



<http://opn.to/a/ONXg7>

ARTÍCULO ORIGINAL

Relación entre la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico

Relationship between the soil gravimetric moisture and soil resistance to penetration on a Chromic Vertisol

MSc. Alejandro Villazón-Gómez^{*}, Ing. George Martín-Gutiérrez¹ e Ing. Yakelín Cobo-Vidal^{II}

¹ Universidad de Holguín. Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR), Holguín, Cuba.

^{II} Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), Programa Integral de Manejo Agronómico (PIMA), Mayarí, Holguín, Cuba.

RESUMEN. Los Vertisoles son propensos a compactarse durante las labores agrícolas, influenciados, entre otros factores, por la humedad del suelo. El trabajo se realizó en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín con el objetivo de determinar la relación entre la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico cálcico bajo pasto natural. Se muestrearon 10 puntos, con una separación de 3 m entre sí, en un transecto de 30 m. Se determinó la resistencia a la penetración con un penetrómetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf cada 10 cm hasta los 30 cm de profundidad. Se tomaron muestras de suelo para determinar la humedad gravimétrica. La humedad gravimétrica determinada en los dos primeros horizontes mostró diferencias altamente significativas con la existente en la capa de 20-30 cm. Se encontró una relación inversa y exponencial entre la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración. Comparada con las dos capas sobreyacentes, en la profundidad de 20-30 cm, para igual valor de la resistencia a la penetración existe un mayor contenido de humedad gravimétrica, influenciado probablemente por una mayor cantidad de arcilla Smeclita en el horizonte B.

Palabras clave: propiedades físicas del suelo, compactación, pasto natural.

ABSTRACT. Vertisols are prone to compact during agricultural work influenced, among other factors, by soil moisture. The work was carried out in areas of the Provincial Sugarcane Research Station of Holguín with the objective of determining the relationship between soil gravimetric moisture and soil resistance to penetration on a Calcic Chromic Vertisol under natural grass. Ten points were sampled, with a separation of 3 m from each other, in a 30 m transect. The soil penetration resistance was determined with a IAA/Planalsucar-Stolf impact penetrometer every 10 cm up to 30 cm depth. Soil samples were taken to determine the soil gravimetric moisture. Gravimetric moisture on the two first horizons showed highly significant differences with the existent in the layer of 20-30 cm. An inverse and exponential relationship was found between the soil gravimetric moisture and the soil resistance to penetration. Compared with the two overlying layers, in the depth of 20-30 cm, for the same value of the soil resistance to penetration there is a higher soil gravimetric moisture content, probably influenced by a greater amount of Smectite clay in the B horizon.

Keywords: physical properties of the soil, soil compaction, natural grass.

INTRODUCCIÓN

El suelo constituye un recurso fundamental para el desarrollo de los agroecosistemas (Medina, 2016). Sus propiedades

físicas dependen de la relación entre las fases sólida, líquida y gaseosa (Astier *et al.*, 2002). Estas propiedades tienen un efecto

^{*} Autor para correspondencia: Alejandro Villazón Gómez, e-mail: villazon@fac.uho.edu.cu

Recibido: 15/07/2018.

Aceptado: 21/12/2018.

directo sobre la retención de humedad, la aireación, el desarrollo de raíces (Veum *et al.*, 2014) y, por ende, en la agroproductividad del suelo (Palma-López *et al.*, 2017).

Los Vertisoles son suelos con un elevado porcentaje de arcillas, con un significativo agrietamiento cuando se encuentran en estado seco. Poseen una elevada fertilidad. Sin embargo, las dificultades durante las labores agrotécnicas a causa del endurecimiento en la época de sequía y del encharcamiento durante las lluvias dificultan el adecuado desarrollo del sistema radicular (Palma-López *et al.*, 2017). Se forman en áreas donde el relieve es de llano a depresional u ondulado, en las zonas tropicales y subtropicales de nuestro planeta. La vegetación clímax es de sabana, pasto natural o bosque (WRB, 2007).

Son muy estudiados en el mundo debido a la importancia de su comportamiento físico en aspectos aplicados de uso y manejo de suelos (Imbellone y Mormeneo, 2011). A nivel mundial ocupan una extensión de 335 millones de ha. En las regiones tropicales se concentran unos 200 millones de ha (WRB, 2007). En Cuba ocupan una extensión de 695 000 ha, sobre todo en la región oriental de la isla (Hernández *et al.*, 2014).

Cuando en estos suelos cambia el uso de la tierra desde su estado natural hacia un agroecosistema la primera modificación de sus propiedades se manifiesta a través del incremento de la densidad aparente y de la compactación (Torres *et al.*, 2016). De esta manera, resulta característico que se encuentren afectados por la degradación física manifestada a través de los procesos de compactación, evidenciados por elevados niveles de densidad aparente y resistencia a la penetración (Willians y Reyes, 2014).

El objetivo del presente trabajo es determinar la relación entre la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico cálcico bajo pasto natural.

MÉTODOS

El trabajo se realizó a finales de la temporada seca (en el mes abril) del año 2017, en áreas pertenecientes a la Estación

Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Holguín, en un suelo Vertisol Crómico bajo pasto natural (Hernández *et al.*, 2015). Se muestrearon 10 puntos, con una separación de 3 m entre sí, a lo largo de un transecto de 30 m de longitud. Se determinó la resistencia a la penetración con un penetrómetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf según Stolf *et al.* (1983), con la masa impactadora de 4 kg regulada a 0.40 m de altura. La transformación de la cantidad de impactos por decímetro (dm) a megapascales (MPa) se realizó a través de la expresión matemática planteada por (Stolf, 1991):

$$RP \text{ (MPa)} = 0,547 + 0,675 * N \quad (1)$$

Donde *RP* es resistencia a la penetración y *N* es la cantidad de impactos por dm. Estos resultados fueron expresados en intervalos constantes (10 cm), hasta los 30 cm de profundidad.

Con barrena para muestreos de suelos se tomaron muestras de suelo y se colocaron en pesafiltros. Se les determinó la masa de suelo húmedo y se pusieron en una estufa a 105° C, hasta que alcanzaron un peso constante (masa de suelo seco) para determinar la humedad gravimétrica a partir de la ecuación:

$$\theta_g = \frac{msh - mss}{mss}$$

donde: θ_g es la humedad gravimétrica; *msh* es la masa del suelo húmedo y *mss* es la masa del suelo seco.

El sitio de trabajo se encuentra asociado a un perfil descrito en las coordenadas 20° 40' 10.9" de latitud N y 75° 47' 11.0" de longitud W. El mismo se abrió en una planicie o llanura, con una altura absoluta de 28 m snmm; drenaje superficial moderado, drenaje interno moderado a imperfecto; vegetación generalmente herbácea con algunos arbustos de marabú (*Dichrostachys cinerea*). La descripción morfológica de dicho perfil, realizada por los autores, se muestra en la Tabla 1. El suelo se clasificó como un Vertisol Crómico (Hernández *et al.*, 2015).

TABLA 1. Descripción morfológica del perfil asociado al área de trabajo

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-12	5YR 2/2 en seco, negro parduzco, arcilloso, en bloques subangulares, fresco, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico, muy compacto, frecuentes raíces y finas, reacciona ligeramente al HCl, transición al límite inferior neta.
A1	12-26	10YR 3/2 en seco, gris parduzco, arcilloso, en bloques subangulares, fresco, ligeramente adherente y ligeramente plástico, muy compacto, pocas raíces y finas, pedotúbulos, perdigones frecuentes, transición al límite inferior neta de forma ondulada.
B1	26-51	10YR 5/3 en seco, pardo amarillento apagado, arcilloso, en bloques subangulares, ligeramente húmedo, adherente, plástico, ligeramente compacto, muy pocas raíces y muy finas, muchos perdigones, transición al límite inferior gradual.
B2, s	51-80	10YR 5/4 en seco, pardo amarillento apagado, arcilloso, en bloques subangulares, ligeramente húmedo, adherente, plástico, compacto, muchos perdigones, transición al límite inferior gradual de forma ondulada.
C	80-106	5Y 7/3 en seco, amarillo claro, franco arcillo arenoso, sin estructura definida, húmedo, friable, no adherente, ligeramente plástico, frecuentes perdigones mezclados con el material arenoso, aislados "ojos blancos", cantos rodados, reacciona al HCl, transición al límite inferior brusca.

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Cg, ca	106-132	7.5GY 7/1 en seco, gris verdoso claro, franco arcilloso, en bloques angulares, húmedo, ligeramente adherente, ligeramente plástico, reacciona fuertemente al HCl, con abundantes "ojos blancos".
Cg	132-164	7.5Y 8/3 en seco, amarillo pálido con manchas gris azulosas de gleyzación, arcilloso, en bloques subangulares, húmedo, adherente, plástico, algunos <i>slikensides</i> , ligeramente compacto, reacciona fuertemente al HCl.

Se realizó un análisis exploratorio de datos para determinar las principales medidas de posición, tendencia y forma. Se efectuó un análisis de varianza de clasificación simple y las diferencias se determinaron mediante la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan con una significación del 5% ($p < 0.05$). Se realizó un análisis de regresión simple para construir un modelo estadístico que describe el impacto de la variable regresora (humedad gravimétrica) sobre la variable dependiente (resistencia a la penetración). El procesamiento de los datos se acometió mediante el software STATISTIC 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra el comportamiento de los principales estadígrafos de posición, dispersión y forma para la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración en las tres profundidades. En el caso de la media puede apreciarse que para la humedad gravimétrica no existen diferencias significativas entre las profundidades de 0-10 y de 10-20 cm, y que estas sí difieren de forma altamente significativa de la capa de 20-30 cm. Estas diferencias entre los dos horizontes superficiales

comparados con el horizonte más profundo pueden deberse a que los dos primeros coinciden con el horizonte A mientras que la capa subyacente ocupa el borde inferior de dicho horizonte con la parte superior del horizonte B.

En el caso de las medias de la resistencia a la penetración se encontró que la misma aumenta al pasar de la capa superficial (2.658 MPa) a la intermedia (2.710 MPa) para disminuir en la capa más profunda (2.316 MPa), sin que se encontraran diferencias significativas entre ellas.

Los valores de la mediana y la media de la humedad gravimétrica se encuentran más cercanos entre sí. Lo cual indica que entre los valores de esta propiedad física existen, comparada con la resistencia a la penetración, menos observaciones extremas en los conjuntos de datos que hagan desplazarse desde el centro de la distribución de datos a la segunda medida de localización mencionada.

De forma semejante, la menor diferencia entre los valores mínimos y máximos en la humedad gravimétrica hace que las medidas de dispersión (varianza, desviación estándar y coeficiente de variación) sean menores para la humedad gravimétrica que para la resistencia a la penetración.

TABLA 2. Análisis exploratorio de datos de la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración por profundidades

Prof. (cm)	Media	Media na	Error estándar	Míni mo	Máxi mo	Va rianza	Desv. estándar	C. V (%)	Asime tría	Curto sis
Humedad gravimétrica (g·g⁻¹)										
0-10	0,211a	0,210	0,005	0,190	0,246	0,0003	0,016	7,52	1,091	2,109
10-20	0,216a	0,212	0,005	0,200	0,248	0,0003	0,016	7,45	1,127	0,311
20-30	0,254b	0,257	0,008	0,217	0,294	0,0006	0,024	9,66	0,039	-0,838
Resistencia a la penetración (MPa)										
0-10	2,658	2,572	0,169	1,813	3,440	0,2840	0,533	20,05	0,219	-0,696
10-20	2,710	2,701	0,173	1,930	3,729	0,2984	0,546	20,16	0,305	-0,055
20-30	2,316	2,148	0,134	1,845	3,014	0,1790	0,423	18,26	0,942	-0,703

Desv. estándar: Desviación estándar; C. V.: Coeficiente de variación.

Al estudiar la deformación horizontal de los valores de las variables respecto al valor central de las medias (asimetría) se observa en la distribución de los valores de la humedad gravimétrica en las dos primeras profundidades una asimetría hacia la derecha o positiva, al ser los valores de la asimetría superior a la unidad. Para la profundidad de 20-30 cm y para la resistencia a la penetración (en las tres profundidades) la asimetría es hacia la izquierda o negativa.

En el caso de la forma de distribución de los valores obtenidos en cada variable con la forma de una distribución normal, tanto en la humedad gravimétrica como en la resistencia a la penetración la forma de la curtosis es leptocúrtica. Aunque

este apuntamiento es más pronunciado, para la humedad gravimétrica en las dos primeras profundidades, que son las que coinciden con la asimetría hacia la derecha (Rey y Ramil, 2007).

La Figura 1 muestra el efecto de la humedad gravimétrica sobre la resistencia a la penetración. Puede observarse que existe una relación inversamente proporcional entre las propiedades físicas mencionadas, debido a la cual la resistencia a la penetración se comporta exponencialmente en sentido contrario cuando la humedad gravimétrica aumenta o disminuye.

En las profundidades de 0-10 y de 10-20 cm esta relación tiene un comportamiento semejante, en cuanto a los niveles de compactación y el contenido de humedad gravimétrica en el

suelo. Sin embargo, en la capa de 20-30 cm puede apreciarse que, comparada con las dos profundidades sobreyacentes, la

resistencia a la penetración se modifica de forma más atenuada ante los cambios en los contenidos de la humedad gravimétrica.

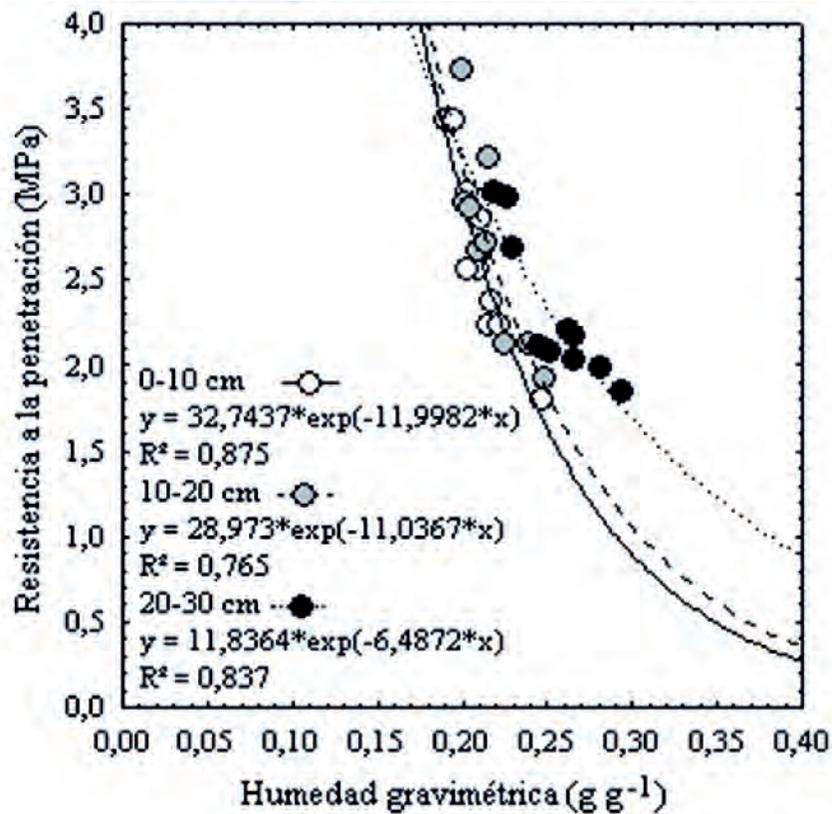


FIGURA 1. Análisis de regresión entre la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración.

De esta forma, en la capa de 20-30 cm, a valores equivalentes de resistencia a la penetración, con respecto a las capas de 0-10 y de 10-20 cm, les corresponde un mayor contenido de humedad gravimétrica que en las capas superiores y mientras menor es la resistencia a la penetración, mayores es la diferencia en cuanto a los tenores de humedad gravimétrica, de nuevo comparándolos con las capas sobreyacentes. Este mayor contenido de agua a iguales niveles de compactación puede estar dado por un mayor contenido de arcilla Smeclita, al coincidir esta capa con el límite superior del horizonte B.

El espesor de esta capa coincide con la profundidad del límite superior (24-29 cm) del horizonte B reportado por (Hernández *et al.* (2014) al estudiar tres perfiles de Vertisoles ubicados en los alrededores de El Guatao y entre Tapaste y Campo Florido, en las provincias de Artemisa y Mayabeque (todos con horizonte principal de diagnóstico vértico).

Andrade *et al.* (2013), al realizar un estudio en suelos de las regiones del centro-oeste, norte y nordeste de Brasil, encontraron una relación inversa entre el contenido gravimétrico de agua y la resistencia a la penetración, ajustada mediante ecuaciones potenciales. Además, para un valor de 2 MPa de resistencia a la penetración los tenores de humedad considerados como críticos fueron de 0,07, 0,177 y 0,225 g·g⁻¹ para las texturas arcillosa, franca y arenosa, respectivamente.

Elisei (2017), encontró en Argiudoles típicos (Argentina) con un 22-23% de materia orgánica y plantados con siembra

directa durante más de 10 años, que en las profundidades de 0-5, de 5-10, de 10-20 y de 20-30 cm la resistencia a la penetración disminuía exponencialmente con el incremento de la humedad gravimétrica. Además, que esta relación era más fuerte entre los 5 y los 20 cm. De la misma manera Pinzón *et al.* (2016), al estudiar la variabilidad espacial de la resistencia a la penetración y la humedad volumétrica en suelos bajo diferentes tipos de cobertura vegetal en el departamento de Boyacá en Colombia, encontraron que ambas propiedades variaban inversamente en todas las profundidades.

CONCLUSIONES

- La humedad gravimétrica por profundidades fue menor en los dos horizontes más cercanos a la superficie comparada con la capa de 20-30 cm, encontrándose diferencias altamente significativas entre los valores de dicha propiedad física por encima de los 20 cm y los determinados en la capa subyacente.
- Se encontró, en las tres profundidades, una relación inversa y exponencial entre la humedad gravimétrica y la resistencia a la penetración. Comparada con las dos capas sobreyacentes, en la profundidad de 20-30 cm, para igual valor de la resistencia a la penetración existe un mayor contenido de humedad gravimétrica, influenciado probablemente por la calidad de la arcilla Smeclita en el horizonte B.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, R. da S.; STONE, L.F.; GODOY, S. de: “Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(9): 932-937, 2013, ISSN: 1807-1929.
- ASTIER, C.M.; MAASS, M.M.; ETCHEVERS, B.J.: “Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable”, *Agrociencia*, 36(5): 605-620, 2002, ISSN: 1405-3195.
- ELISEI, J.: “Influencia de la humedad del suelo en la resistencia a la penetración vertical”, *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 10(3): 18-20, 2017, ISSN: 2310-2799.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.J.M.; BOSCH, I.D.; CASTRO, S.N.: *Clasificación de los suelos de Cuba.*, Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, A.; LLANES HERNÁNDEZ, V.; LÓPEZ PÉREZ, D.; RODRÍGUEZ CABELLO, J.: “Características de vertisoles en áreas periféricas de La Habana”, *Cultivos Tropicales*, 35(4): 68-74, 2014, ISSN: 0258-5936.
- IMBELLONE, P.; MORMENEO, L.: “Vertisoles hidromórficos de la planicie costera del río de la Plata, Argentina”, *Ciencia del suelo*, 29(2): 107-127, 2011, ISSN: 1850-2067.
- MEDINA, C.: “Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos”, *Remediaciones. Rev. Colombiana Ciencia Animal*, 8(1): 88-93, 2016, ISSN: 2027-4297.
- PALMA-LÓPEZ, D.; ZAVALA-CRUZ, J.; BAUTISTA-ZUÑIGA, F.; MORALES-GARDUZA, M.; LÓPEZ-CASTAÑEDA, A.; SHIRMA-TORRES, E.; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, R.; PEÑA-PEÑA, A.; TINAL-ORTIZ, S.: “Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México”, *Agroproductividad*, 10(12): 71-78, 2017, ISSN: 2594-0252.
- PINZÓN-GÓMEZ, L.P.; ÁLVAREZ-HERRERA, J.G.; MESA-AMEZQUITA, A.: “Study of the spatial variability of moisture and compaction in soils with different plant covers”, *Agronomía Colombiana*, 34(3): 355-363, 2016, ISSN: 0120-9965.
- REY, G.C.; RAMIL, D.M.: *Introducción a la Estadística Descriptiva*, Ed. Netbiblo, S. L., La Coruña, España, 2007, ISBN: 978-84-9745-167-3.
- STOLF, R.: “Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo”, *Revista brasileira de ciência do solo*, 15(3): 229-235, 1991, ISSN: 0100-0683.
- STOLF, R.; FERNÁNDEZ, J.; FURLANI, V.L.: “Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf”, *Revista Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 1(3): 235-241, 1983, ISSN: 0797-4930.
- TORRES GUERRERO, C.A.; GUTIÉRREZ CASTORENA, M.; CARMEN, D.; ORTIZ SOLORIO, C.A.; GUTIÉRREZ CASTORENA, E.V.: “Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión”, *Terra Latinoamericana*, 34(4): 457-466, 2016, ISSN: 0187-5779.
- VEUM, K.S.; GOYNE, K.W.; KREMER, R.J.; MILES, R.J.; SUDDUTH, K.A.: “Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum”, *Biogeochemistry*, 117(1): 81-99, 2014, ISSN: 0168-2563.
- WILLIAMS, J.; REYES, R.: “Procesos de compactación en un suelo vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela”, *Bioagro*, 26(1): 39-48, 2014, ISSN: 1316-3361.
- WRB, I.G.D.T.: “Base referencial mundial del recurso suelo. Primera actualización 2007”, *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos FAO*, ser. Primera actualización 2007, (103), 2007, ISSN: 1020-430X.

Alejandro Villazón Gómez, Prof. e Inv. Universidad de Holguín. Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR) Ave. de los Libertadores, km 3½, Holguín, Cuba, Tel: 2448 1221, correo electrónico: villazon@faca.uho.edu.cu
George Martín Gutiérrez, correo electrónico: villazon@faca.uho.edu.cu

Yakelín Cobo Vidal, correo electrónico: villazon@faca.uho.edu.cu

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

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 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.