

Evaluación de infiltración con equipo TDR-300 y el modelo Green y Ampt, en suelo con aditivos orgánicos en Guasave, Sinaloa, México

Infiltration evaluation with TDR-300 equipment and the model Green and Ampt, in soil with organic additive in Guasave, Sinaloa, Mexico

Lugo-Valenzuela H², Prado-Hernández JV¹, Vázquez-Peña MA¹, Pineda-Pineda J¹, Velázquez-López N¹

¹ Universidad Autónoma de Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, CP 56230, Texcoco, México.

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Carretera Internacional entronque a carretera La Brecha, Ejido Burrioncito, CP 81149, Sinaloa, México.

RESUMEN

Las necesidades de agua en cultivos satisfacen en forma natural por lluvias, cuando es insuficiente, se aplica riego por gravedad, lo anterior requiere conocer comportamiento de humedad un suelo. Existen métodos para medir y estimar la humedad: el método TDR-300 calcula humedad tiempo real y el modelo de Green y Ampt que estima la lámina de riego (cm) en laboratorio. El objetivo de la investigación fue calcular y evaluar numéricamente parámetros hidrodinámicos, mezclando suelo con aditivo orgánico, utilizando equipo TDR-300, obteniendo mediciones en tiempo real, en un diseño experimental de 3 x 3, en 3 surcos de 30 m, con 6 mediciones cada 5 m, a profundidad de 30 cm a los 3 tratamientos: testigo T1 (suelo normal), T2 (Suelo + aditivo 25 g) y T3 (suelo + aditivo 50 g) aplicando riego por gravedad, y se compararon con las estimaciones obtenidas del modelo de Green y Ampt en laboratorio. Se calcularon tiempo de avance del agua, tiempo de recesión y oportunidad. A mayor contenido de aditivo orgánico, menor avance y mayor retención de agua, las estimaciones realizadas por método de Green y Ampt en laboratorio, fueron similares a los datos recolectados en campo con TDR-300.

Palabras clave: Aditivos orgánicos; infiltración; lámina de riego.

ABSTRACT

The water needs in crops are naturally satisfied by rains, when it is insufficient, gravity irrigation is applied, which requires knowing the soil's moisture behavior. There are methods to measure and estimate humidity: the TDR-300 method calculates humidity in real time and the Green and Ampt model that estimates the irrigation sheet (cm) in the laboratory. The Green and Ampt method knows the physical parameters of the 12 textural classes of soils, but does not know physical parameters by mixing soil with organic additives. In this investigation, numerical values of hydrodynamic parameters were calculated in soil mixed with organic additive, using TDR-300 equipment in three 30-m rows, with measurements every 5 m, an experimental design of 3 x 3, with T1-control treatments (soil normal), T2 (Soil + 25% additive) and T3 (soil + 50% additive), applying gravity irrigation, and compare estimates with the Green and Ampt

model. Using Green and Ampt methodology, initial and final gravimetric humidity, water advance time, recession time and opportunity were calculated. The higher the additive content, the retention increased. The estimates made by the Green and Ampt method were similar with the TDR method.

Keywords: organic additives; infiltration; irrigation sheet.

INTRODUCCIÓN

La lámina de agua requerida por los cultivos es aportada en forma natural por la lluvia, cuando esta escasea o su distribución temporal no coincide con el periodo de máxima demanda por las plantas, es necesario aportarla a través del riego (Yin y Patel, 2018). Guasave, Sinaloa, México es una región agrícola de importancia nacional, los suelos de la región son planos en su mayoría con una textura predominantemente franco arcillosa (Conagua, 2020). Como consecuencia de la extracción de agua para riego agrícola, los niveles de las aguas subterráneas han disminuido, la eficiencia del uso del agua (Habibi y Heidarpour, 2015). La gestión de los recursos hídricos es un tema importante en el campo del desarrollo sostenible, especialmente en el sector agrícola (Belaqziz *et al.*, 2013). México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en términos de superficie con infraestructura de riego; en el Estado de Sinaloa, el distrito de riego 063 del Burrión Sinaloa (Conagua, 2020), es el principal consumidor de agua en riego por gravedad con un 90%, para siembras de maíz, frijol, sorgo, tomate, papa, chile, trigo, garbanzo y cítricos, entre otros cultivos, de alta demanda de agua (García, 2007). Existen diversos modelos para predecir la tasa de infiltración, estos se clasifican en empíricos como el propuesto por Kostiakov (1932), semi-empíricos y físicos (Muñoz-Carpena y Gowdsh, 2005). El primero no es capaz de describir a detalle el proceso de infiltración, en cambio los modelos semiempíricos y físicos basados en principios físicos describen con mayor detalle dicho proceso, entre estos se encuentra el modelo de Richard y el modelo de Green y Ampt (Ali *et al.*, 2016; Deng y Zhu, 2016). En México estos modelos no se han aplicado en suelos con altos contenidos de materia orgánica y aditivos orgánicos retenedores de humedad, no se conocen los valores numéricos de esos parámetros hidrodinámicos para el modelo de Green y Ampt para la simulación de la infiltración (Reatto *et al.*, 2008; Ali *et al.*, 2016) y la erosión (Mao *et al.*, 2016) bajo estas condiciones. El modelo de Green y Ampt

*Autores para correspondencia: Homero Lugo Valenzuela
 Correo electrónico: hlv_300@hotmail.com.

Recibido: 17 de diciembre 2021

Aceptado: 6 de enero 2022

se aplica en suelos uniformes, estratificados, condiciones de precipitación estable o inestables (Deng y Zhu, 2016) y para condiciones homogéneas en contenido de humedad inicial (Rao *et al.*, 2009; Haibili y Heidarpour, 2015). Este modelo asume conductividad hidráulica y contenido de agua constante en las zonas de humedecimiento y una carga constante negativa en el frente de mojado (Haibili y Heidarpour, 2015). El objetivo de esta investigación fue calcular y evaluar numéricamente la efectividad de los parámetros hidrodinámicos, mezclando suelo con aditivo orgánico, utilizando equipo TDR-300 en campo tiempo real y se compararon con las estimaciones obtenidas del modelo de Green y Ampt en laboratorio, también se midió el tiempo de avance, recesión de agua y conocer el umbral de riego en un suelo agrícola en el Burriónico, Guasave, Sinaloa, México. Así como estudiar el efecto que tienen la incorporación de aditivo orgánico como mejorador de las propiedades físicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el campo en un terreno ubicado en el distrito de riego número 35 "el Burrión" en Guasave, Sinaloa, México a 25° 58' latitud norte, 108° 52' longitud oeste, 220 msnm, en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, Sinaloa (ITSG). El terreno cuenta con un sistema de riego por gravedad. Antes de establecer el experimento se realizaron actividades tales como: la incorporación de los aditivos se realizó de manera manual, basándose en las curvas de retención de humedad (figura 2), homogenizando con barbecho, rastreos, nivelación, marca de los surcos, fertilizadora y una canalera agrícola. Para evaluar dos modelos, es necesario que el diseño sea exitoso y estable, depende de una serie de factores físicos, como la selección adecuada de los componentes de la misma y el método de procesamiento (Mendoza-Sánchez *et al.*, 2021). Se aplicaron los riegos, en tres surcos de cada tratamiento, con sifones de aluminio de 2.54 cm de diámetro, se instalaron las compuertas en las regaderas con un mismo tamaño con la finalidad de garantizar la misma carga y gastos ($20 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) en los sifones. Se aforaron los sifones volumétricamente empleando un recipiente de 30 L y un cronómetro. Se realizaron mediciones de los tiempos de avance del riego y de recesión a distancias de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 m de avance, se calculó el tiempo de oportunidad en cada tratamiento que se define como la diferencia entre el tiempo de recesión y el tiempo de avance, este dato es útil en la ecuación de Green y Ampt para estimar la lámina infiltrada (cm).

Medición de la lámina infiltrada

Se midieron las humedades a diferentes distancias (5, 10, 15, 20, 25 y 30 m) y para cada distancia se obtuvo el promedio de las mediciones a las profundidades de 30 cm. Se determinaron las láminas de riego para cada tratamiento. Se realizaron mediciones manuales de la humedad en el suelo con un sensor TDR (Time Domain Reflectometry) modelo TDR-300 (Spectrum Technologies Inc., Plainfield, IL). El diseño experimental fue de 3 x 3 en surcos de 30 m, se utilizaron tres

tratamientos: testigo (T1) = sin aditivo con 3 repeticiones, tratamiento 2 (T2) = suelo + 25 g aditivo orgánico por kg^{-1} de suelo con 3 repeticiones y el tratamiento 3 (T3) = suelo + 50 g aditivo orgánico por kg^{-1} de suelo con 3 repeticiones, con nueve surcos de 80 cm ancho x 30 m largo, se realizaron 6 mediciones de cada 5 m (0-5,5-10,10-15,20-25,25-30), como se muestra en la Figura 1.

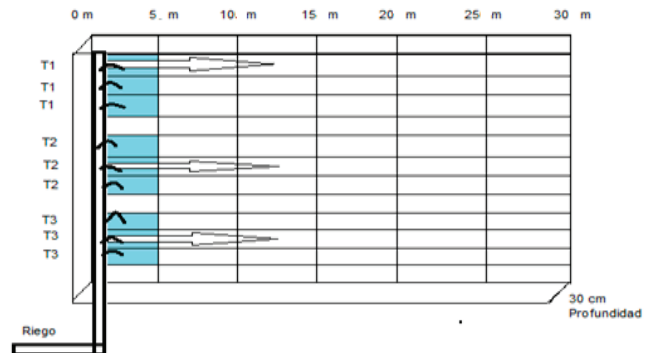


Figura 1. Esquema del experimento, con seis puntos de medición (5, 10, 15, 20, 25, 30 m) con tres tratamientos (T1 = testigo, T2 = suelo + 25 g de aditivo orgánico, T3 = 50 g aditivo orgánico) a una profundidad de 30 cm de profundidad para calcular humedad volumétrica en tiempo real con TDR-300, tiempo de avance y recesión en Burriónico, Guasave, Sinaloa, México.

Figure 1. Experiment scheme, with six measurement points (5, 10, 15, 20, 25, 30 m) with three treatments (T1 = control, T2 = soil + 25 g of organic additive, T3 = 50 g organic additive) at a depth of 30 cm to calculate humidity volumetric in real time with TDR-300, time of advance and recession in Burriónico, Guasave, Sinaloa, Mexico.

El aditivo orgánico se incorporó a una profundidad de 30 cm, con equipo de cultivo, la cantidad de aditivo incorporado en cada tratamiento equivale a 0, 2.5 y 5 t/ha, se calculó el caudal de entrada con una pendiente de 10 cm, usando sifones de 1 plg de diámetro. Una vez introducida el agua a los surcos se evaluó tiempo de avance y de recesión, cada 5 m hasta llegar a los 30 m de distancia, se realizaron 6 mediciones con equipo de TDR-300 con aguja de 30 cm profundidad. Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias por el método de Tukey (Figura 5) a los datos estimados de la lámina de infiltración con el modelo de Green y Ampt y estimados con los datos de humedad medidos con el sensor TDR para cada uno de los tratamientos, el análisis se realizó con el programa R-Project versión 2.14.2 (2018).

Propiedades físicas de los suelos de los tratamientos

Las propiedades físicas del suelo se determinaron para los tres tratamientos, estas variables fueron: textura, densidad aparente (ρ_a), densidad real (ρ_b), materia orgánica (MO), capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), conductividad hidráulica (K_s), índice de distribución de poros (λ) y humedad gravimétrica inicial (θ_i) (Ravazzani *et al.*, 2018). Una vez determinados estos parámetros físicos (Tabla 1) se calcularon las láminas infiltradas de riego (Lr) Green y Ampt (1911). La textura se realizó por el método de Boyocus dando como resultado: 26 % de arena, 39 % arcilla y 35 % de limo dando como textura franco arcilloso Green y Ampt (1911).

Estimación de lámina infiltrada

Las láminas infiltradas de riego se evaluaron con el modelo de Green y Ampt (1911), ecuación 1.

$$I = K_s t + \lambda \ln\left(1 + \left(\frac{I}{\lambda}\right)\right) \quad (1)$$

Dónde: **I** es la cantidad de infiltración acumulada en (cm), **t** es el tiempo de oportunidad (h), **λ** es el índice de porosidad ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) y **K_s** es la conductividad hidráulica a saturación en (cm h^{-1}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta la curva de tensión de humedad que caracterizó a cada uno de los tratamientos experimentales, en esta se aprecia la variabilidad en la capacidad de almacenamiento del agua de los tres tratamientos, siendo el testigo T1 (Suelo sin ningún mejorador) el que presentó los valores más bajos, con un contenido de humedad a capacidad de campo (θ_{CC}) de $0.41 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ y un punto de marchitez permanente (θ_{PMP}) de $0.135 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. Los 2 tratamientos con mayor capacidad de retención fueron: T2 (0.37 y $0.14 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) y T3 (0.39 y $0.14 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$).

Se aprecia el incremento de humedad retenida por los tratamientos con materiales orgánicos, los cuales tienen una diferencia de hasta el $0.10 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ de agua retenida, donde los mejores tratamientos (T2 y T3) fueron con aditivos orgánicos. En el tratamiento T3 se encontró el mayor almacenamiento de agua fácilmente disponible (30%) para la planta. Esto ha motivado la búsqueda de alternativas más sostenibles que permitan aumentar la retención de humedad, que satisfaga las necesidades del productor y conserven el medio ambiente, como el de la agricultura orgánica, la cual utiliza abonos orgánicos (Adame-García *et al.*, 2021).

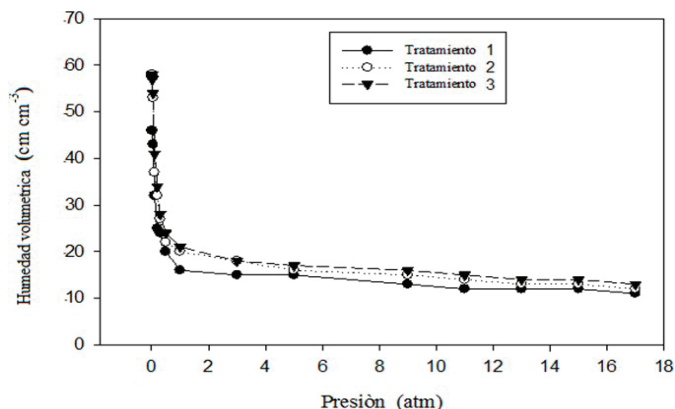


Figura 2. Curvas de retención de humedad para tres tratamientos con diferente dosis de aditivo orgánico: Testigo (T1) = suelo normal, tratamiento 2 (T2) = suelo + 25 g de aditivo orgánico y tratamiento 3 (T3) = suelo + 50 g de aditivo orgánico.

Figure 2. Curves retention the treatments for three treatments with different doses of organic additive: witness (T1) = normal soil, treatment 2 (T2) = soil + 25 g of organic additive and treatment 3 (T3) = soil + 50 g of additive.

Tabla 1. Características físicas de los suelos con diferentes dosis de aditivo orgánico en Guasave, Sinaloa, México.

Table 1. Physical characteristics of soils with different doses of organic additive in Guasave, Sinaloa, Mexico.

Parámetros	Símbolo	T1	T2	T3
Materia orgánica (%)	MO	1.1	1.2	1.3
Densidad aparente (g cm^{-3})	Pb	1.5	1.1	1.1
Densidad real (g cm^{-3})	Pa	2.6	2.6	2.6
Humedad volumétrica a saturación ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	θ_s	0.5	0.6	0.6
Porosidad total (cm)	θ	0.4	0.5	0.6
Conductividad hidráulica (cm h^{-1})	K_s	3.4	4	3.9
Capacidad de campo volumétrica (%)	CC	24	27	28
Presión capilar en el frente de humedecimiento ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	ψ_f	33	31	30

Testigo (T1) = suelo normal, tratamiento 2 (T2) = suelo+25 g aditivo orgánico y tratamiento 3 (T3) = suelo+50 g aditivo orgánico.

En la Tabla 1 se presentan los valores de los parámetros físicos evaluados en laboratorio de las unidades experimentales para cada tratamiento.

Tiempo de avance y recesión

Se observa el efecto que tienen los aditivos orgánicos incorporados en el suelo, ya que el tiempo de avance medidos a diferentes distancias, resultaron menores en los suelos con mayor contenido de aditivo correspondiente al tratamiento 3, seguido por el tratamiento 2 y finalmente los menores tiempos de avance fueron para el testigo, el efecto fue diferente en los tres tratamientos. Esto debido al cambio en las propiedades físicas del suelo que le confirió la incorporación de aditivo, especialmente en la porosidad total (θ) que a su vez mejoró la conductividad hidráulica (K_s) en los suelos, como lo indica en sus estudios del suelo y sus efectos en investigaciones relacionadas con Ndiaye *et al.* (2007). Actualmente, se tiene el desconocimiento del manejo adecuado de los sistemas de riego, por la falta de aplicación de conocimientos de investigaciones realizadas, en particular en los sistemas de riego por gravedad donde se tienen eficiencias muy bajas del orden de 30%; esto significa que existe un uso inadecuado del recurso hídrico, provocando un desperdicio importante de este recurso, aunado a esto, se tiene poca información sobre la medición del consumo neto de agua por los cultivos (Ojeda-Bustamante, 2015). Esta información resulta de gran interés para regiones que tienen a la agricultura como una actividad de gran relevancia, como es el estado de Sinaloa. La evaluación de diferentes materiales orgánicos como mejoradores de las propiedades del suelo, puede ser de vital apoyo para el manejo eficiente de los sistemas de riego por gravedad ayudando a retener más humedad y para hacer planificaciones del riego con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico como los mencionan Rallo *et al.* (2011) y Mun *et al.* (2015).

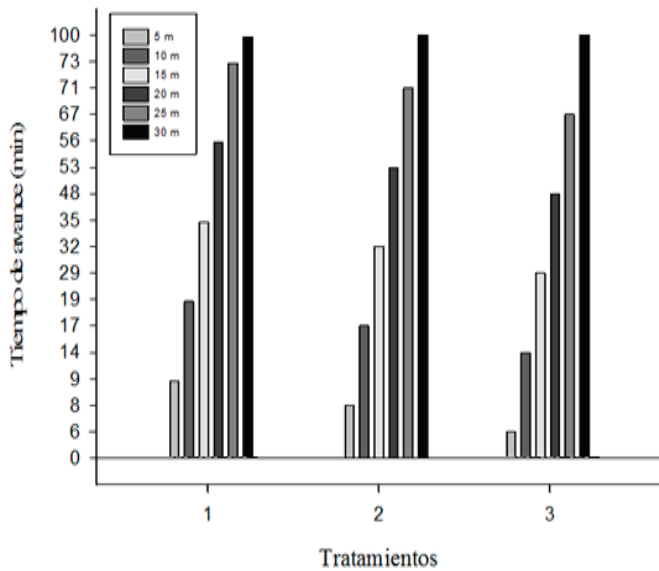


Figura 3. Avance del riego a diferente distancia para tres tratamientos con diferente dosis de aditivo orgánico: Testigo (T1) = suelo normal, tratamiento 2 (T2) = suelo + 25 g de aditivo orgánico y tratamiento 3 (T3) = suelo + 50 g de aditivo orgánico.

Figure 3. Irrigation advance at different distances for three treatments with different doses of organic additive: witness (T1) = normal soil, treatment 2 (T2) = soil + 25 g of organic additive and treatment 3 (T3) = soil + 50 g of additive.

Tiempos de oportunidad

Con la información recabada en campo de los tiempos de avance y tiempos de recesión en cada tramo de surco evaluado, se calcularon los tiempos de oportunidad, los cuales se presentan en la Figura 2, donde se observa que los valores de los tiempos de avance resultaron diferentes entre sí; esto significa desde el punto de vista práctico, que la incorporación de aditivo orgánico promueve de manera significativa la adsorción y retención de la humedad en el suelo, lo que ayuda a tener una mayor uniformidad de las láminas. En los últimos años, el aumento de la población así como la actividad antropogénica ligada a la industrialización y urbanización, han generado gran cantidad de productos de desecho biomasa, los cuales han sido incorporados al agua y suelo, ocasionando modificaciones en los servicios ecosistémicos que este último provee la agricultura (López-Pacheco *et al.*, 2020).

En esta investigación se obtuvieron menores tiempos de oportunidad en la aplicación de riego con la aplicación de mejoradores orgánicos, por consiguiente, se puede decir que para un sistema de riego por gravedad se espera tener mayor uniformidad en las láminas infiltradas y por lo tanto, mayores eficiencias. A través del tiempo se han propuesto distintos métodos para estimar las láminas de infiltración en el suelo, desde modelos empíricos como el de Kostiaov (1932), que son aplicados para ciertas condiciones específicas, hasta modelos más mecanicistas basados en principios físicos como el modelo de Richard, aunque su aplicación es limitada por el número de parámetros y variables de estado a determinar (Ali, 2016). Como alternativa, en esta investigación se evaluó

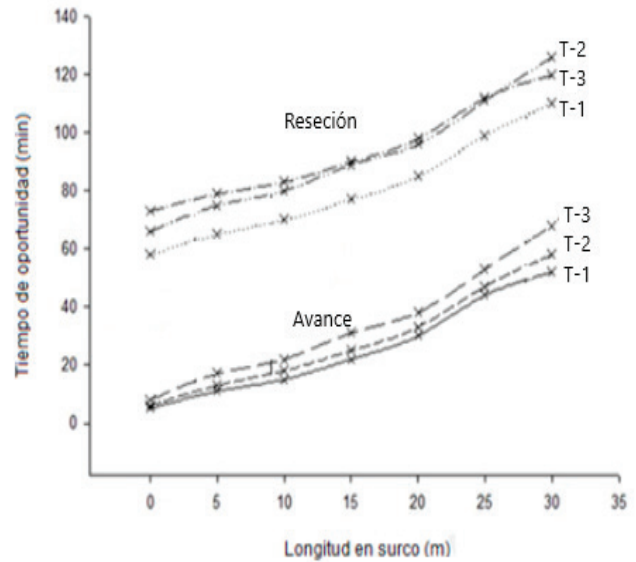


Figura 4. Curvas de tiempo de avance y recesión en suelos con diferente dosis de aditivo orgánico: Testigo (T1) = suelo normal, tratamiento 2 (T2) = suelo + 25 g de aditivo orgánico y tratamiento 3 (T3) = suelo + 50 g de aditivo orgánico, T1, T2 y T3 es el avance y R1, R2 y R3 es la recesión a diferentes tiempos.

Figure 4. Advance and recession time curves in soils with different doses of organic additive: witness (T1) = normal soil, treatment 2 (T2) = soil + 25 g of organic additive and treatment 3 (T3) = soil + 50 g of organic additive. T1, T2 and T3 is the advance and R1, R2 and R3 is the recession at different times.

el modelo de Green y Ampt (Prado-Hernández, 2017) un modelo más simple, semi-empírico, con pocos parámetros y fácil de implementar para diferentes tipos de suelos.

Estimación de láminas infiltradas con el modelo Green y Ampt

Con las determinaciones de las propiedades físicas y los tiempos de recesión calculados, se evaluó el modelo de Green y Ampt (Ecuación 1) como lo indican Prado-Hernández (2017); los valores estimados de las láminas infiltradas se muestran en la Tabla 2, en donde se observa que los valores promedio son ligeramente diferentes para los tres tratamientos hasta los 20 m de longitud del surco, después, las diferencias entre los tratamientos tienden a ser en un 10% diferentes, existiendo una mayor retención en el tratamiento 3. La adición del aditivo orgánico provocó modificaciones en los valores de densidad aparente, en la conductividad hidráulica y en la porosidad, trayendo consigo una diferencia homogénea de las propiedades hidrodinámicas en los tratamientos evaluados, ya que estas propiedades están muy correlacionadas entre sí, como lo menciona Moret y Arrúe (2007).

Laminas infiltradas estimadas de las mediciones del sensor TDR-300

En la Tabla 3 se muestran los valores de infiltración calculados considerando la humedad inicial y las humedades finales medidas con el sensor TDR-300, donde las láminas

Tabla 2. Láminas de infiltración (cm) estimadas con el modelo de Green y Ampt.
Table 2. Infiltration sheets (cm) estimated with the Green and Ampt model.

Distancia (m)	Testigo 1				Tratamiento 2				Tratamiento 3			
	R1	R2	R3	Media	R1	R2	R3	Media	R1	R2	R3	Media
0	14	8.9	8.9	13	16	16	16	16	16	16	16	16
5	14	14	13	13	14	14	14	14	16	16	16	16
10	12	12	12	12	14	14	14	13	15	15	15	15
15	12	13	12	12	14	14	14	13	15	14	14	14
20	11	12	12	11	13	14	14	13	14	14	14	14
25	11	11	11	10	14	14	14	13	14	14	14	14
30	9	9.4	9.2	9	11	11	11	11	12	12	12	12

Testigo (T1) = suelo normal, tratamiento 2 (T2) = suelo+20 g aditivo orgánico y tratamiento 3 (T3) = suelo+40 g aditivo orgánico.

de los tratamientos 2 y 3 son ligeramente mayores a las láminas infiltradas en relación al testigo (T1) a lo largo de los surcos. Esto refuerza los resultados encontrados aplicando el modelo de Green y Ampt, demostrándose que la adición de materiales orgánicos como mejoradores de suelo sería una práctica ampliamente recomendable para mejorar el manejo del recurso hídrico en sistemas de riego por gravedad, a lo largo del territorio mexicano (García, 2007). Sin embargo, en el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre las láminas infiltradas estimadas con el modelo de Green y Ampt y las láminas que se estimaron con las humedades medidas con el sensor TDR para cada tratamiento ($F < 2.34$). Con los resultados obtenidos de este experimento se puede decir que el uso de sensores TDRs, son una herramienta importante y útil en el monitoreo del régimen de humedad en los suelos (Schindler *et al.*, 2010) y la estimación de la lámina infiltrada para el manejo de los sistemas de riegos por gravedad (compuestas, sifones o por melgas).

Esto indica que el modelo de Green y Ampt es bastante robusto para caracterizar el movimiento hidrodinámico del agua en los suelos. Sin embargo, entre todos los tratamientos sí se hallaron diferencias significativas (Figura 3), lo que quiere decir que, al adicionarle materiales orgánicos a un suelo,

se mejoran las propiedades físicas de este, permitiendo así, un ahorro considerable de agua en el manejo de los sistemas de riego por gravedad, mejorando la productividad de los sistemas agrícolas (Ojeda-Bustamante, 2015).

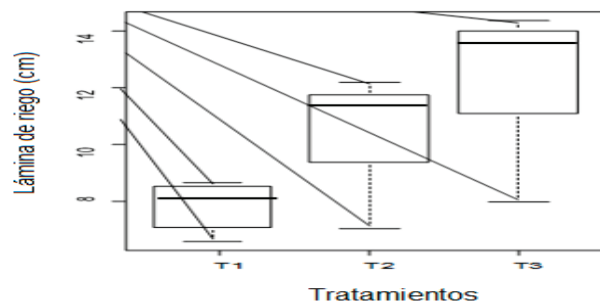


Figura 5. Comparación de medias de los tres tratamientos, con diferente dosis de aditivo orgánico en un suelo de Guasave, Sinaloa. Testigo (T1) = suelo normal, tratamiento 2 (T2) = suelo + 25 g de aditivo orgánico y tratamiento 3 (T3) = suelo + 50 g de aditivo orgánico.
Figure 5. Means comparison of the three treatments, with different doses of organic additive in a soil from Guasave, Sinaloa. Witness (T1) = normal soil, treatment 2 (T2) = soil + 25 g of organic additive and treatment 3 (T3) = soil + 50 g of organic additive.

Tabla 3. Láminas de infiltración estimadas (cm) de las mediciones del sensor TDR-300.
Table 3. Estimated infiltration sheets (cm) from TDR-300 sensor measurements.

Distancia (m)	Testigo 1				Tratamiento 2				Tratamiento 3			
	R1	R2	R3	Media	R1	R2	R3	Media	R1	R2	R3	Media
0	8.6	8.5	8.6	8.5	11	10	10	10	12	12	12.3	12
5	8.2	8.9	8.7	8.6	9.8	9.5	9.5	9.5	12	11	11	12
10	8.1	8.7	8.4	8.4	9.3	9.1	8.7	9	11	11	11	11
15	7.2	7.3	7.4	7.3	8	8.3	8.3	8.2	10	11	11	11
20	7.3	7.1	7.4	7.2	8.2	7.9	8	8	11	11	11	11
25	5.8	6.7	5.9	6.1	8.3	7.7	7.8	7.9	10	10	10	10
30	5.6	6.4	6.4	5.9	6.8	6.9	6.7	6.7	8.9	8.9	8.9	8.3

Testigo (T1) = suelo normal, tratamiento 2 (T2) = suelo + 20 g de aditivo orgánico y tratamiento 3 (T3) = suelo + 40 g de aditivo orgánico, con tres repeticiones (R1, R2 y R3).

La Figura 4 presenta las curvas de humedad a través del tiempo, siendo el tratamiento 3 el que mejor características tiene, superando al testigo y 2. El umbral de riego muestra de 10 cm de profundidad, donde el tratamiento 3 tiene demasiada humedad retenida en 16 cm y va disminuyendo de manera gradual, de acuerdo al tiempo de riego, donde los tres tratamientos tienen el mismo tiempo de riego de 1 h, el testigo de acuerdo al riego de presiembrado necesita más tiempo de riego para cumplir las necesidades requeridas y siendo mejor el tratamiento 3.

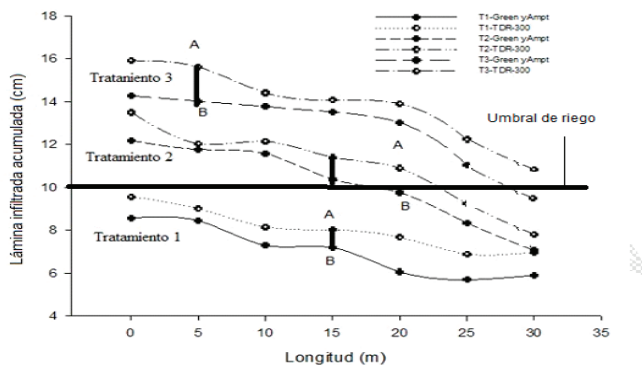


Figura 6. Comportamientos de las láminas infiltradas estimadas con el modelo de Green y Ampt y el sensor TDR-300, en un suelo de Guasave, Sinaloa.
Figure 6. Behavior of the infiltrated sheets estimated with the Green and Ampt model and the TDR-300 sensor, in a soil from Guasave, Sinaloa.

CONCLUSIONES

En la evaluación que se presenta en esta investigación el modelo de Green y Ampt puede ser utilizado para determinar las láminas infiltradas acumuladas aplicando, ya que los datos derivados de las estimaciones con el modelo fueron muy similares a los estimados de las mediciones de humedad aplicando riego por gravedad con el sensor TDR-300. La incorporación de aditivos orgánicos mejoró las propiedades físicas densidad aparente en 5%, porosidad total en 7% y la conductividad hidráulica en 6%, las cuales evaluaron la capacidad de retención de humedad de los suelos y mayor uniformidad en la aplicación del agua. Los materiales orgánicos, mejoran la retención de humedad aplicando cantidades homogéneas, de acuerdo a la evaluación el error entre los tratamientos que muestran los datos de lámina infiltrada con TDR-300 y el coeficiente de uniformidad de Chisteasen queda demostrado, que son una alternativa viable y pueden ser aplicados de acuerdo al tipo de cultivo.

REFERENCIAS

- Ali, S., Islam, A., Mishra, P. K. y Sitka, A. K. 2016. Green and Ampt approximations: a comprehensive analysis. *Journal of Hydrology*. 535: 340-355.
- Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Flores-de la Rosa, F. R., Velázquez-Mendoza, V., López-Vázquez, M., Cabrera-Mireles, H. y Antonio-Vázquez, E. 2021. Molecular identification and evaluation of bacteria in the vegetative development and production of habanero. *Biotecnia*. 23(3): 151-157.

- Belaqziz, S., Fazziki, A. E., Mangiarotti, S., Le Page, M., Khabba, S., Raki, S. E. y Jarlan, L. 2013. An agent based modeling for the gravity irrigation management. *Journal of Procedia Agriculture the Environmental Sciences*. 19: 804-813.
- 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.
- 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.
- Deng, P. y Zhu, J. 2016. Analysis of effective Green and Ampt hydraulic parameters for vertically layered soils. *Journal of Hydrology*. 538: 705-712.
- García, V. 2007. Water infiltration and flow measuring of streams in la sierra de Quila. *Agrociencias*. 2: 1125-1132.
- 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.
- Mendoza-Sánchez, L. G., Rodríguez-España, M., Martínez-Rodríguez, J., García-Galindo, H. S., De la Cruz-Medina, J., Cano-Sarmiento, C. y Monroy-Rivera J. A. 2021. Evaluation of the development and stability of a vanilla (*Vanilla planifolia*) emulsion from a non-alcoholic extract. *Biotecnia*. 23: 1-26.
- Habili, M. J., y Heidarpour, M. 2015. Application of the Green and Ampt model for infiltration into layered soils. *Journal of Hydrology*. 527: 824-832.
- Kostiakov, A. 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. *International Society of Soil Science*. 6: 17-21.
- Mao, L., Li Y., Hao, W., Zhou, X. y Xu, C. L. T. 2016. A new method to estimate soil water infiltration based on a modified Green and Ampt model. *Soil and Tillage Research*. 161: 31-37.
- Moret, F. y Latorre. 2016. Estimate of the soil water retention curve from the sorptivity and parameter calculated from an upward infiltration experiment. *Journal of Hydrology*. 22: 95-98.
- Mun, S., Sassenrath, G.F., Schmidt, A., Lee, N., Wadsworth, M.C., Rice, B., Corbitt, Jason Q., Schneider, J.M., Tagert, M.L., Pote, J. y Prabhu, R. 2015. Uncertainty analysis of an irrigation scheduling model for water management in crop production. *Agriculture Water Management*. 155: 100-112.
- Muñoz-Carpena, R. y Gowdisha, L. 2005. Aplicación del método de infiltración de Green and Ampt con redistribución de humedad del suelo entre encharcamientos. VII Jornada de investigación en zonas no saturada del suelo. 205-213.
- Ndiaye, B., Molénat, J., Hallaire, V., Gascuel, C. y Hamon, Y. 2007. Effects of agricultural practices on hydraulic properties and water movement in soils in Brittany (France). *Soil and Tillage Research*. 93: 251-263.
- Prado-Hernández, J. V., Pascual-Ramírez, F., Cristóbal-Acevedo, D., Carrillo-García, M., Hernández-Saucedo, F. R. y Martínez-Ruiz, A. 2017. Evaluation of Green and Ampt infiltration equation in some agricultural soils in México, using USDA information and a modified method from Brooks and Corey. *Interciencia*. 42(9): 563-569.
- López-Pacheco, A. A., Escárcega-Bobadilla, M. V., Mondragón-Camarillo, L., Hayano-Kanashiro, C., Varela-Romero, A., Vilchez-Vargas, R. y Calderón, K. 2020. Evaluation of the

- nitrogen cycle in an agricultural soil disturbed with nickel-salphen and zinc-salphen compounds. *Biotecnia*. 23: 12-23.
- Rallo, G., Agnese, C., Minacapilli, M. y Provenzano, G. 2011. Comparison of SWAP and FAO agro-hydrological models to schedule irrigation of wine grape. *Journal Irrigation and Drainage*. 12: 581-591.
- Rao, M.D., Raghuwanshi, N.S. y Singh, R. 2009. Development of a physically based 1D- infiltration model for seal formed irrigated soils. *Agricultural Water Mananagent*. 85: 165-174.
- Ravazzani, D., Ricart, S., de Cartagena, F.R., Monserrat, J., de Lima, I. y Gandolfi, C. 2018. Prospects for improving gravity-fed surface irrigation systems in mediterranean European contexts. *Water* 9. 1: 20-27.
- Reatto, A., da Silva, E. M., Bruand, A., Martins, E. S. y Lima, J. E. F. W. 2008. Validity of the centrifuge method for determining the water retention properties of tropical soils. *Soil Science Society of America Journal*. 72: 1340-1547.
- Schindler, U., Durner, W., von Unold, G. y Müller, L. 2010. Evaporation method for measuring unsaturated hydraulic properties of soils. *Science Society of America Journal*. 74: 1071-1083.
- Yin, H. B. y Patel, J. 2018. Comparison of methods to determine the microbial quality of alternative irrigation waters. *Agricultural Water Management*. 201: 38-45.