

MANEJO DE LA VEGETACIÓN Y SU IMPACTO EN LA RESPUESTA HIDROLÓGICA DEL SUELO EN UN PASTIZAL SEMIÁRIDO

VEGETATION MANAGEMENT AND THEIR IMPACT ON THE SOIL HYDROLOGICAL RESPONSE IN A SEMIARID RANGELAND

Miguel Agustín Velásquez Valle^{1*}, Ramón Gutiérrez Luna², Jesús Arcadio Muñoz Villalobos¹

¹Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. km 6.5 Canal Sacramento. C. P. 35140. Gómez Palacio, Dgo. MÉXICO.

²Campo Experimental de Zacatecas. km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo. Apdo. Postal 18. C. P. 98500. Calera de Víctor Rosales, Zac. MÉXICO.
Correo-e: velasquez.agustin@inifap.gob.mx (*Autor para correspondencia)

RESUMEN

El proceso de infiltración es influido por las prácticas de manejo de suelo y vegetación en áreas de pastizales. En el estado de Zacatecas los pastizales nativos ocupan más del 70 % de su superficie, y uno de los principales problemas es la pérdida de cobertura sobre el suelo a causa del sobrepastoreo. Con el propósito de evaluar el impacto de diferentes manejos sobre la infiltración, se ensayaron tres tratamientos: a) exclusión al pastoreo (E), b) exclusión + rodillo aereador (E+R) y c) pastoreo continuo (PC), en dos sitios del pastizal mediano abierto: Viboritas y Benito Juárez, Zacatecas. La tasa de infiltración fue obtenida utilizando un simulador de lluvia portátil tipo Asseline. Los resultados muestran que para los dos sitios los promedios de las tasas de infiltración del tratamiento de PC ($27.0 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) no fueron significativamente diferentes ($P\leq 0.01$) a las tasas de infiltración de los tratamientos de E ($32.6 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) y de E+R ($30.3 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$).

Palabras clave adicionales: hidrología, exclusión al pastoreo, tasa de infiltración, pastizal mediano abierto, Zacatecas.

ABSTRACT

Infiltration process is influenced by soil and vegetation management practices in areas of grasslands. In the state of Zacatecas, Mexico, native grasslands take up over 70 % of the surface. One of the main problems is the loss of soil cover caused by overgrazing. Three treatments were applied in order to assess the impact of different infiltration managements: a) exclusion of grazing (E), b) exclusion + aerator roller (E+R), and c) continuous grazing (PC) in two sites of medium open grassland: Viboritas and Benito Juarez, Zacatecas, Mexico. Infiltration rate was obtained using a rain simulator type Asseline. Results showed that both sites the average of infiltration rate of treatment PC ($27.0 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) were not significantly different ($P\leq 0.01$) to the infiltration rate of treatment E ($32.6 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) and E+R ($30.3 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$).

Additional key words: hydrology, exclusion of grazing, infiltration rate, medium open grassland, Zacatecas.

INTRODUCCIÓN

En México las áreas de pastizal mediano abierto dentro del Desierto Chihuahuense ocupan alrededor de 8 millones de hectáreas (COTECOCA, 1980), de las cuales 2.5 millones se localizan en el estado de Zacatecas. En este ecosistema, además de sus aportaciones a la producción de agua, la ganadería extensiva juega un rol importante, pues en este estado la actividad económica está basada en el desarrollo del sector primario (Serrato *et al.*, 1999; Jasso *et al.*, 2005; Gutiérrez *et al.*, 2007).

Echavarría *et al.* (2009) reportan que en áreas de pastizal o uso pecuario la superficie estatal clasificada con un alto deterioro es de más de 994 mil hectáreas. Una de las principales causas del deterioro de los pastizales es la pérdida de cobertura sobre el suelo a causa del sobrepastoreo, aumentando con ello las posibilidades de que las pérdidas por erosión hídrica sean mayores que las observadas en un pastizal con carga animal controlada (Warren *et al.*, 1986b; Pluhar *et al.*, 1987; Warren, 1987; De la Orden *et al.*, 2006). En los pastizales se han identificado variables que se relacionan con el proceso de infiltración, destacando el tipo de vegetación, prácticas mecánicas, sistemas de pastoreo y exclusión al pastoreo (Branson *et al.*, 1981; Tromble 1980; Sánchez, 1984; Giordanengo *et al.*, 2003; Tate *et al.*, 2004; Kato *et al.*, 2009). Aunque se dispone de información sobre el impacto hidrológico en otros tipos de pastizales en el estado de Zacatecas (Sánchez, 1984; Echavarría *et al.*, 2009), no existe información actualizada del comportamiento hidrológico en el pastizal mediano abierto.

En zonas áridas, una de las estrategias para captar, almacenar e infiltrar el agua de lluvia es modificar la morfología de la capa superficial del suelo al incrementar su rugosidad. Una manera de lograr lo anterior es mediante la construcción de pequeños pozos para captar humedad. El implemento utilizado para hacer estos pozos es el rodillo aireador, cuyo impacto sobre las tasas de infiltración es aún mayor y en un plazo más corto (Mata *et al.*, 2009; Rubio, 2009). El objetivo del presente estudio fue determinar el impacto de aplicar prácticas de manejo de vegetación sobre las tasas de infiltración, en diferentes localidades del pastizal mediano abierto en el estado de Zacatecas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio

El estudio se realizó en dos sitios del estado de Zacatecas, representativos del tipo de vegetación conocida como pastizal mediano abierto dentro del desierto Chihuahuense. Los sitios corresponden a los ejidos de Benito Juárez y Viboritas, ubicados en los municipios de Zacatecas y Guadalupe, respectivamente (Figura 1). El clima del lugar es semiárido-templado, con una precipitación promedio anual de 450 mm, distribuidos principalmente durante el verano con 95 %. La temperatura promedio anual es de 18 °C, con máxima de 32 °C en primavera y mínima de -5 °C en invierno. La fisiografía de los terrenos se presenta por lo general con una topografía plana, con una pendiente promedio menor al 3 %. La vegetación actual en ambos sitios

es una comunidad que pertenece al pastizal mediano abierto, en el cual las principales especies de interés forrajero corresponden a los zacates navajita (*Bouteloua gracilis*), banderilla (*Bouteloua curtipendula*), lobero (*Lycurus phleoides*) y otros géneros como *Aristidas* y *Muhlenbergia*. La carga animal de estos sitios determinada por COTECOCA (1980) es de 10 a 15 ha por unidad animal (UA) al año. Sin embargo, Gutiérrez *et al.* (2008) actualizaron la capacidad de carga animal del pastizal y encontraron que corresponde en promedio a 20 ha UA año, para las mismas localidades.

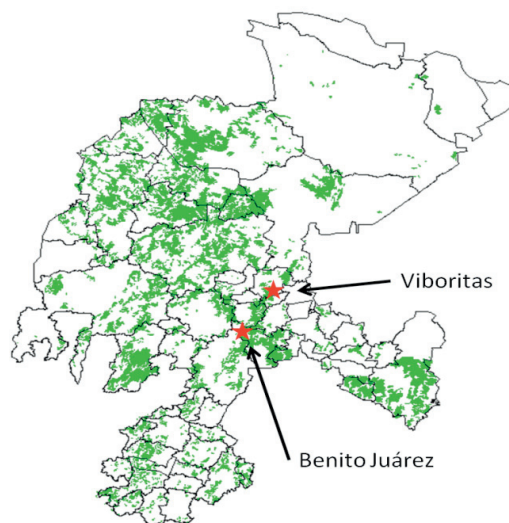


FIGURA 1. Distribución espacial del pastizal mediano abierto del estado de Zacatecas y los sitios de muestreo para cálculo de las tasas de infiltración (Medina *et al.*, 1998).

Los tratamientos de manejo de vegetación en las áreas de estudio fueron los siguientes:

Exclusión al pastoreo (E). Consiste en evitar que el ganado pastoree una determinada superficie, favoreciendo los procesos de sucesión secundaria de la vegetación nativa. Este tratamiento se implementó en el verano de 2006 en ambas localidades. Para evitar que el ganado apacentara el área excluida se utilizaron cercos perimetrales con cinco alambres de púas distribuidos equidistantemente a 30 cm uno de otro y distancia entre postes de 3.0 m.

Excluido al pastoreo + Rodillo aireador (E + R). Para evaluar el escenario de exclusión al pastoreo complementado con una práctica mecánica de rehabilitación de suelos de pastizales, se estableció en el mismo año de 2006 un tratamiento con rodillo aireador en pastizal excluido al pastoreo. El rodillo aireador consta de dos cilindros metálicos, con cuchillas dispuestas de una manera helicoidal. El propósito de estas cuchillas es penetrar en la superficie del suelo para fomentar la infiltración y captación de agua de lluvia. El rodillo mide 3 m de longitud, de 0.75 a 1.2 m de altura y tiene hasta 120 cuchillas y peso de 11 toneladas (Berlanga, 2009).

Pastoreo continuo (PC). En este tratamiento no se considera ninguna restricción al pastoreo ya que el ganado utiliza todo el año la superficie del pastizal, lo que favorece la selectividad de especies vegetales clave de manejo como son los zacates del género *Bouteloua*; además hay una carga animal generalmente no ajustada y que excede la capacidad de carga del pastizal, retrasando por sobreutilización la recuperación de las plantas después de una defoliación debido a la frecuencia de pastoreo por el ganado. La condición de los terrenos en estas condiciones de manejo se caracteriza por presentar un estado de erosión hídrica avanzada, observándose alta densidad de cárcavas con diferente grado de crecimiento.

VARIABLES REGISTRADAS

El periodo de muestreo es de octubre de 2008, lo cual corresponde al término de la época húmeda del pastizal. A continuación se enlistan las variables de suelo, vegetación e hidrología que caracterizan los tratamientos evaluados y que están relacionadas con el proceso de infiltración.

Humedad antecedente en suelo (%). El contenido de humedad en el suelo antes y después de las pruebas de aplicación de la simulación de lluvia se determinó mediante el método gravimétrico. Dos muestras de suelo se obtuvieron junto a la parcela de escurrimiento a una profundidad entre 5 y 15 cm. Para estimar el contenido de humedad, las muestras fueron pesadas en húmedo y secadas en la estufa hasta peso constante a 105 °C durante 24 h.

Densidad aparente en suelo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Al iniciar la prueba de infiltración en la condición húmeda, la muestra de suelo para humedad sirvió en cada repetición para determinar la densidad aparente del mismo, considerando el método del cilindro de volumen conocido (Blake, 1965). La muestra se obtuvo utilizando un tubo de PVC hidráulico de 10 cm de altura. De esta manera, una vez determinado el peso seco de la muestra, éste se divide

entre el volumen conocido de la barrena de PVC, y el cociente es la densidad aparente del suelo.

Microrrelieve del suelo (DS). Con el propósito de conocer un valor relativo a la microtopografía de la superficie del suelo dentro de la parcela de escurrimiento, se utilizó un rastrillo de 20 agujas (Figura 2). La desviación estándar de las 20 lecturas de la altura de la superficie del suelo arriba y abajo con respecto a un nivel de referencia, representa un valor de la variabilidad del perfil de la superficie (Kincaid y Williams, 1966; Pierson *et al.*, 2007).

Cobertura basal de suelo (%). Con el rastrillo o marco de puntos se estimó la cobertura basal del suelo. Se registraron las variables zacate, mantillo orgánico animal o vegetal, hierba de hoja ancha, suelo desnudo y pedregosidad cada vez que la aguja tocó con su punta la variable correspondiente. Por cada cuadrante se utilizó un transecto de 1 m de longitud y se determinó la cobertura basal antes de realizar la aplicación de la lluvia. Con la lectura de las 20 agujas se determinó el porcentaje de la cobertura del suelo para cada elemento encontrado en la línea de muestreo (Bonham, 1989).

Producción de materia seca (g). Al finalizar las simulaciones de lluvia en cada parcela, se procedió a cosechar la producción aérea o biomasa de las plantas de zacate hoja ancha; además, se colectó todo el mantillo orgánico dentro de cada parcela de escurrimiento de 1 m². Las muestras en bolsas de papel se colocaron en la estufa a 65 °C hasta mantener un peso constante para obtener la materia seca, con precisión de ± 1 mg.

Infiltración. Para determinar la velocidad final de infiltración y la conductividad hidráulica saturada, se hicieron pruebas de infiltración en los tratamientos de manejo anteriormente mencionados en el otoño de 2008. Para calcular las tasas de infiltración en campo se utilizó un infiltrómetro portátil tipo Asseline (Figura



FIGURA 2. Infiltrómetro portátil tipo Asseline (Asseline, 1978).

2). El infiltrómetro simula lluvia mediante la aplicación de agua sobre una superficie de 4 m². La simulación de lluvia se puede realizar a una intensidad constante o mediante el diseño de una tormenta variando la intensidad. El rango de intensidades varía de 10 a 140 mm·h⁻¹ (Asseline, 1978). Las pruebas de infiltración tuvieron una duración de 60 min con intensidades de lluvia que promediaron 42 mm·h⁻¹. La superficie experimental fue 1 m². En cada tratamiento de manejo de suelo se realizaron tres repeticiones. Para cada repetición se recabó información de las tasas de infiltración en la condición inicial (condición seca) y al siguiente día (condición húmeda). Las lecturas de la lámina escurrida se hicieron a intervalos de 5 min. Por diferencia entre la lámina precipitada menos la escurrida se obtiene la lámina infiltrada por incremento de tiempo. Durante la prueba se cuantificó el tiempo de inicio del encharcamiento y del escurrimiento, en minutos.

Análisis de la información

Para determinar el impacto de las prácticas de manejo del pastizal sobre las tasas de infiltración, se realizó un análisis de varianza para la tasa de infiltración en condición seca y húmeda,

para lo cual se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas donde la parcela grande correspondió a sitios (localidades) y la parcela chica a tratamientos de uso y manejo del pastizal. Posteriormente se procedió a comparar medias de tratamientos mediante la Diferencia Mínima Significativa (DMS, 0.01). El coeficiente de correlación Pearson (r) se utilizó como criterio para cuantificar el grado de asociación entre los valores de la infiltración y las variables medidas dentro de las parcelas de escurrimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos de manejo implementados, como la exclusión al pastoreo y el paso del rastrillo aireador, alteraron las condiciones de la capa superficial del suelo y la vegetación del pastizal muestreado con respecto a las observadas en las áreas con pastoreo continuo. A pesar de haberse aplicado los tratamientos de manejo del pastizal recientemente (2006), algunas variables medidas *in situ* tuvieron un impacto a corto plazo en las tasas de infiltración. Sin embargo, no se detectaron diferencias estadísticas (DMS, 0.01) entre tratamientos y localidades evaluadas.

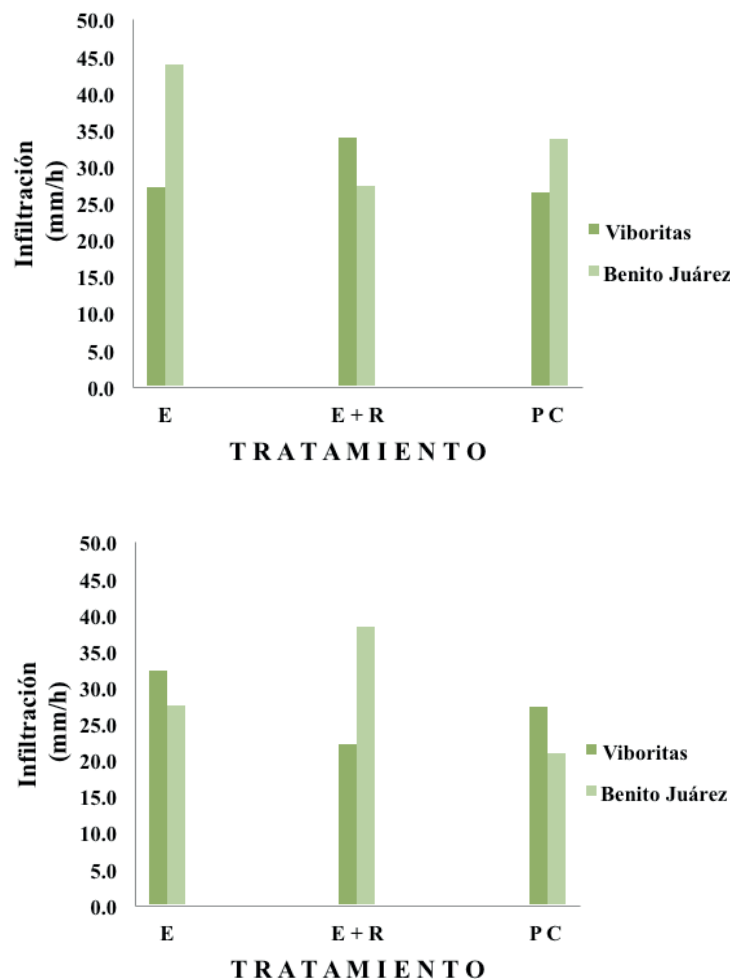


FIGURA 3. Tasa de infiltración promedio (mm·h⁻¹) para las condiciones secas (superior) y húmedas (inferior) de humedad, localidades y tratamientos de Exclusión (E), Exclusión + rodillo (E+R) y Pastoreo continuo (PC).

Impacto de los tratamientos

Con respecto a los sitios de muestreo, las pruebas de infiltración realizadas en la condición seca (Figura 3a) mostraron que las tasas de infiltración en los terrenos excluidos al pastoreo + el uso del rodillo aireador fueron mayores en la localidad de Viboritas (33.7 mm·h⁻¹); mientras que en la localidad de Benito Juárez las tasas de infiltración más altas se calcularon para los tratamientos de exclusión al pastoreo (43.8 mm·h⁻¹). La recuperación de la cobertura vegetal y el mejoramiento de las condiciones de la capa superficial del suelo, influyeron para que el paso del agua a través de la superficie del suelo fuera mayor que en el tratamiento de pastoreo continuo.

Considerando los resultados obtenidos en las pruebas de infiltración realizadas en la condición húmeda (Figura 3b), se encontró que la exclusión al pastoreo en los pastizales de Viboritas es suficiente para infiltrar más agua al subsuelo (32.2 mm·h⁻¹); mientras que en la localidad de Benito Juárez presentó un mayor potencial de incrementar las tasas de infiltración al implementar prácticas de exclusión al pastoreo y/o el uso del rodillo aireador (38.2 mm·h⁻¹). Por lo anterior, se puede mencionar que la implementación de estas dos prácticas de manejo en esta localidad potencia el impacto sobre los procesos hidrológicos.

Bajo condiciones de pastoreo continuo en la localidad de Benito Juárez para las pruebas en húmedo se calcularon las tasas de infiltración más bajas (20.8 mm·h⁻¹) con respecto a las calculadas bajo las mismas condiciones en la localidad de Viboritas (27.1 mm·h⁻¹).

Factores relacionados con la infiltración

El contenido de humedad del suelo antes de iniciar las pruebas de infiltración fue un factor determinante para el cálculo de la tasa de infiltración (Bowyer-Bower, 1993; Kim y Chung, 1994). El espacio poroso en la matriz del suelo cuando se realizaron las pruebas de infiltración en la condición “seca” fue mayor que en la condición “húmeda”, por lo que las tasas de infiltración son menores cuando el aire en el espacio poroso del suelo es desplazado por el agua que se infiltra (condición húmeda). De manera general, el impacto del contenido de humedad antecedente sobre las tasas de infiltración se observa en el Cuadro 1.

La asociación (correlación Pearson) entre las tasas de infiltración con los contenidos de humedad fue mayor en las pruebas

CUADRO 1. Comparación de medias de la tasa de infiltración (mm·h⁻¹) entre localidades del pastizal.

Localidad	Condición de humedad antecedente	
	Seca	Húmeda
Viboritas	28.4	27.2
Benito Juárez	34.6	26.8

en húmedo que aquellas en seco. En la localidad de Benito Juárez se calculó un valor de $r = -0.455$; mientras que para la localidad de Viboritas la correlación entre estas dos variables fue $r = 0.772$. En cuanto a la densidad aparente del suelo, se observó que en la localidad de Viboritas se asoció positivamente con los valores de la tasa de infiltración ($r = -0.537$ y 0.420 para las condiciones seca y húmeda, respectivamente); mientras que en el caso de la localidad de Benito Juárez se encontró una correlación baja entre estas dos variables para las pruebas en seco y húmedo de 0.456 y 0.179 , a pesar de que los valores promedio de la densidad aparente para los tres tratamientos y las tres repeticiones en esta última localidad fue mayor ($1.75 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$) con respecto al calculado en la localidad de Viboritas ($1.51 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$). Se ha reportado que los incrementos de los valores de densidad aparente reducen las tasas de infiltración (Wilcox *et al.*, 1988), debido a que en suelos con valores altos de la densidad aparente el espacio poroso de la matriz del suelo es muy pobre, lo que dificulta la infiltración en la superficie y el movimiento del agua a través de los horizontes sub-superficiales del suelo.

Se encontró una correlación positiva entre las tasas de infiltración y el microrrelieve de la superficie del suelo en las condiciones seca y húmeda en las dos localidades, destacando los valores del coeficiente de correlación más altos en los pastizales de Benito Juárez y para las pruebas en húmedo ($r = 0.027$ y 0.727 , respectivamente), coincidiendo con los resultados reportados por Warren *et al.* (1986a). Lo anterior indica que cuanto mayor sea el microrrelieve de la superficie del suelo, mayor será la tasa de infiltración. Entre tratamientos, se encontró que el microrrelieve de la superficie del suelo fue menor en las parcelas establecidas en los pastizales con pastoreo continuo en las localidades de Viboritas y Benito Juárez (desviación estándar de 0.846 y 0.560 , respectivamente) con respecto a los tratamientos de exclusión de pastoreo (desviación estándar de 1.038 y 0.771 , respectivamente) y exclusión al pastoreo + Rodillo aireador (desviación estándar de 1.173 y 0.706 , respectivamente). Lo anterior es debido al pisoteo del ganado de manera continua que propicia la destrucción de la estructura del suelo, lo que ocasiona que se incremente la compactación de la capa superficial del suelo y disminuya la infiltración. En el caso de los tratamientos de Exclusión al pastoreo (E) y Exclusión al pastoreo + el uso del rodillo aireador (E + R), se propició un incremento en la biomasa producida, lo que impactó en la cobertura de suelo. Al incrementarse las tasas de infiltración por efecto de un incremento en la cantidad de vegetación sobre la superficie del suelo, se ocasionó la reducción del escurrimiento superficial (Lang, 1979; Tate *et al.*, 2004; Kato *et al.*, 2009). Sin embargo, se encontró que la cobertura del suelo no fue un factor determinante sobre las tasas de infiltración. La cobertura del suelo por zacates y mantillo orgánico en estos tratamientos tuvo un rango de 30 a 80 % en la localidad de Viboritas; mientras que en Benito Juárez el rango osciló entre 50 y 90 % y las tasas de infiltración fueron mayores en la localidad de Viboritas.

Las tasas de infiltración en función del tiempo transcurrido en las pruebas de simulación de lluvia realizadas durante 2008 se muestran en la Figura 4. Se observó que en el caso de Viboritas (Figura 4 superior) existe una relación paralela entre el comporta-

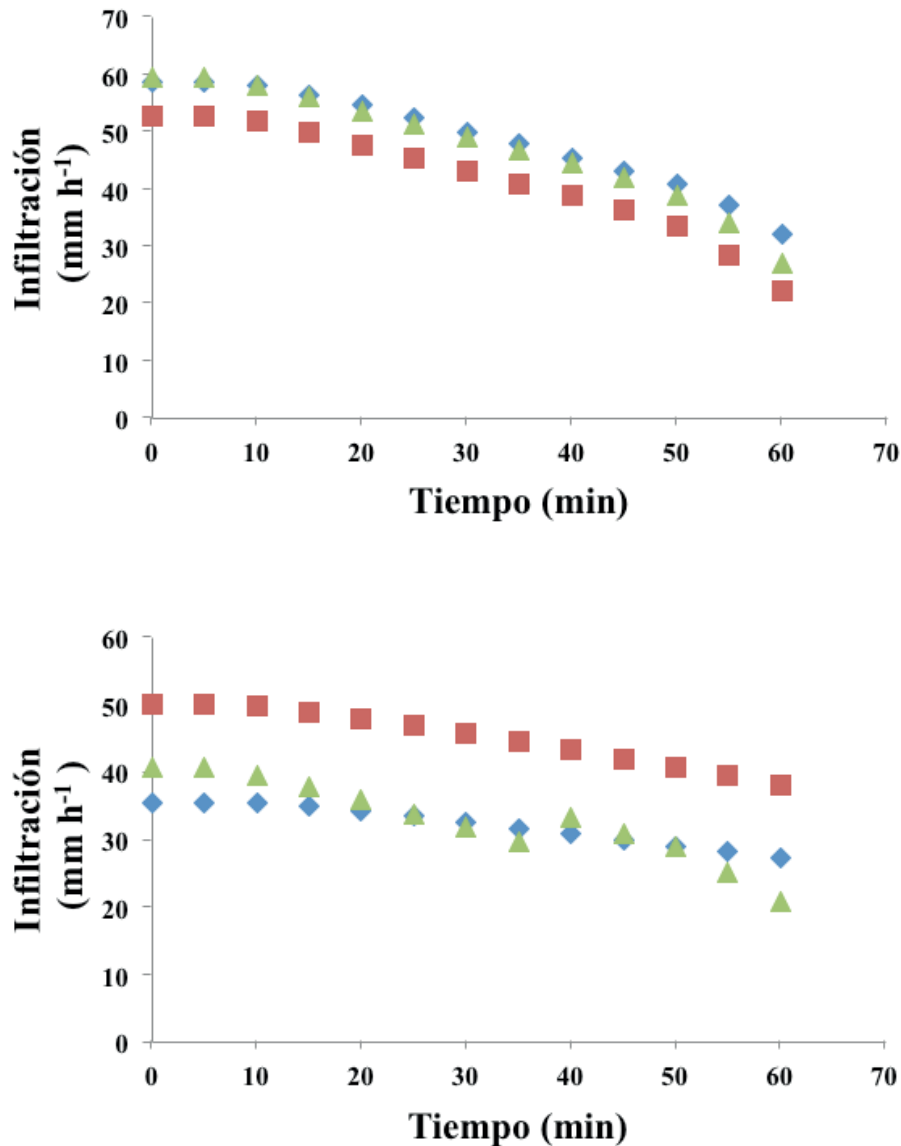


FIGURA 4. Curvas de la tasa de infiltración ($\text{mm}\cdot\text{hr}^{-1}$) para las localidades de Viboritas (superior) y Benito Juárez (inferior) y los tratamientos de Exclusión al pastoreo (◆), Exclusión + Rodillo (■) y Pastoreo continuo (▲).

miento temporal de esta variable y los tres tratamientos evaluados. Es importante señalar que el valor de las tasas de infiltración del tratamiento de exclusión al pastoreo es superior al final de la prueba ($32.2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$). Para la localidad de Benito Juárez (Figura 4 inferior), el comportamiento hidrológico en términos de la tasa de infiltración muestra que el tratamiento de exclusión al pastoreo más el uso del rastrillo aireador fue mayor ($38.2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) con respecto a los tratamientos de exclusión al pastoreo ($27.4 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) y pastoreo continuo ($20.8 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$); debido a que las depresiones en la superficie del terreno causadas por el paso del rastrillo favorecieron la acumulación e infiltración del agua de lluvia. En la Figura 4 se observa un efecto de abstracciones iniciales en el tratamiento de exclusión al pastoreo (intercepción de agua de lluvia por la vegetación y mantillo orgánico) en los primeros 30 min, y que después la tendencia de las tasas de infiltración se muestra asintótica. Por otro lado, el valor de la tasa de infiltración

a los 60 min de iniciada la prueba en el tratamiento de pastoreo continuo fue menor debido a la escasa rugosidad superficial y altos porcentajes de suelo desprovisto de vegetación.

CONCLUSIONES

Respecto a localidades, se determinó que la respuesta hidrológica difiere por calidad del pastizal por sitio, en función de las propiedades físicas del suelo y su manejo, presentándose un mejor potencial en la respuesta hidrológica en la localidad de Benito Juárez. Las tasas de infiltración más altas ($32.2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) en la localidad de Viboritas se presentaron en el tratamiento de exclusión al pastoreo, mientras que en Benito Juárez el valor más alto correspondió al tratamiento de manejo de exclusión al pastoreo + el uso del rodillo aireador ($38.2 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$). Las tasas de infiltración son un

indicador confiable de la respuesta hidrológica del suelo en áreas de pastizal, cuando éste es sometido a diferentes condiciones de manejo. Esta variable hidrológica responde a cambios estructurales y morfológicos de las condiciones de la capa superficial del suelo al momento de ocurrir el proceso de infiltración.

LITERATURA CITADA

- Asseline J. V. C. 1978. *Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion*. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. XV: 321 – 349.
- Berlanga R. C. A. 2009. Uso del rodillo aereador para la rehabilitación de pastizales degradados. Desplegable técnico N° 10. Campo Experimental Saltillo. CIRNE-INIFAP. México.
- Blake G. R. 1965. Bulk density. *In*: Black, C. A. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurements and Sampling*. Agronomy Monograph Series. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin. U.S. A. pp. 374-390.
- Bonham C. H. D. 1989. *Measurements for terrestrial vegetation*. Chapter. 2. Units for measurement. Edit. John Wiley and Sons. USA. pp.19-48.
- Bowyer-Bower T. A. S. 1993. Effects of rainfall intensity and antecedent moisture on the steady-state infiltration rate in a semi-arid region. *Soil Use and Management*. 9: 69-76.
- Branson F. A.; Gifford G. F.; Renard K. G.; Hadley R. F. 1981. *Rangeland Hydrology*. Society for Range Management. Kendall / Hunt Pub. Co. USA.
- COTECOCA, Comisión Técnico-Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero. 1980. Memoria para el Estado de Zacatecas. SARH- Subsecretaría de Ganadería. 243 p.
- De la Orden E. A.; Quiroga A.; Ribera J. D.; Morláns M. C. 2006. Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca, Argentina. *Ecosistemas* 15: 142-147.
- Echavarría Ch. F. G.; Medina G. G.; Rumayor A. R. A. F.; Serna P.; Salinas G. H.; Bustamante W. J. G. 2009. Diagnóstico de los recursos naturales para la planeación de la intervención tecnológica y el ordenamiento ecológico. Libro Técnico No. 10. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP. México.
- Giordanengo J. H.; Frasier G. W.; Trlica M. J. 2003. Hydrologic and sediment responses to vegetation and soil disturbances *J. Range Manage* 56: 152-158.
- Gutiérrez L. R.; Medina G. G.; Amador R. M. D.; Velásquez V. M. A. 2007. Estado productivo del pastizal mediano abierto en Zacatecas. *In*: J. J. Martínez R., M. Vásquez M., A. Martínez R., D. S. Berúmen P. y R. Santana R. (eds.). *Memorias de la XIX Semana Internacional de Agronomía*. FAZ- UJED. 28 al 30 de noviembre. Gómez Palacio, Dgo. México. pp. 340-348.
- Gutiérrez L. R.; Medina G. G.; Amador R. M. A.; Flores O. 2008. Carga animal del pastizal mediano abierto en Zacatecas. Folleto Informativo Núm. 61. Campo Experimental Zacatecas-CIRNOC.INIFAP. México.36 p.
- Jasso I. R.; Sánchez C. I.; Stone M. J. J.; Velásquez V. M.; Royo M.; Estrada A. J. L.; González B. 2005. Los pastizales como productores de agua. Ponencias Magistrales. *In*: II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales Zacatecas, Zacatecas, México. pp. 38-50
- Kato H.; Onda Y.; Tanaka Y.; Asano M. 2009. Field measurement of infiltration rate using an oscillating nozzle rainfall simulator in the cold, semiarid grassland of Mongolia. *CATENA* 76: 173-181.
- Kim S. J.; Chung H. W. 1994. Field evaluation of layered Green-Ampt infiltration Model considering temporal variation of physical properties. *Transactions of the ASAE* 37: 1845-1852.
- Kincaid D. R.; Williams W. 1966. Rainfall effects on soil surface characteristics to erosion and runoff on pasture and range. *J. Range Manage*. 19: 346-351.
- Lang R. D. 1979. The effect of ground cover on surface runoff from experimental plots. *The Journal of the Soil and Water Conservation Service of the New South Wales*. 35: 108-114.
- Mata E.; Cisneros M. I. D. A.; Nevárez M. J. C. 2009. Infiltración en agostaderos de la región semiárida de Durango, México, rehabilitados con rodillo aereador. *In*: *Memorias del VI Simposio Internacional de Pastizales*. Monterrey, Nuevo León, México.
- Medina G. G.; Ruiz C. J. A.; Martínez P. R. A. 1998. Los Climas de México-Una estratificación Ambiental Basada en el Componente Climático. Libro Técnico Núm. 1. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Hidráulicos. INIFAP. 103 p.
- Pierson F. B.; Blackburn W. H.; van Vactor S. S. 2007. Hydrologic impacts of mechanical seeding treatments on sagebrush rangelands. *Rangeland Ecol. Manage* 60: 666-674.
- Pluhar J. J.; Knight R. W.; Heitshmidt R. K. 1987. Infiltration rates and sediment production as influenced by grazing systems in the Texas rolling plains. *J. Range Manage* 40: 240-243.
- Rubio G. E. 2009. Rodillo Aereador. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Colegio de Postgraduados. 8 p.
- Sánchez B. C. 1984. Effects of livestock grazing and exclusion on infiltration and sediments yields for different range sites on El Plateado Watershed. Zacatecas, México. Ph. D. Dissertation. New Mexico State University. Las Cruces, NM. U.S.A.
- Serrato S. R. C.; Valencia C. M.; Del Rio O. F. 1999. Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. *TERRA* 17: 27-34.
- Tate K. W.; Dudley D. M.; McDouglad N. K.; George M. R. 2004. Effect of canopy and grazing on soil bulk density. *J. Range Manage* 57: 411-417.
- Tromble J. M. 1980. Infiltration rates on rootplowed rangeland. *J. Range Manage*. 33: 423-425.
- Warren S. D.; Blackburn W. H.; Taylor C. A. Jr. 1986a. Effects of season and stage of rotation cycle on hydrologic condition of rangeland under intensive rotation grazing. *J. Range Manage* 39: 486-490.
- Warren S. D.; Blackburn W. H.; Taylor C. A. Jr. 1986b. Soil hydrologic response to number of pastures and stocking density under intensive rotation grazing. *J. Range Manage* 39: 500-504.
- Warren S. D. 1987. Soil hydrologic response to intensive rotation grazing: A state of knowledge. *In*: Fok Y. S. (ed.) *Proceedings of the International Conference on Infiltration Development and Application*. Water Resources Research Center, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, USA. pp. 488-501.
- Wilcox B. P.; Wood M. K.; Tromble J. M. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. *J. Range Manage* 41: 197-206.