

## COMPACTACION DE UN SUELO ALUVIAL DE ORIGEN VOLCANICO POR TRAFICO DE PERSONAS<sup>1</sup>

Ricardo Radulovich\*  
Phillip Sollins\*

### ABSTRACT

**Compaction of an alluvial soil of volcanic origin due to foot traffic.** We studied some effects of walking on bare soil while removing the vegetation from an abandoned pasture with a machete at a humid lowland site in Costa Rica. The control treatment consisted of clearing plot vegetation from outside the plot without stepping on the soil. Walking once on bare soil while clearing the vegetation produced significant increases in penetrometer readings and decreases in initial infiltration rates, and, to a lesser extent, increases in superficial bulk density. Walking over the vegetation while clearing, not on exposed soil, apparently did not produce such changes. Applying a pressure equivalent to that of a man standing without moving ( $0.20 \text{ kg cm}^{-2}$ ) for one minute, on bare soil, reduced penetrability when the pressure was applied on wet soil.

It is concluded that walking once over this type of soil while clearing is enough to compact it. It is better not to clear vegetation when the soil is at high water content. Further research on the clearing method that involves walking over the vegetation while clearing, rather than on exposed soil, is recommended for soils where runoff erosion is a serious problem.

### INTRODUCCION

La aplicación de presiones sobre el suelo puede conllevar a la compactación del mismo, producida principalmente por la ocupación de espacio poroso por sólidos (4). La compactación generalmente trae consigo dos tipos mayores de consecuencias negativas, que pueden afectar la producción agrícola y el ambiente: i) Disminución de flujos de agua y aire a través del suelo, lo que propicia erosión por escorrentía, hipoxia radicular, y condiciones reductivas, entre otros; y ii) Consoli-

dación de las capas superficiales, que dificulta y encarece el trabajar la tierra, y afecta negativamente la emergencia de plántulas y el desarrollo radicular.

Aparte de los procesos naturales que forman capas de suelo compactadas, se reconocen el tráfico de maquinaria y ganado como los factores compactantes relacionados al hombre (4). El tráfico de maquinaria es sin duda el principal de estos, ya que generalmente sucede repetidamente y sobre suelo expuesto, y las presiones que las llantas neumáticas aplican pueden ser hasta de  $5,0 \text{ kg cm}^{-2}$  (8), o más, aunque a menudo son inferiores a  $1,0 \text{ kg cm}^{-2}$  (1,4,6). Las presiones ejercidas por el tráfico de ganado, calculadas aquí para un animal de 500 kg, pueden variar aproximadamente de  $1,0$  a  $4,0 \text{ kg cm}^{-2}$ . Es también importante considerar que el tráfico de animales domésticos es más que nada sobre suelo cubierto de pasto, por lo que la presión ejercida es amortiguada en diversos grados.

1 Recibido para su publicación el 29 de marzo de 1985.

\* Departamento de Ciencia Forestal, Universidad Estatal de Oregon, EEUU. Dirección actual del primer autor: Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica.

Es de costumbre en la literatura ignorar por completo las presiones aplicadas sobre el suelo por el caminar de personas trabajando en él. Este tráfico de personas se efectúa sobre el suelo desnudo, y es frecuente debido a las diversas operaciones desde limpia hasta cosecha. Se puede calcular que una persona de 75 kg ejerce una presión con sus pies que aproximadamente varía de 0,15 a 0,60 kg cm<sup>-2</sup>, o más si se pisa con fuerza. Es así como pueden ser numéricamente comparables en muchos casos, dados los datos y cálculos presentados arriba, las presiones ejercidas sobre el suelo por maquinaria, por ganado (considerando el efecto amortiguador del pasto), y por personas. Es importante añadir que el tráfico de ganado está generalmente restringido a tierras de pastoreo, y no así el paso de maquinaria o personas, que sucede en tierras de sembradío.

Particularmente en suelos de alta porosidad y poco trabajados por maquinaria, donde el potencial de compactación puede ser grande, los tres agentes de compactación podrían jugar un papel importante. La alta pluviosidad complica el problema de suelos compactados, induciendo erosión por escorrentía. Considerando que el efecto compactante del tráfico de personas se encuentra muy pobremente estudiado, se realizó el trabajo presentado a continuación, como parte de un estudio más amplio sobre ciclos de nutrimentos. Se tuvo como objetivo el evaluar algunos parámetros físicos de un suelo aluvial de origen volcánico en una zona lluviosa, antes y después del tráfico de personas, y después de la aplicación de una fuerza mecánica equivalente a aquella ejercible por una persona.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en la Estación Biológica La Selva (Organización para Estudios Tropicales), en Puerto Viejo de Sarapiquí, Costa Rica. La altitud es inferior a los 100 m.s.m.m., y la precipitación pluvial anual fluctúa alrededor de los 4000 mm. La zona de estudio, que comprende un área de aproximadamente 5000 m<sup>2</sup> de pastizales que sufrieron poco uso, ha estado abandonada por más de dos años. El pasto dominante es gamalote (*Olyra latifolia* L.), con una muy leve recurrencia de helechos (*Pteridium* spp.). El relieve es ondulado y el suelo, aluvial de origen volcánico, ha sido clasificado tentativamente como "Oxic Humitropept" (5). Nuestra evidencia preliminar indica que este suelo posee un alto grado de agregación (por ej. densidad aparente menor que 1,0 g cm<sup>-3</sup> aún a

1,0 m de profundidad, y marcada dispersión tras sonicación), así como un muy alto contenido de arcilla (indicado por una retención de agua cercana al 50% p/p a -15 bares de potencial mátrico). El contenido de materia orgánica, estimado por mediciones de carbono, es claramente inferior al 10%.

Para medir el grado de compactación que puede ejercer el simple tráfico de personas trabajando sobre el suelo limpio de vegetación, se realizaron una serie de experimentos de limpia con machete, siguiendo siempre el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, a excepción de los tratamientos para conseguir baja humedad en los que se usaron solamente dos repeticiones. Los tratamientos de limpia, que consistieron en cortar y remover toda la vegetación hasta dejar el suelo expuesto, fueron realizados en cada bloque por una misma persona y por diferentes personas entre bloques. Los tratamientos constaron de la siguientes modalidades:

- a) Compactación (C): Consistió en caminar sobre el suelo que se ha limpiado mientras se continúa la limpia, como normalmente se libran los terrenos de vegetación para la siembra. Una vez limpiada el área de cada lote, que fue de 4,0 m<sup>2</sup>, no se volvió a caminar sobre el suelo.
- b) Mínima Compactación (MC): Lotes de 4,0 a 64,0 m<sup>2</sup> fueron limpiados de toda vegetación sin caminar sobre el suelo ya limpio, caminando solamente sobre el pasto a cortar, con lo que se pretendió amortiguar el efecto del tráfico. Esto se logró limpiando "hacia atrás", cortando y removiendo con rastrillo desde el pasto sin cortar. Esta manera de limpiar consumió por lo menos el doble de tiempo que la anterior.
- c) Testigo (T): Se limpiaron 2,0 m<sup>2</sup> de pasto sin caminar sobre el suelo ya limpio ni sobre el pasto antes de limpiar, removiendo la vegetación desde fuera.

Dos experimentos fueron realizados siguiendo las modalidades de limpia descritas arriba: Experimento 1: Diseñado para evaluar directamente los efectos de caminar sobre el suelo mientras se corta la vegetación, y de la humedad del suelo en la compactación. Se limpiaron lotes en dos fechas con diferentes contenidos de humedad en el suelo: i) Baja humedad: Seis días después de un período de lluvias se limpiaron tres lotes de cada una de las modalidades C, MC y T; y ii) Alta

humedad: Dos días después del experimento anterior, y 24 h después de una lluvia de 3,8 cm, se limpiaron tres lotes modalidad C y tres modalidad T.

Experimento 2: Diseñado para evaluar con más detalles el efecto del contenido de agua del suelo ante la misma presión compactante. Se limpiaron 43 días antes del Experimento 1, dos lotes siguiendo la modalidad MC, y dos lotes adicionales también siguiendo la modalidad MC, pero cubriéndolos inmediatamente con plástico transparente instalado a 1,0 m de altura sobre el suelo. Estos tratamientos fueron realizados con el fin de obtener suelo superficial con diferentes grados de sequedad. Sobre estos suelos, y también sobre aquellos de la modalidad MC del Experimento 1, a dos diferentes contenidos de agua, se ejerció la siguiente presión: Dos personas de peso conocido se pararon sin moverse por un minuto sobre un bloque de concreto de superficie plana. La presión así aplicada fue de  $0,20 \text{ kg cm}^{-2}$ , equivalente a la que puede ejercer una persona parada sin moverse.

Como indicación del grado de compactación logrado por los tratamientos se midieron, aparte de la humedad gravimétrica (secado por 48 h a  $105 \text{ C}$  en horno con aire forzado de muestras de los primeros 5,0 cm), los siguientes parámetros:

—Densidad aparente: Se midió en los 3,0 cm superficiales de suelo, mediante la inserción de latas con un diámetro de 7,0 cm. Se tomaron de 3 a 6 muestras por lote.

—Penetrabilidad: Se midió en la superficie mediante el uso de un penetrómetro de bolsillo (3) (Humboldt Mfg. Co., Chicago, EEUU) el pistón del cual tiene un diámetro de 6,0 mm, y rinde lectura en  $\text{kg cm}^{-2}$  al insertarlo 6,0 mm. El número de muestras por lote fue de 7 a 10.

—Tasa de infiltración: Se midió en la superficie utilizando un doble cilindro de infiltración (2). El cilindro interno posee un diámetro de 30,0 cm, y el externo de 45,0 cm, y ambos fueron enterrados 4,0 cm en el suelo para cada lectura. La medición tomada, que representa la tasa de infiltración inicial, fue obtenida empozando agua en los dos cilindros hasta una altura de 15,0 cm, y cronometran-

do el tiempo requerido para que el nivel bajase a 10,0 cm. Se tomaron dos medidas por lote.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se resumen los resultados del primer experimento. Se pueden apreciar grandes diferencias en contenido de humedad del suelo entre las dos fechas. En general, el tratamiento C, caminar sobre el suelo recién limpio de vegetación mientras se continúa limpiando, produjo compactación medible. Se pueden ver diferencias significativas en diversos grados en densidad aparente para la segunda fecha, en penetrabilidad para las dos fechas, y en tasa de infiltración para la única fecha en que fue medida. La densidad aparente para la primera fecha no difiere significativamente entre lotes, aunque los promedios siguieron el patrón de los demás parámetros. Gran parte de la variabilidad encontrada en los resultados puede ser debida a diferencias entre las personas que efectuaron la limpia de los lotes. Estos resultados indican que con el poco tráfico que se realiza al ir limpiando este suelo se inducen cambios físicos que podrían repercutir negativamente en el bienestar de algún cultivo allí sembrado, y contribuir a la erosión al aumentar la escorrentía por disminución de la tasa de infiltración. Este último parámetro, tasa de infiltración, permaneció relativamente alto aún después del tratamiento, producto de la presencia de un alto número de macroporos. Es importante considerar, sin embargo, que luego de la limpia inicial vienen otras actividades que también implican tráfico sobre el suelo desnudo, como lo son sembrar, desmalezar, y cosechar. Este tráfico subsecuente podría agravar la situación.

En particular se observa que la densidad aparente es un parámetro muy poco sensible para detectar cambios leves como los observados aquí, aún cuando se midió solamente en los 3,0 cm superficiales, teóricamente los más afectados, aunque también los más variables. La penetrabilidad obtenida con el penetrómetro demostró ser suficientemente sensible, además de que el rápido uso del aparato permitió la obtención de numerosas submuestras. Con la tasa de infiltración también se encontró una diferencia significativa, aunque la variabilidad dentro de cada lote en ocasiones fue de muy altas proporciones (alcanzando en un lote un coeficiente de variación del 50%).

También se puede ver en el Cuadro 1 que los valores obtenidos con el penetrómetro son diferen-

**Cuadro 1.** Efectos de caminar o no caminar sobre el suelo superficial durante la limpia con machete de un pastizal abandonado. Los códigos empleados son T: Testigo, limpiar desde afuera sin pisar; C: Compactación, caminar sobre suelo descubierto al limpiar; y MC: Mínima Compactación, caminar sólo sobre vegetación, limpiando hacia atrás.

Fecha	Tratamiento	Humedad del suelo (% p/p)	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	Valores de penetrómetro <sup>1</sup> (kg cm <sup>-2</sup> )	Infiltración (cm h <sup>-1</sup> )
1	T	95,1	0,63	0,41 <sup>a*</sup>	158,7 <sup>a+</sup>
	C (C/T)	100,8	0,66	0,70 <sup>b</sup> (1,71)	102,0 <sup>b</sup>
2	T	60,9	0,64 <sup>a''</sup>	0,62 <sup>a+</sup>	-
	C	65,1	0,68 <sup>b</sup>	0,96 <sup>b</sup>	-
	MC (C/T)	60,4	0,65	0,62 (1,55)	-

Los promedios con letras distintas en cada grupo son significativamente diferentes a (\*) 95% I.C., (") 90% I.C., y (+) 75% I.C. (Este último se acepta porque la diferencia en cada uno de los tres bloques siguió, en diferentes proporciones, el patrón de diferencias indicado por los promedios, y porque un porcentaje de la variabilidad debe provenir de diferencias entre cada persona que limpió los lotes).

<sup>1</sup> Altos valores de penetrómetro indican alta resistencia a la penetración o baja penetrabilidad.

tes para el suelo sin disturbar (T) entre las dos fechas. El valor de 0,41 kg cm<sup>-2</sup> obtenido con un alto contenido de humedad es significativamente menor ( $P \leq 0,01$ ) que el valor de 0,62 kg cm<sup>-2</sup> obtenido con un contenido de humedad más bajo. Puede también observarse que la relación C/T es más alta para la fecha con mayor humedad en el suelo, lo que indica una mayor compactabilidad en proporción a la humedad. Este patrón se vuelve a observar en la Figura 1, que resume los resultados del segundo experimento. La penetrabilidad del suelo es mayor (el valor obtenido con el penetrómetro es bajo) al aumentar la humedad. También se aprecian los valores de penetrabilidad después de la aplicación de 0,20 kg cm<sup>-2</sup> de presión por un minuto, lo que produjo diferencias significativas en los suelos con alta humedad. Se puede ver más claramente en la curva de la relación suelo compactado/no compactado que el suelo con alta humedad es más fácilmente compactado. Esto refleja dos importantes aspectos: i) Cuando se efectúa la limpia de vegetación de lotes, es preferible no efectuarla poco tiempo después de lluvia abun-

dante pues se corre el riesgo de producir compactación innecesariamente excesiva; y ii) Considerando que la reología es afectada por contenidos de humedad (7), al informar de valores obtenidos con el penetrómetro, es necesario hacerlo con alguna referencia al nivel de humedad existente en el suelo al efectuar la medición, para fines de comparación.

Un aspecto interesante que vale la pena mencionar es que aparentemente la modalidad de limpia MC, pisando solo sobre la vegetación y limpiando hacia atrás con rastrillo, produce menos efectos sobre el suelo que el pisar directamente. Esto se ve en los valores de densidad aparente y de penetrabilidad de MC para la segunda fecha de limpia, Cuadro 1, los cuales no son diferentes a los del testigo. Varios experimentos de limpia que hemos realizado siguiendo la modalidad MC, cuyos detalles no se reportan aquí, indican también que aunque pueden encontrarse incrementos leves en densidad aparente, la tasa de infiltración de lotes MC permanece igual a la de los testigos. Esta modalidad de remover la vegetación sin pisar directamente el suelo, aunque más lenta, podría estudiarse más en

relación a aquellos casos críticos en que la erosión por escorrentía amenaza con eliminar el suelo cultivable. Este tipo de precauciones sobre la compactación del suelo al limpiar de vegetación, va de acuerdo con una tecnología de poca labranza de la tierra, en la cual se corta la vegetación para dejarla en sitio como cubierta. Esta práctica, aparte de combatir por sí sola la erosión y ser generalmente beneficiosa, participa en reducir la compactación del suelo por caminado, al actuar como amortiguador.

Sarapiquí, Costa Rica. El testigo consistió en no caminar en los lotes en ningún momento, limpiando desde afuera. El caminar sobre el suelo ya limpio de vegetación mientras se continua limpiando, redujo significativamente la penetrabilidad y la tasa de infiltración, y en menor grado aumentó la densidad aparente superficial. Caminar sólo sobre la vegetación al limpiar, nunca sobre suelo desnudo, al parecer no produjo tales cambios. Aplicar una presión equivalente a la de un hombre parado sin moverse ( $0,20 \text{ kg cm}^{-2}$ ) durante un minuto, sobre suelo desprovisto de vegetación, redujo la penetrabilidad cuando el suelo tenía contenidos de humedad altos (24 h después de lluvia).

Se concluye que basta caminar sólo una vez sobre este tipo de suelo, mientras se limpia la vegetación, para compactarlo. Repetido tráfico podría agravar el problema. Cuando se limpia la vegetación es preferible no hacerlo con el suelo muy húmedo pues se corre el riesgo de compactar innecesariamente. Se recomienda el estudio de la modalidad de limpiar caminando sólo sobre la vegetación al limpiar, nunca sobre suelo expuesto, cuando la erosión por escorrentía es un problema serio.

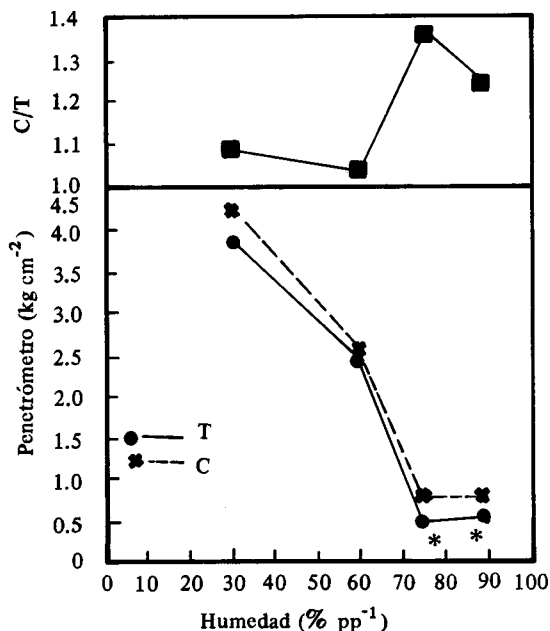


Fig. 1. Valores de penetrómetro a diferente humedad del suelo. Los efectos de aplicar una presión equivalente a un hombre parado ( $0,20 \text{ kg cm}^{-2}$ ) por un minuto sobre suelo expuesto (C = compactado), a diferentes valores de humedad gravimétrica, son comparados por el uso del penetrómetro con aquellos obtenidos en suelo sin compactar (T = testigo). El recuadro superior muestra la relación Compactado/Testigo. Todos los valores son para suelo superficial.

\* Los valores de penetrómetro dentro de una misma humedad de suelo son significativamente diferentes entre sí al 95% I.C.

## RESUMEN

Se estudiaron algunos efectos que tiene el caminar sobre suelo descubierto al limpiar con machete la vegetación de un pastizal abandonado, en

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Elemer Bornemisza por su sugerencia respecto al uso del penetrómetro, y al Ing. Freddy Sancho por facilitarnos uno; ambos profesores de la Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. También se agradece al Lic. Oscar Rocha, Coordinador de la Estación Biológica La Selva, por su ayuda en la identificación de las especies aquí mencionadas.

Esta investigación fue financiada con fondos de la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos, otorgados a través de la Organización para Estudios Tropicales.

## LITERATURA CITADA

1. AGUERO, J.M. y ALVARADO, A. Compactación y compactabilidad de suelos agrícolas y ganaderos de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 7:27-33. 1983.
2. BERTRAND, A. Rate of water intake in the field. *In* Black, C., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. Wisconsin, American Society of Agronomy 1965. pp. 197-209.
3. DAVIDSON, D. Penetrometer measurements. *In* Black, C., ed. *Methods of soil analysis*. Part

1. Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. pp. 472-484.
4. HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. New York, Academic Press, 1980. 413 p.
5. TOLEDO, J. y MORALES, V. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la Amazonia Peruana. *In* Tergas, L. y Sanchez, P., eds. Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Colombia, CIAT, 1979. pp. 191-210.
6. UEHARA, G. y GILLMAN, G. The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. Colorado, Westview Press, 1981. 170 p.
7. U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. Soil Taxonomy. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, 1975. 754 p.
8. VOORHEES, W., SENST, C. y NELSON, W. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in northern corn belt. *Soil Science Society of America Journal*. 42:344-349. 1978.