

SUELO

ARTÍCULO ORIGINAL



<https://eqrcode.co/a/PLbZzl>

Efecto del manejo del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado

Effect of soil management in the infiltration in a compacted Red Ferrolithic Soil

Ing. Leynis Rosales-Naranjo, Ing. Misdiel Pérez-Rodríguez, Dr.C. Julián Herrera-Puebla*,
Ing. José Antonio González-Rodríguez y Dr.C. Greco Cid-Lazo.

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Cualquier acción sobre el suelo que disminuya la tasa de infiltración, restringe la entrada de agua al suelo, y con ello disminuye el beneficio de la lluvia o el riego como suministrador de agua para las plantas. En el presente trabajo se estudió el efecto de la preparación intensiva del suelo con arado y grada de discos (PT) con y sin subsolación (PTS), la agricultura de conservación (AC), áreas de pastos (AP) y áreas boscosas (AB) sobre la tasa de infiltración del suelo Ferralítico Rojo compactado de la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. La infiltración fue determinada por el método de doble anillo y al momento de la prueba se determinó la humedad del suelo y la compactación. Con excepción del sitio AC en que la humedad promedio del perfil fue del 80% de la Capacidad de campo, el resto tuvo valores cercanos al 60%, por lo que puede considerarse que el suelo se encontraba muy seco, la compactación del suelo se relacionó inversamente con el contenido de humedad del suelo ($R^2=0,89$), el mayor valor de infiltración básica (ib) correspondió al sitio PTS que alcanzó un valor de $0,51 \text{ cm hora}^{-1}$, El resto de los sitios se agrupó en dos categorías, uno con promedio de $0,24 \text{ cm min}^{-1}$ (sitios AP, PT y AB) y otro con promedio de $0,33 \text{ cm min}^{-1}$ (sitios AC y PTS); los resultados obtenidos para los AC y AB confirman que las buenas características de infiltración en suelos con cero o mínima labranza.

Palabras clave: tasa de infiltración, compactación, preparación de suelos.

ABSTRACT. Any action on the soil that decreases the infiltration rate restricts the entry of water into the soil, and thereby decreases the benefit of rain or irrigation as a water supplier for the plants. In this work was studied the effect of intensive soil farming with plow and disc harrow without deep ripping (PT) and with deep ripping (PTS), conservation agriculture (AC), pasture areas (AP) and forested area (AB) on soil infiltration, in a Red Ferrolithic soil, in areas of the Agricultural Engineering Research Institute's Experimental Station. The infiltration was determined by the double ring method and at the time of the test were determined the soil moisture and resistance to penetration. With the exception of the AC site in which the average humidity of the profile was 80 % of the field capacity, the rest had values close to 60 %, so it can be considered that the soil was very dry. Soil compaction was related inversely with the soil moisture content ($R^2 = 0.89$), the highest value of basic infiltration (ib) corresponded to the PTS site, that reached a value of $0.51 \text{ cm}\cdot\text{hour}^{-1}$, The rest of the sites were grouped in two categories, one with an average of $0.24 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ (AP, PT and AB sites) and others with an average of $0.33 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ (AC and PTS sites). The results obtained for the AC and AB sites confirm the good infiltration characteristics in soils with zero or minimum tillage

Keywords: Infiltration Rates, Soil Compaction, Soil Tillage.

INTRODUCCIÓN

El elemento central de la producción agrícola sostenible es el manejo apropiado del suelo, ya que este es la base de la

producción agrícola, pecuaria y forestal. Un manejo apropiado del suelo, mantiene la salud del mismo, y minimiza las pérdidas del suelo, la materia orgánica y nutriente.

*Autor para correspondencia: Julián Herrera-Puebla, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

Recibido: 06/01/2020.

Aprobado: 25/09/2020.

Entre los problemas más graves que enfrenta la agricultura cubana, la degradación de los suelos y el no prestarle la debida atención a los procesos que la ocasionan, comprometen seriamente la sostenibilidad alimentaria del país; por lo que hoy se enfrenta el reto de lograr establecer un sistema agrícola sostenible, capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población, para lo cual es imprescindible detener los procesos que degradan los suelos (Instituto de Suelos, 2001).

La producción agrícola continua induce cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, lo cual ha sido adecuadamente documentado en Cuba, en particular para los suelos Ferralíticos Rojos (Hernández *et al.*, 2014). Un factor clave en estas modificaciones, en particular del estado físico del suelo, lo constituye la forma e intensidad con que estos se cultivan. lo constituye la forma e intensidad con que estos se cultivan.

Uno de los efectos más notables del uso de la maquinaria agrícola sobre el estado físico del suelo es el aumento de la compactación del mismo, la cual reduce la porosidad e incrementa la densidad aparente de los suelos dando lugar con esto a la reducción de la tasa de infiltración al compararlo con similar suelo no compactado (Liebig *et al.*, 1993; Li *et al.*, 2001; Hamza y Anderson, 2005; Alejo *et al.*, 2012; Chyba *et al.*, 2014). El tipo de labor de preparación del suelo, al influir sobre la compactación de los mismos según Martínez (2016), también influye sobre la tasa de infiltración.

La infiltración es el movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia el interior del mismo bajo la acción de las fuerzas de gravedad y la atracción capilar entre el suelo y el agua; la velocidad con que ocurre este proceso, en relación con la velocidad de suministro del agua, determina la cantidad de humedad que puede almacenarse en la zona radicular y qué cantidad de la lluvia ocurrida podría convertirse en escurrimiento.

De acuerdo con Anderson *et al.* (1980); Warrick & Nielsen (1980); Hillel (2012), la tasa de infiltración afecta no solo la economía del agua de las comunidades vegetales, sino que también influye sobre la cantidad de escurrimiento superficial y su correspondiente efecto sobre el riesgo de erosión.

De lo anterior se desprende que cualquier acción sobre el suelo que disminuya la tasa de infiltración, restringe la entrada de agua al suelo, y con ello disminuye el beneficio de la lluvia o

el riego como suministrador de agua para las plantas, se incrementa el escurrimiento y por consiguiente el riesgo de erosión.

Por lo antes planteado, se puede decir que la infiltración es una propiedad fundamental en la caracterización de la salud física del suelo, y además de gran impacto en la conservación del mismo y del agua. Diversos estudios han mostrado el deterioro que han sufrido los suelos Ferralíticos en algunas de sus propiedades físicas, en particular la densidad aparente producto del laboreo continuo Hernández *et al.* (2014), pero el efecto sobre la capacidad de infiltración no ha sido cuantificado, por lo que este trabajo se propuso caracterizar el proceso de infiltración en suelos Ferralíticos Rojos bajo diferentes condiciones de labranza.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (UCTB Pulido) localizada en el municipio de Alquizar, provincia de Artemisa (Latitud 22°46' 49,2" N y Longitud 82°, 36' 06,69" W), a 6 m sobre el nivel del mar.

Según la clasificación de suelos vigente en el país Instituto de Suelos (2001), el suelo es del tipo Ferralítico Rojo compactado. Este suelo es característico de toda la zona sur de La Habana, perteneciente a las provincias Artemisa y Mayabeque. Según Colas (2007), el tipo de suelos Ferralítico Rojo posee un perfil ABC, con horizonte ferralítico en los que predomina el color rojo. Son arcillosos, permeables con una capacidad de cambio de bases o catiónico (CCC) que puede estar entre 6-20 $\text{cmol}^+\text{kg}^{-1}$ mientras que la Materia Orgánica (MO) oscila entre el 2 al 5%. Dentro de este tipo de suelos, el Subtipo Compactado se caracteriza por ser suelos arcillosos muy plásticos en estado húmedo y muy duro o compacto, en estado seco. Son suelos muy profundos (más de 100 cm), saturados por calcio, fértiles, productivos, sin embargo, en ocasiones poseen limitaciones para la actividad agrícola debido a la compactación ocasionalmente excesiva de sus horizontes inferiores (Jaimez *et al.*, 2003).

La Tabla 1 muestra la composición granulométrica promedio del suelo de la estación experimental según resultados de Martínez & Rodríguez (2015) y pH y % de materia orgánica (M.O) de acuerdo con John (2019).

TABLA 1. Algunas características del suelo de la Estación Experimental (Pulido; Alquizar)

Profundidad (cms)	Arena	Limo	Arcilla	Materia orgánica	pH (en agua)
0-20	20,9	21,7	57,4	3,3	7,0
20-40	17,7	20,5	61,8		
		Densidad aparente (kg m^{-3})	Capacidad de campo (% p.s.s)		
0-20		1,1-1,18	33,4 - 34		
20-40		1,06 1,28	33,6 -34		

Las condiciones climáticas reinantes en la zona fueron descritas con anterioridad por Chaterlán (2012), quien señaló que esta zona está fuertemente caracterizada por el régimen de distribución de las precipitaciones dentro del año. El valor de la media anual de las precipitaciones alcanza los 1531 mm, de los cuales el 68% (1044,4 mm) corresponden al período lluvioso

que se extiende desde el mes de mayo hasta el mes de octubre y el restante 32% (486,4 mm) se distribuyen entre los meses de noviembre y abril, correspondientes al período poco lluvioso. El comportamiento de las variables de humedad relativa, temperatura y velocidad del viento no presentan grandes variaciones dentro del año (Chaterlán, 2012).

Selección de las áreas a estudiar

Para la selección de los sitios a estudiar se asumió que el suelo es uniforme en cuanto al tipo y características físicas generales, de ahí que cualquier modificación que el mismo pudiera haber sufrido en cuanto a sus propiedades físicas ha sido inducida por el manejo de este. No obstante, lo anterior, antes de la realización de las investigaciones en cada sitio se realizó una caracterización del suelo en cuanto a su historia (últimos cinco años) y además mediante muestreo con barrena hasta 1 m de profundidad.

Descripción de los sitios de trabajo

La Figura 1 muestra una vista general de la estación con los números de los campos dedicados a diferentes investigaciones en riego. Para una mejor distinción de los sitios seleccionados, los mismos están señalados con un número (1 al 9) enmarcado en un rectángulo. A continuación, se describen las características de cada uno de ellos.



FIGURA 1. Vista general del área de la Estación Experimental del IAgric, los puntos numerados corresponden a los sitios en que se realizaron las determinaciones de la infiltración.



FIGURA 2. Sitio 1 (S1) estación meteorológica.

Esta área está localizada dentro de la plazoleta de la antigua estación meteorológica, suelo sin perturbar por más de 30 años, con césped que cubre toda el área, la única labor que se realiza en el mismo es la chapea manual cada 15 días en primavera y una vez al mes en período seco con el fin de mantener una altura de la hierba no mayor de 5 cm. En su inicio el área estaba cubierta por sacasebo (*Paspalumnotatum*) en la actualidad, y de modo aleatorio, un 30% del área está ocupada por gramíneas naturales. Esta área nunca recibe riego



FIGURA 3. Sitio 2 (S2). Área experimental de riego por pulso.

En el momento de la prueba el suelo estaba desnudo y listo para sembrarse. El último cultivo a que estuvo sometido fue plátano vianda regado superficialmente; luego de la última cosecha y como es tradicional, fue roturado con arado de tres discos y luego un pase de grada. Seguido de esto se alisó con rail y seguidamente se realizó una labor de subsolación que debió alcanzar los 0,4 m de profundidad. Esta área es cultivada intensivamente y en la misma se han realizado experimentos con distintas técnicas de riego y cultivos para lo cual el suelo de la misma ha sido laborado siempre por el método tradicional. Periódicamente (aproximadamente cada dos años), se realiza una labor de subsolación. El nombre del sitio fue escogido debido a que en el mismo será ensayado el riego superficial mediante la técnica de pulsos en el cultivo de la fruta bomba (*Carica papaya*).

Este sitio se localiza en el patio de una vivienda que por su estructura esta vivienda parece haber sido construida en los años treinta del pasado siglo, su patio está cubierto de árboles de diferentes especies frutales y plátanos sin cultivar.



FIGURA 4. Sitio 3(S3) Área con arboleda, patio de vivienda con arboleda.

La superficie del suelo, hasta unos 5 cm de profundidad, es de un color rojo oscuro, casi negro, lo que denotando visualmente un alto contenido de materia orgánica y por tanto su condición de área casi virgen.



FIGURA 5. Sitio- 4 (S4)- Área de agricultura de conservación.

Esta es un área de 1,5 ha en la que siempre se realizó la labranza convencional; a partir del año 2016 se labora bajo los principios de la agricultura de conservación (AC) siguiendo sus tres principios *i*. mínima movilización del suelo, *ii*. cobertura permanente y *iii*. rotación de cultivos, la misma se riega por aspersión semi estacionaria y en el momento de la prueba estaba sembrada con frijol negro (*Phaseolus vulgaris*, Lin.) mediante siembra directa y había sido regada cuatro días antes de la prueba.

Sitio 5 (S5). Área del Cañaveral

Aunque en el momento de la prueba el suelo en este sitio se encontraba desnudo y en preparación se ha denominado así al sitio, debido a que el mismo había estado sembrado de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*, L) por más de 10 años. La preparación luego del cultivo de la caña de azúcar fue tradicional, pero con dos pases de gradas.

En esta área, 10 años atrás se desarrolló un experimento con frutales (guayaba) y desde ese entonces se ha cubierto de gramíneas, por lo que actualmente se dedica al pastoreo, con una carga de alrededor de 4 animales ha⁻¹ en pastoreo sin ninguna

regulación. La hierba predominante es la jiribilla (*Andropogon-caricosus*) en más de un 70% sacasebo y otras gramíneas. Esta área nunca recibe riego ni fertilización



FIGURA 6. Sitio 6 (S6). Pastoreo 1.



FIGURA 7. Sitio- 7 (S7). Área sembrada de cedros con riego localizado.

En este sitio se desarrolla un experimento con el cedro rojo (cedo caoba, según Roig (1965), *Cedrella odorata*) para conocer su respuesta al riego. La arboleda tiene 15 años de plantada y sus entre calles están cubiertas con césped que es chapeado periódicamente; el mismo está compuesto por especies naturales. Recientemente se había sembrado con calabaza (*Cucurbitaficifolia*) como cultivo intercalado, para aprovechar el espacio que existe entre los árboles de cedro. Esta área se encuentra bajo riego localizado.



FIGURA 8. Sitio 8 (S8). Pastoreo 2.

Este sitio se dedica al pastoreo continuo con una carga de alrededor de 2 animales ha^{-1} , aunque pastan el mismo número de animales que en el sitio 6, la intensidad es menor debido a que el mismo tiene un área 50% superior. La gramínea predominante es la pangola en alrededor de un 60% (*Digitaria decumbens* Stens) sin fertilización ni riego.



FIGURA 9. Sitio 9 (S9). Campo de papas.

Este sitio está equipado con una máquina de pivote central y todos los años se siembra con papas (*Solanum tuberosum*) en rotación con maíz (*Zea mays*). En ambos casos la preparación del suelo se realiza del modo tradicional con arado de tres discos y grada. Las pruebas de infiltración se realizaron en el primer cuadrante de la máquina de pivote tres días después de recogida la cosecha.

Determinación de la infiltración

La infiltración fue determinada mediante el método de anillos concéntricos (Cid, 1988). En cada sitio se realizaron las pruebas utilizando tres pares de anillos concéntricos con diámetros de 28/53 cm, 30/55 cm and 32/57 cm. La altura de los anillos fue de 25 cm con un borde biselado para su mejor introducción en el suelo.

Cada anillo se introdujo en el suelo hasta una profundidad de 10 cm y nivelado según los procedimientos indicados en la Norma cubana NC 147: 2014 (2014).

Determinación de la humedad del suelo

La humedad del suelo al momento de realizar la prueba en la profundidad desde 0 a 0.4 m fue determinada al lado de cada anillo utilizando para ello la barrena de tipo "Edelman. La muestra de cada profundidad fue dividida en tres porciones y colocada en pesa filtros de aluminio convenientemente numerados y de peso conocido los cuales se tapaban inmediatamente para conservar la humedad antes de su procesamiento en el laboratorio según la Norma cubana NC 110:2001 (2001).

Determinación de la resistencia a la penetración (compactación)

La compactación fue medida utilizando un penetrómetro manual EIJKELKAMP, con cono de 2 cm^2 , siguiendo el pro-

cedimiento descrito en el manual de instrucciones del equipo Eijelkamp Agriserch Equipment (2013). Esta medición se realizó siempre antes de realizar las pruebas de infiltración

Determinación de la densidad aparente

Luego de finalizada la prueba de infiltración (24 horas después) se tomaron muestras para la determinación de la densidad aparente del suelo y la humedad en volumen. Para la toma de estas muestras se utilizó el equipo de toma de muestras con anillos 07.53.SC Eijelkamp Agriserch Equipment (2013), el cual permite tomar muestras desde la superficie del suelo hasta profundidades de 2 m, aunque en este caso solo se tomaron hasta 0.4 m. Los anillos utilizados tienen una altura de 51 mm, un diámetro de circunferencia de 53 mm, lo que les permite acoger un volumen de suelo de 100 cc. El resto del procedimiento fue seguido según la Norma cubana NC ISO 11272:2003 (2003).

Análisis Estadísticos

Una vez obtenidos los resultados de campo y laboratorio, los sitios fueron comparados entre sí mediante análisis estadístico utilizando STATGRAPHIC Plus..

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 10, muestra la humedad del suelo en% del peso del suelo seco (% p.s.s) hasta la profundidad de 40 cms antes de realizar la prueba de infiltración para los sitios más contrastantes, y se compara con la humedad a capacidad de campo acorde con los valores indicados en la Tabla 1. La tendencia de la humedad general en el perfil fue desde una muy baja humedad en la capa superficial (0-10) hasta un ligero ascenso (3-4% con relación a la anterior en cada capa) en la medida en que se descendió en el perfil. En la Figura 10 resalta el área de conservación (sitio 4), la cual muestra el mayor valor de humedad en todas las profundidades; pues, como se señaló anteriormente, esta parcela estaba sembrada con frijol (15 días de sembrado al momento de la prueba) y en ella se había aplicado riego a razón de 280 $m^3 ha^{-1}$. Otro valor notable es el sitio llamado Estación meteorológica (sitio 1), donde se encontraron los más bajos valores de humedad en todo el perfil y en la que no se ha aplicado riego en los últimos 30 años.

Con excepción del sitio 4 en que la humedad promedio del perfil fue del 80% de la Capacidad de campo (Figura 10), el resto tuvo valores cercanos al 60%, por lo que puede considerarse que el suelo se encontraba muy seco.

La Figura 11 muestra la resistencia a la penetración en los mismos sitios donde se determinó la humedad mostrada en la Figura 1. Como puede observarse en la misma, la resistencia en el primer horizonte es siempre menor y en general la misma aumenta con la profundidad.

El menor valor de compactación se encontró en el área de agricultura de conservación (S4), y el mayor en el sitio denominado cañaveral (S5), coincidiendo ambos sitios con los mayores y menores valores de humedad respectivamente. Esta relación se muestra en la Figura 12, donde se puede observar

una relación lineal inversa entre la humedad del suelo y la compactación, con un coeficiente de determinación que indica que la variación en la humedad del suelo explica casi el 90% de la variación en la resistencia a la penetración. Esta relación

indica la importancia de tener en cuenta la humedad presente en el suelo al utilizar el valor de resistencia a la penetración como elemento que caracteriza a un suelo sin tener en cuenta el estado de humedad del mismo.

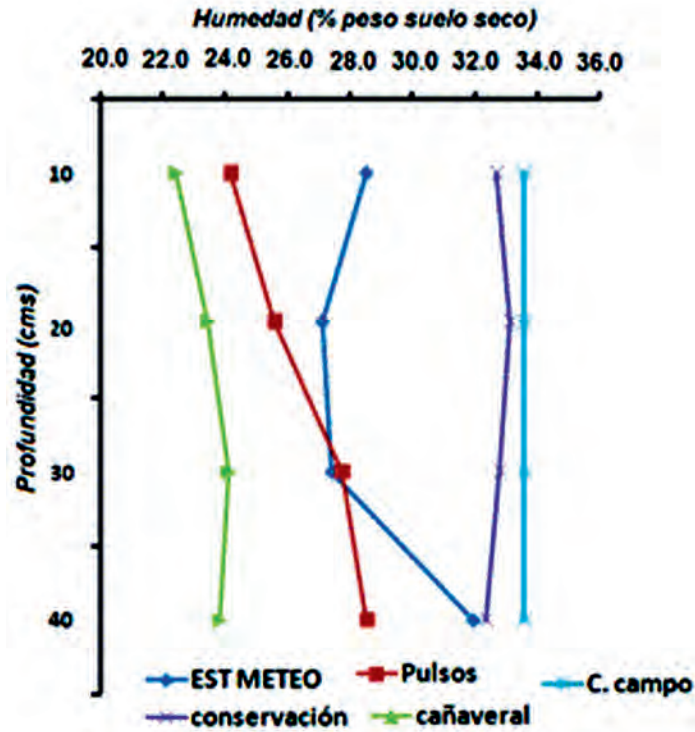


FIGURA 10. Humedad del suelo (% p.s.s) antes de realizar la prueba de infiltración en algunos de los sitios estudiados.

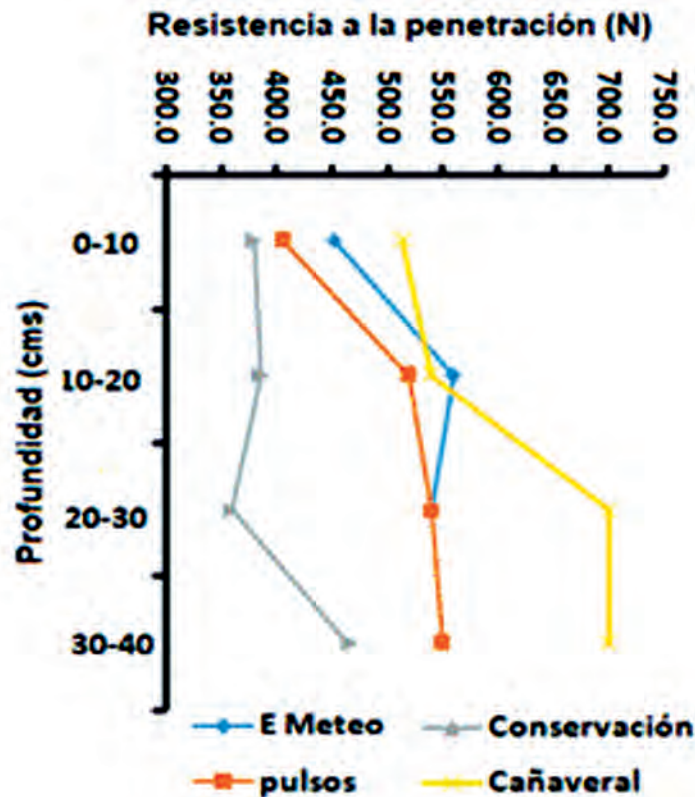


FIGURA 11. Resistencia a la penetración (Newton) en algunos de los sitios estudiados.

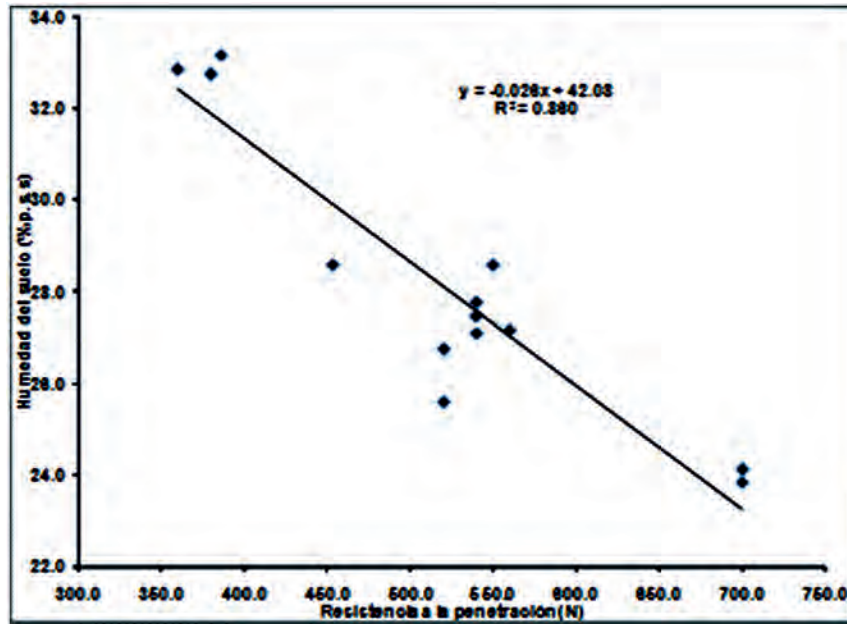


FIGURA 12. Relación entre la humedad del suelo y la resistencia a la penetración.

En la Tabla 2 se presentan las ecuaciones de infiltración acumulada e instantánea (cm min^{-1}) para los nueve sitios estudiados.

TABLA 2. Curvas de infiltración acumulada e instantánea (según el modelo de Kostiakov) y valores de agua total infiltrada e infiltración básica para los 9 sitios estudiados

Sitio	nombre	K_{inst}	n_{inst}	k_{acum}	n_{acum}	Ecuación inf_{inst} cm min^{-1}	Ecuación inf_{acum} cm min^{-1}
4	Conservación	1,09 _a	-0,21 _a	1,28 _a	0,83 _a	$i=1,09t^{-0,21}$	$I=1,28t^{0,83}$
7	Cedro	1,56 _{ab}	-0,32 _{ab}	1,53 _a	0,77 _{ab}	$i=1,56t^{-0,32}$	$I=1,53t^{0,77}$
5	Cañaveral	4,83 _c	-0,35 _{cb}	5,26 _{bd}	0,71 _{abc}	$i=4,83t^{-0,35}$	$I=5,26t^{0,71}$
1	E, meteo	1,9 _{4abc}	-0,35 _{abc}	2,84 _{cb}	0,64 _{abcd}	$i=1,9t^{-0,35}$	$I=2,84t^{0,64}$
6	Pasto 1	1,77 _{ab}	-0,39 _{abc}	1,86 _{cb}	0,69 _{abcd}	$i=1,77t^{-0,39}$	$I=1,86t^{0,69}$
2	Pulsos	4,11 _{bc}	0,42 _{deb}	4,74 _{cbd}	0,62 _{bcd}	$i=4,11t^{-0,42}$	$I=4,74t^{0,62}$
3	Patio	2,37 _{abc}	-0,43 _{deb}	2,24 _{abc}	0,69 _{abcd}	$i=2,37t^{-0,43}$	$I=2,24t^{0,69}$
9	Papas	4,22 _{bc}	-0,47 _{dc}	6,67 _d	0,54 _{cd}	$i=4,22t^{-0,47}$	$I=6,67t^{0,54}$
8	Pasto 2	4,72 _c	-0,52 _d	6,21 _d	0,51 _d	$i=4,72t^{-0,52}$	$I=6,21t^{0,51}$
	ES	+/- 0,982	+/- 0,047	+/-1,033	+/-0,066		

Las Figuras 13 y 14 muestran las curvas de infiltración acumulada e instantánea para los 9 sitios trabajados. Para ambos tipos de curvas puede observarse que siguen el patrón general esperado para las mismas según se ha descrito en la literatura (Cid, 1988; Fontova & García, 2001).

El gran número de factores que intervienen sobre la velocidad de infiltración de un suelo influye sobre la variabilidad espacial de esta propiedad, y aunque no es común encontrar trabajos en la literatura sobre la variabilidad espacial de la misma, es posible asumirla a partir de las determinaciones de la conductividad hidráulica a saturación, la cual se ha encontrado muy estrechamente relacionada con la infiltración básica para los suelos de Cuba según Márquez & Salgueiro (1984), para esta propiedad Warrick & Nielsen (1980), señalan un coeficiente de variación entre el 140-190%,

Lo anteriormente señalado constituye una primera dificultad al momento de explicar las diferencias en los valores de infiltración para los diferentes sitios estudiados.

La Figura 15 muestra los valores de infiltración básica (cm min^{-1}) para todos los sitios estudiados. El menor valor correspondió al sitio 3 (Patio, $0,15 \text{ cm hora}^{-1}$) y el mayor al sitio 5 (cañaveral, $0,51 \text{ cm hora}^{-1}$), estos dos sitios difieren significativamente entre si y presentan valores anormalmente altos y bajos para este tipo de suelos bajo cualquier condición de humedad según Cid & Herrera (1987) o sistema de preparación de suelos (Herrera *et al.*, 2017). El resto de los sitios se agrupó en dos categorías, uno con promedio de $0,24 \text{ cm min}^{-1}$ (sitios E. meteo, papas, cedro y pasto 1) y otro con promedio de $0,33 \text{ cm min}^{-1}$ (sitios pulsos y conservación).

Para valores de humedad del 70% de la capacidad de campo Cid y Herrera (1987) en un sitio cercano a los que se realizaron estas pruebas, determinaron valores de la velocidad de infiltración básica de $15,9 \text{ cm hora}^{-1}$, ($0,27 \text{ cm min}^{-1}$), similares a los obtenidos en este trabajo para los sitios 1, 9, 7, y 6: inferior a los sitios 2 y 4; y superior al resto de los sitios. Los aceptables valores de los sitios 2 (pulsos) y 4 (conserva-

ción) están al parecer relacionados con la calidad del suelo existente en estos sitios al momento de la prueba. En el sitio 2 se había realizado una labor de subsolación previa hasta 40 cm de profundidad, mientras que en el sitio 4 se ha practicado la agricultura de conservación por dos años. Para este sitio Rodríguez *et al.* (2018) habían señalado previamente cambios

favorables a favor de la labranza de conservación, ya que observaron una reducción del 19% de la densidad aparente al compararlo con áreas donde se utilizó la agricultura convencional. El bajo valor obtenido en el sitio 3 (Patio) solo es explicable por la existencia de piedras en el mismo que pudo haber impedido el conseguir una tasa mayor de infiltración.

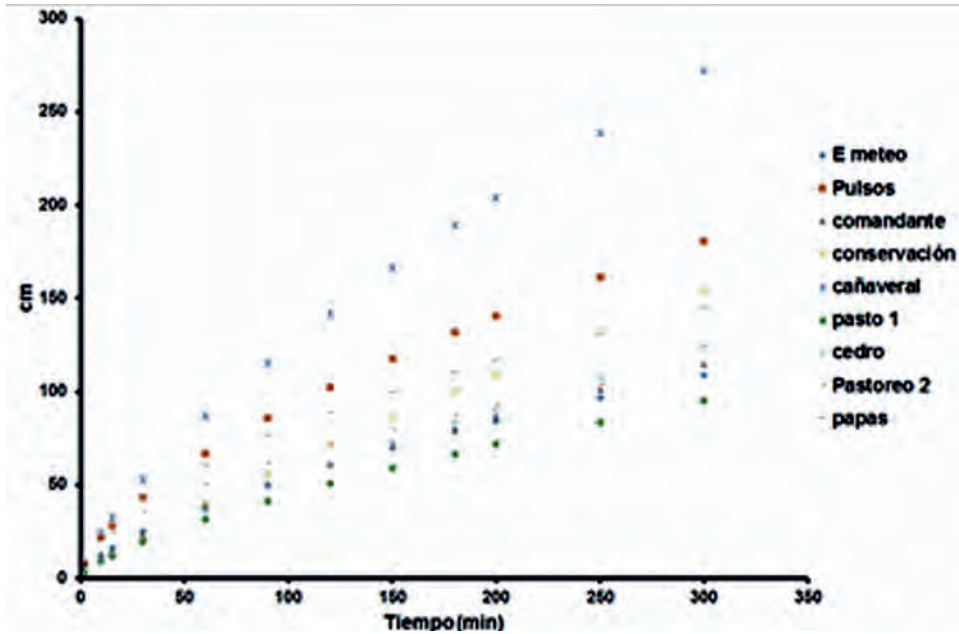


FIGURA 13. Velocidad de infiltración acumulada (cm min^{-1}) para

el suelo Ferralítico de los sitios estudiados.

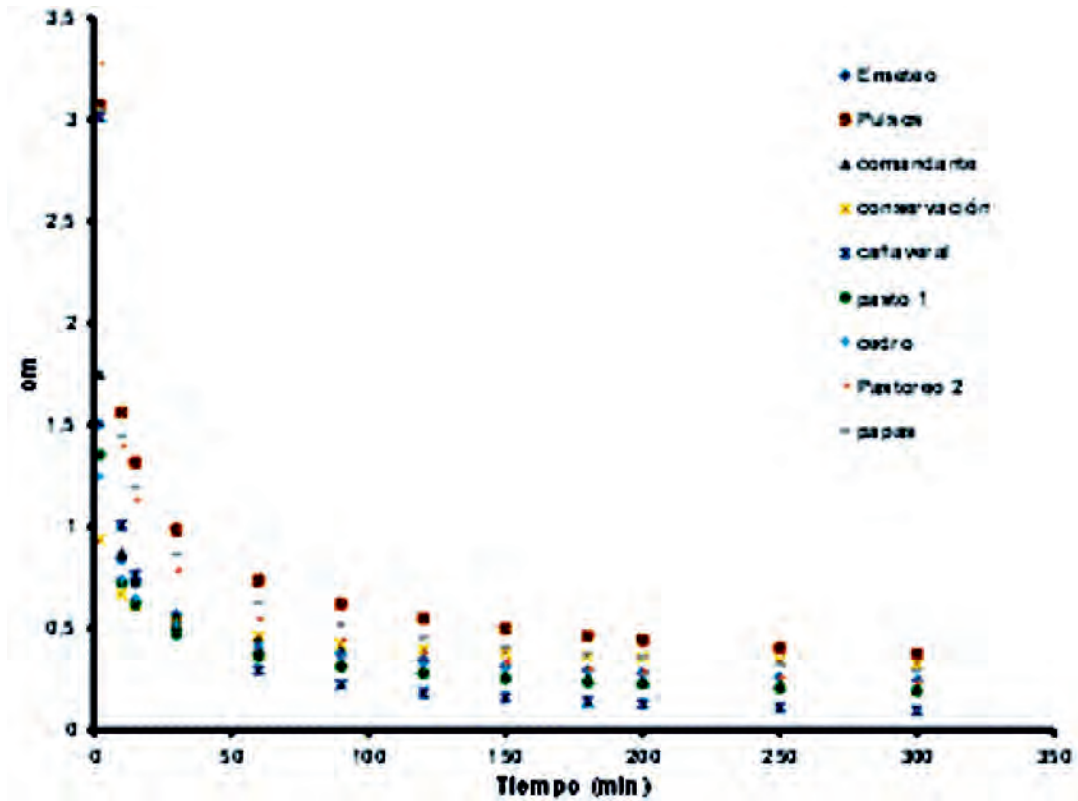


FIGURA 14. Velocidad de infiltración Instantánea (cm min^{-1}) para en el suelo Ferralítico de los sitios estudiados.

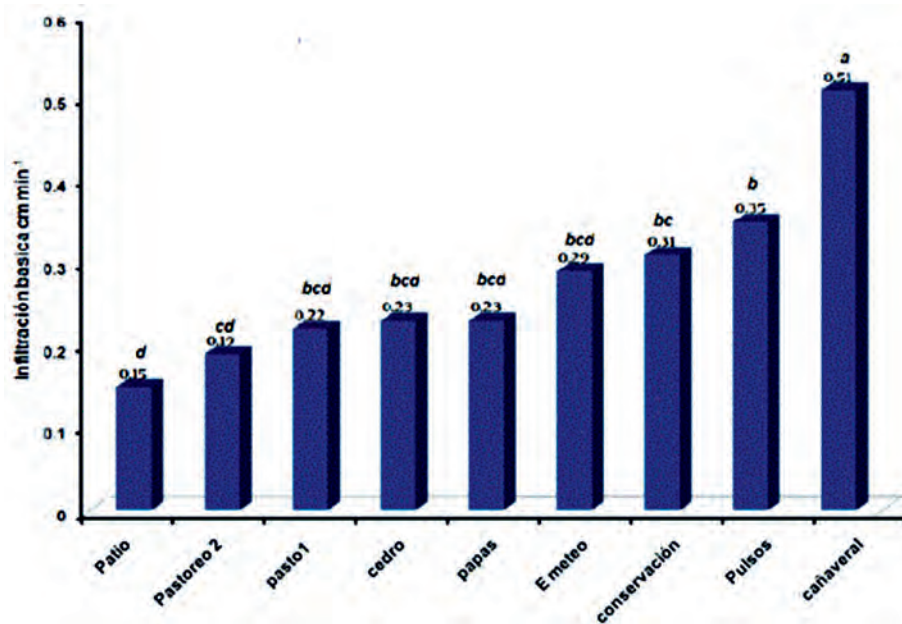


FIGURA 15. Infiltración básica para los sitios estudiados (valores con letra diferente difieren para $p < 0,05$).

La Tabla 3 muestra el tiempo de duración de las pruebas y el agua total infiltrada. Al realizar el análisis de varianza para estos dos parámetros no se encontraron diferencias significativas entre cilindros en un mismo sitio ni entre sitios experimentales, lo que es un índice de la calidad de las pruebas.

Por otra parte, como puede observarse en la Tabla, el tiempo de duración promedio de las pruebas de 341 min (5,6 horas) fue lo suficientemente largo y acorde con las normas al respecto NC 147:2014 (2014), de ahí que los valores mostrados en la Figura 15 pueden considerarse como valores que reflejan el estado actual del suelo.

TABLA 3. Total de agua infiltrada y tiempo de duración de las pruebas

Sitio N°	Nombre	Tiempo duración de la prueba (min)	Total de Agua infiltrada (cm)
1	E. Meteo.	338	127
2	Pulsos	281	164
3	Patio	366	95
4	Conservación	302	266
5	Caña	335	271
6	Pasto 1	320	99
7	Cedro	337	100
8	Pasto 2	393	138
9	Papa	403	174

CONCLUSIONES

- La relación lineal inversa entre la humedad y la resistencia a la penetración del suelo ($R^2 = 0,88$), indica la necesidad de tener en cuenta la humedad a la que se determina ese parámetro antes de emitir un criterio sobre el estado de compactación del suelo. No obstante, aun cuando el área donde se practica la agricultura de conservación (S4), fuera la de mayor humedad al

momento de la prueba, tuvo valores de resistencia a la penetración de un 26% menor que el resto de los sitios, lo cual puede indicar ventajas de este tipo de agricultura en la conservación de la salud del suelo.

- Si bien las labores de preparación del suelo incrementan la capacidad de infiltración inicial del mismo (sitios pulso, cañaveral y papas), la función de infiltración obtenida en estos sitios indicó que bajo los efectos de una lluvia continua sobre los mismos se producirá encharcamiento o lo que

- puede resultar peor en caso de una pendiente inapropiada, la pérdida de suelos por el escurrimiento superficial.
- Por otra parte, los resultados de los sitios conservación y bosque de cedro confirman lo planteado por muchos autores con relación a las buenas características de infiltración en suelos con cero o mínima labranza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEJO, S.G.; SALAZAR, J.F.I.; GARCÍA, P.J.D.; ARRIETA, R.B.G.; JIMÉNEZ, M.V.; SÁNCHEZ, M.A.L.: "Degradación fisicoquímica de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit", *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 15: 323-328, 2012.
- ANDERSON, G.; PIDGEON, J.; SPENCER, H.; PARKS, R.: "A new hand-held recording penetrometer for soil studies", *Journal of soil science*, 31(2): 279-296, 1980, ISSN: 0022-4588.
- CHATERLÁN, D.Y.: *Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Caso de estudio: cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa*, Universidad Agraria de La Habana, Instituto De Investigaciones Fundamentales En Agricultura Tropical "Alejandro De Humboldt" (INIFAT), Tesis presentada en opción al grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias, La Habana, Cuba, 2012.
- CHYBA, J.; KROULÍK, M.; KRIŠTOF, K.; MISIEWICZ, P.; CHANEY, K.: "Influence of soil compaction by farm machinery and livestock on water infiltration rate on grassland", *Agronomy Research*, 12(1): 59-64, 2014, ISSN: 1406-894X.
- CID, G.: *Aspectos generales sobre la infiltración del agua en los suelos*, Centro de Información y Documentación Agropecuario, Artículo científico, La Habana, Cuba, 34 p., 1988.
- CID, G.; HERRERA, J.: "Estudio de la infiltración del agua en un suelo ferralítico rojo compactado a diferentes niveles de humedad.", *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*, 10(2), 1987, ISSN: 0138-8487.
- COLÁS, A.: *Selección de indicadores de calidad para un suelo Ferralítico Rojo Compactado*, Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu"; Facultad de Ciencias Agropecuarias. Centro de Investigaciones Agropecuarias, Tesis Presentada en Opción al Título de Master en Agricultura Sostenible, Mención Fitotecnia, Santa Clara, Villa Clara, 2007.
- EIJELKAMPAGRISERCH EQUIPMENT: *0.6.01 Hand Penetrometer*, [en línea], 2013, Disponible en: www.eijelkamp.com.
- FONTOVA, M.; GARCÍA, R.E.: *Ingeniería de Riego*, Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2001, ISBN: 959-258-160-6.
- HAMZA, M.; ANDERSON, W.: "Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions", *Soil and tillage research*, 82(2): 121-145, 2005, ISSN: 0167-1987.
- HERNÁNDEZ, J.A.; DÍAZ, M.M.; BENÍTEZ, B.Y.: *Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la "llanura roja de La Habana"*, por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento, Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2014, ISBN: 978-959-7023-66-1.
- HERRERA, P.J.; MARTÍNEZ, J.A.; RODRÍGUEZ, A.; CID, L.G.: "Efecto de dos sistemas de labranza sobre la infiltración en suelos Ferralíticos Rojos", *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(4): 3-10, 2017, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- HILLEL, D.: *Applications of soil physics*, Ed. Elsevier, New York, USA, 2012, ISBN: 0-323-15213-9.
- INSTITUTO DE SUELOS: *Programa Nacional de mejoramiento y conservación de suelos*, Inst. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Suelos, Agrinfor, La Habana, Cuba, 39 p., 2001.
- JAIMEZ, E.; CAMPOS, M.; GARCÍA, A.; GUERRA, M.; GUTIÉRREZ, B.; OLIVERA, J.; VILLARIÑO, J.; PACHECO, E.; ALCALDE, J.; FLEITA, R.: "Diagnóstico ambiental e interpretación paleoambiental de los suelos de las provincias habaneras, Cuba", *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 13(01), 2003.
- JOHN, C.: *Algunas características del suelo de la Estación Experimental (Pulido; Alquizar)*, Comunicación personal, La Habana, Cuba, 2019.
- LI, Y.; TULLBERG, J.N.; FREEBAIRN, D.M.: "Traffic and residue cover effects on infiltration", *Soil Research*, 39(2): 239-247, 2001, ISSN: 1838-6768, DOI: 10.1071/sr00017.
- LIEBIG, M.; JONES, A.; MIELKE, L.; DORAN, J.: "Controlled wheel traffic effects on soil properties in ridge tillage", *Soil Science Society of America Journal*, 57(4): 1061-1066, 1993, ISSN: 0361-5995, DOI: 10.2136/sssaj1993.03615995005700040030x.
- MÁRQUEZ, J.L.; SALGUEIRO, J.: "Estimación de la conductividad hidráulica "K" a partir de la velocidad de infiltración básica", *Ciencia y Técnica en la Agricultura, Riego y Drenaje*, 7(1): 7-14, 1984.
- MARTÍNEZ, C.J.A.: "Comparación de tecnologías de labranza en suelo Ferralítico Rojo de la finca Pulido", *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3): 60-63, 2016, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- MARTÍNEZ, V.R.; RODRÍGUEZ, G.M.R.: "Respuesta económica del cultivo de banano al riego por goteo subterráneo", *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(1): 27-33, 2015, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- NC 110:2001: *Calidad del suelo - determinación de la humedad del suelo. método gravimétrico*. ICS: 13.080, ser. 13.080 NC 110:2001, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig. de 2001.
- NC 147:2014: *Calidad del suelo - determinación de la velocidad de infiltración*. ICS: 13.080.20, ser. NC 147:2014, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig. de 2014.
- NC ISO 11272:2003: *Calidad del suelo - determinación de la densidad aparente base suelo seco*, ser. NC ISO 11272:2003, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig. de 2003.
- RODRÍGUEZ, G.A.; LÓPEZ, S.T.; MARTÍNEZ, C.J.A.; HERRERA, P.; HERNÁNDEZ, L.O.: "Régimen hídrico en un suelo Ferralítico cultivado con maíz bajo principios de agricultura de conservación", *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(3): 3-11, 2018, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- ROIG, M.J.T.: *Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos*, Ed. Editorial Nacional de Cuba, Tercera Edición Tomo I, La Habana, Cuba, 1965.

Leynis Rosales-Naranjo, Investigadora, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: adiestradainv1@iagric.cu

Misdriel Pérez-Rodríguez, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: adiestradainv1@iagric.cu

Julián Herrera-Puebla, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: direccioninvest1@iagric.cu

José Antonio González-Rodríguez, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: adiestradainv1@iagric.cu

Greco Cid-Lazo, Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: dptoambientel@iagric.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

