

# Efecto hidrodinámico y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un suelo franco arcilloso aplicando un aditivo orgánico en Guasave, Sinaloa, México

Hydrodynamic effect and corn (*Zea mays* L.) production in a clay loam soil with the application of an organic additive in Guasave, Sinaloa, Mexico

Lugo-Valenzuela H<sup>2</sup>, Prado-Hernández JV<sup>1</sup>, Vázquez-Peña MA<sup>1</sup>, Pineda-Pineda J<sup>1</sup>, Velázquez-López N<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Investigación y Posgrado en Irrigación, Universidad Autónoma de Chapingo, Carretera Federal México- Texcoco Km 38.5, Universidad Autónoma de Chapingo, 56230 Texcoco, México.

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave (TecNm-ITSG, Carretera Internacional entronque a carretera La Brecha, Ejido Burrioncito, 81149, Sinaloa, México.

## RESUMEN

Las sequías recurrentes y la competencia por agua son principales amenazas al desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en zonas agrícolas de Sinaloa, México. Sinaloa es el principal productor de maíz, pero se aplica una excesiva cantidad de agua en riego por gravedad, situación que debe disminuir sin mermar rendimientos en cultivos. Existen formas de mejorar las condiciones de humedad en los suelos, son: labranza mínima y de conservación, geles sintéticos, que permiten la retención de humedad en los suelos. La baja disponibilidad y alta competencia hídrica, se requiere estrategias para mejorar la retención de agua, los aditivos orgánicos son una alternativa. Esta investigación tiene como objetivo conocer efectos movimiento del agua, tiempos de riego (mínimo y máximo), gasto (litros) y producción de maíz (kg), aplicando riego por gravedad con aditivo orgánico (soca de maíz procesado con pirólisis). Se elaboró un diseño experimental de 3x3. Los tratamientos fueron: testigo T1 (suelo normal), tratamiento T2 (suelo + 250 kg/ha<sup>-1</sup>), tratamiento T3 (suelo + 500 kg/ha<sup>-1</sup>). Se encontró efecto positivo en el incremento de retención de humedad del suelo con aditivo orgánico con 250 y 500 kg/ha<sup>-1</sup> y una mayor producción de grano de maíz conforme incrementó la dosis del aditivo orgánico.

**Palabras clave:** Siembra de maíz; gasto de agua; aditivo orgánico; producción de maíz.

## ABSTRACT

Recurring droughts and competition for water are the main threats to the development of maize (*Zea mays* L.) cultivation in agricultural areas of Sinaloa, Mexico. Sinaloa is the main producer of corn, but an excessive amount of water is applied with gravity irrigation, a situation that should be reduced without reducing crop yields. There are ways to improve soil moisture conditions, including minimum and conservation tillage, synthetic gels, which allow soil moisture retention. The low availability and high competition for water, strategies are required to improve water retention, with organic additives as one alternative. The objective of this research is to know the hydrodynamic effects of water, irrigation times (minimum and maximum), expenditure (liters)

and corn production (kg), applying gravity irrigation with an organic additive (processed corn straw). An experimental 3x3 design was elaborated. The treatments were: control T1 (normal soil), treatment T2 (soil + 250 kg/ha), treatment T3 (soil + 500 kg/ha). A positive effect was found in the increase retention of moisture in soil with organic additive at 250 and 500 kg/ha, and a higher production of corn grain as the dose of organic additive increased.

**Keywords:** Corn planting; water use; organic additive; corn production.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de cereales más importantes de México y juega un papel importante en la seguridad alimentaria. El maíz (*Zea mays* L.) es fuente de péptidos bioactivos con actividad antihipertensiva, pueden obtenerse por hidrólisis de harina de gluten de maíz (HGM), como subproducto de molienda húmeda (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2020). Las sequías recurrentes y la competencia por el agua son las principales amenazas al desarrollo de este cultivo en Sinaloa; por tanto, la agricultura de riego por gravedad debe disminuir los volúmenes aplicados de agua sin una merma en los rendimientos (Conagua, 2020). En condiciones de baja disponibilidad y alta competencia por el agua, se requiere una estrategia integral para mejorar la productividad (García, 2007). Cabe mencionar que el uso y aplicación del agua en la producción de maíz, los volúmenes y tiempos de riego están a criterio de los agricultores, sin bases técnicas que regulen su uso, por lo que se desperdicia, sin prever los tiempos de sequía, en el estado de Sinaloa (Conagua, 2020). En México, el maíz ocupa la mayor superficie cultivada, de 7 a 8.5 millones de ha y la mayoría (85 %) en condiciones de temporal y solo el 15 % restante con riego por gravedad. Sinaloa es el principal productor de maíz con riego (65% de la producción nacional) durante el ciclo otoño-invierno. México a pesar de ser un país maicero, enfrenta un grave problema de autosuficiencia de maíz (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006; López *et al.*, 2001). Pero se requieren enfoques innovadores para ayudar a los agricultores a manejar sus escasos recursos de agua y nutrientes en los campos de cultivo, que ofrez-

can los mejores rendimientos, (Shahzad *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2018). Los cultivos de cereales contribuyen con el 40 % de los componentes de energía y proteínas en la dieta humana y su cultivo cubre alrededor del 70 % de la superficie total agrícola del mundo, de todos los cereales, el maíz es el tercer cultivo más importante; además, se usa para producir bio-combustibles (Shahzad *et al.*, 2017). La aplicación de aditivos orgánicos (soca de maíz procesada con pirolisis) tiene un efecto positivo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, debido al alto contenido de macro nutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio y azufre), micronutrientes (hierro, cobre y zinc) y microorganismos benéficos (Głąb *et al.*, 2018). Los abonos orgánicos se recomiendan en tierras sometidas a la agricultura intensiva para mejorar la estructura del suelo; con ello, se aumentan la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (López *et al.*, 2001). La aplicación a largo plazo de fertilizantes orgánicos y químicos combinados puede estabilizar el rendimiento del cultivo y hacerlo más sostenible mejorando las propiedades del suelo (Li *et al.*, 2018). El objetivo de este trabajo fue conocer el efecto hidrodinámico que tiene la aplicación de un aditivo orgánico sobre la retención de humedad en el suelo y su impacto en el rendimiento de grano de maíz y en la eficiencia de uso del agua durante el ciclo otoño-invierno 2018-2019 en Guasave, Sinaloa, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental agrícola del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, Sinaloa (ITSG), apoyado por los laboratorios de Biotecnología Agrícola del Instituto Politécnico Nacional (IPN) unidad Guasave, Sinaloa, con ubicación geográfica 25° 58' latitud norte, 108° 52' longitud oeste, 220 msnm. El área específica de la comunidad el Burrión, ubicada al sur de Guasave en el distrito de riego 063 a un costado de la carretera México 15. Guasave, Sinaloa, México, es una región agrícola de gran importancia llamada también "Corazón agrícola de México" (Conagua, 2020). Los suelos de la región de Guasave son planos en su mayoría, con una textura predominantemente franco arcillosa (60% limo, 20% arcilla y 10% arena), una densidad aparente de 1.1 g·cm<sup>-3</sup>, y una humedad aprovechable volumétrica alrededor del 16 % (Conagua, 2020). De acuerdo a las estadísticas, Sinaloa es el que aporta mayor producción de granos a nuestro país, pero el que más agua utiliza en siembras de maíz y otros cultivos (Conagua, 2020).

### Diseño experimental

Se evaluaron tres tratamientos con dos dosis de un aditivo Orgánico, T-1 = Suelo normal, T-2 = Suelo + 250 kg aditivo orgánico/ha-1, T-3 = Suelo + 500 kg aditivo orgánico/ha-1, con tres repeticiones, en un espacio de 30 x 90 m<sup>2</sup>. Los materiales manualmente, posteriormente fueron incorporados y homogenizados con equipo de barbecho y rastreo, a una profundidad de 30 cm, que corresponden a 2.5 y 5 t·ha-1, con un costo de \$2,000.00 x tonelada, se niveló



**Figura 1.** Ubicación de los tratamientos estudiados en el cultivo de maíz en el ciclo otoño-invierno de 2019-2020 en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave (ITSG).

**Figure 1.** Location of the treatments studied in the corn crop in the autumn-winter cycle of 2019-2020 in the experimental field of the Higher Technological Institute of Guasave (ITSG).

el suelo a 10 cm de pendiente con equipo automatizado (GPS). Se marcaron los surcos, se fertilizó y se realizaron sus respectivos canales de alimentación y drenaje de agua; los equipos utilizados fueron: rastra, arado de discos, canalera, aspersores, sembradora de precisión, equipo de fertilización cultivo y tractor marca John Deere.

### Propiedades físicas y químicas de los suelos

Se determinaron las propiedades físicas del suelo de los tres tratamientos, la Textura (Método de Day) (Buol *et al.*, 1997), Ph, Conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), Densidad aparente ( $\rho_a$ ), Densidad real ( $\rho_b$ ), Porosidad total ( $\psi$ ), Infiltración acumulada (f) y Tasa de infiltración (F) (Laboratorio de Física de suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo) y aplicando el modelo de Green y Ampt (Prado *et al.*, 2017) Se determinaron las curvas de infiltración de humedad según Green y Ampt (1911) y Prado *et al.* (2017), con la finalidad de predecir lamina (cm) y tiempos de riego (h) en el suelo utilizado.

Se realizó un análisis químico (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu y Na) a los tres tratamientos en el laboratorio de fertilidad del Instituto Politécnico Nacional (IPN) unidad Guasave, para definir la dosis de fertilización.

### Elaboración de aditivo orgánico

Se recolectaron materiales secos de maíz, biomasa agrícola, en predios de agricultores en Burrión, Guasave Sinaloa. Posteriormente se trituraron (polvo), proceso de secado del cual se introdujeron en un equipo cerrado en ausencia de oxígeno, aplicando temperaturas de 300 °C, con la finalidad de obtener carbonos (C), utilizados como aditivos orgánicos retenedores de humedad en suelos agrícolas, el equipo cuenta con una salida para liberar oxígeno (O), hidrogeno (H) y alquitranes (ligninas y pectinas), materiales de los que está conformado la soca de maíz. La pirolisis es uno de los procesos más utilizados para separar los carbonos existentes en materiales orgánicos (celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina) en la que se aplica temperatura en ausencia

de oxígeno, dichas sustancias orgánicas pueden ser utilizadas como retenedores de humedad y elementos químicos del agua (Hernández *et al.*, 2012).

### Fertilización

La fórmula de fertilización que se aplicó fue de 400-100-00 de N-P2O5-K2O, respectivamente. Antes y después del riego se tomaron lecturas de humedad gravimétrica con la finalidad de realizar la siembra a Capacidad de Campo (CC), se sembró maíz variedad Asgrow Caribou, el 15 de noviembre de 2019 y se cosechó el 17 de mayo del 2020 con una humedad de grano de 14.7%. La densidad de siembra fue de 128,000 plantas·ha<sup>-1</sup> con un espaciamiento entre plantas de 10-12 cm y una separación entre surcos de 0.75 m. La densidad óptima de siembra para tener un efecto positivo en los componentes del rendimiento y la mayor producción de maíz en la franja maicera de Estados Unidos (Jia *et al.*, 2017). Los cambios en la fecha de siembra del maíz alteran la tasa de crecimiento del cultivo y la duración de las fases fenológicas, lo que, a su vez, modifica el rendimiento del grano y sus componentes (Bonelli *et al.*, 2016).

### Aplicación de riegos

La aplicación del riego se llevó a cabo de acuerdo a las curvas de tensión de humedad, se tomó muestra del suelo y se mesclo con el aditivo, generadas en el laboratorio de física de suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo de los tres tratamientos, realizando una aforación para determinar la cantidad de agua aplicada a los tratamientos (1200 L/h). Se calcularon los intervalos de riego mínimo y máximo (días), cantidad de riegos y caudal aplicado (Prado *et al.*, 2017). Se midió la humedad volumétrica, antes y después del riego, con un equipo TDR-300 (Marca HANNA) calibrado con agua destilada, calculado de acuerdo a la evapotranspiración del periodo de cultivo (Blaney y Criddle, 1950), método usado extensivamente en los más de 130 distritos de riego de México. Lo ideal en el riego por gravedad a nivel parcelario es que todas las plantas reciban la misma cantidad de agua, lo cual equivale a una aplicación uniforme de la lámina de riego en toda la longitud del surco (Christiansen, 1942). Se realizaron evaluaciones de eficiencia de aplicación y distribución mediante aforo de sifones y mediciones de la humedad del suelo, se utilizó una pala (Azteca), sifones de hule de 1/2 pulgada de ancho y hules negros como compuertas. Se obtuvieron datos del gasto de agua (L) y producción en (kg); se establecieron mediciones cada 5 m, analizando 3 muestras de cada punto (0, 5, 10, 15, 20, 25, y 30 m) en cada tratamiento; todas las muestras fueron tomadas en forma aleatoria de la parte central, a partir de 2 m de la orilla del predio. Para medir estas variables se utilizaron cintas (marca Briyte), balanza granataria (Marca Hanna), rodillos para desgranar mazorca, recipientes de plástico para recolección de grano y bolsas transparentes para recolección de mazorca. Para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se aplicó Sevin G a los 30 días de crecimiento con equipo de aspersión.

### Análisis estadísticos (ANOVA)

En la producción final de maíz se analizó en forma individual aplicando un ANOVA y la prueba de medias Tukey. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa R-Project 2.14.2 (Core Team, 2018).

### Condiciones climatológicas

El promedio de las condiciones climatológicas tales como evapotranspiración humedad relativa (55 %), evaporación (6 mm) y temperaturas mínimas (16 °C) y máximas (41 °C) se tomaron desde la central de información de la Asociación de Agricultores Rio Poniente (AARP). Los principales factores climáticos que influyen en el crecimiento del maíz son la temperatura y lluvia, las cuales durante la temporada de cultivo estuvieron dentro del rango requerido para su crecimiento y desarrollo, en el caso de la temperatura, el umbral mínimo requerido para el crecimiento del maíz es 10 °C Djaman *et al.* (2013).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El aporte de materia orgánica y la rotación de cultivos, aumenta la producción de maíz, ya que puede mejorar las características químicas y físicas del suelo, aumenta la fertilidad y puede aumentar la retención de humedad (Sun, 2018), del cual las plantas que se desarrollan en suelos ricos de materia orgánica, mantienen un equilibrio en su estructura fisiológica provocando una resistencia a plagas y enfermedades.

**Tabla 1.** Características físicas y químicas del suelo con diferentes dosis de aditivo orgánico en Guasave, Sinaloa, México.

**Table 1.** Physical and chemical characteristics of the soil with different doses of organic additive in Guasave, Sinaloa, Mexico.

Características Químicas	Símbolo	T1	T2	T3
Nitrógeno (ppm)	N-NO3	25	25	24
Fosforo (Olsen (mg/kg))	P	11.6	11.6	11.6
Potasio (Cmol/kg)	K	2.97	2.98	2.98
Magnesio (Cmol/kg)	Mg	9.2	9.18	9.2
Cobre (Cmol/Kg)	Cu	0.4	0.5	0.4
Calcio (Cmol/Kg)	Ca	19.3	19.3	19.3
Sodio (Cmol/Kg)	Na	0.7	0.7	0.7
Cond. eléctrica (mmhos/cm)	CE	1.07	1.08	1.08
Hierro (Cmol/Kg)	Fe	0.5	0.5	0.5
Características Físicas				
Materia orgánica (%)	MO	1.1	1.22	1.3
Textura	T	F-A	F-A	F-A
Potencial de hidrógeno	pH	7.8	7.6	7.8
Densidad aparente (g-cm-3)	$\rho_b$	1.57	1.11	1.02
Densidad real (g-cm-3)	$\rho_s$	2.63	2.61	2.65
Porosidad total (cm)	$\Psi$	0.4	0.58	0.61
Infiltración acumulada (cm)	F	6	12	15

Testigo (T1), Tratamiento 2 (T2), Tratamiento 3 (T3) y F-A = Franco Arcilloso



En la Tabla 1 se muestran las características químicas y físicas, relacionadas con el suelo franco arcillosos donde los macro y micronutrientes son muy similares en T2 y T3, con respecto al testigo T1, pero en las propiedades físicas como la porosidad total ( $\Psi$ ), densidad aparente ( $\rho_b$ ), densidad real ( $\rho_a$ ), materia orgánica (MO) y su infiltración acumulada (F), si existen diferencias significativas, es por ello el mejoramiento de suelos. El incremento en retención de humedad en los suelos tiene efectos benéficos para las plantas, ya que reduce el estrés hídrico durante el crecimiento (Su *et al.*, 2007). Además de aumentar la retención de humedad, la aplicación de aditivos orgánicos mejoró otras propiedades físicas del suelo; la materia orgánica se incrementó y la densidad aparente disminuyó, lo que explica el aumento en la porosidad y en la infiltración acumulada. Según Chun *et al.*, (2017), la aplicación de materia orgánica en suelos con labranza convencional incrementa la formación de agregados, mejorando la estructura del mismo. En las propiedades químicas evaluadas, no se observaron efectos en la disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe y Cu.

**Tabla 2.** Intervalos mínimos y máximos, número riegos y caudal aplicado, calculados en laboratorio para aplicación en suelos con diferentes dosis de aditivo orgánico.

**Table 2.** Minimum and maximum intervals, number of irrigations and applied flow, calculated in the laboratory for application in soils with different doses of organic additive

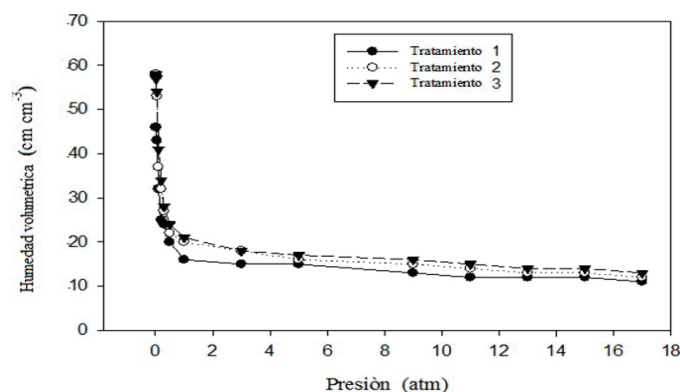
Tratamientos	Intervalos de riego (días)			Caudal (L)
	Mínimo	Máximo	Número de riegos	
1	13	20	5	18,000
2	17	26	4	14,400
3	17	26	4	14,400

T-1= Suelos normal, T-2 = Suelo+250 kg de aditivo orgánico/ha, T-3=Suelo + 500 kg de aditivo orgánico/ha.

En la Tabla 2 se aprecia que los días mínimos y máximos de riego son mayores en los T2 y T3 con relación al testigo T1, esto indica que la humedad es mayor y ayudaría a los agricultores a disminuir un riego menos en sus cultivos, al igual a los módulos de riego su ahorro de líquido vital, los días de riego se ampliarían: testigo T1 (1, 55, 80, 110 y 130 días), T2 (1, 60, 90 y 120 días), T3 (1, 65, 95 y 125 días). Estos estudios indican que es posible aplicar técnicas de retención de humedad en riego por gravedad para el suelo franco-arcilloso, que es predominante en la zona de Guasave, Sinaloa; es posible aplicar aditivos orgánicos y reducir el proceso de percolación y tener una mayor retención de humedad. Opatokun *et al.* (2017) Menciona que cada agricultor recibe un volumen de agua de acuerdo con el área de propiedad, sin tener en cuenta el tipo de cultivo y su requerimiento de agua, incluso si algunas parcelas no se explotan de acuerdo a las fechas de siembra, el tamaño de las parcelas y la cantidad de nitrógeno utilizado, sin importar el tiempo de riego. Las fechas de siembra son de suma importancia para fortalecer la producción (Jiménez *et al.*, 2020).

## Retención de humedad

El riego es la única forma de reducir el estrés hídrico de los cultivos y mantener las plantas con la humedad óptima para su crecimiento (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006). En la figura 2, se aprecia la retención de humedad, de acuerdo a la gráfica, es mayor la retención en T2 y T3 con respecto a testigo T1. De acuerdo a la cultura de los agricultores en Sinaloa, algunos aplican cantidades demasiado altas y otros demasiado bajas de agua en sus cultivos, lo que se debe a la falta de información del riego por gravedad, en los centros de investigación en la zona de Guasave, Sinaloa (García, 2007). Existen muchos métodos para medir la humedad del suelo, como el modelo de Richards y Kostikov, pero son modelos complicados y de alto costo de operación (Prado *et al.*, 2017). En esta investigación se aplicó el modelo de Green y Ampt (1911), modelo físico que, de acuerdo a parámetros obtenidos en laboratorio, puede predecir la lámina de riego (cm) y obtener el gasto de agua y tiempo en que debe aplicarse de forma precisa (Prado *et al.*, 2017). La aplicación de aditivos orgánicos puede disminuir los tiempos de riego, ya que mejoran la retención del agua y algunas propiedades físicas del suelo, los polímeros súper adsorbentes (SAP) han sido desarrollados y utilizados como acondicionadores de humedad del suelo, como agentes de inmersión de raíces y semillas o como materiales de recubrimiento en la agricultura y la silvicultura; son materiales elaborados de biomasa seca, ricos en polímeros naturales, elaborados por pirólisis, utilizados para retener nutrientes y humedad en los predios agrícolas en China (Chen *et al.*, 2017).



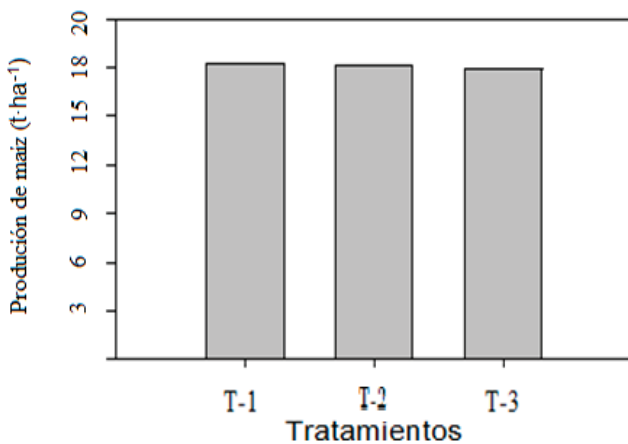
**Figura 2.** Curvas de tensión de humedad en suelo con diferente dosis de aditivo orgánico en Guasave, Sinaloa, México. Testigo= Suelos normal, T-2 = Suelo+25g de aditivo orgánico/kg de suelo, T-3=Suelo + 50g de aditivo orgánico/kg de suelo.

**Figure 2.** Moisture tension curves in soil with different doses of organic additive in Guasave, Sinaloa, Mexico. T-1 = normal soils, T-2 = Soil + 25g of organic additive / kg of soil, T-3 = Soil + 50g of organic additive / kg of soil.

## Producción y gasto de agua

Se puede apreciar en la figura 3, que la producción es muy similar en los tres tratamientos, dando una producción: testigo T1= 17.9 t/ha<sup>-1</sup>, T2= 17.5 t/ha<sup>-1</sup> y T3= 18.1 ton/ha de maíz, con un gasto de agua menor en los tratamientos T2 (4 riegos) y T3 (4 riegos) con respecto al testigo T1 (5 riegos), con una duración de 3 horas cada riego, con un gasto de

agua (tabla 2) de 1200 l/h, dando como gasto de agua/kg de maíz: T1= 18000 l/17900 kg de maíz, T2=14400 l/17500 kg de maíz y T3=14400 l/18100 kg, donde para producir un kilogramo de maíz se requiere en T1=1.005 litros de agua, T2= .82 litros de agua y T3= .79 litros de agua, es por ello que la incorporación de materiales orgánicos aumentan la retención de agua en los predios agrícolas, el mejor tratamiento retenedor de humedad y productor de maíz fue el T3, con respecto al testigo T1. Es importante aumentar la eficiencia del uso del agua (litros de agua por kilogramos de maíz producido), lo que podría lograrse con la aplicación de aditivos orgánicos, por lo que es un reto para la investigación, la producción de aditivos orgánicos elaborados con biomasa agrícola procesada por pirolisis (Opatokum, 2017). Se ha establecido que el maíz es más susceptible al estrés hídrico durante la etapa reproductiva, ya que se ha demostrado su mayor impacto en formación y llenado de grano (Doorenbos y Kassam, 1979).



**Figura 3.** Efectos en la producción de grano en suelo franco arcilloso de diferentes dosis de aditivo orgánico en Guasave, Sinaloa, México. Testigo 1 = Suelo normal, T-2 = Suelo + 25g aditivo orgánico/kg de suelo, T-3 = Suelo + 50g aditivo orgánico/kg de suelo.

**Figura 3.** Effects on grain production in clay loam soil of different doses of organic additive in Guasave, Sinaloa, Mexico. T-1 = Normal soil, T-2 = Soil + 25g organic additive / kg of soil, T-3 = Soil + 50g organic additive / kg of soil

## ANOVA

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha=0.05$ ) entre los promedios de los tratamientos en gasto de agua para producir un kilogramo de maíz, con respecto al testigo y numéricamente T1=1.005 litros de agua para producir 1 kg de maíz, T1=1.005 litros de agua para producir 1 kg de maíz y T3=.80 litros de agua para producir 1 kg de maíz el 40 % de ahorro de agua T1=T3, es numéricamente mayor T3.

**Tabla 3.** Análisis de varianza (ANOVA) de la producción de maíz entre tratamientos con diferente dosis de aditivo orgánico.

**Table 3.** Analysis of variance (ANOVA) of the production of dry corn between treatments with different doses of organic additive.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2.66	2	1.33	9.37	0.000978044	3.40
Dentro de los grupos	3.41	24	0.14			
Total	6.07	26				

En la producción de maíz se observó un mejor rendimiento en los tratamientos T-2 y T-3 que en el tratamiento T-1. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T-1 y T-2, pero entre T1 Y T3 si existe diferencia significativa y numéricamente se observó un mejor resultado en el tratamiento T-3.

## CONCLUSIONES

La aplicación de aditivos orgánicos aumentó efecto en la retención de humedad en el suelo y permitió ampliar los días de riego por gravedad hasta un 30%, en relación a un suelo sin aditivo orgánico. La aplicación de aditivos orgánicos aumento la producción de maíz en T3 y aumento la eficiencia de uso del agua en un 40 %. La humedad aprovechable (HA) varió por la cantidad de aditivos orgánicos aplicado que estuvo asociada a un incremento de la materia orgánica del suelo. Ambas variables explicaron 30.8% la variación de la HA, donde este fenómeno explica que con menos agua o tiempo de riego se puede aumentar la producción de maíz en un 5 %. Con base en los resultados obtenidos la aplicación de aditivos orgánicos, sería de gran utilidad en el ahorro de agua y evitar la escasez del vital líquido en los mantos acuíferos, evitando sequias a largo plazo, además de reducir costos en la producción de maíz y otros cultivos.

## REFERENCIAS

- Blaney, H. F y Criddle, W. D. 1950. Determining water needs from climatological data. United States Department of Agriculture. Soil Conservation Service. 4: 8-9.
- Bonelli, L. E., Monzon, J. P., Cerrudo, A., Rizzalli, R. H. y Andrade, F. H. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*. 198: 215-225.
- Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. University of California Agricultural Experiment Station Bulletin. 670, 124.
- Chen, X., Huang L., Mao X., Liao Z. y He, Z. 2017. A comparative study of the cellular microscopic characteristics and mechanisms of maize seedling damage from superabsorbent polymers. *Pedosphere*. 27(2): 274-282.
- Chun, T., Fa-dong, L., Yun-feng, Q. y Nong, Z. 2017. Effect of experimental warming on soil respiration under conventional tillage and no-tillage farmland in the North China Plain. *Journal of Integrative Agricultura*. 16(4): 967-979.
- Comisión Nacional del Agua - Conagua, 2020. Estadísticas agrícolas de hidrométrica y producción granos maíz, sorgo, frijol y garbanzo de la República Mexicana. [Consultado el 31 de Diciembre 2021] 2020. /http://www.edistritos.com/DR/estadisticaAgricola/cultivo.php.
- Core Team R. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing. Vienna. Austria. Available online at <https://www.R-proyect.org/>.
- Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W.R., Martin, D.L. y Eisenhauer, D.E., 2013. Maize evapotranspiration, yield production functions, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Agriculture Biology Enginery*. 56: 273-293.

- Doorenbos, J. y Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage, paper No. 33. Rome, Agricultural Sciences. 3: 35-40.
- García, V. 2007. Water infiltration and flow measuring of streams in la sierra de Quila. *Agrociencias*. 2: 1125-1132.
- Głąb, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M. y Tabor, S. 2018. Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. *Geoderma*. 315: 27-35.
- Green, W.H. y Ampt, G. 1911. Study in soil physics. I. The flow of air and water through soils. *The Journal of Agriculture Science*. 4: 1-24.
- Hernández M. V. 2012. Caracterización de aditivo carbonaceo para extracción de fluoruros de agua con material orgánico aplicando pirolisis. *Revista de Ingeniería y Tecnología*. 2: 23-25.
- Jia, Q., Sun, L., Mou, H., Ali, S., Liu, D., Jai Y. y Zhang, Z. 2017. Effects of planting patterns and sowing densities on grain-filling, radiation use efficiency and yield of maize (*Zea mays* L.) in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*. 201(31): 287-298.
- Jiménez L. J., Agustín R. C., Jesús L. E. y Alfonso S. V. 2020. Effect of variety and seedtime on the productive potential of sugar beet. *Biotecnia*. 22(3): 5-10.
- Li, C., Ma, S., Shao, Y., Ma, S., y Zhang, I. 2018. Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 17(1): 210-219.
- López, M. J. D., Díaz, E. A., Martínez, R. E. y Valdez, C. R. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*. 19(4): 293-299.
- Montoya-Rodríguez A., Osuna-Gallardo E., Cabrera-Chavez F., Milan-Carrillo J., Reyes-Moreno C., Milan-Noris E. M., Cuevas-Rodríguez E. O., y Mora-Rochín S. 2020. Evaluation of the in vitro and in vivo antihypertensive effect and antioxidant activity of blue corn hydrolysates derived from wet-milling. *Biotecnia*. 22(2): 155-162.
- Opatokun, S. A. 2017. Agronomic assessment of pyrolysed food waste digestate for sandy. *Journal of Environmental Management*. 187: 24-30.
- Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra E. y Unland-Weiss, H. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*. 40(1): 13-25.
- Prado H. J. V., Ramírez P. F., Acevedo C. D., García C.M., Hernández S.F.R., Martínez. R. A. 2017. Evaluation of Green and Ampt infiltration equation in some agricultural soils in México using USDA information and a modifield method from Brooks and Corey. *Interciencia*. 2: 23-34.
- Shahzad, S. M., Arif, M. S., Riaz, M., Ashraf, M., Yasmeen, T., Zaheer, A. y Robroek, B. J. M. 2017. Interaction of compost additives with phosphate solubilizing rhizobacteria improved maize production and soil biochemical properties under dryland agriculture. *Soil and Tillage Research*. 174: 70-80.
- Su, Z., Zhang, J., Wu, W., Cai, D., Lv, J., Jiang, G., Huang, J., Gao, J., Hartmann, R., Gabriels, D., 2007. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau. *China. Agriculture Water Management*. 87: 307-314.
- Sun, Z. L. 2018. Effects of alfalfa intercropping on crop yield, water use efficiency, and overall economic benefit in the Corn Belt of Northeast China. *Field Crops Research*. 34: 405-490.