

REDISTRIBUCIÓN DE LA INFILTRACIÓN DEBIDO A LA VEGETACIÓN NATIVA EN ZONAS SEMIÁRIDAS

Redistribution of Infiltration Due to Native Vegetation in Semi-arid Areas

Ana Berenice García Pérez^{1*}, Enrique González Sosa^{1*}

¹Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
*agarcia279@alumnos.uaq.mx
*egs@uaq.mx

RESUMEN

El Estado de Querétaro, localizado en México, presenta un clima árido y semiárido, poca vegetación y ha sufrido cambios importantes de uso de suelos en los últimos años, los cuales provocan una redistribución de la infiltración. Debido a que en las zonas áridas y semiáridas la cobertura vegetal es menor que en otros climas, en el presente estudio se analiza la importancia del huizache (*Acacia farnesiana*) en la redistribución de la infiltración, pues esta especie constituye gran parte de la vegetación local. En la investigación, fueron determinadas las características del suelo y se realizaron pruebas de infiltración (anillo simple) a distintas distancias y direcciones del tronco de un individuo de huizache. Se obtuvieron 2 tipos de suelos: franco y franco arcilloso. Asimismo, se encontró que los huizaches tienen influencia en los volúmenes y tasas de infiltración en el suelo, que son más lentas conforme se aleja del tronco de éste; aunado a esto, generan un área de influencia fuera de su zona radial, donde la infiltración es más acelerada que en cualquier otro punto del área bajo su copa, lo que se atribuye inicialmente al efecto de la sombra presente en la vegetación. El presente estudio muestra la estrecha relación entre la vegetación nativa de una zona árida y los volúmenes de infiltración presentes en los suelos.

Palabras clave: redistribución, infiltración, anillo simple, huizache, efecto sombra

ABSTRACT

The State of Queretaro, in Mexico, presents an arid and semi-arid climate, little vegetation and has experienced important changes in recent years in land uses, which cause a redistribution of infiltration. Since the vegetation cover is lower in the arid and semi-arid areas than in other climates, the importance of huizache (*Acacia farnesiana*) —the main species in the location— in the redistribution

of infiltration is analyzed in this study. The characteristics of the soil were determined and single ring infiltration tests were carried out at different distances and directions from the trunk of a huizache individual. Two different types of soil were obtained: loam and clay loam. In addition, it was found that the huizaches have an influence on the volumes and rates of infiltration in the soil, which decreases more slowly the further away from the trunk. In addition to this, they generate an area of influence outside their radial zone in which the infiltration is more accelerated than at any other point in the area under their crown, a phenomenon that is initially attributed to the shadow effect present in the vegetation. The present study shows the close relationship between the native vegetation of an arid zone and the infiltration volumes present in the soils.

Keywords: redistribution, infiltration, single ring, huizache, shadow effect

INTRODUCCIÓN

En México, más del 50 % del territorio nacional se encuentra clasificado como zona árida o semiárida. La vegetación nativa de la región central semiárida de México, específicamente en el estado de Querétaro, está constituida de matorral xerófilo, representada en buena medida por pastos y una distribución dispersa de mezquite (*Prosopis laevigata*) y huizache (*Acacia farnesiana*). La fisionomía y composición en áreas con vegetación tiene una influencia fundamental sobre el comportamiento hidrológico de los ecosistemas, la principal razón de esto es que los árboles establecen una eficiente conexión entre el suelo y la atmósfera [1]. Los huizaches, en su forma arbórea, pueden tener de 3 a 10 m de altura, con una copa redondeada, troncos cortos y delgados [2]. Los cambios de uso de suelo en el Estado de Querétaro se han presentado con mayor medida en los últimos años debido al crecimiento de la zona urbana. Las alteraciones



causadas por los cambios de uso/cobertura de suelos tienen mayores implicaciones en el desarrollo sustentable y contribuyen a procesos como el efecto invernadero, pérdida de la biodiversidad y cambios negativos en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos de la zona [3]. Los árboles modifican el microclima y los procesos que afectan el balance de agua a nivel local, como interceptación, transpiración, infiltración, escurrimiento y evaporación.

Dependiendo de las circunstancias, estos efectos pueden ser beneficiosos para la recarga de agua subterránea en épocas de sequía [4]. Ya que la vegetación es un factor de impacto en el proceso de infiltración de agua en los suelos, se han realizado diversos estudios en diferentes tipos de climas para observar el comportamiento de la vegetación en las propiedades hidráulicas de los suelos [5], [6], [7], [8].

La vegetación modifica la infiltración de varias maneras: puede interceptar parcialmente el agua de lluvia y, junto con el posterior escurrimiento desde el dosel vegetal, modificar la intensidad y el diámetro de las gotas de agua que caen al suelo. En este proceso se reduce la intensidad de la lluvia y aumenta el diámetro de las gotas, lo que permite una mayor proporción de infiltración sobre el agua caída. A pesar de esto, las gotas tienen una menor cantidad de energía cinética al impactar desde menor altura [9] y producen una menor alteración en la capa superficial del suelo, manteniendo un alto valor de la permeabilidad, que no se mantendría si el suelo recibiese el impacto de las gotas sin interferencias [10].

Estos procesos son de especial importancia en las zonas áridas y semiáridas, pues los volúmenes de agua son escasos; sin embargo, contrario a lo que se podría pensar, una cobertura media de la vegetación puede contribuir a recargar los niveles de aguas subterráneas en zonas seca.

Físicamente, un árbol representa una barrera para aminorar el escurrimiento del lado de sotavento. Empero, la inclinación y di-

rección de la lluvia determinan el nivel de funcionamiento del árbol como estructura de obstrucción, ya que delimitan la dirección en la cual influye el árbol; a este efecto, [11] lo denominaron "efecto pantalla". En cuanto al funcionamiento como estructura de control, el dosel de los árboles tiene la capacidad de interceptar el agua de lluvia para retornarla a la atmósfera en forma de vapor, por lo que una fracción de la precipitación nunca llegará a la superficie del suelo [12]. La infiltración del agua en los suelos es un proceso clave en el ciclo hidrológico, ya que controla la relación del agua superficial y el agua subterránea. El contenido de agua en los suelos en las zonas alrededor de las raíces está condicionado por la lluvia y se divide entre el volumen de agua que escurre y el volumen de agua que se infiltra a través de este perfil [13].

El objetivo del presente estudio es conocer la redistribución de la infiltración que causa el huizache (*Acacia farnesiana*) como vegetación nativa dentro de una zona semiárida en una parcela natural en el municipio de Ezequiel Montes, en el Estado de Querétaro, México.

METODOLOGÍA / MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Ezequiel Montes es un municipio localizado en la zona central del estado de Querétaro, México. El lugar posee un clima semiárido con una temperatura media anual de 17 °C, —raramente se presentan temperaturas más altas de 32.5 °C y menores de -2 °C—. La elevación media del municipio es de 1968 msnm y los volúmenes de precipitación son escasos, con una media anual de 287 mm entre los meses de mayo y octubre. La parcela de estudio (Fig. 1) está localizada al oeste del municipio de Ezequiel Montes y está calculada en un área aproximada de 0.19 km².

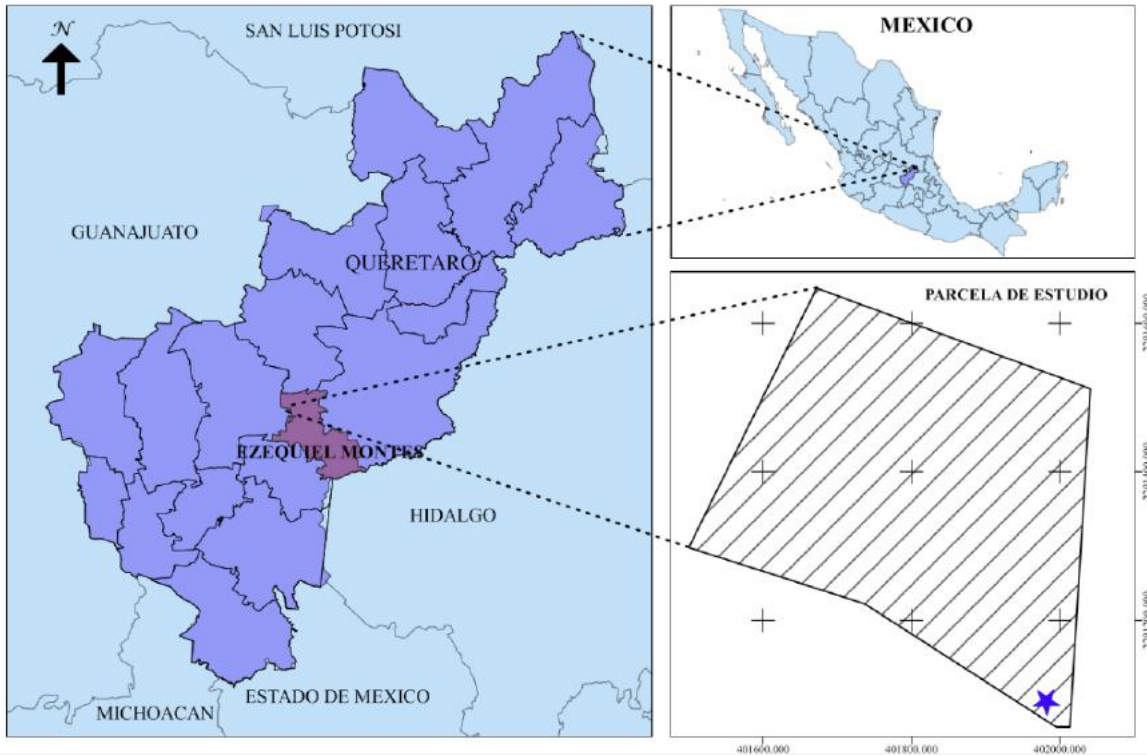


Figura 1. Mapa de localización del individuo de huizache en estudio.

Descripción del individuo en estudio

La especie *Acacia farnesiana*, mejor conocida como huizache, se presenta en las zonas áridas y semiáridas del país. Existe en dos formas: arbusto espinoso y árbol redondeado. En su forma de árbol, generalmente se encuentra con una copa redondeada, hojas plumosas y alternas.

Su tronco suele ser corto, delgado, bastante definido y con un ramificado ascendente, aunque algunas veces en sentido horizontal. Su corteza suele tener entre 5 - 6 mm de grosor y es de carácter fibroso.

Su follaje es perennifolio, aunque su mayor época de florecimiento se da en los meses de lluvia.

El individuo en estudio se presenta en forma de árbol, cuenta con una altura aproximada de 3.40 metros, su dosel llega alcanzar hasta 8.50 metros de diámetro en sus zonas

más alargadas, y tiene un diámetro de tronco a la altura de pecho de 48 cm, aproximadamente.

Localización de los puntos de muestreo

Las pruebas de infiltración y caracterización de suelos se llevaron a cabo en 32 puntos localizados en la zona radial del árbol (Tabla 1), se seleccionaron 8 puntos a distintas distancias desde el tronco del árbol en los 4 ejes del mismo.

Los puntos se trataron de localizar a distancias similares en los 4 ejes (Fig. 1), pero esto no fue posible con exactitud debido a la imposibilidad de emplazar el anillo en algunos puntos por la presencia de rocas.



Tabla 1. Localización de puntos de muestro en individuo de estudio.

Dirección	Punto	Coordenadas		Distancia al tronco (m)	Dirección	Punto	Coordenadas		Distancia al tronco (m)
		X	Y				X	Y	
Norte	N1	2291090.833	401981.444	0.52	Sur	N1	2291090.173	401981.864	0.34
	N2	2291091.756	401980.845	1.60		N2	2291089.498	401982.185	1.04
	N3	2291092.649	401980.385	2.61		N3	2291088.675	401982.609	1.95
	N4	2291093.886	401980.160	3.83		N4	2291088.165	401983.629	2.99
	N5	2291094.618	401980.024	4.56		N5	2291087.814	401984.520	3.88
	N6	2291095.262	401979.898	5.21		N6	2291087.693	401984.920	4.27
	N7	2291095.915	401979.790	5.87		N7	2291087.589	401985.673	4.94
	N8	2291097.617	401979.623	7.55		N8	2291086.63	401987.407	6.92
Oeste	O1	2291089.92	401981.174	0.56	Este	O1	2291090.47	401981.735	0.23
	O2	2291089.221	401980.500	1.53		O2	2291090.84	401982.714	1.27
	O3	2291088.752	401979.567	2.54		O3	2291091.242	401983.424	2.08
	O4	2291088.054	401978.865	3.52		O4	2291091.463	401984.374	3.04
	O5	2291086.982	401977.817	4.97		O5	2291091.538	401985.100	3.74
	O6	2291086.55	401977.330	5.67		O6	2291091.852	401985.567	4.29
	O7	2291086.257	401976.733	6.31		O7	2291091.988	401985.959	4.70
	O8	2291085.162	401974.634	8.64		O8	2291092.818	401987.852	6.77

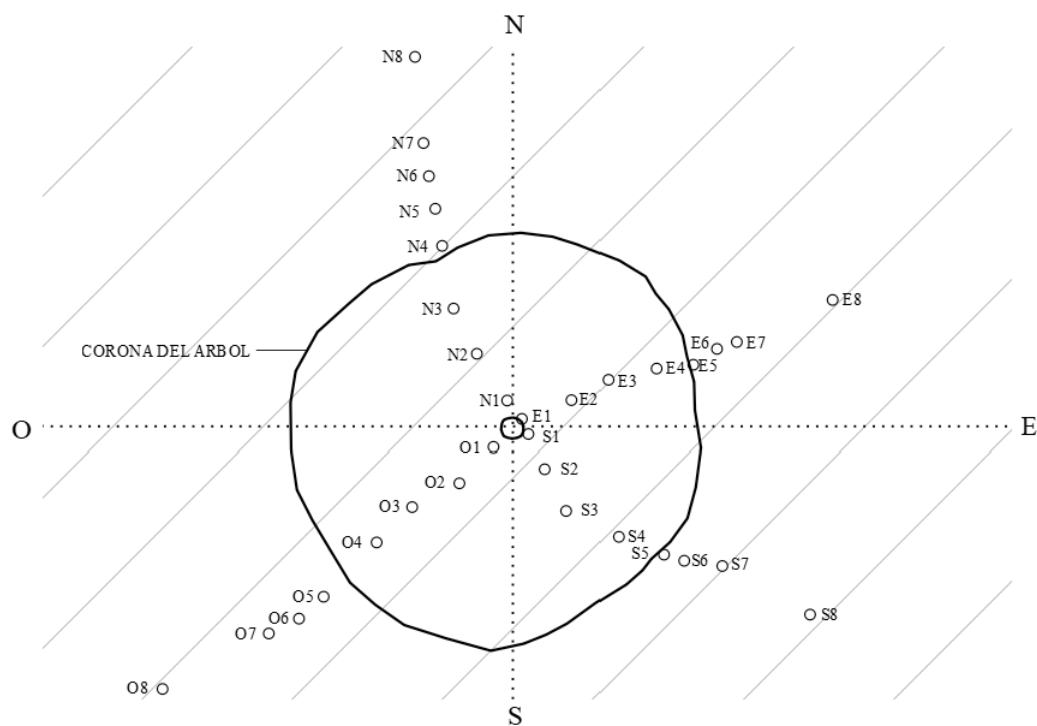


Figura 2. Ubicación de puntos de pruebas de infiltración en la zona radial del árbol.

Pruebas de infiltración

Se realizaron pruebas de infiltración en cada uno de los 32 puntos seleccionados con un anillo simple (Fig. 3) de acero de 25 cm de diámetro interno y una profundidad de 16 cm. El instrumento tiene una graduación en milímetros y centímetros en la pared interna. Para la colocación del anillo en el punto de muestreo es necesario limpiar el área de emplazamiento, retirar la materia orgánica que se encuentre superficialmente y procurar tener una superficie pareja que siga la pendiente natural del terreno. El anillo debe ser insertado en el suelo a través del bisel que tiene en la parte inferior, después se debe colocar un polín de madera sobre éste para golpearlo con un mazo de manera uniforme con el propósito de que entre en el suelo de forma gradual; dependiendo del suelo, se puede enterrar entre 3 y 5 cm. Más tarde, se coloca en un plástico en la cara superior del anillo para colocar un volumen de agua conocido, que en este caso fue de 4.91 litros. Las lecturas se deben iniciar inmediatamente para no perder valores, ya que el volumen que infiltra en los primeros segundos es un indicativo importante del comportamiento del suelo. Las lecturas se llevaron a cabo a distintos intervalos según la rapidez de la prueba; en la mayoría de ellas, se realizó lectura a cada minuto hasta que se infiltró completamente el volumen de agua inicial.

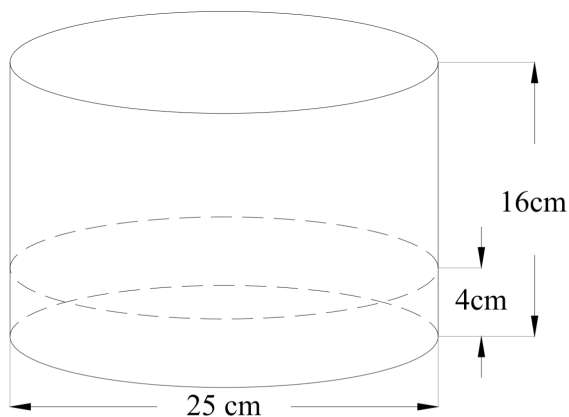


Figura 3. Dibujo esquemático del anillo simple.

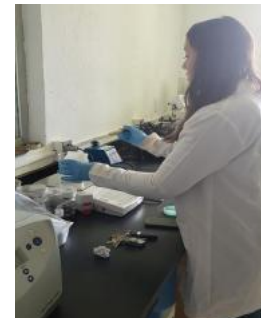
Análisis granulométrico y de textura

Se obtuvieron 4 muestras de suelo de aproximadamente 4 kilogramos en cada zona de estudio del árbol, con el fin de conocer su distribución granulométrica y ubicarla dentro del triángulo de texturas del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). Las muestras fueron colocadas en bandejas de acero y secadas en el horno al menos durante 48 horas, después se cribó a través de los tamices número 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 y 200. Se tomaron 50 g del material que paso la malla 200 y esta porción se utilizó para hacer el análisis de los suelos finos a través del método del hidrómetro de Bouyoucos [Fig. 4].

a)



b)



c)



Figura 4. a) Cribado del material seco a través de los tamices; b) Preparación del material defloculante para el análisis hidrométrico; c) Probetas analizadas a través del método del hidrómetro de Bouyoucos.



Densidad aparente de suelos

Se obtuvieron muestras de cada uno de los 32 puntos con la finalidad de conocer la densidad aparente de cada sitio. Esto se realizó a través de la extracción de un cilindro de 142.5 cm³ de suelo; luego, la muestra fue pesada en campo y finalmente secada al horno para obtener su peso seco.

La densidad aparente (ρ_a), expresa la relación de la masa de suelos seca (M_s) (partículas minerales y materia orgánica) por unidad de volumen total (V_t), la cual está compuesta por el volumen de aire (V_a), volumen de agua (V_w) y volumen de suelo (V_g). La densidad aparente varía mucho, pues depende de la condición estructural del suelo, por ello es usada a menudo como un índice de condición estructural y normalmente se encuentra expresada en: $Mg \cdot m^{-3}$

$$\rho_a = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s + V_w + V_a} \quad (1)$$

Humedad inicial y final del suelo

Las muestras para conocer la humedad fueron tomadas antes y después de realizar las pruebas de infiltración, y se dispusieron para sus lecturas en laboratorio. El contenido de humedad de un suelo se puede expresar como humedad gravimétrica y humedad volumétrica.

Humedad gravimétrica (θ_g)

Es la relación entre la masa de agua (M_w) y la masa de suelo seco (M_s):

$$\theta_g (\%) = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Humedad volumétrica (θ_v)

Es la relación entre el volumen de agua (V_w) y el volumen total o aparente del suelo (V_t) una vez seco:

$$\theta_v (\%) = \frac{V_w}{V_t} \cdot 100 \quad (3)$$

La densidad aparente es la relación entre la humedad gravimétrica y la humedad volumétrica, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$\theta_v = \theta_g \cdot \rho_a \quad (4)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis de granulometría y textura a través del método del hidrómetro de Bouyoucos ubicaron a las pruebas de la zona norte y sur dentro de un suelo franco-arcilloso y, por otra parte, a las muestras de la zona este y oeste dentro de un suelo franco (Fig. 5). Es importante destacar que, a pesar de estar en grupos de suelo distintos, los 4 puntos se encuentran muy cercanos a la frontera entre ambos tipos de suelo.

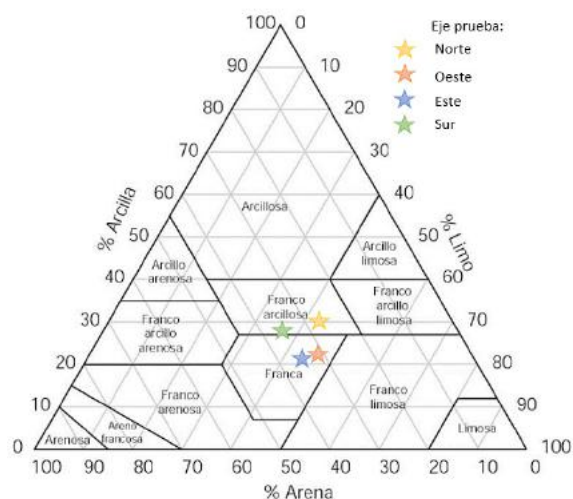


Figura 5. Clase textural de las 4 muestras de suelo.

Las pruebas de infiltración se realizaron utilizando en todas el mismo volumen de agua. En Las pruebas localizadas en la zona Norte, el punto N8 (Fig. 6) es el que presenta la velocidad más lenta, esto se atribuye principalmente a que dicha zona se encuentra

dentro de un jardín donde se sitúa una estación hidrometeorológica, y al cual se accede regularmente, por lo que el suelo podría estar más compactado por el peso al que se ve sometido constantemente. Existen puntos donde la infiltración se ve acelerada en gran medida; por ejemplo, O4 (Fig. 7), E4, E5 (Fig. 8) y S4 (Fig. 9) presentaron tiempos de infiltración de 0.17, 0.26, 0.27 y 0.17 horas respectivamente.

Se puede notar que las zonas Este y Oeste son las que presentaron tiempos de infiltración más cortos a comparación de las zonas Norte y Sur (Tabla 2), tal caso es consecuencia, en gran parte, de que las últimas dos poseen mayor proporción de arcillas.

En la mayoría de las pruebas se encontró una infiltración más acelerada en los primeros minutos de iniciada la prueba, seguida por un lapso en el cual el agua empezó a infiltrar con una tasa más estable hasta que se infiltró el volumen total del anillo.

La humedad inicial del suelo suele ser determinante para los procesos de infiltración en los puntos de estudio. Pero en este caso

se halló que la infiltración inicial fue disminuyendo conforme aumentaba la distancia al tronco del árbol, y no representó mayor influencia en la velocidad de infiltración.

Diversos autores han hecho referencia al comportamiento de la infiltración en la zona cercana a un árbol, y han señalado que la tasa de infiltración se ve disminuida conforme se aleja del tronco del árbol. Sin embargo, en las primeras pruebas realizadas, se encontró que este comportamiento se cumple hasta cierto punto (entre los 3 y 5 metros desde el tronco del árbol), ya que la infiltración en el anillo que se forma alrededor del árbol se ve aumentada en gran medida (Fig. 10). La velocidad de infiltración en las zonas Norte, Oeste, Sur y Este aumentó hasta 1:0.77, 1:0.34, 1:0.78 y 1:0.38, respectivamente, en proporción con la prueba de infiltración más cercana al tronco del árbol en cada zona. Después de esta zona de influencia, la infiltración continúa con la tendencia a la baja, disminuyendo hasta la zona fuera del dosel, en la cual la tasa de infiltración se presenta con mucho menor velocidad (Fig. 11).

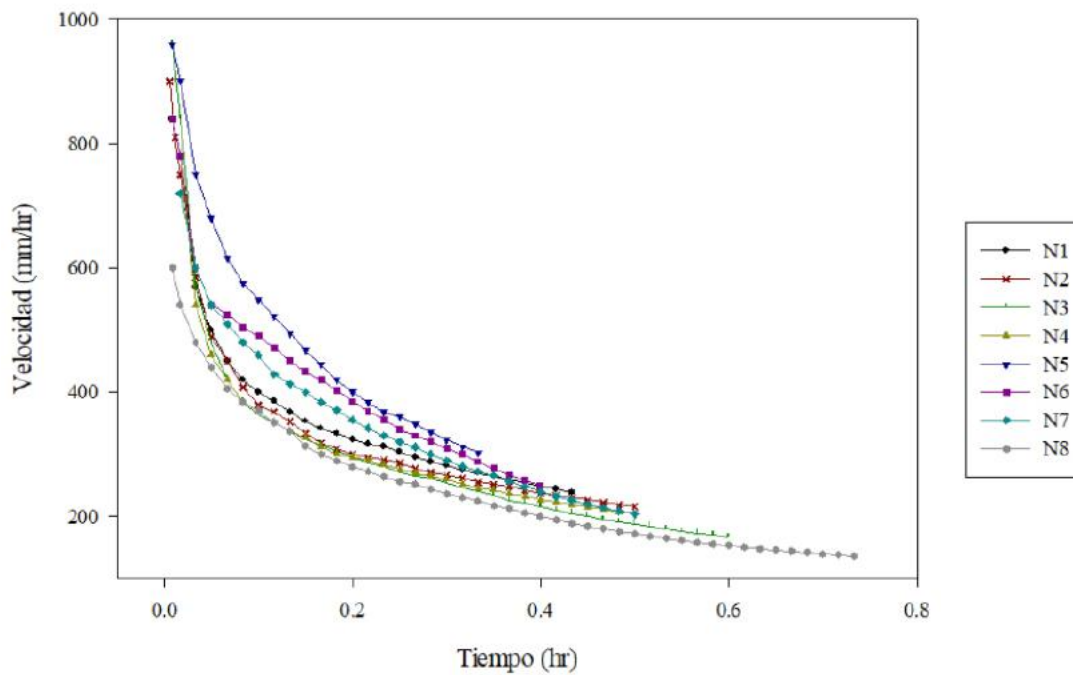


Figura 6. Curvas de infiltración en 8 puntos en la dirección Norte.

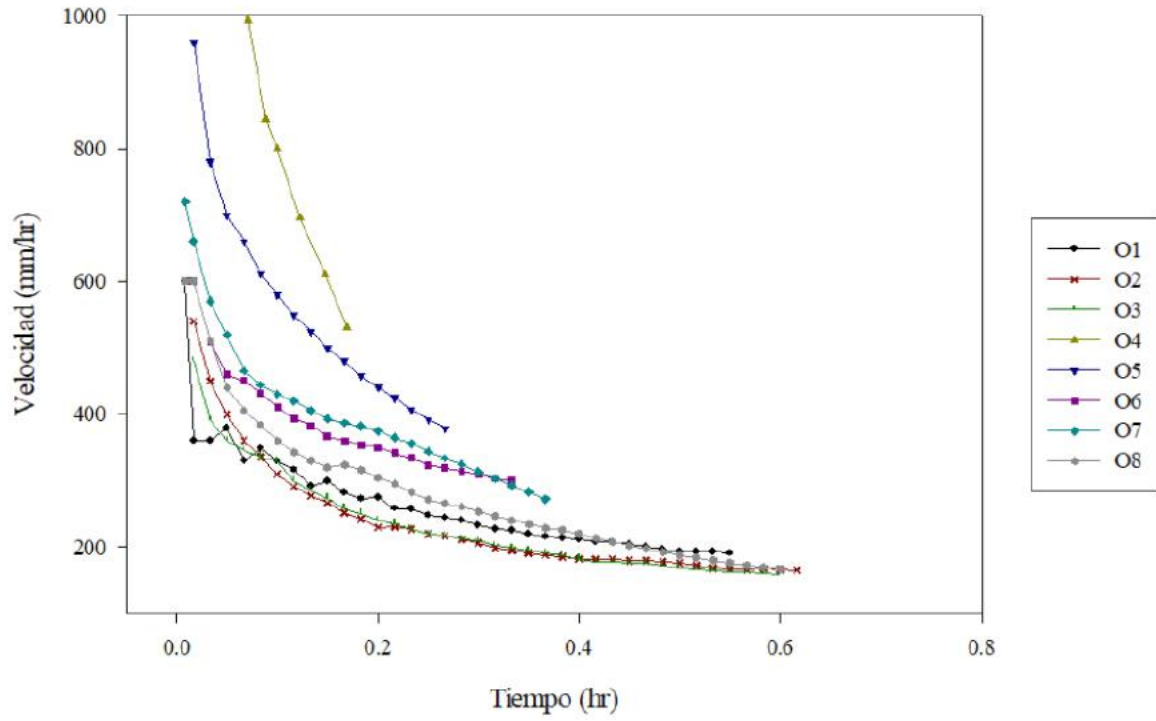


Figura 7. Curvas de infiltración en 8 puntos en la dirección Oeste.

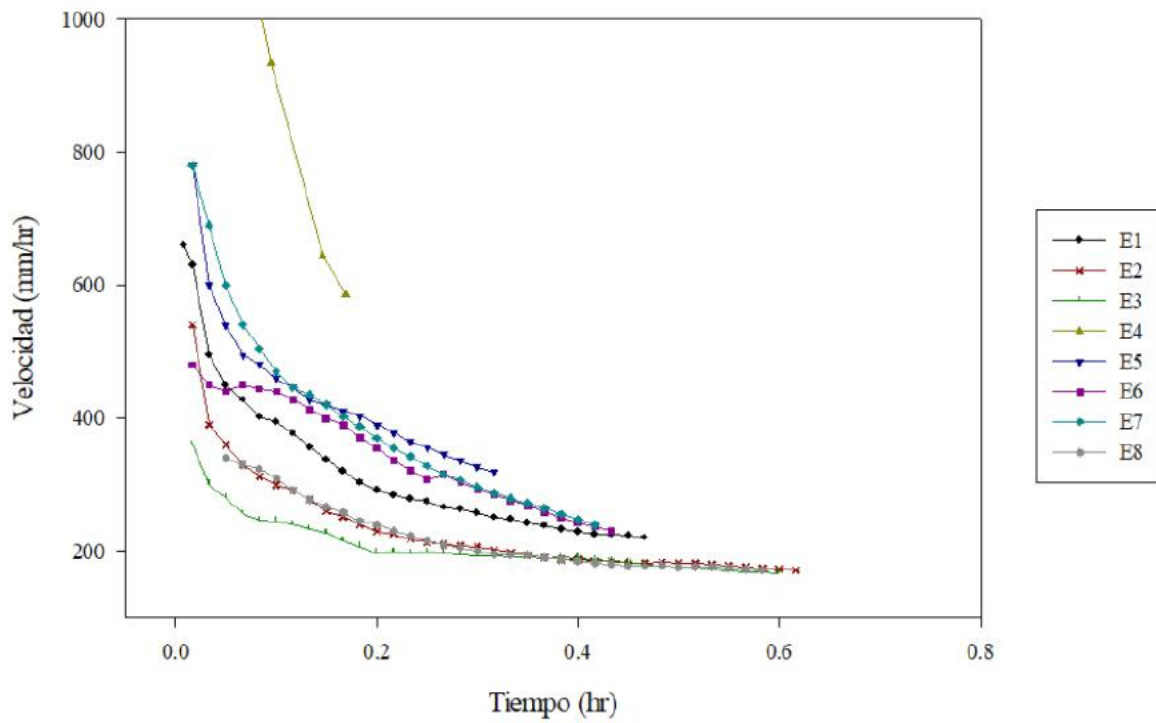


Figura 8. Curvas de infiltración en 8 puntos en la dirección Este.

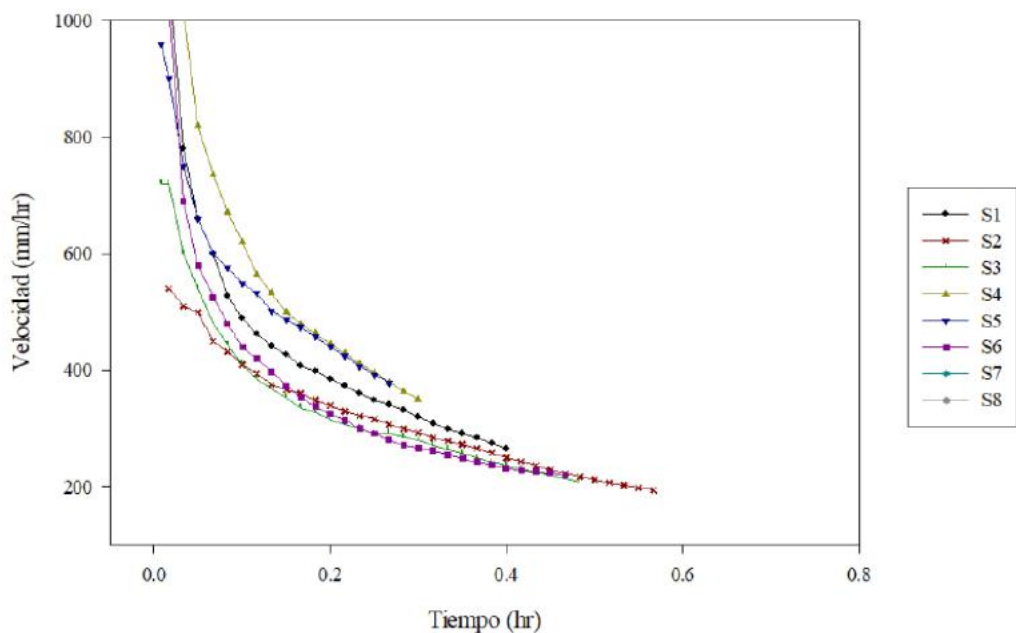


Figura 9. Curvas de infiltración en 8 puntos en la dirección Sur.

Tabla 2. Resumen de los valores de tasa de infiltración para los 32 puntos.

Punto	Clase Textural	Tiempo Infiltración (h)	Tasa de infiltración (mm * h ⁻¹)	% Humedad Inicial	Densidad aparente (mg * m ⁻³)	% Humedad Volumétrica
N1	Franco-Arcilloso	0.43	230.77	9.81	1.33	13.05
N2	Franco-Arcilloso	0.50	200.00	8.74	1.34	11.71
N3	Franco-Arcilloso	0.60	166.67	9.01	1.38	12.43
N4	Franco-Arcilloso	0.48	206.90	7.48	1.42	10.62
N5	Franco-Arcilloso	0.33	300.00	6.37	1.43	9.11
N6	Franco-Arcilloso	0.40	250.00	7.12	1.34	9.54
N7	Franco-Arcilloso	0.47	214.29	6.09	1.19	7.25
N8	Franco-Arcilloso	0.73	136.36	4.48	1.21	5.42



O1	Franco	0.48	206.90	12.14	1.46	17.72
O2	Franco	0.60	166.67	13.42	1.42	19.06
O3	Franco	0.65	153.85	10.07	1.44	14.50
O4	Franco	0.17	600.00	9.95	1.29	12.84
O5	Franco	0.27	375.00	7.88	1.37	10.80
O6	Franco	0.33	300.00	8.03	1.41	11.32
O7	Franco	0.37	272.73	6.07	1.39	8.44
O8	Franco	0.60	166.67	6.18	1.45	8.96
E1	Franco	0.33	300.00	14.18	1.45	20.56
E2	Franco	0.40	250.00	10.17	1.48	15.05
E3	Franco	0.47	214.29	10.91	1.36	14.84
E4	Franco	0.26	387.10	8.73	1.47	12.83
E5	Franco	0.27	375.00	6.14	1.32	8.10
E6	Franco	0.45	222.22	6.58	1.38	9.08
E7	Franco	0.40	250.00	8.47	1.41	11.94
E8	Franco	0.52	193.55	7.05	1.4	9.87
S1	Franco-Arcilloso	0.45	222.22	13.48	1.39	18.74
S2	Franco-Arcilloso	0.57	176.47	14.47	1.37	19.82
S3	Franco-Arcilloso	0.60	166.67	11.39	1.32	15.03
S4	Franco-Arcilloso	0.17	592.30	10.14	1.18	11.97
S5	Franco-Arcilloso	0.32	315.79	8.07	1.23	9.93
S6	Franco-Arcilloso	0.43	230.77	6.04	1.25	7.55
S7	Franco-Arcilloso	0.42	240.00	5.58	1.3	7.25
S8	Franco-Arcilloso	0.58	171.43	5.03	1.19	5.99

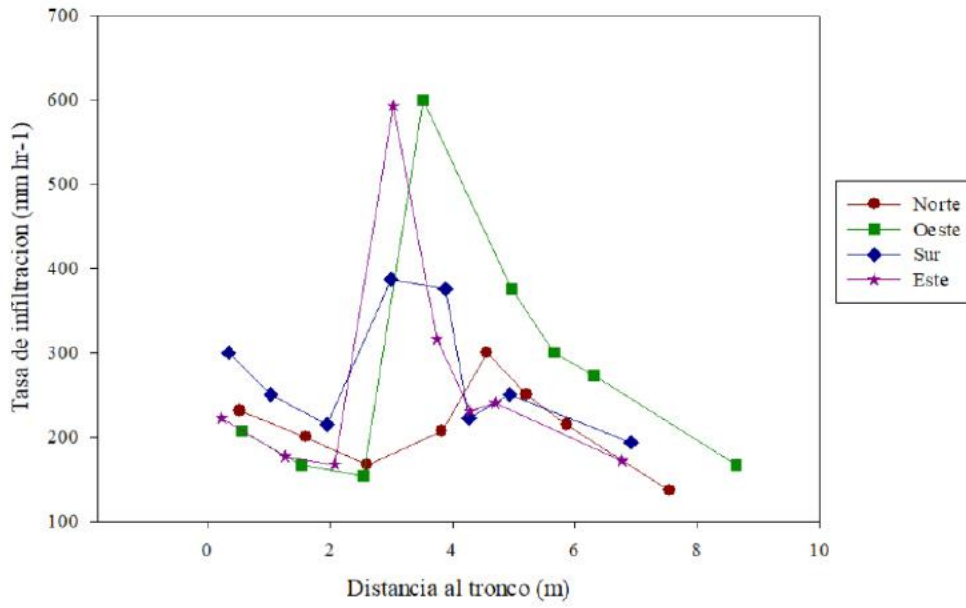


Figura 10. Resumen de tasas de infiltración en las 4 zonas.

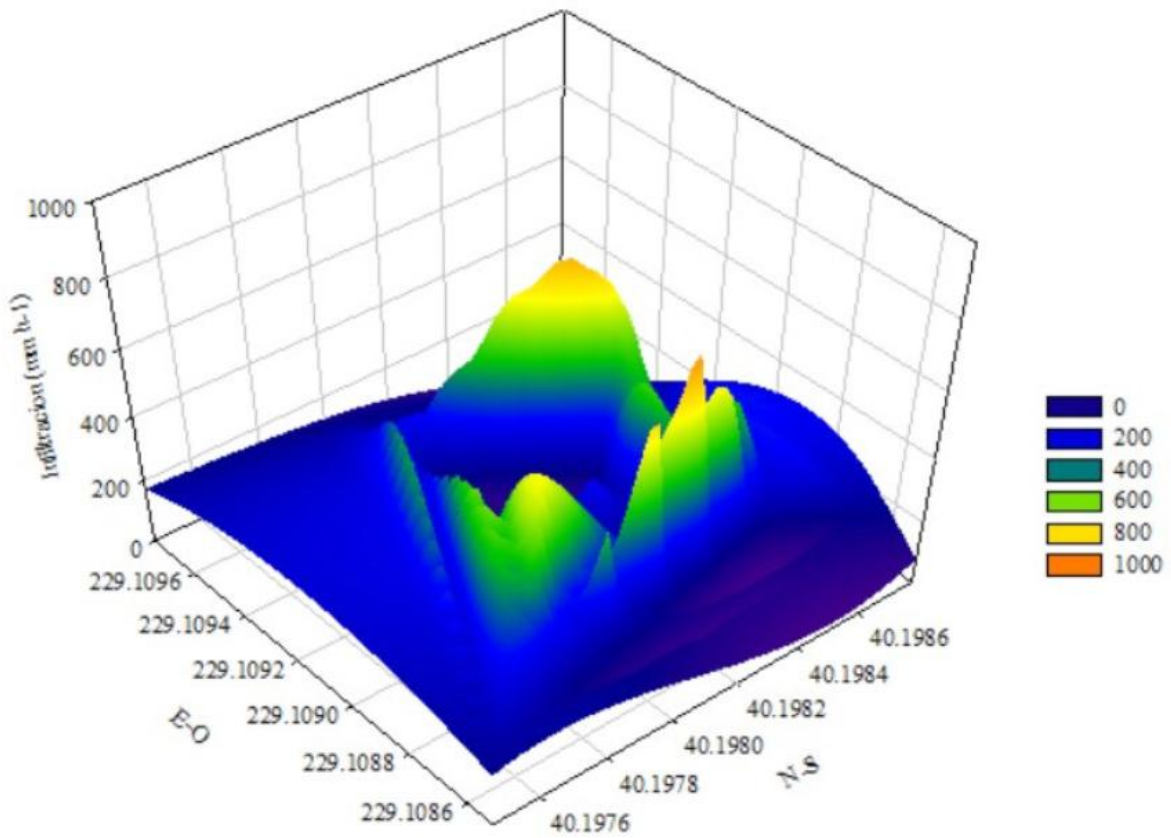


Figura 11. Imagen en 3D del comportamiento de la infiltración en la zona radial del árbol.



CONCLUSIONES

Partiendo de la teoría de que la infiltración se ve disminuida en el área radial conforme nos alejamos del tronco del árbol [14], se halló que este proceso se cumple hasta llegar a la zona del anillo (2 a 5 metros), donde se presenta una infiltración mucho más rápida.

Una vez fuera de esta zona, la infiltración decrece nuevamente. Una de las razones de este comportamiento podría ser la presencia de raíces que se extendieron en sentido horizontal debido a la ausencia de agua en las capas más profundas del suelo, las cuales generan esta zona de influencia por los macroporos originados por las mismas raíces, ya que actúan como conductos por los que el agua circula con mayor facilidad.

Otra razón que podría explicar dicho comportamiento sería que el efecto pantalla ejerce un papel determinante en la velocidad de infiltración del agua en el suelo, dado que genera un área donde las gotas de lluvia no impactan directamente el suelo. Es necesario continuar con estudios en otros individuos de huizache que puedan confirmar la hipótesis de la zona de influencia en la que la infiltración se vea aumentada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la oportunidad de realizar la presente investigación, y a los compañeros y profesores del laboratorio de geotecnia ambiental por las facilidades para realizar las pruebas necesarias; a la señora Leticia Vega por el espacio en la parcela para realizar las pruebas de infiltración; a la Universidad Autónoma de Querétaro y a la coordinación del 13vo Coloquio de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, por darnos el espacio para presentar esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] C. A. Mastachi-Loza, E. González-Sosa, R. Becerril-Piña, and I. Braud, "Pérdidas por intercepción en mezquite (*Prosopis Laevigata*) y huizache (*Acacia farnesiana*) de la región semiárida del centro de México," *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 1, pp. 103-120, 2010.
- [2] (2009) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad website. [Online]. Available: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/mimosaceae/acacia-farnesiana/fichas/ficha.htm>
- [3] J. F. Mas, A. Díaz-Gallegos, J. R. Mayorga-Saucedo, R. Alcántara, C. Bocco, and A. Pérez-Vega, "Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 5, pp. 249-261, oct. 2004.
- [4] M. Kazemi-Zadeh, and A. R. Sepaskhah, "Effect of tree roots on water infiltration rate into the soil," *Iran Agricultural Research*, vol. 35, pp. 13-20, 2016.
- [5] D. J. Eldridge, and D. Freudenberger, "Ecosystem wicks: woodland trees enhance water infiltration in a fragmented agricultural landscape in eastern Australia," *Austral Ecology*, vol. 30, pp. 336-347, 2005.
- [6] F. M. Ata, E. T. Mohd, and K. Mohd, "Impact of interception on infiltration and soil moisture in dipterocarp forest and oil palm plantations in Tasik Chini, Pahang," *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, vol. 19, pp. 1084-1092, 2015.
- [7] L. Benegas, U. Ilstedt, O. Roupsard, J. Jones, and A. Malmer, "Effects of trees on infiltrability and preferential flow in two contrasting agroecosystems in Central America," *Agriculture, ecosystems & environment*, vol. 183, pp. 185-196, Enero 2014.
- [8] U. Ilstedt, A. B. Tobella, H. R. Bazié, J. Bayala, E. Verbeeten, G. Nyberg, and D. Sheil, "Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics," *Nature: Scientific reports*, vol. 6, p. 21930, feb. 2016.

[9] J. Wainwright, A. J. Parsons, and A. D. Abrahams, "Rainfall energy under creosotebush," *Journal of Arid Environments*, vol. 43, pp. 111-120, oct. 1999.

[10] P. C. Véliz-Chavez, E. González-Sosa, S. D. R. Barajas-Ortiz, and N. M. Ramos-Salinas, "El efecto pantalla o sombra de los árboles en la formación de los escurrimientos urbanos," *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 3, pp. 73-87, Oct. 2012.

[11] H. H. Savenije, "The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary," *Hydrological Processes*, vol. 18, pp. 1507-1511, mayo 2004.

[12] Y. Huang, X. Yu, E. Li, H. Chen, L. Li, X. Wu, and X. Li, "A process-based water balance model for semi-arid ecosystems: A case study of psammophytic ecosystems in Mu Us Sandland, Inner Mongolia, China," *Ecological Modelling*, vol. 353, pp. 77-85, junio 2017.

[13] F. P. Lyford, and H. K. Qashu, "Infiltration rates as affected by desert vegetation," *Water Resources Research*, vol. 5, pp. 1373-1376, dic. 1969.

[14] Zapata-Sierra, and F. Manzano-Agugliaro, "Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo," *Agrociencia*, vol. 42, pp. 835-845, oct. 2008.