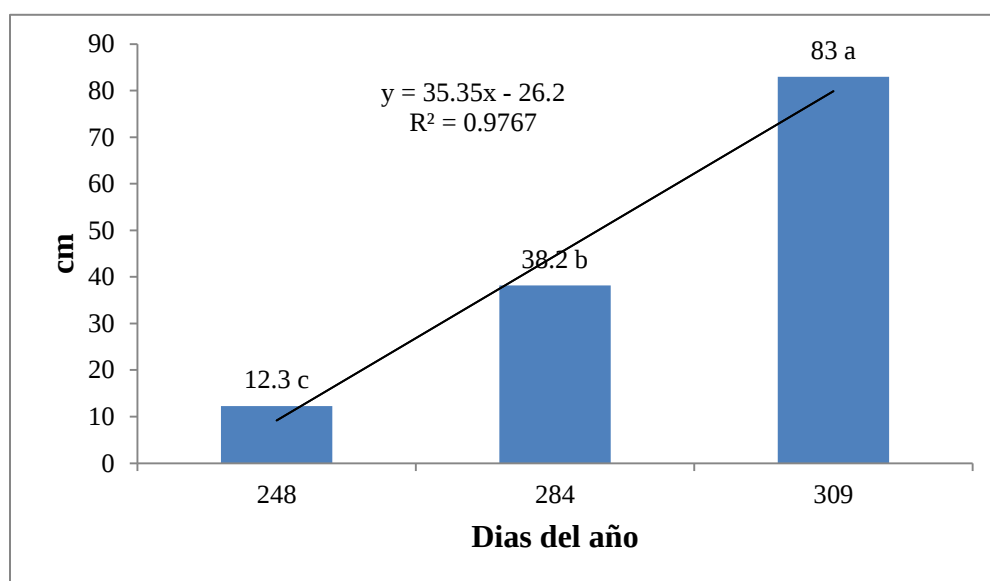


Figura 7. Crecimiento de la planta de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en diferentes fechas de evaluación durante el 2012, en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

En una segunda etapa de evaluación realizada en el año 2013, se tuvo una cantidad de precipitación natural superior al año anterior, registrándose 130 mm de precipitación. La presencia de mayor cantidad de humedad edáfica repercutió en la expresión de los tratamientos aplicados en las microcuencas.

De acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($P < 0.05$), a los 149 días del año (29 de mayo), se obtuvo una mejor respuesta de contenido de humedad edáfica, mayor altura de planta y mayor producción de materia seca.

La cobertura y vigor, no fueron afectados por la dosis de hidrogel (Cuadro 6). Lo anterior significa que al haber un mayor contenido de humedad, la planta tuvo un mejor desarrollo y produjo una mayor cantidad de bioamasa, todo ello favorecido por la aplicación del hidrogel, ya

que como lo expresaron Beltrán *et al.* (2008), al aplicar prácticas de conservación de agua y suelo, se incrementa la infiltración y por lo tanto la productividad en los sitios de agostadero.

Se identificó que los tratamientos en los que se aplicó alguna dosis de hidrogel, ya sea 5, 10 y 15 Kg ha⁻¹, tuvieron un efecto positivo en la capacidad de retención de humedad del suelo, manteniendo un porcentaje mayor de humedad en el suelo en un rango de 46.9 y 50%; en tanto que las microcuencas que no lo contenían, sólo retuvieron una media de 35% (Fig. 8). Lo anterior repercutió en un mejor desarrollo y crecimiento de la planta al aplicarse el hidrogel, siendo la dosis de 10 Kg ha⁻¹ la de mejor respuesta, aunque las otras dosis tuvieron valores intermedios; el testigo fue del de menor altura de la planta (Fig. 9). Lo anterior coincide con lo reportado por Idrobo *et al.* (2010), quienes mencionan que una mayor cantidad de hidrogel en el suelo, incrementó la retención de agua.

Cuadro 5. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) a los 149 días del año (29 de mayo de 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	Humedad edáfica (%)	Cobertura (% m ⁻²)	Vigor (0-5)	Altura planta (cm)	Materia seca (g)
0	35.0 b	66.8 a	2.8 a	34.6 b	163.5 b
5	50.0 a	68.1 a	2.5 a	42.8 ab	193.0 ab
10	46.4 a	58.7 a	2.5 a	49.7 a	216.7 ab
15	46.9 a	67.0 a	2.6 a	41.8 ab	239.6 a

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

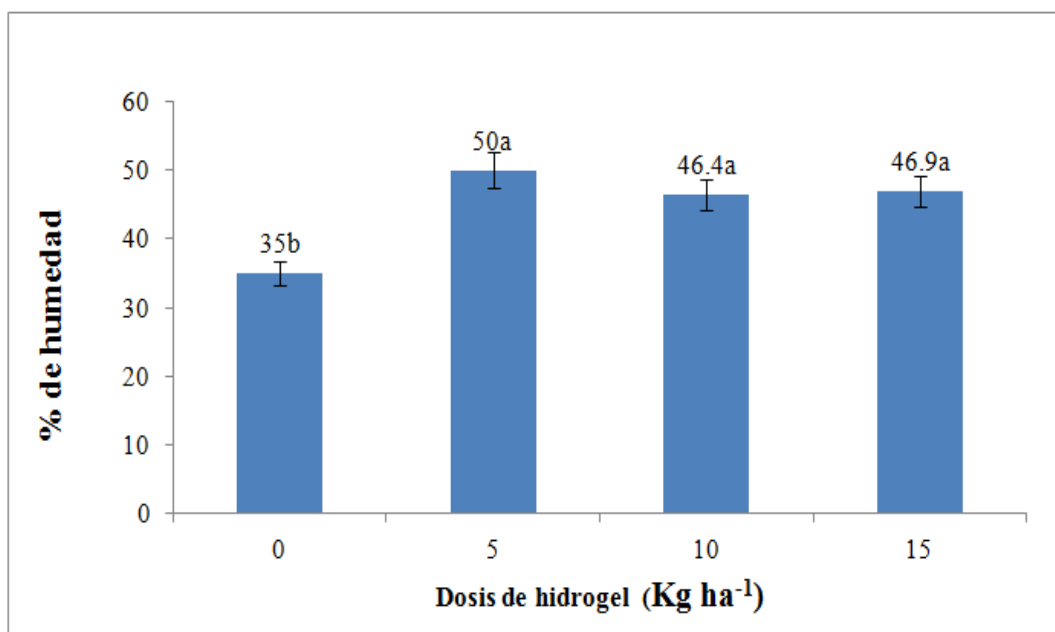


Figura 8. Efecto de la dosis de hidrogel en contenido de humedad edáfica a los 149 días del año (29 de mayo de 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

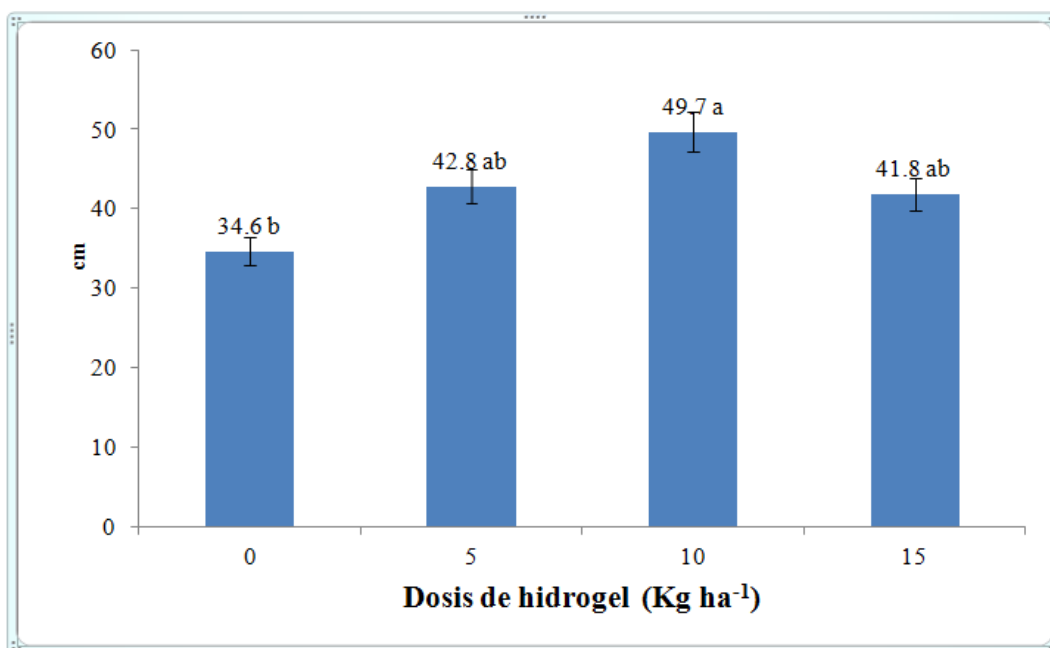


Figura 9. Efecto de la dosis de hidrogel en la altura de planta a los 149 días del año (29 de Mayo de 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Finalmente, el contenido de humedad edáfica se expresó en una mayor cantidad de materia seca producida dentro de las microcuencas, teniéndose un efecto significativo en la dosis de 15 Kg ha⁻¹, donde se registró un promedio de 239 g m⁻²; en contraste, el testigo obtuvo 163 g m⁻². Las dosis de 5 y 10 Kg ha⁻¹ tuvieron un efecto medio de 193 y 239 g m⁻². De acuerdo al análisis de regresión, por cada incremento de la dosis de hidrogel, hubo un incremento correspondiente de producción de biomasa, a una tasa de 5.04 unidades por incremento de dosis de hidrogel ($R^2=0.99$) (Fig. 10).

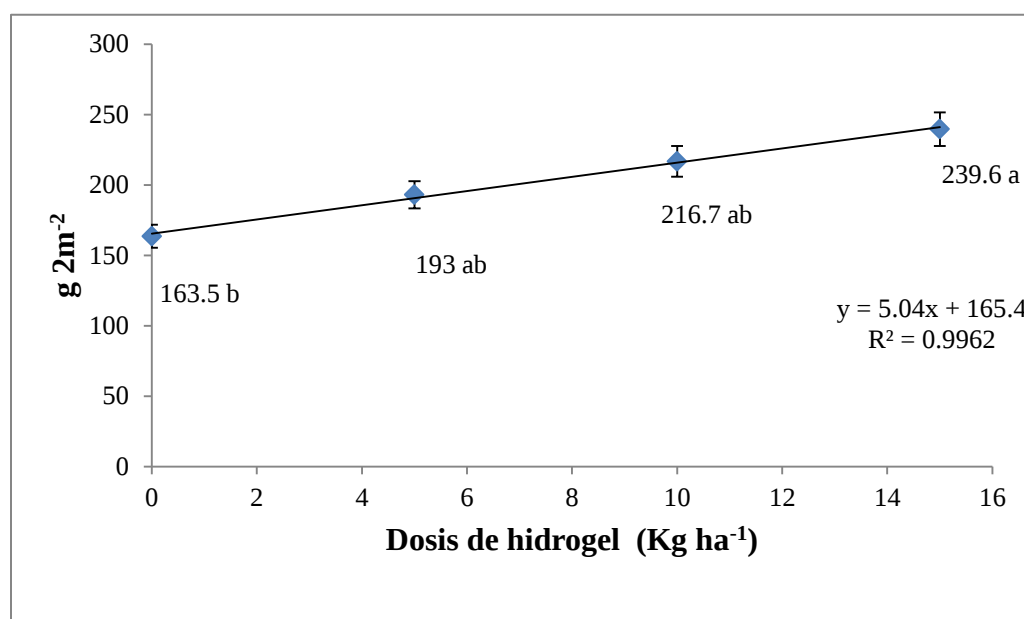


Figura 10. Efecto de dosis de hidrogel en la producción de materia seca de pasto buffel en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

En una segunda fecha de muestreo, efectuado éste a los 254 días del año (11 de septiembre), se observó el efecto sostenido del hidrogel como retenedor de humedad, con un mayor contenido de humedad edáfica, en cualquiera de la dosis aplicada, respecto a la no aplicación del producto.

El contenido de humedad edáfica durante la segunda fecha de muestreo se vio favorecida bajo la acción del hidrogel en las dosis de 5, 10 y 15 Kg ha, con un promedio de 39.8, 34.7 y 39%, en contraste con el 22.5% del testigo (Cuadro 7; Fig. 12). Sin embargo ello no fue suficiente para producir un mayor vigor o altura de planta, las cuales fueron estadísticamente iguales al testigo (Cuadro 7).

Cuadro 6. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) a los 254 días del año (11 de septiembre de 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	Humedad edáfica (%)	Vigor (0-3)	Altura planta (cm)
0	22.5 b	3.0 a	53.0 a
5	39.8 a	2.6 a	51.6 a
10	34.7 a	2.8 a	50.1 a
15	39.0 a	2.6 a	47.6 a

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

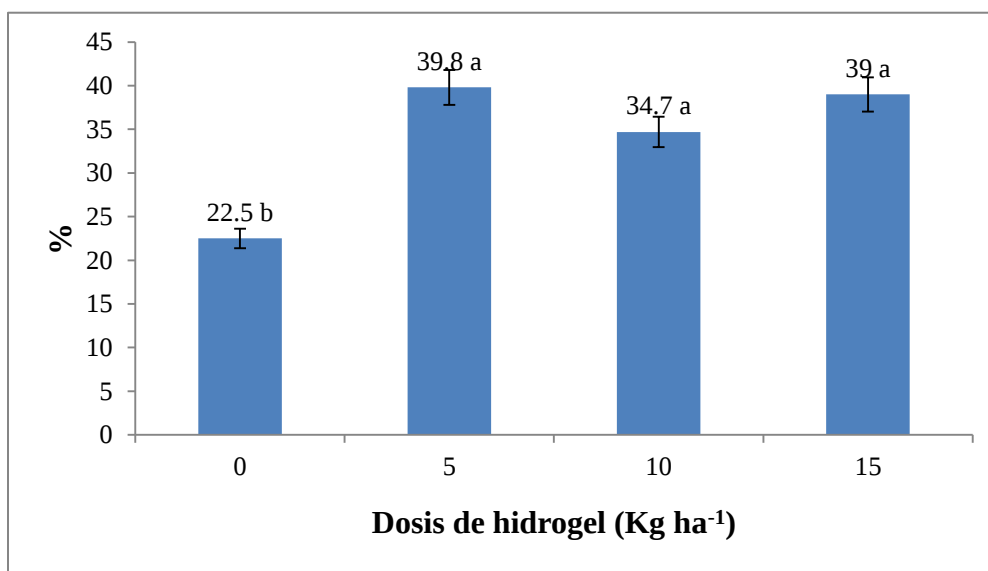


Figura 11. Efecto de la dosis de hidrogel en contenido de humedad edáfica a los 254 días del año (11 de septiembre 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí.

Efecto de la lombricomposta en el crecimiento y desarrollo del pasto. El efecto de la aplicación de lombricomposta en el contenido de humedad y el crecimiento y desarrollo del pasto, fue más moderado, en relación a lo identificado con el hidrogel. El contenido de humedad en el suelo fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) cuando se aplicó 40 Kg ha^{-1} de lombricomposta (Cuadro 8, Fig.12), en coincidencia con Salas y Quiroz (2004), quienes encontraron que la incorporación de materia orgánica en forma de lombricomposta mejora la capacidad de conservación de la humedad del suelo y ello repercute en otras cualidades positivas del mismo. Aunque no hubo una diferencia significativa en el crecimiento y desarrollo de la planta, sí se identificó una mayor producción de biomasa en términos de materia seca (g), cuando se aplicó lombricomposta, en relación a cuando no se aplicó, siendo superior en 28.9 % más el primero, respecto del segundo. La cobertura y vigor de la planta, tampoco fueron afectadas por la aplicación de la lombricomposta, siendo iguales que el testigo (Cuadro 8).

Cuadro 7. Efecto de la dosis de lombricomposta en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) a los 149 días del año (Mayo, 2013) en captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Dosis de lombricomposta (Ton ha^{-1})	Humedad edáfica (%)	Cobertura ($\% 2\text{m}^{-2}$)	Vigor (0-3)	Altura planta (cm)	Materia seca (g)
0	43.3 b	57.4 a	2.8 a	39.5 a	177.7 b
40	49.4 a	73.7 a	2.6 a	45.6 a	250.2 a

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

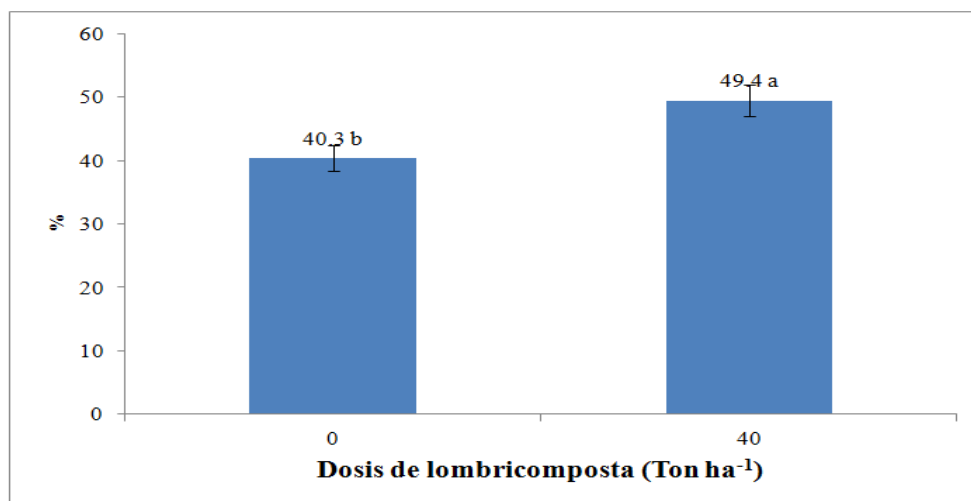


Figura 12. Efecto de la dosis de lombricomposta en el contenido de humedad en el suelo a los 149 días del año (Mayo, 2013) en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

En una segunda evaluación, efectuada a los 254 días del año (11 de Agosto de 2013), se observó un efecto sostenido de la lombricomposta en la retención de humedad del suelo, siendo ésta mayor cuando se aplicó a dosis de 40 Ton ha⁻¹, en relación a cuando no se aplicó, repercutiendo en un incremento del 42.9 %. Las variables de vigor y altura de planta, no variaron por efecto de la lombricomposta (Cuadro 9).

Cuadro 8. Efecto de la dosis de lombricomposta en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) a los 254 días del año (11 de Agosto de 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Dosis de lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	Humedad edáfica (%)	Vigor (0-5)	Altura planta (cm)
0	24.5 b	3.0 a	47.5 a
40	42.9 a	2.5 a	53.3 a

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

En una tercera fase de muestreo de muestreo, llevada a cabo a los 280 días del año (7 de octubre de 2013), no se observó ningún efecto en el contenido de humedad del suelo y el

crecimiento de la planta, ni por dosis de hidrogel, ni por dosis de biocomposta (Cuadro 10), lo cual indica un efecto de dilución de ambos productos, conforme pasa el tiempo.

Cuadro 9. Efecto de la dosis de hidrogel y de lombricomposta en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris L.*) a los 280 días del año (7 de octubre de 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	Humedad edáfica (%)	Altura de planta (cm)	Dosis de lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	Humedad edáfica (%)	Altura de planta (cm)
0	17.3 a	95.5 a	0	15.1 a	96.9 a
5	16.1 a	89.8 a	40	17.5 a	86.4 a
10	16.3 a	88.8 a			
15	15.4 a	93.3 a			

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

En un análisis estadístico por fecha de muestreo, se identificó un comportamiento del contenido de humedad, acorde al período de lluvias, siendo significativamente mayor a los 149 días del año intermedia a los 254 (11 de agosto) y menor a los 280 (7 de octubre), lo cual significa que el decremento fue continuo durante el periodo de mayo a octubre de 2013. No hubo variación estadística en las dos fechas de muestreo vigor de la planta, pero sí para la altura de planta, la cual fue significativamente mayor en la última fecha de muestreo (7 de octubre), no así en las dos primeras fechas de muestreo (Cuadro 11).

Cuadro 10. Abatimiento del contenido de humedad en el suelo a través del tiempo en microcuencas captadoras de agua de lluvia con pasto buffel (*Cenchrus ciliaris L.*). Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Días del año (DDA)	Humedad edáfica (%)	Vigor (0-5)	Altura de planta (cm)
149	45.1 a	2.6 a	42.26 b
254	33.7 b	2.7 a	50.57 b
280	16.3 c	-	91.93 a

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

Se puede observar que, mientras el suelo tiende a desecarse a través del tiempo, el crecimiento de la planta se mantiene, inclusive se incrementa significativamente en la tercera evaluación a los 280 días del año (7 de octubre), lo cual vuelve a mostrarse la capacidad de desarrollo del pasto, una vez que éste se ha establecido, inclusive ante factores adversos como es el déficit hídrico (Fig.13).

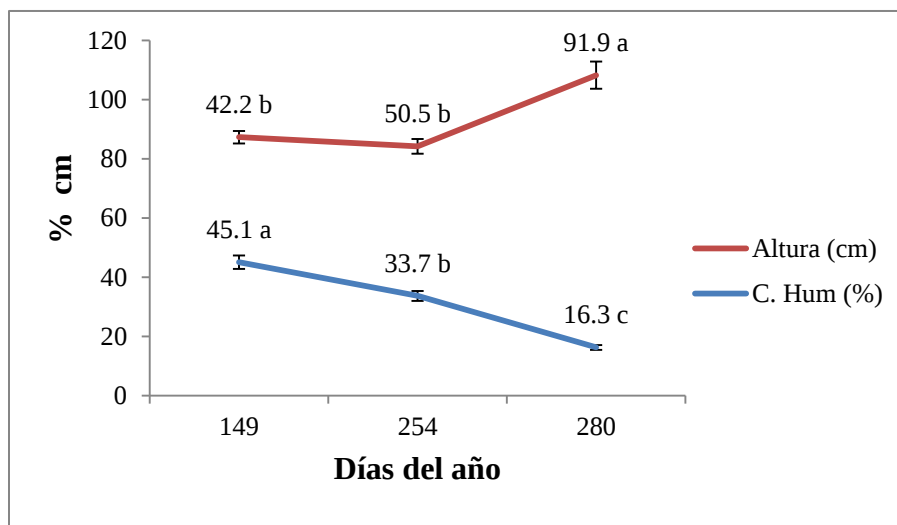


Figura 13. Comportamiento temporal del contenido de humedad en el suelo y la altura de planta de pasto en diferentes épocas del año en pequeñas microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Respecto a la cobertura vegetal, esta fue una variable poco sensible al efecto de tratamiento, tanto en el 2012 como en el 2013. Sin embargo al efectuarse un análisis estadístico de la doble interacción entre dosis de hidrogel y dosis de lombricomposta, se identificó que los tratamientos de 0-40, 5-40 y 10-0 y 15-40, fueron mejores cobertura vegetal (%), por cada m² comparación al testigo, el cual fue significativamente menor al resto de los tratamientos (Fig. 14).

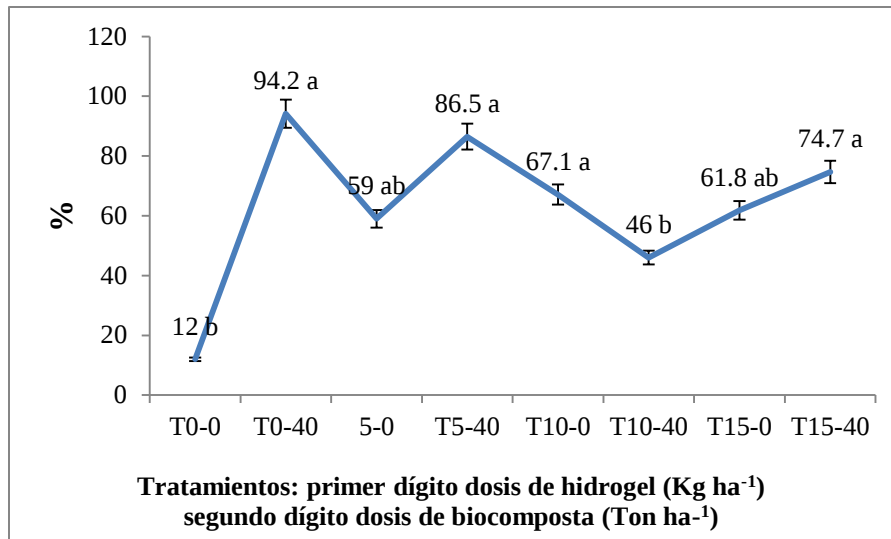


Figura 14. Efecto de interacción entre dosis de hidrogel y dosis de lombricomposta en la cobertura vegetal de pasto en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Se asume que la variabilidad de los resultados encontrados en el año 2012 en contraste con el año 2013, están relacionados con la cantidad de precipitación natural disponible, dado que el primer año tuvo un temporal deficiente. Mientras que para el segundo, si bien no se alcanzó la media de 240 mm, los eventos de lluvia fueron notablemente superiores al año anterior, aportando un volumen de lluvia, registrado hasta el mes de Octubre, de 130 mm coincidente a lo reportado por Alcalá (s.f.), quien indica que el desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) depende en buena medida la cantidad y calidad de la lluvia y las temperaturas máxima y mínimas.

De todo lo anterior, se desprende que el hidrogel como retenedor de humedad en el suelo, en cualquiera de sus dosis, mostró tener efectos positivos y ello repercute en un mejor desarrollo y crecimiento de la planta y por ende una mayor producción de biomasa, lo cual coincide con lo reportado por Gutiérrez (2006), en acelga (*Beta vulgaris* var. *cycla*) y por Rivera, *et al.* (2007) en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Aunque Elías *et al.* (2013), no encontró efectos

significativos en el desarrollo del chile Anaheim (*Capsicum annum* L.), por acción del hidrogel, pero sí hubo diferencias en la capacidad de retención de humedad en el suelo, contribuyendo a la disminución de los riegos.

Contenido de proteína y variables fisiológicas. El contenido de proteína cruda se vio afectado por el efecto de retención del hidrogel polimérico, siendo las dosis de 15 Kg ha⁻¹ las que mostraron un porcentaje de proteína mayor, con un valor de 6.6%, en comparación con las dosis menores y el testigo que oscilaron entre 4.7 y 5.3 %. Al igual que en las variables de desarrollo y crecimiento del pasto en el año 2012, dicho efecto fue notablemente menor en comparación con el año 2013 (Cuadro 13).

Cuadro 11. Porcentaje de proteína cruda en el pasto buffel por dosis de hidrogel.

Dosis de hidrogel	PC %
0	4.7 c
5	5.43 b
10	6.03 b
15	6.62 a

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

El % de PC reportado es bajo de acuerdo con los estudios hechos por García *et al.* (2003), Valle (s. f.) y Gutiérrez (s. f) quienes encontraron que un pasto con alta capacidad nutricional varía entre 6 y 8 % de PC. Estos autores sostienen que la época de corte influye en la calidad proteica de *Cenchrus ciliaris* L., siendo mayor el porcentaje de PC en el periodo primavera-verano que en otoño-invierno.

Al compararse el efecto de los tratamientos en cada uno de los años estudiados, se obtuvo que la respuesta más favorable se presentó, al igual que para el resto de las variables medidas,

en el segundo año de evaluaciones (cuadro 14). Para ambos años los tratamientos de 15 Kg ha⁻¹ de hidrogel fueron los que dieron mejores resultados. La dosis de lombricomposta no tuvo efectos notables en ninguno de los años (Figura 15). Lizarazo (2002) estimó la producción y calidad de forraje del pasto buffel comparando parcelas de secano y parcelas de riego, encontrando que en cuanto al contenido de PC las parcelas de secano tendieron a ser superiores en el contenido de PC, contrario a los resultados obtenidos con el hidrogel, ya que a mayor dosis de éste se retuvo mayor cantidad de humedad y a la vez se obtuvieron valores mayores de PC, esto se explica debido a que el hidrogel aplicado permite la disponibilidad de nutrientes para la planta SNF (s. f.).

Cuadro 12. Porcentaje de proteína cruda en hojas de (*Cenchrus ciliaris* L) por tratamiento en los años 2012 y 2013.

Hidrogel	Lombricomposta	%PC 2012	%PC 2013
0	0	4.53 bc	5.13 bc
0	40	3.76 c	5.36 abc
5	0	5 bc	6 abc
5	40	4.4 c	6.33 abc
10	0	5.7 b	6.5 abc
10	40	5.73 b	6.2 abc
15	0	6.23 a	7.1 a
15	40	6.2 a	6.96 a

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

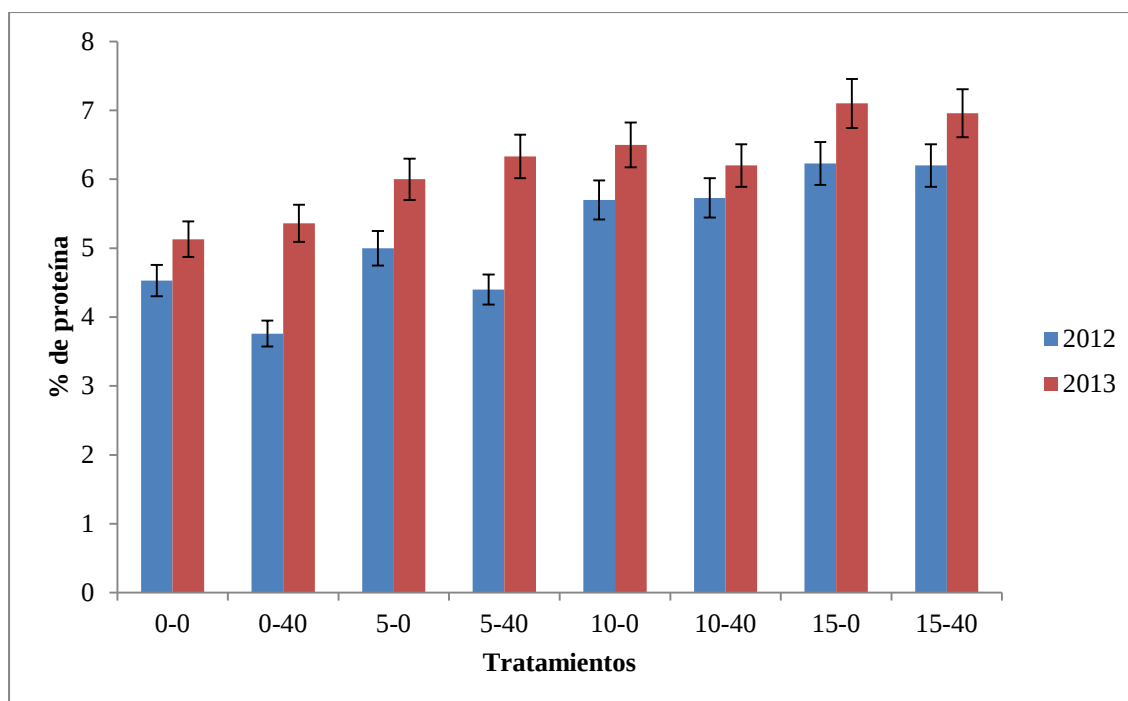


Figura 15. Porcentaje de PC por tratamiento.

Fotosíntesis. La tasa de fotosíntesis fue mayor en las dosis de 15 Kg ha⁻¹ de hidrogel, con valores de 6.67 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, en comparación con las dosis menores y el testigo (Cuadro 13), ya que la presencia de humedad favorece la actividad fotosintética de la planta, de acuerdo con Tezara *et al.* (2005), el déficit hídrico, entre otras respuestas, puede ocasionar disminución de la fotosíntesis.

La actividad fotosintética del pasto se vio fuertemente influenciada por la condición de humedad del suelo, en la fecha del 6 de diciembre, cuando se tenía un porcentaje de humedad en el suelo dentro de las microcuencas, de entre 32.8% y 39.1%. De acuerdo con Cabrera (2002), la baja actividad fotosintética, el estado fisiológico y el ciclo de vida de las plantas y dependen, además de la luz, de otras condiciones ambientales, en particular las temperaturas, la disponibilidad hídrica, como es en el caso de las zonas áridas.

Cuadro 13. Actividad fotosintética del pasto buffel en condición de humedad favorable en el suelo.

Dosis de hidrogel	% de humedad	Fotosíntesis $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Conductancia $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Transpiración $\text{Mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
0	32.8	3.72	0.0055	0.214
5	39.1	3.82	0.0089	0.227
10	34.4	4.05	0.0066	0.255
15	36.9	6.67	0.0099	0.382

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

Comportamiento de humedad en el suelo. La capacidad de retención en el suelo fue favorecida por la presencia del hidrogel en el suelo, se observó un abatimiento mayor en las microcuencas donde no se aplicó en hidrogel, lo anterior coincide con lo reportado por Elías *et al.* (2013), quienes determinaron que la aplicación de un producto retenedor de humedad, a base de poliacrilamida disminuyó el requerimiento de riego en el cultivo de chile Anaheim (*Capsicum annum* L.), se presentó un abatimiento mayor en las microcuencas donde no se aplicó en hidrogel. La aplicación de la lombricomposta no influyó de manera notoria en el mantenimiento de humedad en el suelo (Fig. 16), lo cual explica los resultados biológicos y fisiológicos antes expuestos.

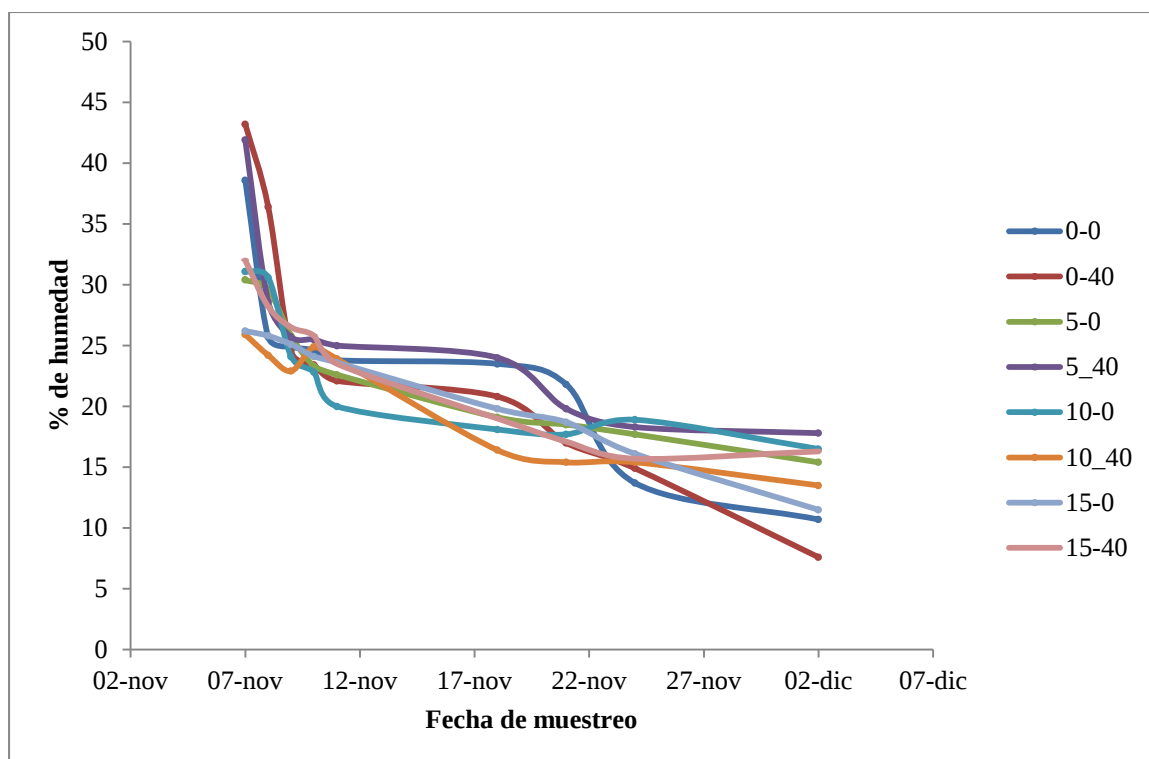


Figura 16. Abatimiento de humedad en el suelo.

CONCLUSIONES

Con una pp de 100.4 mm, para el año 2012, se obtuvieron valores de 14.4 a 17% de humedad promedio en el suelo.

En el periodo 2012, la germinación se vio favorecida por la presencia del hidrogel en la dosis de 15 Kg ha⁻¹ de hidrogel, al tener un valor de 47.7%, en contraste con el testigo, que tuvo un 21.4% .g. De la misma forma, la dosis más alta del hidrogel, tuvo un efecto positivo al reportar un 24% de crecimiento, por encima del testigo.

En el 2013, se tuvo una pp de 130 mm y los rangos de humedad máximos se mantuvieron entre el 46.4 y el 46.9%, dicho incremento tuvo relación con la presencia del hidrogel en cualquiera de sus dosis.

La altura de planta se vio favorecida por el incremento de la humedad en el suelo, atribuido por la presencia del hidrogel en sus dosis de 5, 10 y 15 Kg ha⁻¹. En consecuencia se detectó que la dosis de 15 Kg ha⁻¹ dio como resultado 239 g de MS, mientras que el testigo obtuvo 163g.

La actividad fotosintética de la planta se vio influenciada positivamente por la dosis de 15 Kg ha⁻¹ del hidrogel, con un valor de 6.67 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

CAPÍTULO III

USO DE RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA EN EL ESTABLECIMIENTO DE PASTO BUFFEL (*Cenchrus ciliaris* L.) EN MICROCUENCAS BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE LLUVIA

RETAINING EDAPHIC MOISTURE TO ESTABLISH BUFFEL GRASS (*Cenchrus ciliaris* L.) UNDER MICROCATCHMENT WATER UNDER CONTROLLED RAINFALL CONDITIONS
Adriana Cruz-Martínez; Aurelio Pedro-Sandoval; Ignacio Sánchez Cohen; José Alfredo Samaniego Gaxiola; Miguel A. Velásquez Valle

RESUMEN

La simulación de procesos hidrológicos permite el estudio de fenómenos que afectan la productividad en zonas áridas. El objetivo del estudio, fue identificar prácticas eficientes de retención de humedad en un sistema de captación de agua de lluvia natural en microcuencas sembradas con pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en condiciones de lluvia simulada. Se usó un diseño experimental Completamente al azar con ocho tratamientos producto de la combinación de las dosis de lombricomposta (0 y 40 Ton ha⁻¹) y dosis de hidrogel (0, 5, 10 y 15 Kg ha⁻¹), con tres repeticiones, en microcuencas de 2 m². El contenido de humedad del suelo (%), altura de planta (cm), vigor (escala de 0-5), cobertura (m²), materia seca (g), producción de proteína (%) y fotosíntesis (μmol m⁻² seg⁻¹), fueron las variables medidas, durante el 2012 y 2013. Para la simulación de lluvia se aplicó un total de 266 mm, de acuerdo a los registros históricos del área. No hubo efectos significativos en el primer año de evaluación. A pesar de la presencia de precipitación simulada, las condiciones ambientales externas, principalmente altas temperaturas, interfirieron en la información recabada. Sin embargo, en el segundo año, el hidrogel en las dosis de 5 y 10 Kg ha⁻¹ mostró un efecto positivo en la cobertura vegetal dentro de la microcuenca y la dosis de 15 Kg ha⁻¹ tuvo mayor efectividad en la retención de humedad edáfica.

Palabras clave: Simulación de lluvia, dosis de hidrogel, dosis de lombricomposta, microcuencas.

ABSTRACT

The simulation of hydrologic processes allows the study of phenomena that affect productivity in arid areas. The aim of the study was to identify efficient practices retention of moisture in catchment water, planted with buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) under simulated rain. An experimental design was used for random eight treatments derived from a combination of doses of vermicompost (0 and 40 Ton ha⁻¹) and dose hydrogel (0, 5, 10 and 15 kg ha⁻¹), with three replicates. Measures variables were: soil moisture (%), plant high (cm), vigor (scale of 0-5) coverage (m²), protein production (%), and photosynthesis (μmol m⁻² seg⁻¹) related to soil moisture content, growth and plant development. Both simulations rain as evaluations of the measured variables were made to the month of April to October 2013. For the simulation of rainfall totaling 266 mm and it was applied according to the historical records in the area. No significant effects were found in the first year of assessment. Despite the presence of precipitation simulated external environmental conditions such as high temperatures and toxic vegetation surrounding, interfered on the information gathered. However, the hydrogel at doses of 5 and 10 kg ha⁻¹ showed a positive effect on vegetation cover within the watershed and the dose of 15 kg ha⁻¹ was more effective in retaining soil moisture.

Keywords: Simulation of rain, hydrogel dose, dose of vermicompost, watershed

INTRODUCCIÓN

El uso de prácticas de retención de humedad para la recuperación y mejora de suelos degradados en ambientes áridos, puede tener un gran impacto para las poblaciones que habitan en estas regiones. Su evaluación y validación, por lo tanto, deben ser abordadas adecuadamente. Estas prácticas, como el establecimiento de sistemas de microcaptación (FAO, 2000), la aplicación de lombricomposta y de hidrogeles como retenedores de humedad, requieren de una cantidad de lluvia adecuada que les permita expresar sus cualidades positivas en la mejora de las características físicas del suelo y el impacto en el desarrollo de las plantas establecidas.

La simulación de lluvia ofrece diversas ventajas cuando se realizan estudios en los que intervienen variables hidrológicas no controlables, como una precipitación pluvial natural insuficiente; o bien la necesidad de tomar numerosas mediciones en períodos o, la posibilidad de trabajar con precipitaciones constantemente controladas, eliminando la variabilidad errática e imprevisible de la lluvia natural (FAO, s.f.). La escasa precipitación limita la colecta de información, para el caso de estudios en los que se pretende evaluar el comportamiento de variables relacionadas con la retención de humedad en el suelo en ambientes áridos. En este sentido la simulación de lluvia ofrece una alternativa útil para medir variables hidrológicas cuando sea requerido.

Los simuladores de lluvia tienen como principal característica, la aplicación de lluvia de una manera conocida en volumen e intensidad. El simulador debe reunir ciertos criterios como: a) lograr una adecuada similitud con la lluvia natural, b) controlar las características de la lluvia a

aplicar, c) ser práctico al trasladarse de un sitio de simulación a otro y d) disponer de una superficie de aplicación de lluvia suficiente para representar los procesos a estudiar (Velásquez *et al.*, 2001). Con base en las diferentes necesidades de investigación, las características de los simuladores varían de un diseño a otro. La forma de aplicación del agua, el tipo de aspersor y la altura a la que se aplica el agua, depende del tipo de simulador (Velásquez *et al.*, 2001).

El objetivo del presente estudio, fue evaluar el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), aplicando diferentes dosis de hidrogel y lombricomposta, aplicados ambos productos en microcuencas captadoras de agua, bajo condiciones de lluvia simulada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el área experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, ubicada en la localidad de Bermejillo, municipio de Mapimí, Dgo. México con coordenadas 25° 53'34" N y 103° 36' 04.66" W a una altitud de 1115 msnm. El clima según Koppen modificado por García (1973), es BWhw, correspondiente a un ambiente seco semicálido, con régimen de lluvias de verano. Se utilizó un simulador de lluvia tipo Asseline, hecho en París, Francia; con una boquilla de 2 mm (Sánchez *et al.* 1999). La cantidad total de precipitación aplicada fue de 266 mm, repartidos en cinco eventos de precipitación, con una intensidad de lluvia de 60 mm h⁻¹.

Diseño experimental. Se usó un diseño experimental completamente al azar con ocho tratamientos, producto del factorial 4x2, haciendo un total de 24 tratamientos en las 3 repeticiones. El primer factor de variación correspondió a las dosis lombricomposta: 0 y 40 Ton

ha⁻¹, la cual fue elaborada por composteo a base lombriz tigre (*Eisenia fetida*). La carga nutricional fue descrita por (Pedroza *et al.* 2010.), estableciendo los siguientes contenidos: Fósforo (0.37 %), Potasio (0.81 %) y, Calcio (3.51 %); también con adecuado contenido de ácidos húmicos (2.5 %) y fúlvicos (1.8 %). Respecto a la presencia de micronutrientes se detectó un contenido de Hierro (127.8 y 3.8 ppm) y Zinc (169.0 y 4.4 ppm), respectivamente. El Boro también fue considerablemente alto en la biocomposta (105.3 ppm). El segundo factor de variación correspondió a las cuatro dosis del hidrogel: 0, 5, 10 y 15 Kg ha⁻¹. Este producto tiene la denominación comercial de Aquasorb[®], el cual es de apariencia granulada, presenta un contenido de materia seca de 85%-90%, una densidad aparente de 0.85, peso específico de 1.10 g/cm³, un pH de 8.1; ofrece un máximo de absorción de 150 en suelo y una capacidad de retención de 980 ml/l, con una disponibilidad de 95% y una vida productiva de cinco años (SNF, 2002). El experimento se estableció en el mes de marzo del año 2013, para lo cual se procedió a la aplicación de la lombricomposta en las dosis señaladas en cada microcuenca, posteriormente se realizó la siembra del pasto de manera simultánea a la aplicación del hidrogel retenedor de humedad. Tanto la aplicación de la biocomposta como del hidrogel y la siembra se hicieron de manera manual.

Variables medidas. La medición de humedad se realizó mediante un medidor de humedad Modelo pms-714, que registra el contenido de agua en el suelo en porcentaje, entre los rangos de 0 a 50 %. La toma de datos se realizó 24 horas después de cada precipitación. Las mediciones se realizaron de manera sucesiva con el mismo intervalo de tiempo, con la finalidad de establecer el porcentaje de abatimiento de humedad dentro de la microcuenca. El porcentaje de germinación del pasto dentro de las microcuencas, se llevó a cabo haciendo un conteo de las

semillas germinadas, obteniéndose así la proporción de germinados del total de las semillas sembradas por unidad de superficie (m^2). La medición de la altura (cm) del pasto dentro de la microcuenca, se realizó con uso de cinta métrica y se midió en diferentes etapas vegetativas de la planta y el vigor se midió en base a una escala de 0-5, donde 0 era sin nada de vigor, prácticamente en estado de marchitez y 5 el valor máximo de vigor. Para la medición de la cobertura del pasto buffel dentro de las microcuencas, se utilizó una malla de 1m^2 graduada en decímetros cuadrados, misma que se colocó dentro de la microcuenca y se contaron los decímetros ocupados por el pasto. Adicionalmente se evaluó el contenido de proteína cruda (%) del pasto y la actividad fotosintética de la planta ($\mu\text{molm}^{-2}\text{seg}^{-1}$, usando el método de digestión Kjeldahl y el medidor de fotosíntesis LICOR-6400, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera fecha de evaluación, realizada ésta a los 91 días del año (1 de abril), no hubo efecto del hidrogel en el contenido de humedad, ni en el vigor y altura de la planta, pero sí en la cobertura vegetal, la cual fue significativamente mayor en las dosis media de hidrogel (5 y 10 Kg ha^{-1}), respecto cuando no se aplicó hidrogel o se aplicó la dosis máxima (15 Kg ha^{-1}) (Cuadro 12; Fig. 17). Esto último no es consistente, dado que debería esperarse un mayor efecto en la dosis mayor. Estudios realizados por diversos autores como Gutiérrez (2006) en su trabajo en acelga (*Beta vulgaris* var. *cycla*) y Rivera, *et al.* (2007) en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), entre otros, señalan que la presencia del hidrogel como retenedor de humedad en el suelo, contribuye a mejorar las condiciones para el desarrollo de diferentes cultivos, lo que en parte es congruente con lo encontrado en este estudio, excepto al aplicar la máxima dosis de hidrogel, lo cual puede estar relacionado a la baja humedad edáfica, producto de las altas tasas de evaporación en

ambientes muy secos, aun cuando se haya aplicado agua con el simulador. Adicionalmente, la falta de contundencia en los resultados se asocia a efectos ambientales difíciles de controlar en campo, como la presencia de la especie *Tamarix aphylla* L. descrito por Orwa *et al.* (2009) y que de acuerdo con USDA (s.f.), tiene un efecto tóxico en las plantas aledañas al árbol.

Cuadro 14. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad edáfica y variables del crecimiento y desarrollo del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) a los 91 días del año (abril, 2013) en microcuencas captadoras de agua con uso de simulador de lluvia. Bermejillo, Dgo.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	Humedad edáfica (%)	Cobertura (% 2m ⁻²)	Vigor (0-5)	Altura planta (cm)
0	12.9 a	26.7 b	2.3 a	8.5 a
5	14.9 a	52.1 a	1.8 a	8.3 a
10	13.9 a	38.5 ab	2.6 a	7.8 a
15	15.1 a	27.0 b	2.0 a	7.9 a

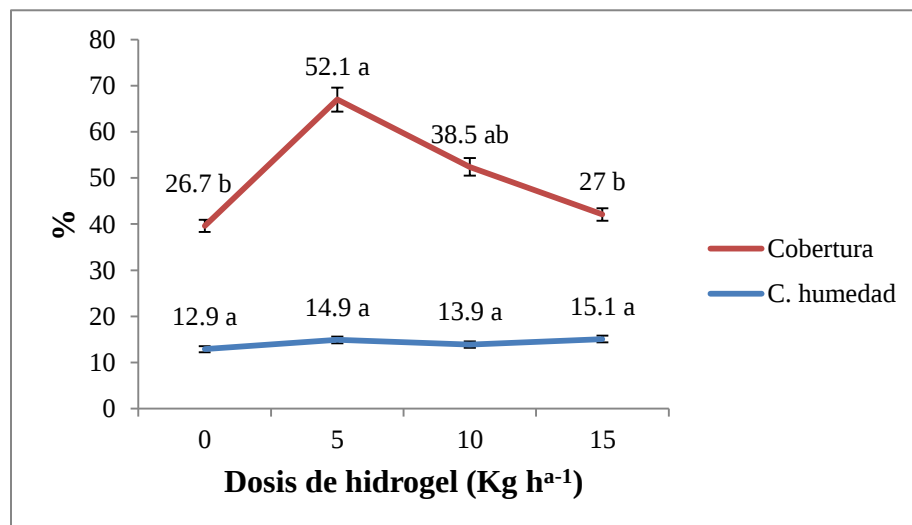


Figura 17. Efecto de la dosis de hidrogel en el contenido de humedad del suelo y cobertura de pasto por área del mismo a los 91 días del año (Marzo, 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia, en condiciones de lluvia simulada. URUZA, Bermejillo, Dgo.

En la segunda fecha de muestreo, realizado a los 117 días del año (27 de abril), no se identificaron diferencias significativas en las variables de humedad, cobertura, vigor y altura de planta por efecto de la aplicación del hidrogel y/o lombricomposta (datos no mostrados).

En un análisis temporal del contenido de humedad y la altura de la planta, se pudo identificar un comportamiento de menor a mayor contenido de humedad, aunque con algunos picos de lluvia a los 117 y 303 días del año (30 de octubre) (Cuadro 14; Fig. 17), lo cual está relacionado a la incidencia de lluvias, al requerimiento de agua de la planta y a la humedad antecedente del suelo (Sánchez *et al.*, 1999). Sin embargo, el crecimiento de la planta siempre mostró un comportamiento exponencial, con cierta tendencia de estabilización en la última fecha de muestreo, a los 303 días del año, lo cual reafirma la buena adaptación del pasto buffel ante las condiciones variables de humedad en el suelo (Fig. 18), tal como lo describen (Beltrán *et al.*, 2002), (Beltrán *et al.*, 2008) y (Burquez, 2007) en diferentes estudios donde describen las características y requerimientos para la siembra de pasto buffel con fines de restauración de suelos degradados.

Cuadro 15. Abatimiento del contenido de humedad en el suelo a través del tiempo en microcuencas captadoras de agua de lluvia con pasto buffel (*Cenchrus ciliaris L.*). Roma Texas, Mapimí, Dgo.

Días del año (DDA)	Humedad edáfica (%)	Altura de planta (cm)
91	14.2 c	8.1 d
117	21.3 a	17.3 d
149	18.3 b	32.5 c
249	17.6 b	53.0 b
303	21.6 a	73.5 a

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

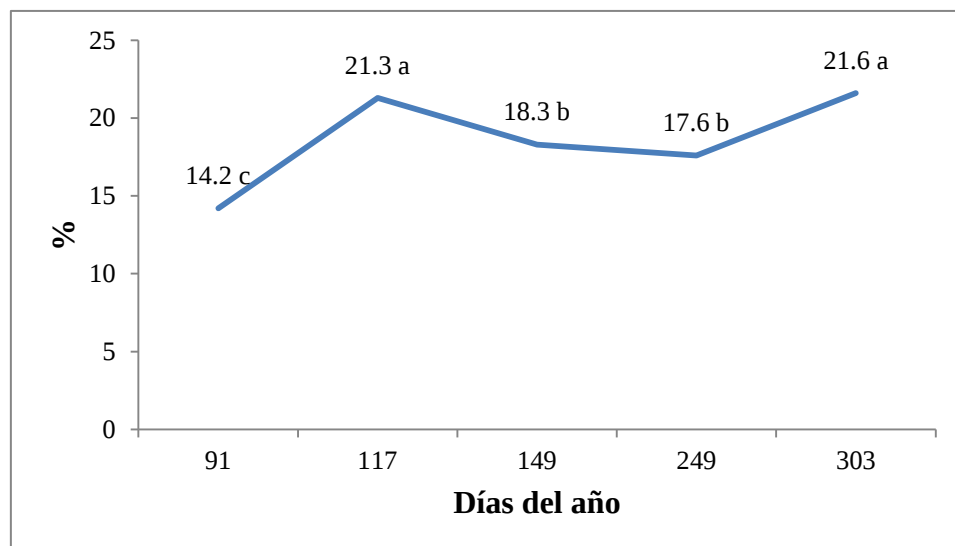


Figura 18. Contenido de humedad del suelo en diferentes días del año (De Marzo a Octubre, 2013) en microcuencas captadoras de agua de lluvia, en condiciones de lluvia simulada. URUZA, Bermejillo, Dgo.

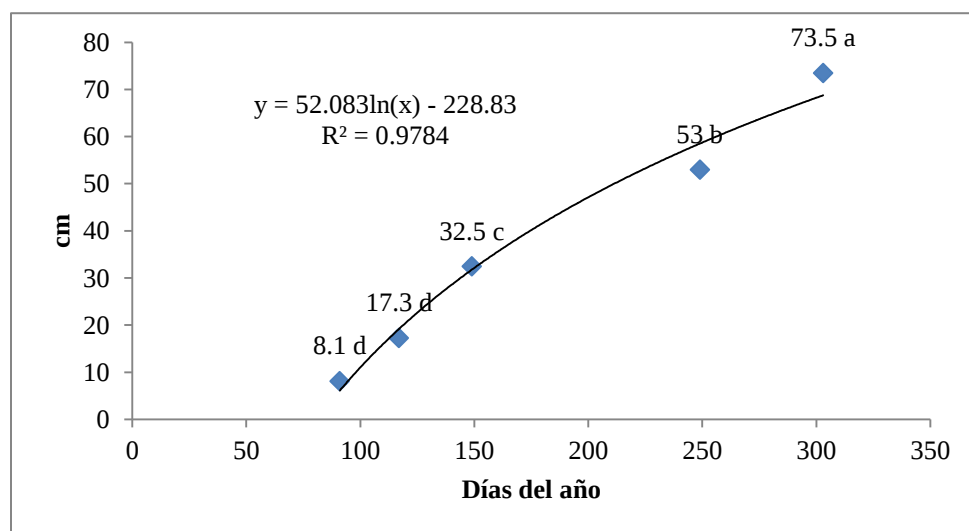


Figura 19. Crecimiento de la planta de pasto buffel en microcuencas captadoras de agua bajo condiciones de lluvia simulada. Bermejillo, Dgo.

El porcentaje de proteína (PC) fue con valores entre 4.4 y 7.0% sin que se pudiera apreciar un efecto por los tratamientos de hidrogel y lombricomposta. Estos valores concuerdan con los estudios hechos por García *et al.* (2003); Valle (s. f.) y Gutiérrez (2006) quienes encontraron que un pasto con alta capacidad nutricional varía entre 6 y 8 % de PC, dependiendo de la época del

año en que se realice el corte, teniéndose valores mayores en el ciclo primavera-verano que en otoño-invierno.

Al igual que el resto de las variables, la actividad fotosintética de la planta no presentó diferencias significativas entre tratamiento, tanto para las dosis de hidrogel como para la aplicación de la lombricomposta, lo cual puede estar relacionado al déficit hídrico, por las altas tasas evaporativas a las que se ha hecho alusión en ambientes muy secos, a pesar de haber suministrado agua con el simulador de lluvia. De acuerdo a Tezara *et al.*, (2005), la fotosíntesis puede ser afectada negativamente, ante condiciones de déficit hídrico moderado; sin embargo, en este caso la disminución de humedad en el suelo fue muy severa y drástica (Fig. 20), evitando identificar efecto de tratamiento.

Comportamiento de humedad en el suelo. De acuerdo a la curvas de abatimiento de humedad, no hay clara diferencia de éstas entre tratamientos (Fig. 20), lo cual indica que, aunque se suministrara agua con el simulador de lluvia, la humedad no se conservó por períodos adecuados, por las altas tasas de evaporación en ambientes muy secos. Lo anterior, no permitió que los retenedores de humedad usados en este estudio (hidrogel y lombricomposta) mostraran sus bondades. De esta manera, no hubo respuesta en la retención de humedad ni por dosis de hidrogel, ni por dosis de lombricomposta.

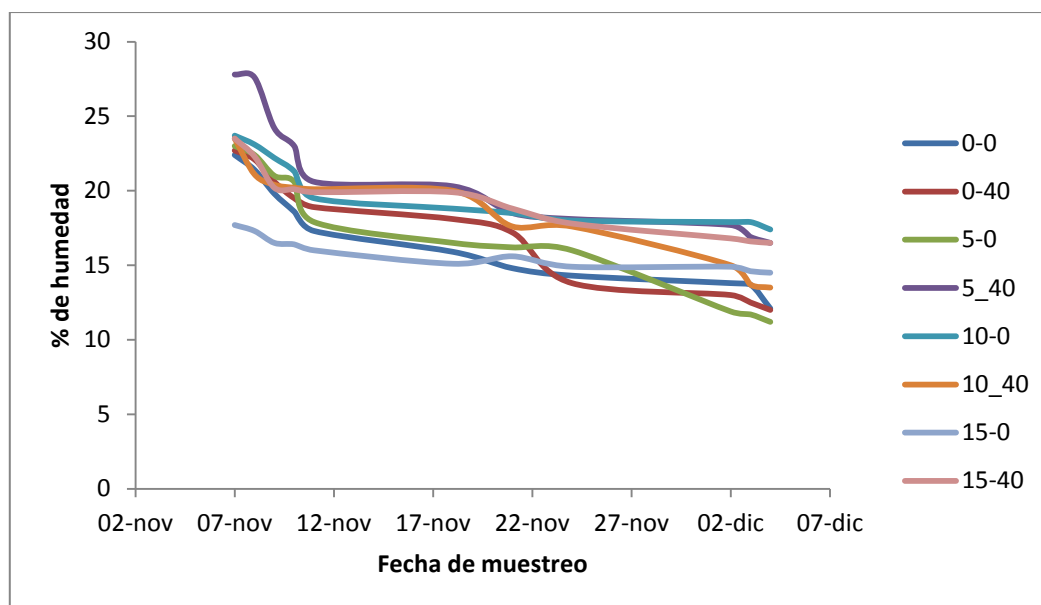


Figura 20. Curvas de abatimiento de humedad del suelo.

No obstante lo anterior y ante los resultados erráticos del presente estudio, se considera que el uso de retenedores de humedad, en sistemas de captación de agua como las microcuencas, son prácticas que ayudan a la restauración de suelos degradados, tal como lo han identificado otros estudios, pero bajo condiciones más favorables de disponibilidad hídrica, tal como lo reporta Gutiérrez (2006), quien recomiendan que para la siembra total de un área, las microcuencas han sido la obra de captación y cama de siembra más eficiente para restaurar pastizales degradados.

CONCLUSIONES

No hubo resultados contundentes sobre el impacto de dosis de hidrogel y biocomposta en el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), debido a la drástica disminución de la humedad por la evaporación; no obstante se pudo identificar una tendencia positiva de la dosis de 15 Kg ha⁻¹ hidrogel en la retención de humedad en el suelo, al presentar un 15.1% en promedio, mientras que el testigo tuvo un 12.9%.

El contenido de PC se mantuvo en valores 4.4 y 7%, sin encontrarse diferencias significativas entre tratamientos.

Se observó un comportamiento exponencial en el desarrollo de la planta, con un buen ajuste en el modelo ($R^2=0.97$), lo cual indica la capacidad de la especie para adaptarse en ambientes áridos y su importancia como alternativa para la recuperación de con degradación física en las zonas áridas.

No hubo efecto por dosis de lombricomposta en ninguna de las variables medidas en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Alcalá Galván, C. 1995. Guía práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate buffel. Patronato del Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Sonora, A. C.
Consultado en: <http://www.patrocipes.org.mx/publicaciones/pastizales/P95009.php>
- Beltrán López, S, Loredó Osti, C., 2002. Reconversión de Áreas Agrícolas Marginales a Praderas de Pasto Buffel. Folleto para productores No. 36. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. Consultado el 17 de septiembre de 2012 en:
<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/720/111.pdf?sequence=1>
- Beltrán López, S., Loredó Osti, C., Núñez Quezada, T., Gonzáles Eguiarte, L. A. 2008. Buffel titán y Buffel regio nuevas variedades de pasto para el altiplano de San Luis Potosí. INIFAP. Folleto técnico No. 35.
- Burquez, A. 2007. El zacate buffel: transformación ecológica y social. CONABIO. Biodiversitas 74:8-12.
- CONAFOR. 2005. Programa estratégico forestal. SEMARNAT. México. 158 p.
- Dimas López, J. Díaz Estrada, A. Martínez Rubín, E. Valdez Cepeda, R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra. Vol. 19. No. 4. Pp 293-299.
- Estrada G., R. R.; Lemus, T. D.; Mendoza, A. D. 2010. Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura. Rev. Iberoamericana de Polímeros. 12 (2), 76-87.
- FAO. 2000. Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, experiencias en América Latina. Serie zonas áridas y semiáridas. No. 13. Santiago de Chile. 237 p.

- García Dessommes, G. J. Ramírez Lozano, R. G. Foroughbakhch, R. Morales Rodríguez, R. García Díaz, G. 2003. Valor nutricional y digestión rumial de cinco líneas apomíticas y un híbrido de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Técnica Pecuaria México. Vol. 42. No. 2. Pág. 209-218.
- Gómez de la Fuente, E. s. f. Crecimiento y desarrollo del zacate buffel [*Pennisetum ciliare* L. (Link.) Sin. *Cenchrus ciliaris* L.] en la zona centro de Tamaulipas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis Doctoral.
- Gutiérrez Castañeda. 2006. Efecto de polímero Aquastok® en la capacidad de retención de humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la acelga (*Beta vulgaris* var *cycla*). Tesis Ing. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 49 p.
- Gutiérrez Ornelas, E. Tapia, A. J. s. f. Crecimiento y valor nutritivo del zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Unión Ganadera Regional de Nuevo León.
- Hernández Santana, B., Peralta Martínez, A., Santos Eméstica, O. 2007. Efecto del hidrogel sobre el rendimiento en tres cultivares de *Brachiaria* spp en el valle de Iguala, Gro., México. REDVET. Vol. III. No. 9. ISSN 1695-7504.
- Idrobo, H. Rodríguez, A. M. Díaz Ortiz, J.E. 2010. Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. Ingeniería de los recursos naturales y del ambiente. No. 19. ISSN: 1692-9918. Pp 27-31.
- Jurado G., P., Domínguez C., H., Melgoza C., A., Morales N., C. 2011. Emergencia y crecimiento del zacate banderilla [*Bouteloua curtipendula* (Michx.)] con biosólidos en condiciones de sequía. Medio ambiente y desarrollo sustentable. No. 1, Vol. VI.
- Loredo Osti, C., Beltrán López, S., Villanueva Díaz J., Urrutia Morales, J. 2005. Establecimiento de pasto buffel para el control de erosión hídrica. Folleto técnico No. 26. Instituto Nacional

de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. Consultado el 17 de septiembre de 2012 en:

<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1115/103.pdf?sequence=1>

Medina Torres, J. G., Armijo Tamez, R. Blanco Icazbalceta, V. 2004. Planeación de los recursos naturales de zonas áridas: un enfoque de sistemas. Agraria. Vol. 1. No. 2. Pág. 206-219.

Montgomery, D. 2010. Análisis y diseños experimentales. 2ª ed. LIMUSA. México. 681 p.

Olivares Campo, A., Hernández Rodríguez, A., Vences Contreras, C. Jáquez Balderrama, J.L., Ojeda Barrios, D. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Universidad y Ciencia. Vol. 28. No. 1. ISSN 0186-2979.

Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Simons, A. 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. (<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>).

Pedroza Sandoval, A. 2012. Evaluación fitosanitaria y fisiotécnica en variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en diferentes condiciones de humedad edáfica en la Comarca Lagunera. XIV Congreso Internacional y XXXIX Congreso Nacional de Fitopatología. Riviera Nayarit, Nayarit, México.

Pedroza, S. A., Chávez-Rivero, J.A., Trejo, C.R. y Ruiz, T. J. 2010. Sistema de producción de biocomposta y fertilizantes orgánicos líquidos a base de lombriz tigre (*Eisenia fetida*). 1er. Congreso Nacional de Investigación e Innovación Tecnológica Ambiental. Centro Nuclear México. Toluca, Edo. De México. p. 1-4

Peña Jiménez, A., Neyra Gonzáles, L. s. f. Amenazas a la biodiversidad. CONABIO. México.

- Ramírez Lozano, R. G., Enríquez Martell, A. Lozano Gonzáles, F. 2001. Valor nutricional y degradabilidad rumial de zacate buffel y nueve zacates nativos del NE de México. Ciencia UANL. Vol. IV. No. 3. Pág. 324-320.
- Reséndez Velázquez, K. L., Gonzáles Castillo, M., Chairez Hernández, I., Díaz Martínez Oscar. 2012. Aspectos biológicos, ecológicos y usos del mezquite. Instituto Politécnico Nacional.
- Rojas de Gascue, B. Ramírez, M., Aguilera, R. Prin, J.L., Torres, C. 2006. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. Revista Iberoamericana de Polímeros. Vol. 7. No. 3. Pág. 199-2010.
- Ríos Saucedo, J. C., Valenzuela Núñez, L. M., Rivera Gonzáles, M., Trucios Caciono, R., Sosa Pérez, G. 2012. Diseño de un sistema silvopastoril en zonas degradadas con mezquite en Chihuahua, México.
- Rivera Hincapié, C., Baeza Aragón, A., Chavarriaga Montoya, W. 2007. Efecto de un retenedor de agua y dosis crecientes de fertilizantes foliares sobre la producción de tomate chonto y larga vida bajo cubierta plástica agroclear. Agron. Vol. 15. No. 1. ISSN: 0568-3076. Pág. 103-119.
- Rojas de Gascue, B. Ramírez, M. Aguilera, R. Prin, J. L. Torres, C. 2006. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. Revista Iberoamericana de Polímeros. Vol. 7. Pp 199-210.
- Ruíz, T. D. R. 2011. Uso potencial de la vaina de mezquite para la alimentación de animales domésticos del Altiplano Potosino. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

- Sánchez Cohen I., Asseline, J. Tipos de simuladores de lluvia. En: Sánchez Cohen I. (ed.), Stone J. (ed.), Jasso Ibarra R. (ed.) *Uso de lluvia artificial para parametrizar modelos de procesos hidrológicos*. México: CENID-RASPA, 1999, (1), p. 27-56. (Libro Científico - CENID-RASPA; 1).
- SEMARNAT. 1997. Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural: 1997-2000. Dirección General de Vida Silvestre. Instituto Nacional de Ecología. México. 207 p.
- SEMARNAT. 2008. Catálogo de recursos forestales maderables y no maderables. Árido, Tropical y templado.
http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Catalogo_de_recursos_forestales_M_y_N.pdf
- SNF-FLOERGER. 2011. AQUASORB TM. Water retainers for soils. Data sheet. Consultado el 9 de noviembre de 2013 en http://snf.com.au/downloads/Aquasorb_E.pdf.
- Tarango Arámbula, L. A. s. f. Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. Reunión Nacional de Recursos Bióticos de Zonas Áridas.
- Tezara, W. Marín, O. Rengifo, E. Irazábal, S. Colombo, R. Herrera, A. 2005. Efectos de la sequía sobre el estrés hídrico, el intercambio gaseoso y fluorescencia en especies tropicales. Centro de botánica tropical. Universidad Central de Venezuela.
- USDA-FS. S.f. Index of Species Information: *Tamarix aphylla* L.
<http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/tree/tamaph/all.html>
- Valle, J. L. Palma, J. M. Sangines, G. L. s. f. Biomasa y composición nutricional de la asociación *Cenchrus ciliaris*-*Gliricidia sepium* al establecimiento. Avances en Investigación Agropecuaria.