



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

**EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA RETENCIÓN DE
HUMEDAD DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO
(*Zea mays* L.)**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

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



PRESENTA:

LUIS GERARDO YÁÑEZ CHÁVEZ

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

Febrero, 2014

Bermejillo, Durango, México

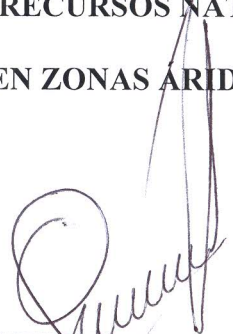


**EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA RETENCIÓN DE
HUMEDAD DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea
mays* L.)**

Tesis realizada por **Luis Gerardo Yáñez Chávez** bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado
de:

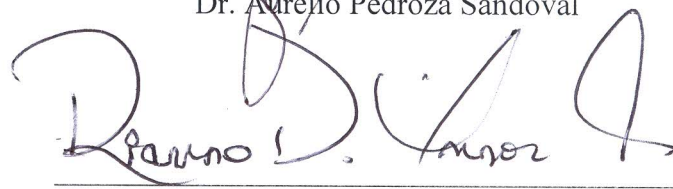
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

DIRECTOR:



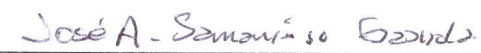
Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

CO-DIRECTOR:



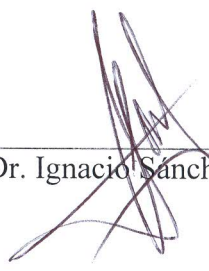
Dr. Ricardo David Valdez Cepeda

ASESOR:



Dr. José Alfredo Gaxiola Samaniego

ASESOR:



Dr. Ignacio Sánchez Cohen

Yo habito al abrigo del Altísimo, no temo a la oscuridad de la noche, Dios me acompaña y me cura de la angustia, Él me protege y me da fuerza para llevar acabo las difíciles tareas de la vida, Él quitará de mi camino cuanto obstáculo aparezca, sanará mis heridas, llenará mi vida de amor y armonía, y en esta difícil tarea que ahora comienzo siempre estará conmigo, yo lo dejo entrar a mi vida, a mi horizonte y hacer su voluntad que yo haré lo mío.

Salmo 91.

La forma suprema de ser libre se encuentra en lograr que las organizaciones agrícolas se dediquen a producir para bien común y no para lograr las concupiscencias de los amos. Si resultare que no somos los llamados al cumplimiento de una obra tan enorme como la que dejamos esbozada, que otros más fuertes y mejor capacitados que nosotros recojan nuestra bandera de campaña. "Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"
Fragmento de la Carta de inauguración de la Escuela Nacional de Agricultura.

Se expresa un reconocimiento al apoyo y sustento otorgado para el desarrollo y término de la presente investigación y de mis estudios de posgrado:

Al Programa de Becas Nacionales de CONACyT 2012-2013

Al Programa de Becas Mixtas en el Extranjero de CONACyT 2013-2014.

Al Programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas 2012-2013 (UACH-URUZA).

A la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo.

A la Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales de la Universidad Agroforestal Fernando Arturo de Meriño (UAFAM).

DEDICATORIAS

Con todo mi cariño y amor para las personas que han hecho todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento: Papá y Mamá.

*A ustedes que han sido un motor para lograr mis propósitos, gracias por su ayuda y fortaleza:
Hermanos y Hermanas.*

A mi niña hermosa, por alegrarme con tu linda sonrisa, por ser sueño e inspiración. Hoy quiero compartir este logro contigo, anheló el día que compartas tus logros conmigo: Gladys Guadalupe.

También dedico este trabajo a mi novia, compañera inseparable de cada día. Ella representó gran esfuerzo y fortaleza en momentos de decline y cansancio: Mayela Rodríguez González.

AGRADECIMIENTOS

A Dios ser maravilloso que me dio fuerza y fe para creer lo que me parecía imposible terminar.

A la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo que me permitió cumplir con dos grandes objetivos en mi formación profesional, la Licenciatura y ahora la Maestría.

A mi director de tesis, por confiar en mí desde el inicio. Agradezco su entrega profesional, aportaciones teóricas y experiencias. Por introducirme en la investigación y apoyarme durante mi formación, transmitiendo un estilo personal: Dr. Aurelio Pedroza Sandoval.

Al Comité Asesor por su amable aceptación, por el tiempo y las recomendaciones vertidas en la presente investigación: Dr. Ricardo David Valdez Cepeda, Dr. José Alfredo Gaxiola Samaniego y Dr. Ignacio Sánchez Cohen.

A los profesores del programa de posgrado de la URUZA-UACH que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona instruida y preparada para los retos presentes de la vida profesional: Dr. Ricardo Trejo Calzada, Dr. Gabriel García Herrera, Dr. Jesús Enrique Cantú Brito, Dr. Jesús G. Arreola Ávila.

Agradezco especialmente y expreso mi cariño, por su dedicación, disponibilidad, apoyo, empatía, consejos y llamadas de atención, además por hacer grata nuestra estancia en el posgrado: Margarita Ávila Ramírez.

A las personas, amigos y trabajadores que se involucraron en los trabajos de campo realizados, gracias por su dedicación y esfuerzo: M.C. José Antonio Chávez, Tec. Joel Burgueño A., Ing. Candelario Cárdenas, Ing. Pedro Arredondo, Ing. Eliseo González., Abraham, Martín, Don Rogelio y Don Joel

A mis amigos y compañeros de generación, gracias por su amistad, apoyo incondicional, paciencia y cordialidad que me brindaron, además de estar conmigo y compartir tantas aventuras y experiencias: Alondrisima, Héctor, Josafath, José Juan, Karla y Nancy Lu.

Quiero tener un especial recuerdo para mis amigos que ya no están cerca, pero que de una forma u otra siguen presentes en mi vida: Elen, Andrew, Chivis, Rafa, Pedro, Cheo.

DATOS BIOGRÁFICOS

El C. Luis Gerardo Yáñez Chávez, es originario del estado de Durango, México, obtuvo el título de Técnico en Informática agropecuaria en el Centro de Bachillerato Tecnológico agropecuario no. 63 en el año 2006, es Ingeniero Agrónomo en Sistemas Agrícolas de Zonas Áridas por la Universidad Autónoma Chapingo, en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, egresado en el año 2011. Obtuvo el grado de Ingeniero con la tesis “Evaluación en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo sistemas de manejo convencional y alternativo” en noviembre de 2011, dirigido por el Dr. J. Santos Rodríguez López.

Después de egresar de la UACH formó parte de la empresa Proveedora Agropecuaria de Coahuila S. A. en el proyecto de “Poda de producción en nogales”, donde laboró como auxiliar técnico en diversas nogaleras del estado de Durango.

Su línea de investigación actual se relaciona directamente al Manejo Integral del Agua y Bioproductividad con el proyecto: “Evaluación de prácticas agrícolas en la retención de humedad del suelo y la producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.)”, por medio del cual logró terminar la presente tesis bajo la supervisión directa de su tutor y asesor Dr. Aurelio Pedroza Sandoval.

Participó en una estancia de colaboración, enseñanza e investigación en el periodo de abril-agosto de 2013 en la Universidad Agroforestal Fernando Arturo de Meriño con sede en La Vega, República Dominicana, bajo el patrocinio de Becas Mixtas CONACyT, en los programas: “Tecnologías alternativas en el uso eficiente del agua” y “Proyectos de investigación, actividades académicas y de extensión en la Facultad de Ciencias Agronómicas y Forestales de la UAFAM”.

El C. Yáñez Chávez incursionó en los VIII y IX Congresos Nacionales sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas en diversas modalidades de participación, tales como ponencias orales y cartel. Recientemente ha estado dentro de diversos comités de revisión en tesis de licenciatura de la misma URUZA-UACH, además de formar parte de la Coordinación del Programa de Formación de Nuevos Investigadores de la propia institución.

ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN GENERAL.....	xiv
GENERAL ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. HIPÓTESIS.....	3
4. LITERATURA CITADA	4
CAPÍTULO II	5
USO DE VERMICOMPOSTA E HIDROGEL COMO RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA Y SU IMPACTO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE MAÍZ FORRAJERO (<i>Zea mays</i> L.)	5
RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	7
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Diseño experimental.	8
Establecimiento del experimento.	9
Sistema de riego.....	9
Fertilización y manejo del cultivo.....	9
Variables medidas.....	10
Procesamiento de datos.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
CONCLUSIONES	18
LITERATURA CITADA	19
CAPÍTULO III	22
EFFECTO DEL HIDROGEL Y BIOCOMPOSTA EN LA ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN EL CULTIVO DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.).....	22
RESUMEN	22
ABSTRACT.....	23
INTRODUCCIÓN	24

MATERIALES Y MÉTODOS	25
Diseño experimental.	25
Establecimiento del experimento.	26
Sistema de riego.	26
Fertilización y manejo del cultivo.	26
Variables medidas.	26
Procesamiento de datos.	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
Actividad fotosintética.	27
Producción de forraje verde y fresco.	30
CONCLUSIONES	34
LITERATURA CITADA	34
CAPÍTULO IV	37
EVALUACIÓN DE HIDROGEL Y VERMICOMPOSTA COMO RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA EN LA PRODUCCIÓN DE GRANO DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.)	37
RESUMEN	37
ABSTRACT	38
INTRODUCCIÓN	39
MATERIALES Y MÉTODOS	40
Diseño experimental.	40
Establecimiento del experimento.	40
Sistema de riego.	41
Fertilización y manejo del cultivo.	41
Variables medidas.	41
Procesamiento de datos.	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
Contenido de humedad.	42
Rendimiento de grano y sus componentes.	44
Densidad de población.	47
CONCLUSIONES	48
LITERATURA CITADA	49

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
CAPÍTULO II	5
Cuadro1. Altura de plantas de maíz forrajero (<i>Zea mays</i> L.) asociada a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.....	11
Cuadro 2. Altura de plantas de maíz forrajero (<i>Zea mays</i> L.) asociada a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, asociada en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.....	12
Cuadro 3. Grosor de tallo de planta de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.	13
Cuadro 4. Grosor de tallo de planta de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.....	13
Cuadro 5. Largo de hoja bandera en maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.	14
Cuadro 6. Largo de hoja bandera en maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.	14
Cuadro 7. Ancho de hoja bandera de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.....	15
Cuadro 8. Ancho de hoja bandera de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.....	16
Cuadro 9. Volumen de raíz de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en dos fechas después de la siembra Bermejillo, Dgo. 2012.	17
Cuadro 10. Volumen de raíz de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, en dos fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.....	17
Cuadro 11. Contenido de humedad edáfica a diferentes profundidades asociado a tres dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.....	18
Cuadro 12. Contenido de humedad edáfica a diferentes profundidades asociado a tres dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.	18
 CAPÍTULO III	 22
Cuadro 1. Efecto de la dosis de hidrogel sobre diferentes variables fisiológicas en maíz forrajero híbrido DK-2040. Bermejillo, Dgo. 2012.....	29
Cuadro 2. Efecto de la dosis de lombricomposta sobre diferentes variables fisiológicas en maíz forrajero híbrido DK-2040. Bermejillo, Dgo. 2012.	29

Cuadro 3. Efecto de la dosis de hidrogel en el rendimiento de forraje fresco y seco de plantas de maíz híbrido DK-2040 Bermejillo, Dgo. 2012.	32
Cuadro 4. Efecto de la dosis de lombricomposta en el rendimiento de forraje fresco y seco de plantas de maíz híbrido DK-2040 Bermejillo, Dgo. 2012.	32

CAPÍTULO IV 37

Cuadro 1. Contenido de humedad del suelo asociado a dos dosis de lombricomposta en diferentes fechas de muestreo en el cultivo del maíz forrajero. Bermejillo, Dgo. 2012.	44
Cuadro 2. Rendimiento de grano y componentes de rendimiento en el cultivo del maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.	46
Cuadro 3. Rendimiento de grano y componentes de rendimiento en el cultivo del maíz forrajero asociado a dos dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.	46
Cuadro 4. Rendimiento de grano y componentes del mismo en el cultivo de maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel y dos dosis de lombricomposta como retenedores de humedad del suelo.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
CAPÍTULO II	5
Figura 1. Comportamiento temporal de la variable altura planta de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.	12
Figura 2. Comportamiento temporal de la variable grosor de tallo de plantas de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.....	13
Figura 3. Comportamiento temporal de la variable largo de hoja bandera de plantas de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.	15
Figura 4. Comportamiento temporal de la variable ancho de hoja bandera de plantas de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.	16
CAPÍTULO III	22
Figura 1. Comportamiento temporal en la variable fotosíntesis de plantas de maíz asociada a tres dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo.....	29
Figura 2. Comportamiento temporal de la variable rendimiento de forraje fresco de planta de maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel..	33
Figura 3. Comportamiento temporal de la variable rendimiento de forraje seco de planta de maíz forrajero asociada a tres dosis de hidrogel.	33
CAPÍTULO IV	37
Figura 1. Contenido de humedad del suelo asociado a tres dosis de hidrogel en diferentes fechas de muestreo.	43
Figura 2. Comportamiento temporal de la variable rendimiento de grano seco de planta de maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel.....	47

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea mays* L.)

Yáñez Chávez, L.G.¹ y Pedroza Sandoval, A.²

RESUMEN GENERAL

En zonas impactadas por baja precipitación, resulta crucial conservar la humedad del suelo proveniente de la lluvia o del riego. El empleo de materiales superabsorbentes como los hidrogeles, son de gran interés en zonas con problemas de abastecimiento de agua, ya que tienen la capacidad de absorber el líquido para luego cedérsela a la planta de forma paulatina. Igualmente la aplicación de materiales orgánicos a los suelos como biocompostas permite mantener la humedad edáfica. El objetivo del presente estudio fue identificar el efecto en la retención de humedad en el suelo y su impacto en las características de interés agronómico del maíz forrajero. El estudio se realizó en el área experimental de la URUZA-UACH en Bermejillo, Dgo. Ahí se estableció un experimento en bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron las dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹) y las parcelas chicas fueron las dosis de lombricomposta (0 y 20 Ton ha⁻¹). Las variables medidas fueron las relacionadas al contenido de humedad en el suelo, crecimiento de la planta, rendimiento de peso seco y fresco de forraje y rendimiento de grano. En la mayoría de las variables se identificó respuesta de tratamiento para las aplicaciones de hidrogel y no así en las de lombricomposta. El resultado obtenido con el hidrogel representa una tecnología de perspectiva por el ahorro de agua, que pudiera permitir a la vez mantener e incrementar la productividad de los cultivos.

Palabras clave: humedad edáfica, biofertilizantes, hidrogel.

EVALUATION OF AGRICULTURAL PRACTICES ON SOIL MOISTURE RETENTION AND PRODUCTION OF FORAGE MAIZE (*Zea mays* L.)

Yáñez Chávez, L.G.¹ & Pedroza Sandoval, A.²

GENERAL ABSTRACT

In areas affected by low rainfall, it is crucial to retain soil moisture from rainfall or irrigation. The use of superabsorbent materials like hydrogels is of great interest in areas with water supply problems because they have the ability to absorb water, and then provide it gradually to the plant. Similarly, the application of organic materials to soils such as biocompost keeps the soil moisture. The aim of this study was to identify the effect hydrogel and biocompost on retention of soil moisture and its impact on the agronomic characteristics of forage maize. The study was conducted in the experimental (URUZA - UACH) area in Bermejillo Durango. The experiment was established in a randomized block split-plot arrangement, where the main plots were treated with the hydrogel doses (0, 12.5 and 25 kg ha⁻¹) and subplots were treated with doses of vermicompost (0 and 20 Ton ha⁻¹). Soil moisture content, plant growth, photosynthesis rate, dry and fresh weight of forage, and grain yield were measured. Treatments had significant in most of measured variables, for the hydrogel application. However, vermicompost treatments did not affect significantly. The result obtained with the hydrogel is a meaningful perspective technological for saving water, which would allow both maintaining and increasing crop productivity.

Keywords: soil moisture, biofertilizers, hydrogel.

¹ Tesista

² Director

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La precipitación pluvial en la Comarca Lagunera es en promedio de 250 mm al año, donde las lluvias predominan en los meses de julio a septiembre, periodo durante el cual las tasas de evaporación son altas. Una característica importante en las zonas con escasa precipitación es la gran variación de los volúmenes del agua en las presas de un año a otro. Estas fluctuaciones influyen de forma determinante sobre la disponibilidad de agua (Destenave, 1999), como sucede en la Comarca Lagunera, México.

En la Comarca Lagunera, localizada en los estados de Durango y Coahuila, se cultiva maíz forrajero, el cual se ensila y se proporciona como alimento con gran contenido energético y de almidón al ganado.

En México, en el ciclo agrícola 2009/2010, se cosecharon 2, 949, 967 ha, de las cuales 403, 385 correspondieron a la producción de forrajes; la superficie con maíz forrajero (*Zea mays* L.) fue de 28, 212 ha (CONAGUA, 2010). En la Comarca Lagunera, en el ciclo agrícola 2009/2010, se establecieron 196, 839 ha incluyendo los cultivos perennes; para alfalfa, maíz y sorgo la superficie fue 96, 385 ha (Cueto *et al.*, 2011). En estas superficies de riego, un problema principal es la disponibilidad limitada del agua, agudizada por el constante y progresivo abatimiento de los niveles freáticos de los acuíferos.

En la mayor parte de las zonas con climas semidesérticos, como es el caso de la Comarca Lagunera, la precipitación pluvial es insuficiente para satisfacer la demanda de agua en la agricultura. Para compensar el déficit hídrico se deben generar diversas estrategias locales de aprovechamiento de este recurso (Velasco, 1991). La generación y

aplicación de tecnologías relacionadas al manejo del agua podrían ser alternativas. Una de las opciones de actualidad, en los sistemas de producción agroforestal en agroecosistemas áridos, es el uso de técnicas relacionadas a la conservación de la humedad en el suelo por medio de diferentes prácticas de manejo.

La aplicación de enmiendas orgánicas, a través de compostas como mejoradores de suelo en la agricultura, ha cobrado gran relevancia en los últimos años, debido a que proveen nutrientes, mejoran las propiedades físicas del suelo y permiten conservar la humedad. Los componentes de las lombricompostas propician una reducción de la densidad aparente del suelo, aumentar la proporción de poros medianos y promover la formación de agregados. La fertilización orgánica utilizada en los sistemas agrícolas propicia un mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo (Navarro, 2009).

Otra práctica que está tomando auge para la retención de humedad del suelo es el uso de productos copolímeros reticulados de acrilamida y acrilato no soluble, con propiedades químicas y físicas particulares que le permiten incrementar la capacidad de retención de agua en el suelo hasta 150 veces, respecto a su propio peso o volumen w/w (SNF FLOERGER, 2003). En términos de disponibilidad de agua en el suelo, los copolímeros sintéticos derivados de la poliacrilamida ofrecen una alternativa al incrementar la capacidad de retención de humedad del suelo, permiten un buen desarrollo de las plantas, aumentan los parámetros de aireación y temperatura, repercutiendo al final en mejores rendimientos de los cultivos (Anderson, 2009; Bres y Weston, 1993; Kazanskii y Dubrovskii, 1992).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Contribuir a la generación de conocimiento y tecnología para un uso más eficiente del agua en los sistemas de producción agrícola en zonas áridas.

2.2 Objetivos específicos

i) Evaluar los componentes morfométricos asociados al crecimiento y desarrollo del cultivo del maíz influenciados por una mayor disponibilidad hídrica mediante el uso de retenedores de humedad edáfica.

ii) Evaluar los principales componentes fisiológicos y su impacto en la producción de forraje fresco y seco de maíz por efecto de la retención de humedad del suelo.

iii) Evaluar la respuesta en la retención de humedad de un hidrogel y lombricomposta sobre la producción de grano de maíz.

3. HIPÓTESIS

i) El uso de un copolímero solo o en combinación con lombricomposta mejora la retención de humedad en el suelo favoreciendo el crecimiento y desarrollo de maíz forrajero.

ii) El hidrogel y la lombricomposta, tienen un efecto positivo en la fisiología y producción de forraje fresco y seco de maíz.

iii) El hidrogel y lombricomposta, como retenedores de humedad del suelo, tienen un efecto significativo en la producción de grano de maíz.

4. LITERATURA CITADA

- Anderson, S. 2009. Hidrokeeper retenedor de agua. Silvotecnía. San José, Costa Rica.
- Bres, W. and Weston, L. A. 1993. Influence of gel additives on nitrate, ammonium and water retention and tomato growth in a soilless medium. HortScience 28 (1): 1005-1007.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2010. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2008-2009. Edición 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 323 p.
- Cueto W., J. A., Reta S., D. G., Barrientos R., J. L., Cervantes G., G. y Salazar S., E. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. Revista Fitotecnía Mexicana 29 (2): 97-101.
- Destenave M., C. 1999. Problemática agropecuario en la Comarca Lagunera. Memoria del Simposio Internacional de la Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. México. p. 1-6.
- Kazanskii, K. S. and Dubrovskii, S. A. 1992. Chemistry and physics of “agricultural” hydrogels. Polyelectrolytes Hydrogels Chromatographic Materials. Springer Berlin Heidelberg. pp. 97-133.
- Navarro G., H. 2009. Agricultura orgánica y alternativa. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. 271 p.
- SNF FLOERGER. 2003. AquasorbTM water retainers for soils and substrates. Andrézieux-Bouthéon, France. 6 p.
- Velasco M., H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas: Sus características y manejo. Editorial Limusa. México, D. F. 725 p.

CAPÍTULO II

USO DE VERMICOMPOSTA E HIDROGEL COMO RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA Y SU IMPACTO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea mays* L.)

RESUMEN

La disponibilidad del agua es considerada uno de los factores más críticos para la producción agroalimentaria. Particularmente, la Comarca Lagunera se caracteriza por las deficiencias hídricas a causa de la poca y errática precipitación pluvial que se registra; aunado a ello, las altas temperaturas en la atmósfera provocan tasas grandes de evaporación de hasta 10 veces mayores a los de lluvia registrada. Este problema se agudiza en los campos agrícolas de la región, ya que las demandas hídricas de los cultivos son insuficientes para satisfacer sus requerimientos. El objetivo del presente estudio fue identificar el efecto de diferentes dosis de lombricomposta e hidrogel, como fuentes de retención de humedad del suelo, así como su impacto en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz forrajero. El estudio se llevó a cabo en el área experimental de la URUZA-UACH en Bermejillo, Dgo. donde se estableció un experimento en bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas. Las parcelas grandes correspondieron las dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹) y las parcelas chicas a las dosis de lombricomposta (0 y 20 Ton ha⁻¹). La aplicación de hidrogel incrementó en promedio un 20.8 % el contenido de humedad en el suelo, lo cual repercutió en un incremento significativo de la altura de planta, grosor de tallo, ancho y largo de la hojas, así como un mayor volumen del sistema radicular. La lombricomposta no produjo efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Palabras Clave: Maíz forrajero, lombricomposta, hidrogel.

**USE OF VERMICOMPOST AND HYDROGEL AS SOIL MOISTURE
RETAINER AND ITS IMPACT ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF
MAIZE (*Zea mays* L.) FOR FORAGE**

ABSTRACT

The availability of water is considered one of the most critical factors for food production. The ‘Comarca Lagunera’ includes municipalities of Durango and Coahuila States, Mexico. It is characterized by water deficit due to scarce and erratic rainfall, and high environmental temperatures. Based on these extreme conditions, high rates of evaporation are achieved, up to 10 times above the rainfall average. This problem is highlighted in the agricultural sector of the region, as the crop water demands are higher than the water available. The aims of this study were to identify the effect of compost and hydrogel, as moisture holders in the soil, and to monitor the effect on growth and development of maize for forage. The study was carried out in the experimental area of URUZA-UACH, at Bermejillo, Durango. The experiment was arranged in split plots within randomized blocks with three replications. Doses of the hydrogel (0, 12.5 and 25 Kg ha⁻¹) were applied in the big plots, and compost doses (0 and 20 ton ha⁻¹) were in the small plots. The hydrogel doses increased 20.8% the moisture content in the soil compared to the control. Also, hydrogel doses significantly affected plant height, stem thickness, width and length of the leaves as well as the volume of the system root. The vermicompost doses had no significant effect on crop growth and development.

Key words: Forage maize, vermicompost, hydrogel.

INTRODUCCIÓN

La precipitación pluvial en la Comarca Lagunera es de 250 mm al año. Su distribución anual se caracteriza por una mayor incidencia en los meses de julio a septiembre, si se considera además la alta temperatura ambiental, es de esperarse que cualquier cuerpo o corriente de agua esté sujeto a tasas altas de evaporación. Una característica importante en los patrones de lluvia en la zona, que se suma a su escasez, es la fuerte variación de los volúmenes de agua a través del tiempo. Estas fluctuaciones influyen de forma determinante en la disponibilidad de agua en la región (Destenave, 1999). Para compensar el déficit hídrico, es necesario generar diversas estrategias locales de aprovechamiento de este recurso (Velasco, 1991). Las opciones de actualidad, en los sistemas de producción agroforestal en ecosistemas áridos, son las técnicas relacionadas a la conservación de la humedad en el suelo por diferentes prácticas de manejo. De esta manera, la aplicación de enmiendas orgánicas a través de lombricompostas como mejoradores del suelo en la agricultura, han cobrado gran relevancia en los últimos años. Además de proveer nutrientes y mejorar las propiedades físicas del suelo, se han utilizado como una práctica más para conservar la humedad del mismo (Navarro, 2009).

Adicionalmente, una serie de productos comerciales que tienen perspectiva de beneficio en la producción agrícola se están promoviendo. Tal es el caso de los copolímeros sintéticos derivados de la poliacrilamida, los cuales están probando ser eficientes en la capacidad de retención de humedad del suelo y permiten un buen desarrollo de las plantas, aumentando los parámetros de aireación y temperatura y, por ende, incrementan los rendimientos de los cultivos (SNF FLOERGER, 2003). A pesar

de ello, no hay suficientes investigaciones para cultivos anuales establecidos en condiciones de aridez. El objetivo del presente estudio, fue evaluar los efectos de la aplicación de hidrogel y lombricomposta en la retención de humedad edáfica y su impacto en componentes morfométricos asociados al crecimiento y desarrollo del cultivo del maíz forrajero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en la región de Mapimí del Estado de Durango, México. La región se encuentra ubicada entre los paralelos 26° 00' y 26° 10' de Latitud Norte y los meridianos 104°10' y 103°20' de Longitud Oeste y a una altitud de 1119 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), el clima del área pertenece a un tipo BWhw (e), el cual se interpreta como muy árido, semicálido con lluvias en verano y de amplitud térmica extremosa. La precipitación promedio anual es de 250 mm, siendo los meses de julio y agosto los más lluviosos con 36.1 y 39.7 mm, respectivamente.

Diseño experimental. Un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones fue usado. Las parcelas grandes correspondieron a las dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹) y las parcelas chicas a las dosis de lombricomposta (0 y 20 Ton ha⁻¹). Cada unidad experimental fue de 4 surcos de 0.75 m de ancho y 30 m de longitud.

Establecimiento del experimento. La lombricomposta se aplicó manualmente previo a la siembra en los tratamientos respectivos. Para efectuar la siembra y aplicación del hidrogel, se utilizó una sembradora de precisión con tres tolvas: una para el depósito de semilla, otra para la dosificación del hidrogel granulado y la tercera para la fertilización. La distancia entre plantas fue de 17 cm; así la densidad fue de 78, 204 plantas ha⁻¹. El hidrogel fue aplicado a la misma profundidad que la semilla. Como material vegetal en el experimento se utilizó maíz híbrido variedad DK-2040. La variedad es usada para doble propósito (producción de grano y forraje). La lombricomposta utilizada se obtuvo mediante el proceso de composteo con base en lombriz roja (*Eisenia fetida*) producida en la propia URUZA-UACH (Pedroza *et al.*, 2010).

Sistema de riego. Se utilizó riego superficial por inundación con agua extraída de pozo profundo. Tres riegos se efectuaron; uno de pre-siembra y dos de auxilio (44 y 88 días después de la siembra). El gasto que llegaba a la parcela fue de 9 L seg⁻¹; el tiempo que se usó por melga fue de 5 horas. La lámina por riego aplicado fue de 17.05 cm.

Fertilización y manejo del cultivo. Los fertilizantes comerciales se aplicaron para proveer Nitrógeno en dosis de 200 Kg ha⁻¹ (Urea con 46% de N) y Fosfato Mono amónico en dosis de 200 Kg ha⁻¹. Estas concentraciones se fraccionaron en dos aplicaciones, al momento de la siembra y antes de realizar el primer cultivo. Para el control de plagas y enfermedades, el monitoreo se realizó mediante inspección visual en campo. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se detectó como plaga principal. Dos aplicaciones de Clorpirifos etil se realizaron, al considerar dosis y tiempos conforme se requirieron de acuerdo a la incidencia y severidad de daños.

Variables medidas. El contenido de humedad se midió a 15, 30 y 45 cm de profundidad de suelo en tres fechas de muestreo (10, 20 y 30 días después del segundo riego de auxilio). Para ello, un determinador de humedad ‘Soil Tester’ modelo HB-2 se usó en tiempo real. Las variables respuesta registradas fueron: altura de planta (cm), grosor de tallo (cm), ancho y largo de hoja bandera (cm); éstas fueron medidas en etapas fenológicas generalizadas del cultivo (plántula, 4-5 hojas, 12-14 hojas y floración). Adicionalmente, dos mediciones destructivas se efectuaron a los 60 y 100 días después de la siembra para determinar volumen de raíz en cm^3 .

Procesamiento de datos. Un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey se realizaron para identificar el efecto de las dosis de hidrogel y lombricomposta en las variables de contenido de humedad edáfica y variables relacionadas al crecimiento y desarrollo de la planta. Además el análisis de regresión lineal simple se usó para identificar el comportamiento respuesta de la planta, a través del tiempo. Para ello, los programas SAS Versión 9.0 y Microsoft Excel versión 2010 fueron involucrados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los análisis estadísticos de varianza y prueba de medias de rango múltiple de Tukey, un efecto muy significativo ($P < 0.01$) se asoció a las dosis de hidrogel para los componentes de crecimiento y desarrollo del maíz. Los efectos de las dosis de lombricomposta y la interacción dosis de hidrogel*dosis de lombricomposta fueron no significativos. Al factor hidrogel se asoció efecto significativo independientemente de si se aplicó o no la lombricomposta.

La altura de planta fue significativamente mayor cuando se aplicó el hidrogel, independientemente de la dosis, respecto a cuando no se aplicó. Esta tendencia se mantuvo en todas las evaluaciones realizadas (Cuadro 1 y 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Gutiérrez (2006) en su evaluación del rendimiento en cultivos hortícolas utilizando un polímero en suelos característicos de la Comarca Lagunera; este autor encontró que la aplicación de 8 kg ha⁻¹ de poliacrilamida incrementó el crecimiento de plantas un 18%, respecto del testigo. También, Barón *et al.* (2007) reportaron un incremento en el crecimiento de planta para especies hortícolas sometidas a suelos acondicionados con hidrogel, lo cual es coherente con las observaciones de lenta liberación. Igualmente, Costel *et al.* (2012) observaron, en un trabajo sobre morfofisiología de plantas de maíz y soya, que la altura media de planta fue influenciada positivamente por el tratamiento con Aquasorb a dosis de 15 kg ha⁻¹.

De acuerdo al análisis de regresión, los tres tratamientos tuvieron un comportamiento lineal. Ello confirma que hay un incremento respecto a la altura de planta en cada tratamiento. Los incrementos fueron de 3.23 y 3.37 cm por unidad de dosis de hidrogel, para las dosis de 12.5 y 25 kg ha⁻¹ en cada fecha de muestreo, respectivamente (Figura 1).

Cuadro1. Altura de plantas de maíz forrajero (*Zea mays* L.) asociada a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.

ALTURA DE PLANTA (cm)				
Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	16.2 b	38.0 b	155.2 b	192.1 b
12.5	21.3 a	51.5 a	193.2 a	221.6 a
25	21.5 a	43.7 ab	175.9 ab	214.3 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

Cuadro 2. Altura de plantas de maíz forrajero (*Zea mays* L.) asociada a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de Lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	ALTURA DE PLANTA (cm)			
	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	19.7 a	45.5 a	178.5 a	211.0 a
20	19.6 a	43.4 a	171.0 a	207.4 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

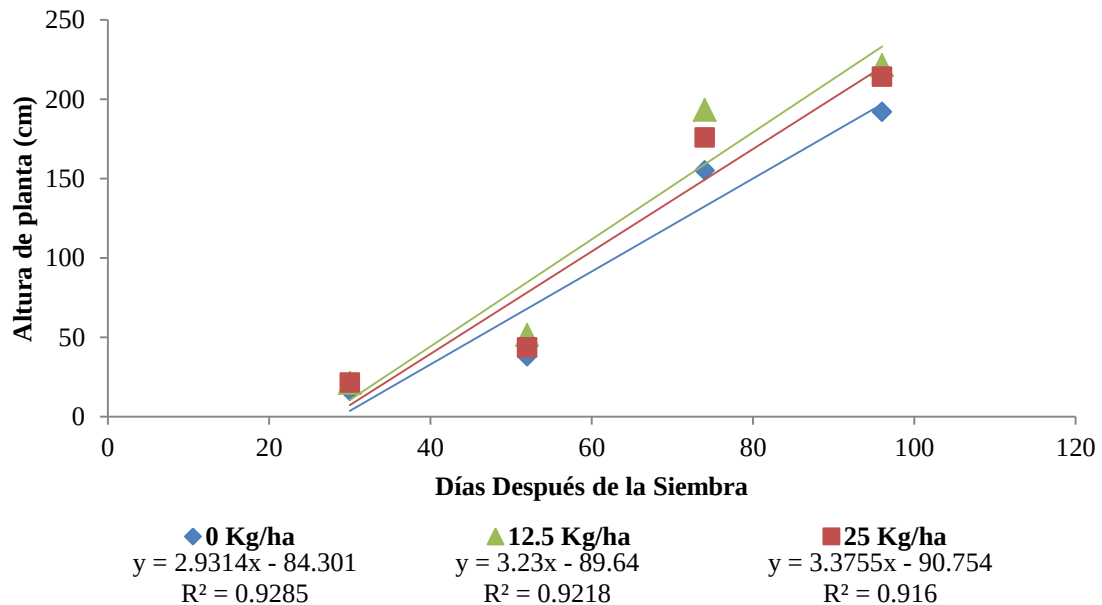


Figura 1. Comportamiento temporal de la variable altura planta de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.

Diferencias significativas de grosor de tallo no se asociaron al factor dosis de hidrogel, en las primeras dos evaluaciones; sin embargo, para las mediciones posteriores se apreciaron efectos significativos (Cuadro 3). Estos resultados son comparables a los de Maldonado *et al.* (2011) en su evaluación de plántulas forestales, pues éstas presentaron en promedio diámetros mayores (3 mm) cuando crecieron en sustrato de hidrogel a dosis de 4 g litro⁻¹. También, hay coincidencia con los obtenidos por Ríos *et al.* (2012), quienes reportaron que al tratamiento con 20 gramos de hidrogel por planta se asociaron incrementos de grosor de tallo de plantas forestales de zonas áridas.

A las dosis de 12.5 y 25 kg ha⁻¹ de hidrogel se asociaron valores mayores de grosor de tallo con respecto al testigo (Figura 2), en las 4 fechas consideradas, aunque las diferencias fueron no significativas. Las dosis de lombricomposta mostraron efectos con diferencias no significativas para esta variable (Cuadro 4).

Cuadro 3. Grosor de tallo de planta de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.

GROSOR DE TALLO (cm)				
Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	0.9 a	1.4 a	2.1 b	2.3 b
12.5	0.8 a	1.7 a	2.3 a	2.5 a
25	1.0 a	1.7 a	2.3 a	2.6 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

Cuadro 4. Grosor de tallo de planta de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.

GROSOR DE TALLO (cm)				
Dosis de Lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	0.94 a	1.69 a	2.25 a	2.47 a
20	0.91 a	1.60 a	2.22 a	2.44 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

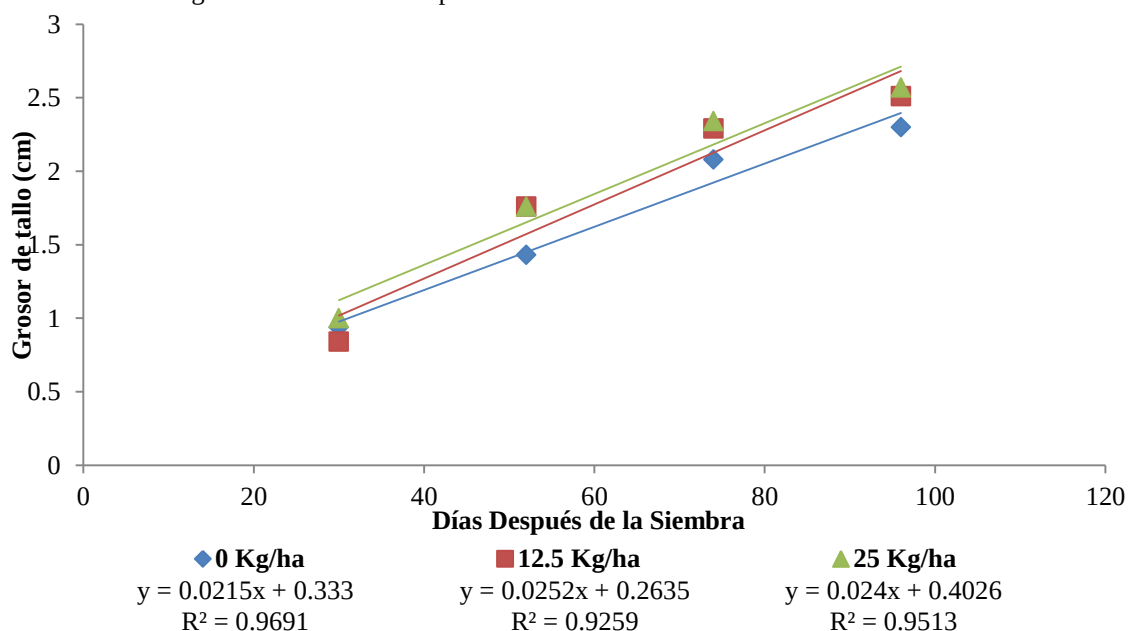


Figura 2. Comportamiento temporal de la variable grosor de tallo de plantas de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.

La variable largo de hoja bandera reportó efectos significativamente superiores cuando se aplicó el hidrogel, independientemente de la dosis, respecto del testigo. Este efecto se mantiene conforme pasa el tiempo, excepto en la segunda evaluación donde no se identificó ninguna diferencia estadística (Cuadro 5); para las dosis de lombricomposta no se registraron efectos (Cuadro 6). Referente al análisis de regresión se muestran tasas de crecimiento en las aplicaciones de hidrogel utilizadas de 0.99 unidades (cm) por incremento de las dosis de hidrogel empleadas (Figura 3). Estos resultados son similares con los reportados por Kosterna *et al.* (2012) quienes identificaron la mayor tasa de incremento en el crecimiento de hojas al aplicar el polímero a dosis de 54 g planta⁻¹, en el cultivo del apio. Igualmente Nnadi y Brave (2011) indican que cuando no hay adición de un polímero en plantas de rábano, las hojas muestran signos de deshidratación y estrés hídrico, mientras que el follaje de las plantas fue de mayor cobertura, cuando se aplicó el polímero al suelo.

Cuadro 5. Largo de hoja bandera en maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.

LARGO DE HOJA BANDERA (CM)				
Dosis de hidrogel (Kg ha⁻¹)	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	10.8 b	17.8 a	53.0 b	62.0 b
12.5	13.4 a	21.4 a	63.7 a	72.1 a
25	12.2 ab	19.9 a	61.7 a	71.1 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

Cuadro 6. Largo de hoja bandera en maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.

LARGO DE HOJA BANDERA (CM)				
Dosis de Lombricomposta (Ton ha⁻¹)	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	11.9 a	19.6 a	60.1 a	68.7 a
20	12.4 a	19.8 a	58.9 a	68.1 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

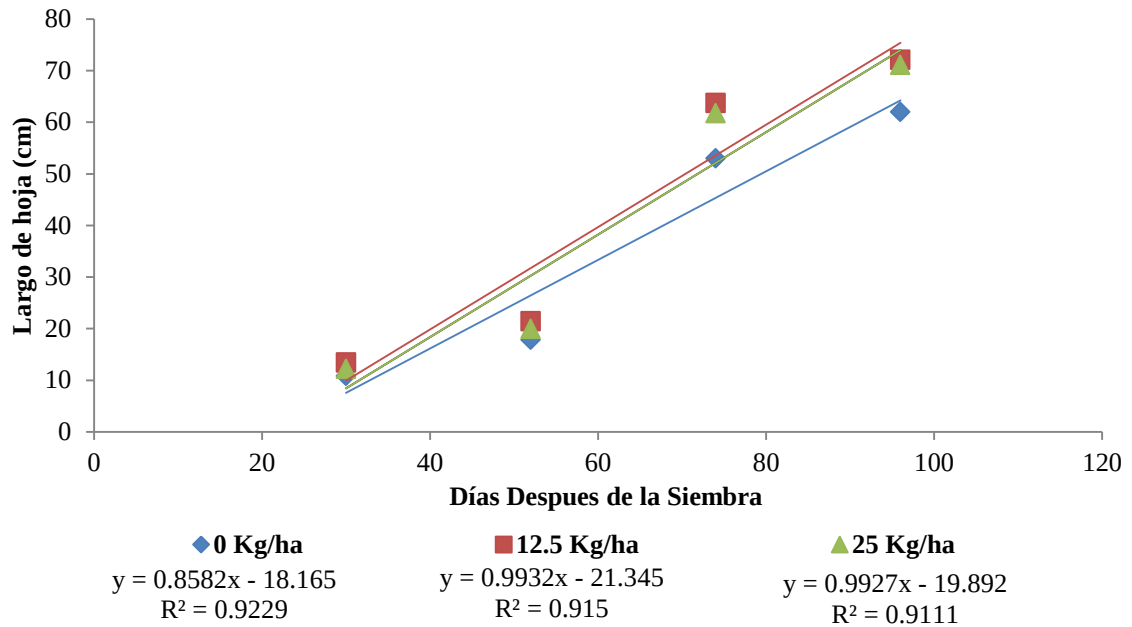


Figura 3. Comportamiento temporal de la variable largo de hoja bandera de plantas de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.

Para el caso del ancho de hoja bandera (Cuadro 7; Figura 4), los resultados presentaron tendencias similares que para la variable longitud de hoja bandera. En otras palabras, la variable ancho de hoja bandera tuvo valores mayores, de manera significativa cuando se aplicó el hidrogel e independientemente de las dosis, que cuando no se aplicó. E inclusive, los valores de ancho de hoja bandera asociados a las dosis del factor lombricomposta presentaron diferencias no significativas (Cuadro 8).

Cuadro 7. Ancho de hoja bandera de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	ANCHO DE HOJA BANDERA (cm)			
	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	1.8 b	3.9 a	8.0 b	9.1 b
12.5	2.4 a	4.9 a	9.0 a	10.0 a
25	2.2 ab	4.6 a	9.0 a	10.1 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

Cuadro 8. Ancho de hoja bandera de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, en cuatro fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.

ANCHO DE HOJA BANDERA (cm)				
Dosis de Lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	30 DDS	52 DDS	74 DDS	96 DDS
0	2.2 a	4.6 a	8.8 a	9.8 a
20	2.1 a	4.4 a	8.6 a	9.7 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

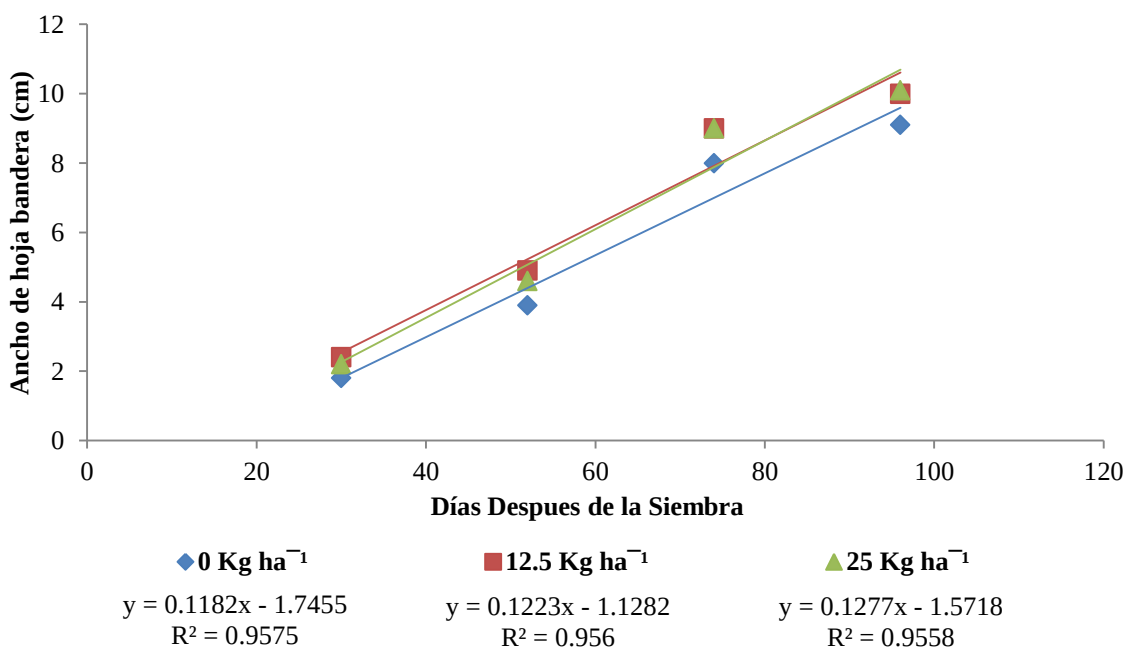


Figura 4. Comportamiento temporal de la variable ancho de hoja bandera de plantas de maíz forrajero al considerar tres dosis de hidrogel.

Con respecto a la variable volumen de raíz, las diferencias asociadas al factor dosis de hidrogel fueron significativas (P<0.01). Al factor dosis de lombricomposta (Cuadro 9 y 10) se asociaron diferencias no significativas con respecto a esta variable. Taban y Naeini (2006), identificaron que el maíz mostró mayor peso de raíz y mejoró los componentes radicales, al aplicar el hidrogel, por efecto de un mejor contenido de humedad en el suelo y temperatura del mismo; sin embargo, no registraron efectos benéficos por la aplicación de composta. Dufault y William (1991), indican que con la

aplicación de Hydrosorce en plántulas de chile pimienta a dosis de 3.5 g litro^{-1} de agua, las raíces de las plantas tratadas presentaron mayor peso fresco y seco, y por ende, mejor desarrollo y crecimiento del cultivo.

Cuadro 9. Volumen de raíz de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo, en dos fechas después de la siembra Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de hidrogel (Kg ha^{-1})	VOLUMEN DE RAIZ (cm^3)	
	60 DDS	100 DDS
0	37.3 b	537.1 b
12.5	96.0 a	859.8 ab
25	92.8 a	989.3 a

Prueba de Tukey ($P < 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

Cuadro 10. Volumen de raíz de plantas de maíz forrajero asociado a diferentes dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo, en dos fechas después de la siembra. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de Lombricomposta (Ton ha^{-1})	VOLUMEN DE RAIZ (cm^3)	
	60 DDS	100 DDS
0	88.6 a	750.5 a
20	90.3 a	779.2 a

Prueba de Tukey ($P < 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDS= Días después de la siembra.

El contenido de humedad fue significativamente ($P < 0.01$) mayor al aplicar hidrogel en cada profundidad evaluada, con respecto a cuando no se aplicó. Este efecto fue más evidente con la dosis de 25 kg ha^{-1} (Cuadro 11). De acuerdo a los análisis de las propiedades físicas del suelo donde se estableció el experimento, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) de 15 % (Yáñez, 2011), se llega más lentamente cuando se aplica el hidrogel. Los resultados del presente estudio concuerdan con el trabajo previo realizado por Akhter *et al.* (2004), quien señaló que la adición de hidrogel al suelo indujo mayor disponibilidad de humedad edáfica, y por ende, mejor crecimiento y desarrollo de

plantas. Otros autores han reportado que la adición de polímeros del gel, permite potenciar el crecimiento vegetativo de las plantas mediante la alta retención de humedad edáfica (Choudhary *et al.* 1995; Al-Harbi *et al.* 1999); en tanto que, Román y Sotomayor (2004) encontraron que existen mejores relaciones suelo-agua mediante la aplicación de un acondicionador al suelo.

Cuadro 11. Contenido de humedad edáfica a diferentes profundidades asociado a tres dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.

	PROFUNDIDAD (cm), E1			PROFUNDIDAD (cm), E2			PROFUNDIDAD (cm), E3		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
Dosis de hidrogel (Kg ha⁻¹)									
0	18.5b	22.8c	26.8c	16.0c	20.5c	24.5c	14.0b	18.5c	22.1c
12.5	22.5a	28.0b	32.1b	20.1b	25.5b	29.6 b	18.1a	23.5b	27.5b
25	24.6a	31.5a	35.5a	22.3a	28.6a	32.5a	20.0a	26.6a	30.3a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. E1=Evaluación 1; E2=Evaluación 2; E3=Evaluación 3.

Cuadro 12. Contenido de humedad edáfica a diferentes profundidades asociado a tres dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.

	PROFUNDIDAD (cm), E1			PROFUNDIDAD (cm), E2			PROFUNDIDAD (cm), E3		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
Dosis de Lombricomposta (Ton ha⁻¹)									
0	22.1a	27.6a	31.5a	19.5a	24.6a	28.5a	17.3a	23.1a	26.2a
20	21.6a	27.2a	31.4a	19.4a	25.1a	29.2a	17.4a	23.6a	27.1a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. E1=Evaluación 1; E2=Evaluación 2; E3=Evaluación 3.

CONCLUSIONES

Al hidrogel, en cualquiera de las dosis aplicada (12.5 y 25 Kg ha⁻¹) se asocia incrementos significativos de altura, que en promedio fue de 23%, así como un 12% en el grosor de tallo, 17 y 19% en el ancho y largo de hoja bandera de la planta de maíz, respectivamente, en comparación a cuando no se aplica.

El contenido de humedad en suelo se incrementó en promedio un 21% en las tres profundidades (15, 30 y 60 cm) cuando se aplicó el hidrogel, en comparación al tratamiento testigo.

El volumen de raíz fue significativamente mayor en un 63% cuando se aplicó hidrogel en cualquiera de las dosis involucradas.

A la aplicación de lombricomposta en las dosis empleadas en este estudio no se asoció un crecimiento diferente de manera significativa, o aun aumento de contenido de humedad edáfica, en comparación a cuando no se aplicó.

LITERATURA CITADA

Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Mardan, A., Ahmad, M. and Iqbal, M. M. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant, Soil and Environment*. 50 (10): 463-469.

Al-Harbi, A., Al-Omran, A. M., Shalaby, A. A. and Choudhary, M. I. 1999. Efficacy of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments. *HortScience*. 34 (2): 223-224.

Barón C., A., Barrera R., I. X., Boada E., L. F. y Rodríguez N., G. 2007. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Revista Ingeniería e Investigación*. 27 (3): 35-44.

Choudhary, M. I., Shalaby, A. A. and Al-Omran, A. M. 1995. Water holding capacity and evaporation of calcareous soils as affected by four synthetic polymers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 26 (13-14): 2205-2215.

Costel G., D., Răus, L., Ailincăi, C. and Jităreanu, G. 2012. The influence of Aquasorb on morpho-physiological properties on corn and soybeans yield, in the conditions of Iasi County. *Lucrări Științifice seria Agronomie*. 55 (2): 173-178.

Destenave M., C. 1999. Problemática agropecuario en la Comarca Lagunera. Memoria del Simposio Internacional de la Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. México. p. 1-6.

Dufault R., J. and William H., M. 1991. Influence of cell size, hydrogel, and drought stress on bell pepper transpiration, water usage, and growth. *HortScience*. 26 (6): 689.

García de M., E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 p.

Gutiérrez C., I. J. 2006. Efecto del polímero Acuastock en la capacidad de retención de humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la acelga (*Beta vulgaris* var *cycla*). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. URUZA. Bermejillo, Dgo. México. 49 p.

Kosterna E., Zaniewicz B., Anna, R. R. and Franczuk J. 2012. The effect of AgroHydroGel and irrigation on celeriac yield and quality. *Folia Horticulturae*. 24 (2): 123-129.

Maldonado B., K. R., Aldrete, A., López, U. J., Vaquera H., H. y Cetina A., M. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*. 45 (3): 389-398.

Navarro G., H. 2009. Agricultura orgánica y alternativa. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. 271 p.

- Nnadi, F. and Brave, C. 2011. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. *J. Soil Sci. Environ.* 2 (7): 206-211.
- Pedroza, S. A., Chávez R., J.A., Trejo C., R. y Ruiz T., J. 2010. Sistema de producción de biocomposta y fertilizantes líquidos a base de lombriz roja (*Eisenia fetida*). Memoria Electrónica del 1er. Congreso Nacional de Investigación e Innovación Tecnológica Ambiental. Centro Nuclear México. Toluca, Edo. de México. p. 1-4.
- Ríos S., J. C., Rivera G., M., Valenzuela N., L. M., Trucios C., R. y Rosales S., R. 2012. Diagnóstico de las reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su sobrevivencia en Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas.* 11 (2): 63-67.
- Román P., E. and Sotomayor R., D. 2004. Soil conditioner efficacy on Lajas Valley sweet corn production. *J. Agric. Univ. P.R.* 88 (3-4): 97-108.
- SNF FLOERGER. 2003. AquasorbTM water retainers for soils and substrates. Andrézieux-Bouthéon, France. 6 p.
- Taban, M. and Naeini S., A. 2006. Effect of Aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil textures. *Communications in Soil Science & Plant Analysis.* 37 (13-14): 2031-2055.
- Velasco M., H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas: Sus características y manejo. Editorial Limusa. México, D. F. 725 p.
- Yáñez C., L.G. 2011. Evaluación en la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo sistemas de manejo convencional y alternativo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. URUZA. Bermejillo, Dgo. México. 129 p.

CAPÍTULO III

EFFECTO DEL HIDROGEL Y BIOCOPPOSTA EN LA ACTIVIDAD FOTOSINTÉTICA Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

RESUMEN

El aumento en la incidencia e intensidad de la sequía provocada por el cambio climático, es un punto crítico para la producción agrícola en diferentes regiones del planeta. Las tierras áridas son a menudo las más afectadas por la disponibilidad de agua debido a la escasez de precipitación pluvial. La Comarca Lagunera de los estados de Durango y Coahuila, México, es una cuenca lechera de importancia nacional, cuyo insumo primario son los cultivos forrajeros como la alfalfa, sorgo y maíz. Sin embargo por la crisis de los recursos hídricos, se están buscando nuevas alternativas y el cultivo del maíz forrajero está siendo una opción para el productor. El objetivo del presente estudio fue evaluar diferentes dosis de hidrogel y lombricomposta, como retenedores de humedad en el suelo y su efecto en la actividad fotosintética e impacto en la producción de maíz forrajero. El experimento se estableció en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) de Bermejillo, Durango, México. Un diseño experimental de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas fue utilizado, donde las parcelas grandes correspondieron a las dosis de hidrogel (0, 12.5 and 25 Kg ha⁻¹) y las parcelas chicas fueron las dosis de lombricomposta (0 and 20 Ton ha⁻¹). De acuerdo a los resultados obtenidos, el hidrogel aumentó la humedad del suelo, correspondiente a un 20.8 % más que el testigo. De igual manera, se registró una mayor actividad y eficiencia fotosintética en un 24.1%, los rendimientos de forraje fresco y seco de maíz fueron de 46.5 y 38%, respectivamente, más altos que el testigo.

Palabras clave: *Zea mays*, bioproduktividad, zonas áridas, humedad edáfica.

EFFECT OF HYDROGEL AND VERMICOMPOST ON PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND MAIZE PRODUCTION (*Zea mays* L.) AS FORAGE

ABSTRACT

The increase in incidence and intensity of drought by climate change is a critical point in agricultural production in different regions of the planet. Dry lands are often the most affected, by water shortage due to low rainfall in these regions. The 'Comarca Lagunera' located in the states of Durango and Coahuila, Mexico, is a dairy region of national importance, which demands large amounts of forage crops, like alfalfa, sorghum, and maize. In this region, long periods of severe droughts have occurred, therefore the government and farmers are looking for new and improved alternatives to increase the efficiency of water in the agriculture system. The objective of this study was to evaluate different doses of vermicompost and doses of hydrogel as retainers of soil moisture on photosynthetic activity in maize. The experiment was carried out in the Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas (URUZA) at Bermejillo, Durango, México. Random block in split plot was used; the big plots were the hydrogel doses (0, 12.5 and 25 kg ha⁻¹) and the small plots were vermicompost doses (0 and 20 Ton ha⁻¹). Similarly, the activity and photosynthetic efficiency increased on average in 24.1%, yield of fresh and dry corn forage 46.5 and 38% respectively, higher than the control.

Keywords: *Zea mays*, bioproductivity, arid lands, soil moisture.

INTRODUCCIÓN

La importancia que tiene el agua en los grandes ecosistemas de las zonas áridas del norte de México es cada vez mayor, debido a una baja y errática precipitación. Además, la evaporación en estas áreas es por lo menos 10 veces superior al índice pluviométrico, produciendo una rápida desecación de los suelos en las áreas agrícolas (Ramírez y Pedroza, 2007). Así, para la mayor parte de las regiones con climas semidesérticos, la precipitación pluvial será insuficiente para satisfacer las demandas hídricas de las plantas en los sectores altamente productivos.

Las condiciones de limitación de agua, inducen en las plantas respuestas que alteran su morfología, fisiología y metabolismo. Entre los cambios fisiológicos y metabólicos que ocurren son principalmente, la disminución de síntesis de proteínas, y por tanto, el cierre de estomas que reduce la entrada de bióxido de carbono, la cual repercute directamente el proceso fotosintético (Maldonado, 2010).

En la búsqueda de nuevos sistemas de producción, se ha logrado desarrollar alternativas económicas y eficientes para mejorar los niveles productivos de las plantas y compensar la baja disponibilidad de agua. Una alternativa es la aplicación de retenedores de agua al efectuar la siembra. Estos aumentan la capacidad de retención de humedad del suelo y favorecen el desarrollo óptimo de los cultivos (Rojas *et al.*, 2006).

Los componentes de la lombricomposta propician un incremento en la retención de humedad del suelo, debido al aumento de la porosidad y la materia orgánica (Navarro, 2009). También el uso de retenedores de humedad a base de diferentes productos, están demostrando ser prácticos, sobre todo los productos copolímeros reticulados de acrilamida y acrilato. Tienen propiedades químicas y físicas particulares que le permiten

incrementar la capacidad de retención de agua en el suelo hasta 150 veces su propio peso y volumen (SNF FLOERGER, 2003). El objetivo del presente trabajo fue identificar el efecto de la retención de humedad edáfica por la incorporación de hidrogel y lombricomposta en los componentes fisiológicos como la fotosíntesis, transpiración, conductancia y eficiencia fotosintética; así como su impacto en la producción de forraje fresco y seco de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el campo experimental de la URUZA en Bermejillo Durango ubicada en el área del Distrito de Riego No. 17 de la Comarca Lagunera de los Estados de Coahuila y Durango, México. Las coordenadas geográficas son 26° 00' y 26° 10' de Latitud Norte y 104°10' y 103°20' de Longitud Oeste, con una altitud de 1119 metros sobre el nivel del mar. El clima de la Comarca Lagunera es seco desértico, con régimen de lluvias en verano e invierno fresco. La temperatura media anual varia de 19 a 21 °C, el promedio de las temperaturas máximas es de 29 °C y las mínimas de 11 °C, por lo que se dice que es un clima extremo. La precipitación promedio anual de la región es de 250 mm. Debido a las altas temperaturas la mayor parte del agua producto de las lluvias se pierde por evaporación, la cual en la región es de aproximadamente 1800 mm el promedio anual (Enríquez, 1997).

Diseño experimental. Un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones fue usado. Las parcelas grandes correspondieron a las dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹) y las parcelas chicas a las dosis de lombricomposta (0 y 20 Ton ha⁻¹). Cada unidad experimental fue de 4 surcos de 0.75 m de ancho y 30 m de longitud.

Establecimiento del experimento. La lombricomposta se aplicó manualmente previo a la siembra en los tratamientos respectivos. Para efectuar la siembra y aplicación del hidrogel se utilizó una sembradora de precisión con tres tolvas: una para el depósito de semilla, otra para la dosificación del hidrogel granulado y la tercera para la fertilización. La distancia entre plantas fue de 17 cm; así la densidad fue de 78,204 plantas ha⁻¹. El hidrogel fue aplicado a la misma profundidad que la semilla. Como material vegetal en el experimento se utilizó maíz híbrido variedad DK-2040, el cual es de doble propósito (producción de grano y forraje). La lombricomposta utilizada se obtuvo mediante el proceso de composteo con base en lombriz roja (*Eisenia fetida*) producida en la propia URUZA-UACH (Pedroza *et al.*, 2010).

Sistema de riego. Se utilizó riego superficial por inundación con agua extraída de pozo profundo. Se efectuaron tres riegos; uno de pre-siembra y dos de auxilio (44 y 88 días después de la siembra, respectivamente). El gasto fue de 9 L seg⁻¹; el tiempo que se usó por melga fue de 5 horas, por lo que la lámina por riego aplicado fue de 17.05 cm.

Fertilización y manejo del cultivo. Se aplicó Urea a dosis de 200 Kg ha⁻¹ (46% de N) y Fosfato Mono amónico en dosis de 200 Kg ha⁻¹. Estas concentraciones se fraccionaron en dos aplicaciones, al momento de la siembra y antes de realizar el primer cultivo. Como plaga importante se detectó al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), el cual fue controlado con dos aplicaciones de Clorpirifos etil.

Variables medidas. El contenido de humedad se midió a 30 cm de profundidad, para lo cual se utilizó un determinador de humedad ‘Soil Tester’ modelo HB-2. Las variables que se midieron fueron fotosíntesis ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), conductancia ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), temperatura de planta (°C), índice de clorofila, peso

fresco y seco de planta (g) y rendimiento de forraje fresco y seco (Ton ha⁻¹). Las variables fisiológicas evaluadas fueron determinadas con uso del medidor de intercambio gaseoso a base de rayos infrarrojos (IRGA) LI-COR Modelo LI-6400 y medidor de clorofila Fieldscout CM 1000; en tanto que las variables de materia fresca y seca para el rendimiento de forraje, se midieron en tres plantas tomadas al azar dentro de cada tratamiento al final del experimento.

Procesamiento de datos. La base de datos fue procesada con el Programa SAS Versión 9.0 en lo que respecta al análisis de varianza y prueba de rango múltiple de medias Tukey; en tanto que para identificar el comportamiento temporal de la fotosíntesis y la producción de forraje fresco y seco, se usó el programa Microsoft Excel Versión 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Actividad fotosintética. El mayor contenido de humedad del suelo, que en promedio fue de 20.8 % en relación al testigo, produjo una mayor actividad fotosintética y ésta a su vez repercutió en efectos en otras variables fisiológicas. La actividad fotosintética se incrementó en 20.1 y 28.0 % cuando se aplicó hidrogel a dosis de 12.5 y 25 Kg ha⁻¹, respectivamente; aunque el resto de las variables como la transpiración, conductancia, temperatura e índice de clorofila, reportaron efectos no significativos (Cuadro 1). Ello indica que, aunque se incrementa la fotosíntesis, entendida ésta como una mayor asimilación de bióxido de carbono como precursor de los fotoasimilados, no repercute en una mayor transpiración, ni conductancia. Tampoco se eleva la temperatura de la planta; de igual forma el índice de contenido de clorofila se mantiene estable. Lo anterior muestra que dicho incremento fotosintético es sin alterar las otras propiedades

funcionales de la planta. Por tanto, debe entenderse que hay una mayor eficiencia fotosintética al captarse mayor bióxido de carbono bajo el mismo estándar de transpiración y conductancia (Pedroza, 1995), cuando se aplica el hidrogel. De manera similar pero menos pronunciada, la tasa de fotosíntesis se incrementó de 27 a 30.0 $\text{mmolCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ cuando se aplicó la lombricomposta; el resto de las variables se mantuvieron estadísticamente iguales (Cuadro 2). Lo anterior establece que se incrementó la fotosíntesis, pero al mismo tiempo la transpiración. Esto no necesariamente indica una mayor eficiencia, dado que el contenido de humedad fue favorable y no se llegó a un estado de estrés hídrico, repercutiendo en una mayor producción de forraje. Al respecto, Maldonado (2010), encontró diferencias no significativas para el tratamiento con la aplicación de hidrogeles en plantas forestales en el estudio de concentración de clorofila como indicador de fotosíntesis. Está ampliamente documentado que la fotosíntesis en plantas superiores disminuye cuando el contenido relativo de agua (RWC) y el potencial hídrico de la hoja se reduce (Lawlor y Cornic, 2002), sin embargo los tratamientos con adición del hidrogel no mostraron alteraciones fisiológicas. French y Turner (1991), señalan que el estrés por disponibilidad de agua en suelo puede afectar el crecimiento de los órganos de la planta, por resultado de la modificación en sus características morfológicas, no obstante, los tratamientos con aplicación de hidrogel mantuvieron plantas sin alteraciones morfofisiológicas; en cambio, el testigo manifestó menor tasa fotosintética, ello por la baja disponibilidad de agua, ya que limita la fotosíntesis, principalmente a través del cierre de estomas y mediante un desbalance metabólico (Tezara *et al.* 1999).

Cuadro 1. Efecto de la dosis de hidrogel sobre diferentes variables fisiológicas en maíz forrajero híbrido DK-2040. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	Fotosíntesis (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Transpiración (mmol H ₂ Om ⁻² s ⁻¹)	Conductancia (mol H ₂ Om ⁻² s ⁻¹)	Temp. de la planta (°C)	ICC
0	24.3 b	20.7a	0.9 a	33.0 a	4.9 a
12.5	29.2 ab	24.1 a	0.7 a	32.7 a	5.0 a
25	31.1 a	23.5 a	1.3 a	33.20	5.0 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. ICC= Índice de contenido de clorofila.

Cuadro 2. Efecto de la dosis de lombricomposta sobre diferentes variables fisiológicas en maíz forrajero híbrido DK-2040. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	Fotosíntesis (μmolCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Transpiración (mmol H ₂ Om ⁻² s ⁻¹)	Conductancia (mol H ₂ Om ⁻² s ⁻¹)	Temp. de la planta (°C)	ICC
0	27.4 b	21.8 b	1.0 a	32.9 a	5.0 a
20	30.0 a	24.0 a	0.9 a	32.9 a	4.9 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. ICC= Índice de contenido de clorofila.

De acuerdo al análisis de regresión, los tres tratamientos tuvieron un comportamiento lineal. Ello confirma que hay un incremento en la tasa fotosintética de la planta, en proporción directa al aumento en la dosis de hidrogel (Kg ha⁻¹), a una tasa de 0.27 unidades (μmolCO₂m⁻²s⁻¹), con un R²=0.94 de ajuste del modelo (Figura 1).

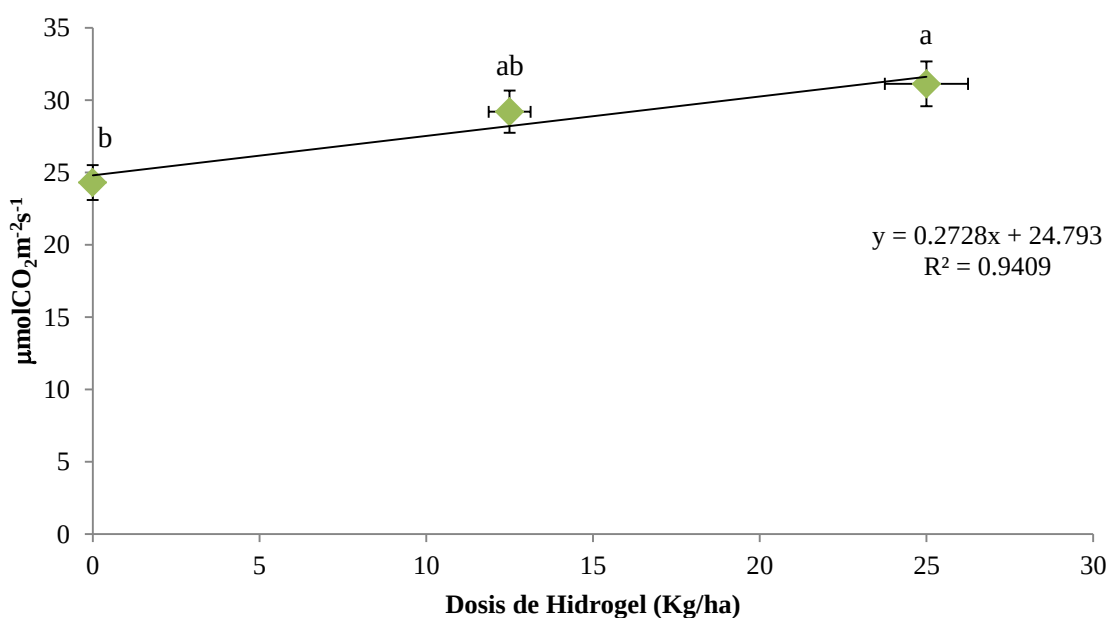


Figura 1. Comportamiento temporal en la variable fotosíntesis de plantas de maíz asociada a tres dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo. Tukey HSD (P≤0.05). Tratamientos con la misma letra, son estadísticamente iguales.

Producción de forraje verde y fresco. El forraje de maíz en estado de grano mazoso fue de 51.9, 77.6 y 81.6 Ton ha⁻¹ y la producción de forraje en términos de materia seca correspondió a 5, 26.5 y 27.8 Ton ha⁻¹ en los tratamientos 0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹ de hidrogel, respectivamente (Cuadro 3). Estos efectos fueron significativos estadísticamente y de acuerdo a sus precursores, se debió a un mayor peso fresco y seco por planta. Lo anterior indica que, ante un mayor contenido de humedad durante el ciclo del cultivo, se beneficia el vigor, crecimiento y desarrollo de la planta, y repercutió en una mayor producción de biomasa observada, y por ende alta producción de forraje seco y fresco por unidad de superficie.

Debido a la retención de humedad en el suelo por efecto del hidrogel, se amplió el intervalo entre riegos, así se redujo a dos riegos de auxilio, en lugar de los tres tradicionales. Lo anterior es relevante en zonas como la Comarca Lagunera, donde, por la actividad productiva de leche, hace imperante la necesidad de forraje; pero a la vez es una zona con alarmante carencia del recurso hídrico. Un estudio realizado por Simpson y Hayes (2006) mostraron que los acondicionadores de suelos aumentan el porcentaje de agregados estables al agua en todos los tipos de suelo que evaluaron, además de tener un efecto sobre la cosecha de los cultivos. También los datos obtenidos en el presente estudio son similares a los de Costel *et al.* (2012). Ellos reportaron para la cosecha de maíz que el tratamiento con el polímero hidrófilo Aquasorb a dosis de 30 kg ha⁻¹ condujo a la obtención de diferencias significativas en el rendimiento en los tratamientos con adición del hidrogel y el testigo. Según Hayat y Ali (2004), la aplicación de Aquasorb contribuyó a un aumento significativo en el crecimiento vegetativo de la planta de tomate y la producción de frutos; estos autores señalan que la adición de

polímeros al suelo tiene efectos benéficos sobre el peso seco de fruto y calidad de cosecha. Al respecto Majkowska (2006), reportó que el promedio de rendimientos totales y comerciales de lechuga fueron de 1.9 Kg m^{-2} más altos cuando aplicó un copolímero, en relación a cuando no lo usó. Tecnologías como la expuesta en este estudio y otros complementarios, son una gran oportunidad para agroecorregiones con climas secos y con baja disponibilidad de agua, ya que permiten mantener o incrementar la productividad y eficientar el uso de los recursos hídricos.

Se identificaron efectos no significativos por la aplicación de la lombricomposta para las variables del rendimiento fresco y seco además de sus componentes (Cuadro 4). Lo anterior pudiera estar relacionado a que la cantidad utilizada (20 Ton ha^{-1}) es moderada y posiblemente se requiere dosis superiores. Esto coincide con Cueto *et al.* (2006), quienes reportaron efectos en los componentes de rendimiento en dosis superiores de 40 Ton ha^{-1} de biocomposta. También Aba (2013) no encontró respuestas de efecto de tratamiento en las variables referidas al crecimiento y desarrollo de la planta de sábila en la evaluación de fuentes y dosis de fertilizantes orgánicos. Este autor indica que los fertilizantes orgánicos y la biocomposta son una fuente de nutrientes para las plantas pero la disponibilidad de los mismos dependerá de su composición, tiempo de reincorporación al suelo y liberación de los componentes orgánicos.

Cuadro 3. Efecto de la dosis de hidrogel en el rendimiento de forraje fresco y seco de plantas de maíz híbrido DK-2040 Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	Peso fresco por planta (g)	Peso seco por planta (g)	Rend. de forraje fresco (Ton ha ⁻¹)	Rend. de forraje seco (Ton ha ⁻¹)
0	717.5 b	249.2 b	51.9 b	19.5 b
12.5	993.0 ab	339.0 ab	77.6 ab	26.5 ab
25	1,044.0 a	355.5 a	81.6 a	27.8 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. El rendimiento de forraje fresco y seco fue sobre la base de una densidad de población promedio de 78,204 plantas por hectárea.

Cuadro 4. Efecto de la dosis de lombricomposta en el rendimiento de forraje fresco y seco de plantas de maíz híbrido DK-2040 Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	Peso fresco por planta (g)	Peso seco por planta (g)	Rend. de forraje fresco (Ton ha ⁻¹)	Rend. de forraje seco (Ton ha ⁻¹)
0	904.5 a	306.6 a	70.7 a	23.9 a
20	944.0 a	332.9 a	73.8 a	26.0 a

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. El rendimiento de forraje fresco y seco fue sobre la base de una densidad de población promedio de 78,204 plantas por hectárea.

De acuerdo al análisis de regresión, el rendimiento de forraje fresco mostró una tendencia lineal; por cada incremento de la dosis de hidrogel (Kg ha⁻¹) correspondió un aumento de producción de forraje fresco, a una tasa de 0.84 unidades (Ton ha⁻¹), con un R²=0.84 de ajuste del modelo (Figura 2). Para el rendimiento de forraje seco hubo un comportamiento semejante, por cada incremento en la dosis de hidrogel (Kg ha⁻¹) atribuyó un incremento de producción de forraje seco, a una tasa de 0.33 unidades (Ton ha⁻¹) (R²=0.86) (Figura 3). Lo anterior, se relaciona con lo reportado por SNF FLOERGER (2011), quien reportó que al utilizar hidrogel microlocalizado en la siembra de maíz de secano, en dosis de 10 kg ha⁻¹ y 20 kg ha⁻¹, se obtienen rendimientos superiores en comparación al tratamiento control, con valores de 41.9% y 50.4%, respectivamente.

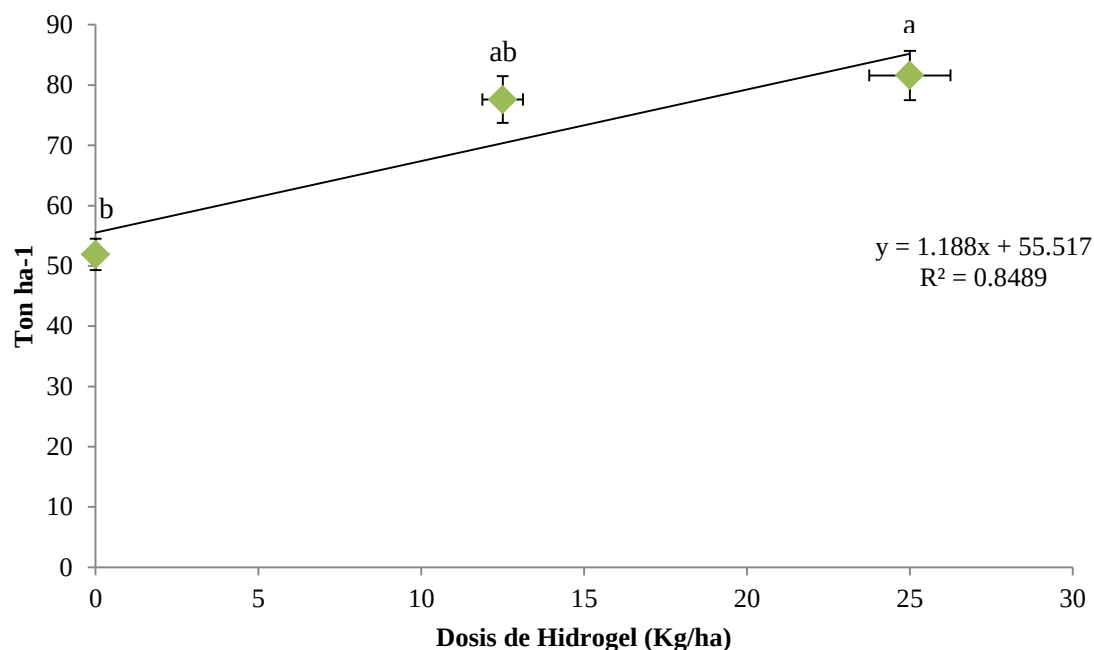


Figura 2. Comportamiento temporal de la variable rendimiento de forraje fresco de planta de maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel. Tukey HSD ($P \leq 0.05$). Tratamientos con la misma letra, son estadísticamente iguales.

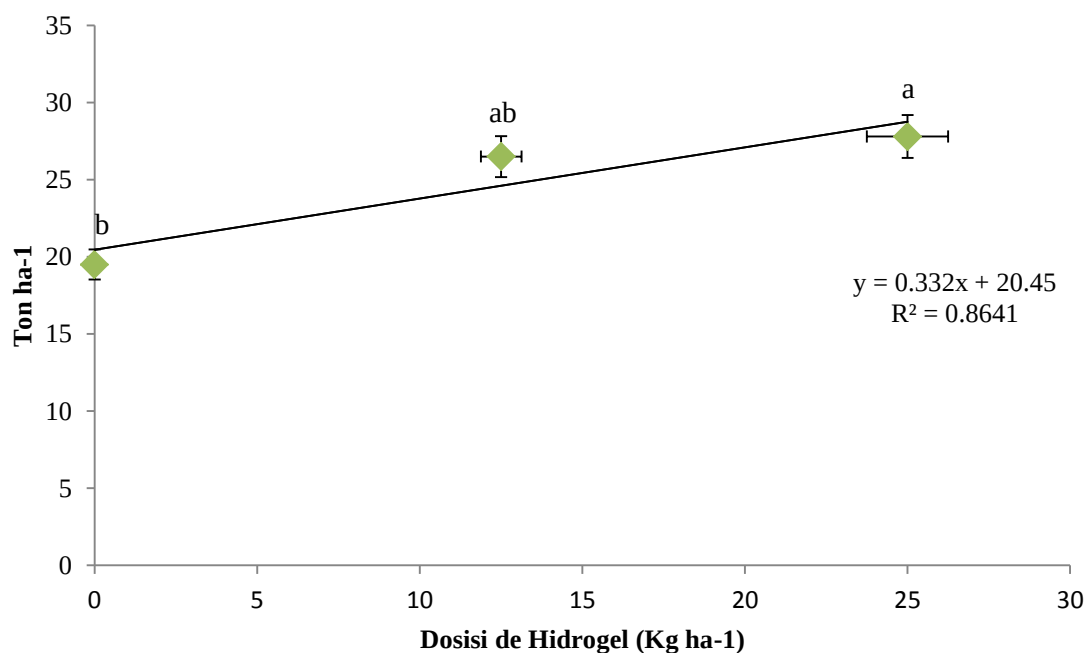


Figura 3. Comportamiento temporal de la variable rendimiento de forraje seco de planta de maíz forrajero asociada a tres dosis de hidrogel. Tukey HSD ($P \leq 0.05$). Tratamientos con la misma letra, son estadísticamente iguales.

CONCLUSIONES

La actividad fotosintética se incrementó en 20.2 y 28.0 % cuando se aplicó hidrogel en dosis de 12.5 y 25 Kg ha⁻¹, con relación al testigo.

El incremento en la fotosíntesis permitió una mayor producción de forraje fresco con valores de 77.6 y 81.6 Ton ha⁻¹, cuando se aplicó hidrogel en dosis de 12.5 y 25 Ton ha⁻¹, respectivamente, en comparación a las 19.5 Ton ha⁻¹ producidas cuando no se aplicó el producto; una situación similar fue para el caso de forraje seco donde se obtuvo 5, 26.5 y 27.8 Ton ha⁻¹ en los tratamientos 0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹ de hidrogel, respectivamente

Se identificó una mayor eficiencia fotosintética en contenidos superiores de humedad producto de la aplicación de hidrogel como retenedor de humedad en el suelo, en 20.1 y 28.0% cuando se aplicó hidrogel a dosis de lo cual repercute en un mayor ahorro de agua y productividad de forraje fresco y seco de maíz superiores.

A la aplicación de lombricomposta en las dosis empleadas en este estudio la actividad fotosintética, transpiración, temperatura de planta, índice de clorofila y rendimiento de forraje fresco y seco observaron diferencias no significativas

LITERATURA CITADA

Aba G., C. G. 2013. Evaluación de fuentes y dosis de fertilizantes orgánicos en el crecimiento y desarrollo de la planta de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y la calidad del gel. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. México.

Costel G., D., Răus, L., Ailincăi, C. and Jităreanu, G. 2012. The influence of Aquasorb on morpho-physiological properties on corn and soybeans yield, in the conditions of Iasi County. *Lucrări Științifice seria Agronomie*. 55 (2): 173-178.

Cueto W., J. A., Reta S., D. G., Barrientos R., J. L., Cervantes G., G. y Salazar S., E. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (2): 97-101.

Enríquez B., G. 1997. Evaluación productiva de tres variedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. México.

French, R. and Turner, N. C. 1991. Water deficit change dry matter partitioning and seed yield in narrow-leaved lupins (*Lupinus angustifolius* L.). *Australian J. Agric. Res.* 42 (3):471-484.

García, E. 1973. Apuntes de climatología. Universidad Autónoma de México. 155 pp.

Hayat R., Ali S. 2004. Water absorption by synthetic polymer (Aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield. *Int. J. Agri. Biol.* 6 (6): 998-1002.

Lawlor, D.W. and Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environ.* 25 (2):275-294.

Majkowska G., J. 2006. Effect of some sorbents on the yield and quality of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. romana Garst.). *Folia Horticulturae Suppl.* 2: 5-9.

Maldonado B., K. R. 2010. Sustratos alternativos para la producción de *Pinus greggii* Engelm. en vivero. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Navarro G., H. 2009. Agricultura orgánica y alternativa. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. 271 p.

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

Pedroza S., A. 1995. El déficit hídrico en la plantas. Principios y técnicas de manejo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. 162 pp.

Ramírez C., H. y Pedroza S., A. 2007. Evaluación participativa de la degradación del suelo en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, Durango México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 6 (2): 247-254.

Rojas, G. B., Ramírez, M., Agulera R., Prin, J. L. y 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. 7(3): 199-210.

Simpson K. and Hayes S. F., 2006. The effect of soil conditioners on plant growth and soil structure. J. Sci. Food Agric. 9 (3): 163-170.

SNF FLOERGER, 2003. Agriculture General Presentation, two technologies Aquasorb and Flobond. Agriculture Division. France. 22 p.

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

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN DE HIDROGEL Y VERMICOMPOSTA COMO RETENEDORES DE HUMEDAD EDÁFICA EN LA PRODUCCIÓN DE GRANO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

RESUMEN

La deficiente precipitación pluvial y el incremento de la frecuencia e intensidad de la sequía, hace cada vez más crítica la producción agropecuaria como actividad primaria y abastecedora de los alimentos que consume la humanidad. Lo anterior con mayor impacto en las zonas áridas, dado el bajo régimen pluviométrico y la intensa actividad productiva agropecuaria que registran estas regiones, como la Comarca Lagunera de los Estados de Durango y Coahuila, México. El objetivo del presente estudio fue evaluar dos productos, uno biológico y otro sintético, como fuentes de retención de humedad en el suelo y su impacto en la producción de grano de maíz (*Zea mays* L.) y sus componentes. El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la URUZA-UACH en Bermejillo, Dgo. donde se estableció un experimento en bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas; las parcelas grandes fueron las dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹) y las parcelas chicas fueron las dosis de lombricomposta (0 y 20 Ton ha⁻¹). El hidrogel incrementó en promedio un 20.8 % el contenido de humedad en el suelo y ello repercutió en un incremento superior al 23 % la producción de grano de maíz. La lombricomposta no afectó el contenido de humedad y la producción de grano de maíz.

Palabras clave: bioproductividad, *Zea mays*, biofertilizantes, hidrogel.

EVALUATION OF HYDROGEL AND COMPOST AS SOIL MOISTURE RETAINERS IN THE PRODUCTION OF GRAIN CORN (*Zea mays* L.)

ABSTRACT

The low rainfall and increased frequency and intensity of drought, causes critical effects on agricultural production which is the main activity for and supply of food consumed for mankind. This has greater impact in arid areas, due to low rainfall patterns and intense agricultural activity showed in these regions. The 'Comarca Lagunera' from Durango and Coahuila States, Mexico is one of these regions. The objective of this study was to identify the effect of the soil moisture soil, induced by use of retainers, on the grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). The study was carried out in the experimental field URUZA-UACH in Bermejillo, Durango. using an experiment random blocks design in a split plot, where the big plots were the hydrogel doses (0, 12.5 and 25 kg ha⁻¹) and the small plots were compost doses (0 and 20 Ton ha⁻¹). The hydrogel increased on average 20.8% more moisture content in soil impacted and this increased more than 23 % of grain yield of maize. The vermicompost did not affect the moisture content and grain yield of corn.

Keywords: Bioproductivity, *Zea mays*, biofertilizers, hydrogel.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera, está comprendida por los municipios del suroeste del estado de Coahuila y los del noreste del estado de Durango. El área tiene un clima cálido seco con precipitaciones promedio de 250 mm anuales, donde los cultivos forrajeros como el sorgo y el maíz derrochan grandes cantidades de agua. Un factor limitante en la agricultura de las zonas áridas es la precipitación pluvial, en su escasa y errática distribución (Enríquez, 1997).

Existen diferentes efectos por las variaciones en la ocurrencia de la precipitación en los ecosistemas. Este efecto es más marcado en ecosistemas áridos caracterizados por una gran aleatoriedad en sus variables climáticas (Sánchez, 1994). Por lo anterior, la adopción de nuevas tecnologías eficaces en el uso del agua, representa una opción para los ecosistemas áridos. Respecto a las alternativas biológicas, se tiene la generación de nuevas especies tolerantes al estrés hídrico; o bien químicas, como el uso de polímeros reticulados de acrilamida y acrilato, cuya principal característica es la capacidad de absorber y retener agua en el suelo (SNF Floerger, 2011). También al emplear materia orgánica proveniente de las compostas, permiten al suelo estabilizar su estructura y formar agregados, así se ocasiona una nueva distribución de la porosidad y por ende contribución en la capacidad de retención de humedad (Mendoza y Macías, 1998).

Sin embargo, no hay suficientes estudios donde se haya evaluado el efecto de los retenedores de humedad edáfica en cultivos anuales establecidos en zonas áridas. El objetivo de este estudio fue identificar el potencial de respuesta de retención de humedad en el suelo a través de productos químicos y biológicos que permitan reducir el consumo

de agua en la agricultura, sin detrimento en el rendimiento de la producción de maíz para grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo Dgo. ubicada en el área del Distrito de Riego No. 17 de la Región Lagunera de Coahuila y Durango. Sus coordenadas geográficas son 26° 00' y 26° 10' de Latitud Norte y 104°10' y 103°20' de Longitud Oeste, con una altitud de 1119 metros sobre el nivel del mar. El clima de la Comarca Lagunera es seco desértico, con régimen de lluvias en verano e invierno fresco. La temperatura media anual varía de 19 a 21 °C, el promedio de las temperaturas máximas es de 29 °C y las mínimas de 11 °C, por lo que se dice que es un clima extremo. La precipitación promedio anual de la región es de 250 mm. Debido a las altas temperaturas la mayor parte de la precipitación se evapora, con registros de hasta 1800 mm en promedio anual (Enríquez, 1997).

Diseño experimental. Un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones fue usado. Las parcelas grandes correspondieron a las dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 Kg ha⁻¹) y las parcelas chicas a las dosis de lombricomposta (0 y 20 Ton ha⁻¹). Cada unidad experimental fue de 4 surcos de 0.75 m de ancho y 30 m de longitud.

Establecimiento del experimento. La lombricomposta se aplicó manualmente previo a la siembra en los tratamientos respectivos. Para efectuar la siembra y aplicación del hidrogel se utilizó una sembradora de precisión con tres tolvas: una para el depósito de semilla, otra para la dosificación del hidrogel granulado y la tercera para la

fertilización. La distancia entre plantas fue de 17 cm; así la densidad fue de 78,204 plantas ha⁻¹. El hidrogel fue aplicado a la misma profundidad que la semilla. Como material vegetal en el experimento se utilizó maíz híbrido variedad DK-2040. La variedad es usada para doble propósito (producción de grano y forraje). La lombricomposta utilizada se obtuvo mediante el proceso de composteo con base en lombriz roja (*Eisenia fetida*) producida en la propia URUZA-UACH (Pedroza *et al.*, 2010).

Sistema de riego. Se utilizó riego superficial por inundación con agua extraída de pozo profundo. Tres riegos se efectuaron; uno de pre-siembra y dos de auxilio (44 y 88 días después de la siembra). El gasto que llegaba a la parcela fue de 9 L seg⁻¹; el tiempo que se usó por melga fue de 5 horas. La lámina por riego aplicado fue de 17.05 cm.

Fertilización y manejo del cultivo. Los fertilizantes comerciales se aplicaron para proveer Nitrógeno en dosis de 200 Kg ha⁻¹ (Urea con 46% de N) y Fosfato Mono amónico en dosis de 200 Kg ha⁻¹. Estas concentraciones se fraccionaron en dos aplicaciones, al momento de la siembra y antes de realizar el primer cultivo. Para el control de plagas y enfermedades, el monitoreo se realizó mediante inspección visual en campo. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se detectó como plaga principal. Dos aplicaciones de Clorpirifos etil se realizaron, al considerar dosis y tiempos conforme se requirieron de acuerdo a la incidencia y severidad de daños.

Variables medidas. El contenido de humedad se midió a 30 cm de profundidad. Para ello, un determinador de humedad ‘Soil Tester’ modelo HB-2 se usó en tiempo real. También se midió diámetro de mazorca (cm), longitud de mazorca (cm), peso de

mazorca (g), peso de grano (g) y rendimiento de grano (Ton ha^{-1}) y la densidad de plantas por unidad de superficie, mediante sistema de muestreo en cinco oros con tramos de tres metros lineales en cada tratamiento.

Procesamiento de datos. Un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey se realizaron para identificar el efecto de las dosis de hidrogel y lombricomposta en las variables de contenido de humedad edáfica y componentes del rendimiento de grano. Además el análisis de regresión lineal simple se usó para identificar el comportamiento temporal en la variable rendimiento de grano. Para ello, los programas SAS Versión 9.0 y Microsoft Excel versión 2010 fueron involucrados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificó un efecto significativo ($P < 0.05$) asociado a las dosis de hidrogel para para las variables contenido de humedad, diámetro de longitud y peso de mazorca, peso y rendimiento de grano, tanto en el efecto por separado para cada factor de variación (dosis de hidrogel y lombricomposta), como en el efecto de interacción para ambos factores.

Contenido de humedad. El contenido de humedad durante el periodo de crecimiento, desarrollo y madurez del cultivo del maíz se muestra en la Figura 1. Los picos de contenido de humedad se deben al primer y segundo riego de auxilio, observados en los muestreos a los 59 y 109 días después del primer riego (DDPR).

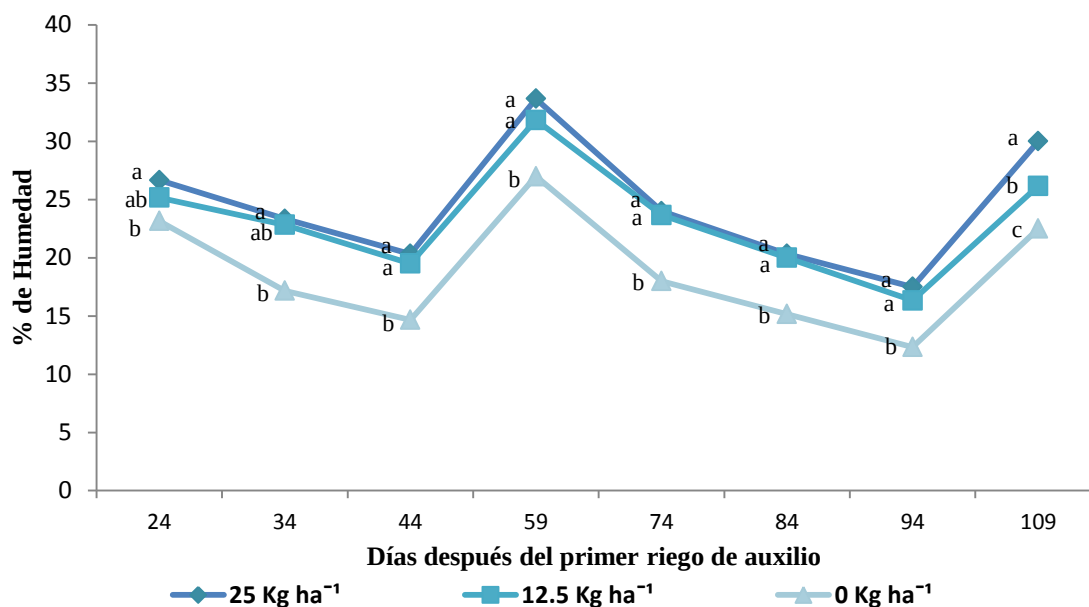


Figura 1. Contenido de humedad del suelo asociado a tres dosis de hidrogel en diferentes fechas de muestreo. Tukey HSD ($P < 0.05$). Tratamientos con la misma letra, son estadísticamente iguales.

El contenido de humedad edáfica fue significativamente superior al testigo en todos los períodos de evaluación, cuando se aplicaron las dosis de hidrogel de 12.5 y 25 Kg ha⁻¹ ($P < 0.05$). Entre estos dos tratamientos no hubo diferencia estadística, excepto en la última fecha (109 DDPR), donde el contenido de humedad fue significativamente diferente en todos los tratamientos de hidrogel incluyendo al testigo. Lo anterior expresa que una dosis mínima de 12.5 Kg ha⁻¹ de hidrogel, es suficiente para mantener un nivel de humedad superior de 20.8 %, con respecto al testigo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Rehman *et al.* (2011) en su evaluación del rendimiento de arroz en tratamientos con hidrogel, quienes observaron un mayor contenido de humedad del suelo al aplicar el copolímero a una profundidad de 15 cm, con valores de 10.6% más, respecto del testigo. Barón *et al.* (2007) demostraron que las aplicaciones de hidrogel en hortalizas y especies forestales, retrasan hasta un 400% la marchitez de las plantas, y para sequías prolongadas, la cantidad de plantas marchitas desciende un 250%; lo

anterior, debido a un mayor contenido de humedad del suelo. También Bres y Weston (1993) observaron que la retención de agua por el hidrogel, optimizó el crecimiento de la planta de tomate.

Además, se identificó que la lombricomposta obtuvo efectos no significativos con la dosis utilizada en este estudio, lo cual puede deberse a la baja cantidad aplicada (Cuadro 1). Al respecto Cueto *et al.* (2006), señalaron que a dosis superiores de 40 Ton ha⁻¹ se reportan efectos de aplicación de biocomposta en los componentes del rendimiento, lo cual también es coincidente con lo reportado por Taban y Naeini (2006), quienes al evaluar un copolímero y composta orgánica, esta última no tuvo efecto significativo en la mayoría de los variables evaluadas. Aba (2013) en su evaluación de fuentes y dosis de fertilizantes orgánicos en el crecimiento y desarrollo de la planta de sábila, no encontró respuestas en las variables morfométricas evaluadas. Sin embargo destaca a las fuentes orgánicas como proveedores de nutrientes para las plantas.

Cuadro 1. Contenido de humedad del suelo asociado a dos dosis de lombricomposta en diferentes fechas de muestreo en el cultivo del maíz forrajero. Bermejillo, Dgo. 2012.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (%)									
Dosis de lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	24 DDPR	34 DDPR	44 DDPR	59 DDPR	74 DDPR	84 DDPR	94 DDPR	109 DDPR	Media General
0	24.6 a	21.3 a	18.3 a	31.0 a	22.2 a	18.7 a	15.7 a	26.5 a	22.2
20	25.3 a	20.8 a	18.0 a	30.6 a	21.5 a	18.2 a	15.0 a	25.8 a	21.9

Prueba de Tukey (P < 0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DDPR= Días después del primer riego.

Rendimiento de grano y sus componentes. Los componentes del rendimiento (diámetro, longitud y peso de mazorca) y la producción de grano (por planta y por hectárea), fueron significativamente mayores (P<0.05) asociados a la aplicación de 25 Kg ha⁻¹ de hidrogel, con efecto intermedio cuando se aplicó 12.5 Kg ha⁻¹, respecto

cuando no se aplicó. En particular, el rendimiento de grano fue superior en 23.5 y 36.8 % cuando se aplicó 12.5 y 25 Ton ha⁻¹, respectivamente, en comparación a cuando no se aplicó el producto. Estos niveles de incremento, fueron producidos a través de un mayor diámetro, longitud y peso de mazorca (Cuadro 2). Esto significa que, se puede aplicar cualquier dosis de hidrogel, ya que mantienen niveles muy similares de humedad edáfica. Aunque en términos de rendimiento es deseable aplicar una dosis superior a los 12.5 Kg ha⁻¹, ya que incrementa el rendimiento de manera significativa. El incremento promedio de 30.2 % entre ambas dosis de hidrogel, coincide a lo reportado por otros estudios, donde han obtenido un 32 % de incremento en el rendimiento de cultivos como el sorgo y maíz cuando se hace uso de hidrogel a una dosis de 25 Kg ha⁻¹ (DGA, 2006). No hubo efecto asociado a la aplicación de lombricomposta en la variable rendimiento y sus componentes (Cuadro 3). Los resultados referentes a la aplicación del hidrogel son comparables a los de López (2007), quien reportó valores superiores al 26% en el rendimiento de grano de trigo al aplicar retenedores de humedad en el suelo a dosis de 20 kg ha⁻¹. También Rehman *et al.* (2011) registraron un aumento significativo en la producción de grano de arroz de un 6.2% en parcelas con adición de un hidrogel, en comparación donde no se aplicó producto. Costel *et al.* (2012) también identificaron que las aplicaciones de un polímero hidrofílico, influyen positivamente los rendimientos de los cultivos de maíz y soya. Simpson y Hayes (2006) mencionaron que al utilizar un acondicionador de suelos, aumentó el porcentaje de humedad, además de tener un efecto en los componentes del rendimiento de los cultivos.

De acuerdo al análisis de interacción entre ambos factores de variación (dosis de hidrogel y lombricomposta), se identificó que el mejor tratamiento es cuando se aplica el

hidrogel a una dosis de 25 Kg ha⁻¹ para todas las variables del rendimiento. Se llega a obtener 19.1 Ton ha⁻¹, lo cual es 45.3 % superior a cuando no se aplicó hidrogel y lombricomposta (Cuadro 4).

Cuadro 2. Rendimiento de grano y componentes de rendimiento en el cultivo del maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de hidrogel (Kg ha ⁻¹)	Diámetro de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Peso de grano por planta (g)	Densidad de planta ha ⁻¹	Rend. de grano (Ton ha ⁻¹)
0	4.5 b	16.0 b	226.2 b	174.5 b	76,666.7 a	13.4 b
12.5	4.7 ab	18.2 ab	270.9 ab	215.9 ab	76,444.4 a	16.5 ab
25	5.1 a	18.9 a	302.5 a	241.9 a	75,722.2 a	18.3 a

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

Cuadro 3. Rendimiento de grano y componentes de rendimiento en el cultivo del maíz forrajero asociado a dos dosis de lombricomposta como retenedor de humedad del suelo. Bermejillo, Dgo. 2012.

Dosis de lombricomposta (Ton ha ⁻¹)	Diámetro de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Peso de grano por planta (g)	Densidad de planta ha ⁻¹	Rend. de grano (Ton ha ⁻¹)
0	4.8 a	18.2 a	268.8 a	211.7 a	75,888.9 a	16.1 a
20	4.7 a	17.9 a	264.2 a	209.7 a	76,666.7 a	16.1 a

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

Cuadro 4. Rendimiento de grano y componentes del mismo en el cultivo de maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel y dos dosis de lombricomposta como retenedores de humedad del suelo.

Tratamiento DH-DB (Kg-Ton/ha)	Diámetro de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Peso de grano por planta (g)	Densidad de planta ha ⁻¹	Rend. de grano (Ton ha ⁻¹)
0 - 0	4.5 c	17.2 d	225.8 d	188.5 d	75,944 a	13.2 d
0 - 20	4.4 c	16.9 d	226.6 d	190.8 d	77,388 a	13.6 d
12.5 - 0	4.7 b	18.1 c	262.2 c	225.1 c	76,611 a	15.9 c
12.5 - 20	4.7 b	18.4 b	279.6 b	244.2 b	76,277 a	17.2 b
25 - 0	5.1 a	19.3 a	318.5 a	277.0 a	75,111 a	19.1 a
25 - 20	5.0 a	18.4 b	286.5 b	248.9 b	76,333 a	17.4 b

Prueba de Tukey (P <0.05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. DH= Dosis de hidrogel DB=Dosis de lombricomposta.

De acuerdo al análisis de regresión en la variable rendimiento de grano, se observó un comportamiento lineal. Por cada incremento de dosis de hidrogel, hubo un correspondiente aumento de rendimiento a una tasa de 0.19 unidades por adición de dosis del polímero con un $R^2=0.97$ de ajuste del modelo (Figura 2).

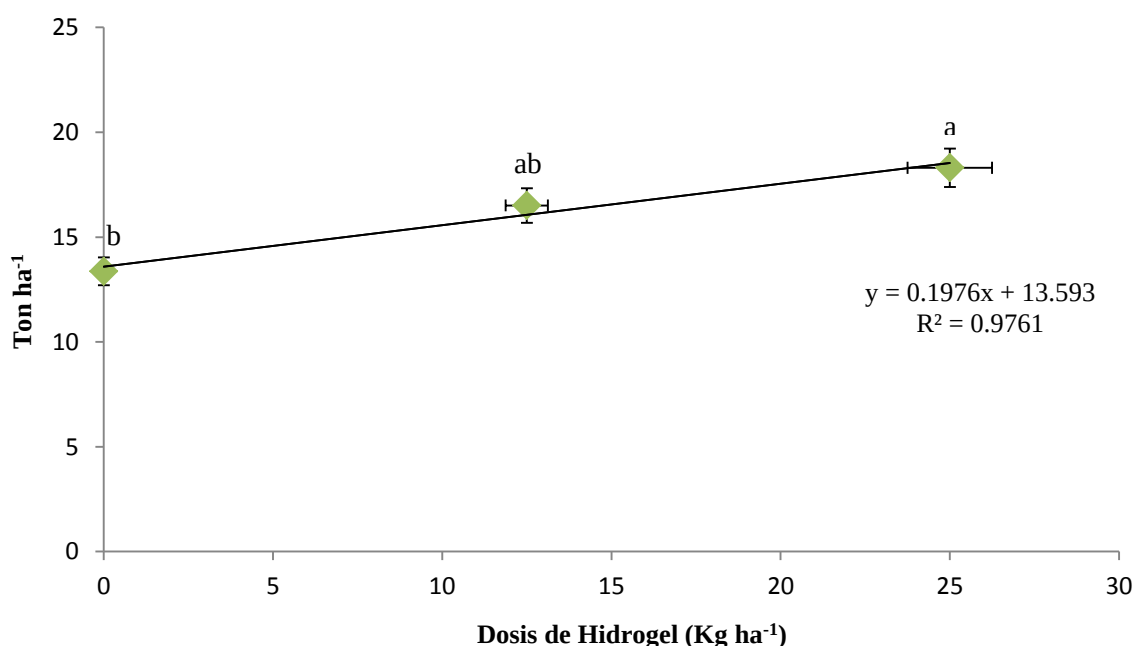


Figura 2. Comportamiento temporal de la variable rendimiento de grano seco de planta de maíz forrajero asociado a tres dosis de hidrogel. Tukey HSD ($P < 0.05$). Tratamientos con la misma letra, son estadísticamente iguales.

Densidad de población. Respecto a la densidad de plantas, determinada al momento de la cosecha con un promedio de 78,204 plantas ha⁻¹, no se encontró efecto de tratamiento, ni por separado o en interacción de los factores de variación usados en este estudio. Lo anterior significa que en condiciones de riego, con una lámina de agua de 17 cm, se garantiza que durante la fase de nacencia, se aplique o no el hidrogel, existe un excelente contenido de humedad para una germinación favorable de semilla y emergencia de plántula. Sin embargo la bondad y beneficio del producto se manifiesta a través de un bajo estrés hídrico al mantener mayores niveles de humedad durante el ciclo

del cultivo. Esto trasciende en un mejor desarrollo y crecimiento, lo cual se manifiesta en un incremento significativo en la producción de grano por hectárea. Posiblemente en condiciones de temporal, donde el contenido de humedad es más exiguo y variable, pudiese que el hidrogel sí tenga algún efecto favorable sobre la germinación y se refleje en una mayor densidad de población por unidad de superficie. Estos resultados difieren de los obtenidos por El-Hady *et al.* (2001), donde mostraron que los procesos de germinación, son influidos por el uso eficiente del agua a causa de la aplicación de copolímeros al suelo. También Sabir *et al.* (2011) obtuvieron resultados favorables en germinación de semillas con aplicaciones de hidrogeles en tomate; los porcentajes de germinación de las plántulas fueron 96.6% superiores en todos los tratamientos que contenían el hidrogel, en comparación al testigo. Adicionalmente, las plantas de semillero mostraron aumento significativo de la longitud de plúmula y radícula.

CONCLUSIONES

La aplicación de hidrogel a dosis de 12.5 y 25 Kg ha⁻¹ incrementó significativamente un 20.8 % el contenido de humedad en el suelo, respecto cuando no se aplicó el producto.

El contenido de humedad favorece al crecimiento y desarrollo de la planta, y se incrementa 23.5 y 36.8 % cuando se aplicó 12.5 y 25 Kg ha⁻¹, respectivamente.

El mejor tratamiento de interacción fue cuando se aplicó el hidrogel a dosis de 25 Kg ha⁻¹ sin lombricomposta, con un rendimiento de 19.1 Ton ha⁻¹, que representa un incremento superior al 45 %, respecto al testigo.

El contenido de humedad y el rendimiento y sus componentes, reportaron diferencias no significativas a la dosis de lombricomposta usada en este ensayo.

A la aplicación de lombricomposta en las dosis empleadas en este estudio no se asoció a la germinación de la semilla y nacencia de plántula de manera significativa.

LITERATURA CITADA

Aba G., C. G. 2013. Evaluación de fuentes y dosis de fertilizantes orgánicos en el crecimiento y desarrollo de la planta de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y la calidad del gel. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango. México.

Barón C., A., Barrera R., I. X., Boada E., L. F. y Rodríguez N., G. 2007. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. Revista Ingeniería e Investigación. 27 (3): 35-44.

Bres, W. and Weston, L. A. 1993. Influence of gel additives on nitrate, ammonium and water retention and tomate growth in a soilless medium. HortScience 28 (1): 1005-1007.

Costel G., D., Răus, L., Ailincăi, C. and Jităreanu, G. 2012. The influence of Aquasorb on morpho-physiological properties on corn and soybeans yield, in the conditions of Iasi County. Lucrări Științifice seria Agronomie. 55 (2): 173-178.

Cueto W., J. A., Reta S., D. G., Barrientos R., J. L., Cervantes G., G. y Salazar S., E. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. Revista Fitotecnia Mexicana 29 (2): 97-101.

DGA, 2006. Tecnología del hidrogel aplicada a maíz y sorgo. Boletín de divulgación de la Dirección General de Agricultura. Desarrollo Rural Agrícola. Gobierno del Estado de Morelos. 5 p.

El-Hady, O. A., Safia M., A. and Abdel K., A. A. 2002. Sand-Compost-Hydrogel mix for low cost production of tomato seedlings. Egypt. J. Soil Sci., 42 (4): 767-782.

Enríquez B., G. 1997. Evaluación productiva de tres variedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.). Tesis de licenciatura. UACH-URUZA. Bermejillo, Dgo. Méx.

López J., O. M. 2007. Efecto de un enraizador y un hidrogel sobre el suelo y la producción de trigo, en Poncitlán, Jalisco. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Mendoza R., J. L. y Macías C., J. 1998. Materia orgánica, su importancia en el mantenimiento y mejoramiento de la fertilidad de los suelos. Centro de Investigación Regional del Noroeste INIFAP. Los Mochis, Sinaloa, México.

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

Rehman, R., Ahmad, R. and Safdar, M. 2011. Effect of hydrogel on the performance of aerobic rice sown under different techniques. Plant Soil Environ. 57 (7): 321-325.

Sabir, N., Sumitha, R., Singh, B., Hasan, M., Anupama, Chilana, P., Deka, S., Tanwar, R. K. and Bambawale, O. M. 2011. Superabsorbent hydrogels for efficient biocontrol of root knot nematodes for healthy tomato nursery. Current Science. 100 (5): 635-637.

Sánchez C., I. 1994. Evaluating strip farming systems: A stochastic Approach. Ph D. Dissertation. Department of Arid Lands resources Sciences. The University of Arizona. Tucson, A. Z. 120 pp.

Simpson, K. and Hayes, S. F. 2006. The effect of soil conditioners on plant growth and soil structure. J. Sci. Food Agric. 9 (3): 163-170.

SNF FLOERGER. 2011. AquasorbTM micro localized at planting on corn. France. 7p.

Taban, M. and Naeini S., A. 2006. Effect of Aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil textures. Communications in Soil Science & Plant Analysis. 37 (13-14): 2031-2055.