

## EFECTO DEL HIDROGEL Y VERMICOMPOSTA EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

## EFFECT OF HYDROGEL AND VERMICOMPOST ON CORN PRODUCTION

Aurelio Pedroza-Sandoval<sup>1\*</sup>, Luis G. Yáñez-Chávez<sup>1</sup>,  
Ignacio Sánchez-Cohen<sup>1,2</sup> y José A. Samaniego-Gaxiola<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad Regional de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carr. Gómez Palacio- Cd. Juárez. 35230, Bermejillo, Chih., Durango. Tel. 872 7760190 Fax. 872 77 60043. <sup>2</sup>Centro Nacional de Investigaciones Interdisciplinarias en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km. 6.5 Margen Derecha Canal de Sacramento. 35150, Gómez Palacio, Durango. México.Tel: (871)1590104. <sup>3</sup>Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP. km. 17 carr. Torreón-Matamoros. 27440, Coahuila. Tel. (871) 762-49-77.

\*Autor para correspondencia (apedroza@chapingo.uruza.edu.mx)

## RESUMEN

El incremento de la frecuencia e intensidad de la sequía hace más crítica la producción agropecuaria de secano (temporal). El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes dosis de hidrogel y vermicomposta como retenedores de humedad en el suelo y su efecto en la fotosíntesis, y la producción de grano de maíz (*Zea mays* L.), en Bermejillo, Durango. Se usó un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas; las parcelas grandes fueron tres dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 kg ha<sup>-1</sup>) y las parcelas chicas fueron dos dosis de vermicomposta (0 y 20 t ha<sup>-1</sup>). La aplicación de hidrogel a dosis de 12.5 y 25 kg ha<sup>-1</sup> favoreció el crecimiento y productividad del maíz, al incrementar en promedio 31.5 % el contenido de humedad del suelo en relación con el testigo. El rendimiento de grano aumentó en 44.7 % cuando se aplicó 25 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel, al producir 19.1 t ha<sup>-1</sup>, con respecto a las 13.2 t ha<sup>-1</sup> producidas por el testigo. Lo anterior se asoció con mejor tamaño de mazorca, y mayores tasas de fotosíntesis y de producción de biomasa. La vermicomposta no influyó en el crecimiento y producción de maíz.

**Palabras clave:** *Zea mays*, productividad, biofertilizantes, humedad edáfica, fotosíntesis.

## SUMMARY

The increasing of frequency and intensity of drought are the most critical factor in the agricultural production in rainfall areas. Evaluate different doses of hydrogel and vermicompost as soil moisture retainers and its impact on photosynthesis and the production of maize (*Zea mays* L.) was the objective in this study, in Bermejillo, Durango. Randomized block design in a split plot arrangement was used. Hydrogel doses of 0, 12.5 and 25 kg ha<sup>-1</sup> were applied in main plots, and doses of vermicompost of 0 and 20 t ha<sup>-1</sup> were applied in subplots. Applying 12.5 and 25 kg ha<sup>-1</sup> of hydrogel favored the growth and productivity of corn, it increasing the average 31.5 % the moisture content of the soil, in relation to the control. Grain yield increased 44.7% when applied 25 kg ha<sup>-1</sup> of hydrogel to produce 19.1 t ha<sup>-1</sup> compared to 13.2 t ha<sup>-1</sup> produced by the control. This was associated with better ear size and higher rates of photosynthesis and biomass production. Vermicompost did not influence the growth and yield of corn.

**Index words:** *Zea mays*, productivity, biofertilizers, soil moisture, photosynthesis.

## INTRODUCCIÓN

Cada vez se hace más necesario plantear nuevas políticas para la gestión del agua y para afrontar la escasez de este recurso, que permita fortalecer la agricultura y la seguridad alimentaria (IMTA, 2012). Especial atención requieren las zonas áridas debido a la aleatoriedad y mayor recurrencia de las sequías. México cuenta con ambientes áridos Clase B, en una extensión superior a 50 % de la superficie total, con diversos grados de aridez en relación directa con las características de la precipitación pluvial (Velasquez *et al.*, 2013). En estas regiones se ubica 18 % de la población nacional (González, 2012).

Las zonas áridas, aunque productivas con uso intensivo de los recursos agua-suelo, son áreas de alto riesgo e impacto ambiental (Sánchez-Cohen *et al.*, 1997), lo cual hace necesaria la exploración constante de nuevas y apropiadas tecnologías que promuevan el uso eficiente de los recursos naturales, con un enfoque de mayor sustentabilidad. Gran parte de las tecnologías disponibles están orientadas hacia un mejor manejo del agua y suelo. El manejo del agua en el ámbito productivo abarca desde los sistemas de captación de agua de lluvia hasta los sistemas de riego eficientes, así como las técnicas de retención de humedad edáfica y el uso de materiales genéticos tolerantes al estrés hídrico (Núñez *et al.*, 1998; Lawlor y Cornic, 2002).

En relación a los mejoradores del suelo y retenedores de humedad, se han explorado tanto los de origen natural como los sintéticos. Entre los primeros está el composteo orgánico; entre los segundos destaca el uso de hidrogeles de poliacrilamida, los cuales son copolímeros que absorben y retienen grandes cantidades de humedad y nutrientes del suelo, y los mantienen disponibles para la planta. Los hidrogeles comerciales son granulados, tienen un contenido de materia seca de 85 a 90 %, densidad aparente de 0.85 g mL<sup>-1</sup>, peso específico de 1.10 g cm<sup>-3</sup>, y pH de 8.1.

Los hidrogeles absorben hasta 150 veces su propio volumen, con una capacidad de retención de 980 mL de agua L<sup>-1</sup>, una disponibilidad de 95 % y una vida productiva de 5 años. Las dosis recomendadas varían de 5 a 25 kg ha<sup>-1</sup>, en función del tipo de suelo, cultivo y clima, según el fabricante (SNF Inc., 2011). Adicional al efecto de retención del agua en el suelo, estos productos mejoran la aireación y mantienen temperaturas que fomentan un mejor desarrollo de las plantas, con el consecuente efecto en rendimiento, como se ha mostrado experimentalmente en cultivos como acelga (*Beta vulgaris*) (Gutiérrez *et al.*, 2008), plántulas forestales (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011), soya (*Glycine max*) (Galeş *et al.*, 2012), plantas forestales (Ríos-Saucedo *et al.*, 2012) y apio (*Apium graveolens*) (Kosterna *et al.*, 2012).

Por su parte la composta orgánica mejora la capacidad de retención de la humedad edáfica mediante aumento de la porosidad y aireación, lo que favorece a los microorganismos benéficos (Navarro, 2009). Adicionalmente, las compostas permiten estabilizar la estructura del suelo y formar agregados, lo cual genera una nueva distribución de la porosidad y, por ende, contribuyen a mejorar la capacidad de retención de humedad (Mendoza y Macías, 1998) y la fertilidad del suelo (Pedroza y Durán, 2005).

Además de propiciar una mayor retención de la humedad en el suelo, la vermicomposta aporta el humus obtenido en el proceso final del composteo, que ayuda a la multiplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno; acelera el desarrollo de la raíz y los procesos de floración y maduración del cultivo; sus ácidos fúlvicos y húmicos proporcionan nutrientes asimilables de forma inmediata para la planta, con persistencia de hasta 5 años en el suelo; y contiene una alta carga microbiana (40 mil millones por gramo de suelo seco), que ejerce una actividad biodinámica y mejora las características organolépticas de las plantas, flores y frutos (Ruiz, 2009).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de vermicomposta e hidrogel en la retención de humedad en el suelo y su respuesta en fotosíntesis, producción de materia seca y rendimiento de grano en maíz (*Zea mays* L.).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en Bermejillo, Durango, en el área del distrito de riego Núm. 17 de la Región Lagunera de Coahuila y Durango. Sus coordenadas geográficas son 26° 00' y 26° 10' N y 104° 10' y 103° 20' O, con una altitud de 1119 m. El clima es seco desértico, con régimen de lluvias en verano e invierno fresco, cuya precipitación promedio anual es de 215.5 mm; la temperatura media anual varía de 19 a 21 °C (García, 1973).

**Tratamiento y diseño experimental.** Se usó un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron tres dosis de hidrogel (0, 12.5 y 25 kg ha<sup>-1</sup>), y en las parcelas chicas se distribuyeron dos dosis de vermicomposta (0 y 20 t ha<sup>-1</sup>). Cada unidad experimental fue de cuatro surcos de 0.75 x 30 m ancho y largo, respectivamente, equivalente a 90 m<sup>2</sup>, para una superficie experimental de 2700 m<sup>2</sup>. La parcela útil correspondió a los dos surcos centrales, en los cuales se seleccionaron cuatro plantas al azar para medir las variables que se describen posteriormente.

**Establecimiento del experimento.** Una vez preparado el terreno se aplicó manualmente la vermicomposta, la cual fue previamente secada al ambiente hasta peso constante. Se incorporó al suelo a una profundidad de 10 a 15 cm, con azadón. La vermicomposta se obtuvo mediante el proceso de composteo a base de lombriz roja (*Eisenia fetida*) producida en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Dgo.

La siembra, fertilización y aplicación de hidrogel se realizaron simultáneamente el 27 de marzo del 2012, mediante una sembradora fertilizadora mecánica para siembra directa de cuatro surcos marca Sembradoras del Bajío Labranza de Conservación® modelo LC-20002-N4 (México), provista con tres tolvas: una para el depósito de semilla; otra para la dosificación del hidrogel granulado; y la tercera para la aplicación del fertilizante. La distancia entre plantas fue 17 cm, con una densidad de 78,204 plantas ha<sup>-1</sup>. La semilla y el hidrogel fueron aplicados a una profundidad de 15 cm. El material fitogenético utilizado fue maíz híbrido DK-2040, de doble propósito, con un ciclo de 70 d a floración y 110 d a cosecha.

**Constantes de humedad y riego.** La capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) se midieron mediante la técnica de la olla de membrana de presión (Richard, 1948). La CC fue de 26.5 % y el PMP de 13.1 %, con una curva de abatimiento de humedad en el suelo como se muestra en la Figura 1c. Otras características físico-químicas del suelo fueron: textura franco-arcillosa, densidad aparente de 1.2 g cm<sup>-3</sup>, conductividad eléctrica de 2.6 dS m<sup>-1</sup>, pH de 8.1 y capilaridad (L) de 2.3669 T<sup>0.4215</sup> (L en cm y T en min).

Con esta información se procedió a programar los riegos respectivos. Se usó riego superficial por inundación, con agua extraída de pozo profundo. Se aplicaron tres riegos, uno de pre-siembra y dos de auxilio. El gasto de llegada a la parcela fue de 9 L s<sup>-1</sup>; el tiempo de riego por melga fue de 5 h, con un volumen de 162 m<sup>3</sup> por melga y una lámina de 17.05 cm por riego, como se recomienda en la región (Montemayor-Trejo *et al.*, 2012).

**Variables medidas.** En la primera fase de muestreos, en días después del primer riego de auxilio (ddpra), se midió el porcentaje de humedad edáfica a 30 cm de profundidad; en una segunda fase, en días después del segundo riego de auxilio (ddsra), la misma variable se midió a profundidades de 15, 30 y 60 cm. Se utilizó un medidor digital Soil Tester® modelo HB-2 (Ontario, Canada) con lectura en tiempo real. También se midió el potencial hídrico edáfico en megapascales (Mpa), mediante olla de membrana de presión marca Soil Moisture Equipment® modelo 1500F1 (Sta. Barbara, Cal., USA).

La fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se midió una sola vez a los 75 d después de la siembra, en la etapa de floración, con un sistema portátil de fotosíntesis LI-6400 (LI-COR®, Inc. Lincoln, Nebraska, USA). Las mediciones se hicieron en la hoja bandera de cuatro plantas por parcela útil entre las 11 y 13 h, con luz artificial a una intensidad de  $1200 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

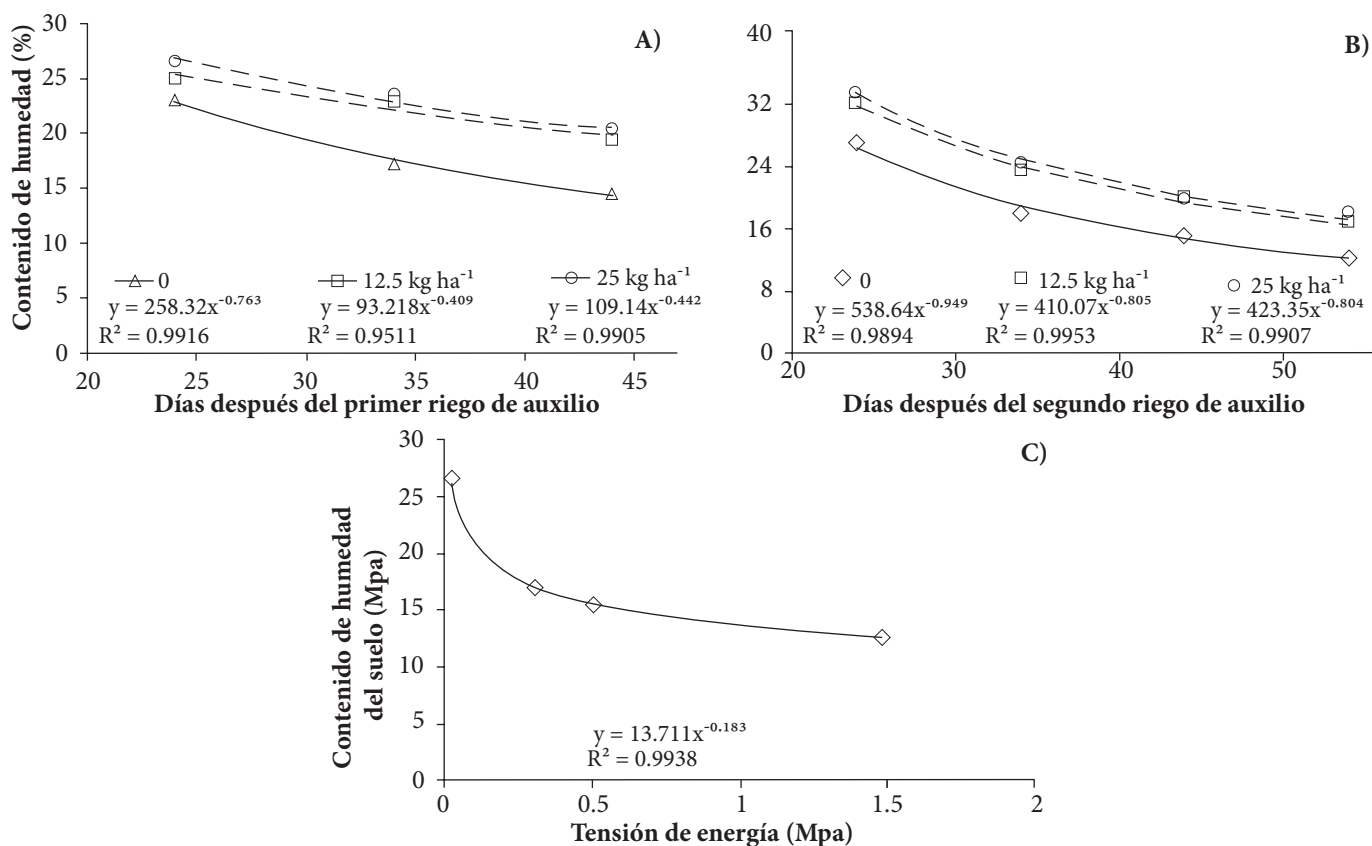
El contenido de materia seca total (g) de la parte aérea de la planta, sin incluir raíz, fue obtenida mediante muestreo destructivo y secado en estufa de aire recirculante (marca HAFO® modelo 1600, USA), a una temperatura de 75 °C

por 36 h. A la cosecha se midió el rendimiento ( $\text{t ha}^{-1}$ ), y sus componentes: diámetro de mazorca (cm) con un vernier (marca Escala®, México); longitud de mazorca (cm), con una regleta; peso de mazorca (g) y peso de grano por planta (g), con una balanza (marca Torrey® modelo EQ-10/20, México). La densidad de plantas por unidad de superficie se midió 15 d después de la siembra mediante un muestreo sistemático en tramos de 3 m lineales, dos en cada extremo y uno al centro en cada unidad experimental (Bautista *et al.*, 2009).

**Análisis estadístico.** Mediante el uso del paquete estadístico SAS® Versión 9.0 (SAS Institute, 1976), se hicieron análisis de varianza y pruebas de rango múltiple de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para determinar el efecto de tratamiento, así como análisis de regresión para obtener las curvas ajustadas de abatimiento de humedad, tanto en el primero como en el segundo riego de auxilio.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Contenido de humedad edáfica.** Puesto que no hubo efecto de interacción en esta variable, aquí se presentan los promedios de los factores de variación por separado. El



**Figura 1.** Abatimiento de humedad a 30 cm de profundidad del suelo en diferentes contenidos de hidrogel y diferentes fechas de muestreo: 24, 34 y 44 días después del primer riego de auxilio (A), y 24, 34, 44 y 54 días después del segundo riego de auxilio (B). Curva de abatimiento de humedad edáfica en Megapascales (MPa) (C).

contenido de humedad edáfica mostró diferencias significativas entre el testigo y las dosis de hidrogel (12.5 y 25 kg ha<sup>-1</sup>) en las tres fechas de muestreo, después del primer riego de auxilio (Figuras 1a y 1b). El abatimiento de la humedad del suelo donde se aplicó el hidrogel fue gradual. En cambio, la curva de retención de humedad obtenida en laboratorio en suelo sin hidrogel, registró una caída más drástica en el potencial hídrico edáfico (Figuras 1a, 1b y 1c). Lo anterior significa que la liberación del agua por el hidrogel es lenta, lo cual permite que este recurso esté más tiempo disponible para la planta.

Adicionalmente, el contenido de humedad edáfica después del segundo riego de auxilio aumentó con la profundidad del suelo con valores mayores a 30 y 60 cm, con respecto a 15 cm, debido a la menor exposición a la evaporación del suelo en los estratos de mayor profundidad. El contenido de humedad edáfica al aplicar el hidrogel a dosis de 12.5 y 25 kg ha<sup>-1</sup> en las tres fechas de muestreo después del segundo riego de auxilio a la tres profundidades de suelo (15, 30 y 60 cm), superó en promedio 31.5 % al testigo (Cuadro 1).

El intervalo de humedad aprovechable para este tipo de suelo es 13.4 % dado que la CC es 26.5 % y el PMP de 13.1 %. En el tratamiento testigo el suelo siempre llegó a valores

de 13 a 14 %, muy próximos al PMP, 2 o 3 d antes de cada riego; en donde se aplicó hidrogel en cualquiera de las dosis, el suelo siempre mantuvo contenidos de humedad superiores a 15 %, con menor tasa de abatimiento de la humedad que el testigo, tanto en el primero como en el segundo periodo de muestreo.

Los anteriores resultados son similares a los reportados por Rehman *et al.* (2011) quienes identificaron un mayor contenido de humedad del suelo al aplicar hidrogel a una profundidad del suelo de 0 a 15 cm, con respecto al testigo, durante toda la estación de crecimiento del arroz (*Oryza sativa*). Similarmente, Barón *et al.* (2007) demostraron que las aplicaciones de hidrogel en hortalizas y especies forestales retrasan hasta en 400 % el marchitamiento de las plantas, y que en sequías prolongadas la cantidad de plantas marchitas desciende en 250 %. Por su parte, Bres y Weston (1993) observaron que la retención de agua por el hidrogel incrementó el crecimiento de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum*).

La vermicomposta no tuvo efecto significativo en la capacidad de retención de humedad del suelo ni en el rendimiento del maíz, lo cual pudo deberse a una insuficiente dosis utilizada. De acuerdo con Taban y Naeini (2006), al

**Cuadro 1. Contenido de humedad edáfica a diferentes profundidades asociado a tres dosis de hidrogel como retenedor de humedad del suelo.**

Dosis de hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )	Profundidad (cm) 24 ddsra			Profundidad (cm) 34 ddsra		
	15	30	60	15	30	60
0	18 b ± 0.42	22.8 c ± 0.30	26.8 c ± 0.30	15.1 b ± 0.36	20.5 c ± 0.22	24.5 c ± 0.22
12.5	23.6 a ± 0.42	28.0 b ± 0.36	32.1 b ± 0.30	20.0 a ± 0.54	25.5 b ± 0.50	29.6 b ± 0.42
25	24.0 a ± 0.42	31.5 a ± 0.34	35.5 a ± 0.56	20.0 a ± 0.49	28.6 a ± 0.49	32.5 a ± 0.73
Media	21.8	27.4	31.4	18.3	24.8	28.8
Incremento (%)*	32.2	30.5	26.1	32.5	31.9	26.7
Promedios de incremento**		29.6			30.4	
			31.5			
Dosis de hidrogel(kg ha <sup>-1</sup> )	Profundidad (cm) 44 ddsra					
	15	30	60			
0	12.3 b ± 0.33	18.5 c ± 0.21	22.1 c ± 0.47			
12.5	16.3 a ± 0.66	23.5 b ± 0.42	27.5 b ± 0.47			
25	17.5 a ± 0.57	26.6 a ± 0.55	30.3 a ± 0.55			
Media	15.3	22.8	26.6			
Incremento (%)*	37.4	35.4	30.8			
Promedios de incremento**		34.5				
		31.5				

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ddsra = días después del segundo riego auxilio. \*Incremento promedio de humedad edáfica al aplicar hidrogel a dosis de 12.5 y 25 kg ha<sup>-1</sup>, con respecto del testigo, en cada profundidad de suelo en las diferentes fechas de muestreo. \*\* Medias de incrementos promedios de la humedad edáfica de las tres profundidades de suelo por fecha de muestreo y promedio general.

evaluar la aplicación de hidrogel y composta orgánica, esta última no tuvo efecto en la capacidad de retención de humedad en el suelo ni en las variables de crecimiento en plantas de olivo (*Olea europea*), lo cual atribuyeron a una dosis insuficiente de composta. En cambio, Cueto *et al.* (2006) señalaron que a dosis superiores a 40 t ha<sup>-1</sup> la vermicomposta tiene efecto favorable en los componentes de rendimiento del maíz.

**Rendimiento de grano y fotosíntesis.** El rendimiento de grano fue significativamente mayor ( $P \leq 0.05$ ) donde se aplicó 25 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel, con efecto intermedio cuando se aplicó 12.5 kg ha<sup>-1</sup>, y los valores más bajos correspondieron al testigo (18.3, 16.5 y 13.4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente) (Cuadro 2). El mayor rendimiento se asoció con mayores valores de diámetro, longitud y peso de mazorca.

Se identificó que desde los 12.5 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel, el rendimiento de grano de maíz se incrementó significativamente ( $P \leq 0.05$ ), y que a los 25 kg ha<sup>-1</sup> se obtiene el rendimiento más alto (19.1 t ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 3). El incremento promedio de rendimiento de grano en ambas dosis de hidrogel fue 29.8 %, con respecto al testigo (Cuadro 2), lo cual coincide con lo reportado por otros investigadores quienes consignaron 32 % de incremento en el rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y maíz cuando se aplicó 25 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel (DGA, 2006). En arroz, Rehman *et al.* (2011) también reportaron un aumento de 6.2 % en la producción de grano, con respecto del testigo. De igual modo, Costel *et al.* (2012) reportaron que al aplicar hidrogel se mejoraron los rendimientos de maíz y soya.

El efecto del hidrogel estuvo relacionado con un mayor contenido de humedad edáfica y distribuida de forma más uniforme, la cual permitió mantener una actividad fotosintética mayor y lograr un mejor rendimiento de biomasa (Cuadro 4) y de rendimiento de grano, al igual que mayor tamaño de la mazorca medido en diámetro, longitud y peso. La aplicación de vermicomposta no tuvo efecto en ninguna de estas variables evaluadas.

En rendimiento de grano de maíz se encontró efecto de

interacción entre la dosis de hidrogel y vermicomposta, y el mejor tratamiento fue cuando se aplicó solo hidrogel a una dosis de 25 kg ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento de 19.1 t ha<sup>-1</sup> que supera en 44.7 % al testigo (13.2 t ha<sup>-1</sup>) (Cuadro 3). Este resultado es mayor en 10 % a lo antes reportado en maíz y sorgo con esta misma dosis de hidrogel (DGA, 2006).

**Densidad de población.** En esta variable no se encontró efecto significativo de los factores evaluados ni de su interacción. Lo anterior indica que en condiciones de riego una lámina de agua de 17 cm es suficiente para que ocurra la germinación y la emergencia de plántulas, de modo que durante esta fase del desarrollo no hay efecto del hidrogel.

Sin embargo, el beneficio del hidrogel se manifiesta en etapas posteriores del desarrollo, a través de un menor estrés hídrico por mantener mayor contenido de humedad edáfica durante el ciclo del cultivo, y ello repercute al final en un mejor crecimiento de la planta de maíz. La ausencia de efecto del hidrogel y de la vermicomposta en la nacencia de las plántulas, no concuerda con El-Hady *et al.* (2002), quienes mostraron que tanto la germinación como el crecimiento de plantas son favorecidas por un uso más eficiente del agua inducido con la aplicación directa del hidrogel al suelo. Sabir *et al.* (2011) también obtuvieron una mayor germinación de semillas de tomate con aplicaciones de hidrogeles.

## CONCLUSIONES

La aplicación del hidrogel en dosis de 12.5 y 25 kg ha<sup>-1</sup> beneficia el crecimiento y productividad del maíz, al aumentar en promedio 31.5 % el contenido de humedad edáfica en relación con el testigo, durante el ciclo de crecimiento del cultivo. Este aumento en la humedad disponible para la planta inducido por el hidrogel, no influyó en la germinación de semillas, ni en la emergencia de plántulas.

El rendimiento de grano se incrementó en 44.7 % cuando se aplicó 25 kg ha<sup>-1</sup> de hidrogel, al producir 19.1 t ha<sup>-1</sup> con respecto a las 13.2 t ha<sup>-1</sup> producidas por el testigo. Lo anterior se asoció con mayores tamaños de mazorca,

**Cuadro 2. Rendimiento de grano y sus componentes en el cultivo del maíz, en tres dosis de hidrogel.**

Dosis de hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )	Diámetro de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Peso de grano por planta (g)	Densidad de plantas ha <sup>-1</sup>	Rend. de grano (t ha <sup>-1</sup> )
0	4.5 b ± 0.021	16.0 b ± 0.048	226.2 b ± 2.16	174.5 b ± 2.55	76,666 a ± 522	13.4 b ± 0.201
12.5	4.7 ab ± 0.020	18.2 ab ± 0.058	270.9 ab ± 2.26	215.9 ab ± 2.36	76,444 a ± 496	16.5 ab ± 0.200
25	5.1 a ± 0.020	18.9 a ± 0.077	302.5 a ± 2.54	241.9 a ± 2.56	75,722 a ± 399	18.3 a ± 0.196
Media	4.7	17.7	266.5	210.7	76,277	16.0

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

**Cuadro 4. Efecto del hidrogel en la actividad fotosintética y la producción de biomasa en el cultivo del maíz.**

Dosis de hidrogel (kg ha <sup>-1</sup> )	Fotosíntesis (µmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Peso de material seca (t ha <sup>-1</sup> )
0	24.3 b ± 0.87	19.5 b ± 1.62
12.5	29.2 ab ± 1.08	26.5 ab ± 0.67
25	31.1 a ± 0.91	27.8 a ± 1.20
Media	28.2	24.6

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

**Cuadro 3. Efecto de diferentes dosis de hidrogel (DH) y vermicomposta (DV) como retenedores de humedad edáfica, en el rendimiento de grano y sus componentes, en el cultivo de maíz.**

Tratamiento DH (kg ha <sup>-1</sup> ) -DV (t ha <sup>-1</sup> )	Diámetro mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Peso de grano por planta (g)	Cantidad de plantas por hectárea	Rend. de grano (t ha <sup>-1</sup> )
0 - 0	4.5 c ± 0.030	17.2 d ± 0.056	225.8 d ± 2.36	188.5 d ± 2.49	75,944 a ± 635	13.2 d ± 0.201
0 - 20	4.4 c ± 0.029	16.9 d ± 0.077	226.6 d ± 3.63	190.8 d ± 4.48	77,388 a ± 826	13.6 d ± 0.349
12.5 - 0	4.7 b ± 0.023	18.1 c ± 0.092	262.2 c ± 3.57	225.1 c ± 3.67	76,611 a ± 575	15.9 c ± 0.290
12.5 - 20	4.7 b ± 0.033	18.4 b ± 0.063	279.6 b ± 2.39	244.2 b ± 2.56	76,277 a ± 814	17.2 b ± 0.258
25 - 0	5.1 a ± 0.034	19.3 a ± 0.074	318.5 a ± 2.53	277.0 a ± 3.01	75,111 a ± 536	19.1 a ± 0.228
25 - 20	5.0 a ± 0.022	18.4 b ± 0.119	286.5 b ± 3.55	248.9 b ± 3.45	76,333 a ± 587	17.4 b ± 0.291
Media	4.7	18.0	266.5	229.1	76,277	16.0

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

mayores tasas de fotosíntesis y producción de biomasa. La vermicomposta no influyó en el crecimiento y producción de maíz.

**BIBLIOGRAFÍA**

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

Bautista M. N., R. L. Soto y P. R. Pérez (eds.) (2009) Tópicos Selectos de Estadística Aplicados a la Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 256 p.

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

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

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

DGA, Dirección General de Agricultura (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., M. A. Safia and K. A. A. Abdel (2002) Sand-Compost-Hydrogel mix for low cost production of tomato seedlings. *Egypt Journal Soil Science* 42:767-782.

Galeş D. C., L. Răus, C. Ailincăi and G. Jităreanu (2012) The influence of Aquasorb on morpho-physiological properties on corn and soybeans yield, in the conditions of Iasi County. *Agronomy Series of Scientific Research/Lucrări Ştiinţifice* 55:173-178

García E. (1973) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática

de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D.F. 246 p.

González M. G. (2012) Las Zonas Áridas y Semiáridas de México y su Vegetación. SEMARNAT-INECC. México. 194 p.

Gutiérrez C. I. J., C. I. Sánchez, W. J. Cueto, C. R. Trucios, C. R. Trejo y H. A. Flores (2008) Efecto del polímero Aquastock en la capacidad de retención de humedad del suelo y su efecto en el rendimiento de la acelga (*Beta vulgaris* var *cycla*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 7:65-72.

IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2012) Sequías recurrentes obligan a una mejor gestión de los recursos hídricos. Publicación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [http://www.atl.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5235:fao-sequias-recurrentes-obligan-a-una-mejor-gestion-de-los-recursos-hidricos&catid=73:agua-y-agricultura&Itemid=483](http://www.atl.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=5235:fao-sequias-recurrentes-obligan-a-una-mejor-gestion-de-los-recursos-hidricos&catid=73:agua-y-agricultura&Itemid=483). (Mayo 2014).

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

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

Mendoza R. J. L. y J. Macías C. (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. 32 p.

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

Montemayor-Trejo J. A., J. L. Lara-Mireles, J. L. Woo-Reza, J. Munguía-López, M. Rivera-González y R. Trucios-Casiano (2012) Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia* 46:267-278.

Navarro G. H. (2009) Agricultura Orgánica y Alternativa. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. 271 p.

- Núñez B. A., J. Ritchie y J. M. Smucker A. (1998) El efecto de la sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepción de luz en el frijol común. *Agronomía Mesoamericana* 9:1-8.
- Pedroza S. A. y B. S. Durán (2005). Efecto del acolchado plástico, fertilización nitrogenada y composta orgánica en el crecimiento y desarrollo de sábila *Aloe barbadensis* Miller, con riego por goteo presurizado. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 4:1-7.
- Rehman R., R. Ahmad and M. Safdar (2011) Effect of hydrogel on the performance of aerobic rice sown under different techniques. *Plant, Soil and Environment* 57:321-325.
- Richard L. A. (1948) Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science* 66:105-110.
- Ríos-Saucedo J. C., M. Rivera-González, L. M. Valenzuela-Núñez, R. Trucios-Casiano, E. Roman-Paoli y D. Sotomayor-Ramírez (2012) Diagnóstico de las reforestaciones de mezquite y métodos para incrementar su sobrevivencia en Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 11:63-67.
- Ruiz F. J. F. (2009) Ingeniería del Compostaje. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 237 p.
- Sabir N., R. Sumitha, B. Singh, M. Hasan, P. Anupama Chilana, S. Deka, R. K. Tanwar and O. M. Bambawale (2011) Superabsorbent hydrogels for efficient biocontrol of root knot nematodes for healthy tomato nursery. *Current Science* 100:635-637.
- Sánchez-Cohen L., V. Lopes, D. Slack and M. Fogel (1997) Water Balance Model for Small-Scale Water Harvesting Systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 123:123-128.
- SAS Institute (1976) Statistical Analysis System. The SAS System for Windows Versión 9.3. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- SNF Inc. (2011) Water retainers for soils and substrates. [http://snf.com.au/downloads/Aquasorb\\_E.pdf](http://snf.com.au/downloads/Aquasorb_E.pdf). (Abril 2014).
- Taban M. and S. A. Naeini (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* 37:2031-2055.
- Velasquez M. A. G., I. Sánchez C., K. Oleschko, J. A. Ruiz C. and K. G. Gabor (2013) Spatial Variability of the Hurst Exponent for the Daily Scale Rainfall Series in the State of Zacatecas Mexico. *Journal of Application Meteorology and Climatology* 52:2771-2780.