

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

INVESTIGACIÓN

Construcción y calibración de un penetrómetro de impacto para medir los efectos del senderismo

*Toledo Bruzual, Valentina**; *Millán Boadas, Zuly***

Resumen

Se diseñó un penetrómetro de impacto, en forma mecánica, para evaluar la resistencia mecánica en los suelos, producida por la presión de las pisadas humanas, en dos senderos: Sabas Nieves y Los Venados, del Parque Nacional Warairo Repano (El Ávila, Venezuela). El aparato tiene la ventaja de ser ligero y por tanto, portátil, ya que solo pesa 1.2 kg. Es preciso, validado estadísticamente y práctico como lo expone el protocolo de uso. Los resultados mostraron que el uso del prototipo en campo, es sensible para detectar diferencias en la resistencia mecánica del suelo, en diferentes coberturas vegetales: Sabana de montaña y Bosque veranero, y con distintos porcentajes de materia orgánica. El equipo es confiable en cuanto a la repetibilidad de las mediciones y viable en los trabajos de investigación que se requiera realizar sobre la compactación del suelo, en los diferentes senderos del Parque Nacional Waraira Repano.

Palabras clave: Penetrometría; senderismo; pisadas humanas; compactación

Artículo derivado de Proyecto de Investigación Libre, financiado y culminado, a través de la Subdirección de Investigación y Postgrado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, registrado con el n.º 13.061, en el Centro de Investigación en Ciencias Naturales «Manuel Angel González Sponga» (CICNAT). Presentado el 28/08/15 y admitido el 24/02/16. AUTORAS: *Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas. Departamento de Geografía. **Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas. Departamento de Matemática y Física.

CONTACTO: toledo.valentina@gmail.com



Construction and calibration of a penetrometer of impact to measure effects the trekking

Abstract

Impact penetrometer was designed, mechanically, to evaluate the strength in soils, produced by the pressure of human feet in two paths: Sabas Nieves and Los Venados, at the Warairo Repano National Park (Avila). The apparatus has the advantage of being lightweight and thus portable, since it only weighs 1.2 kg. It is precise, statistically validated and convenient as it exposes in the application protocol. The results showed that the use of the prototype in the field is sensitive to detect differences in the strength of the soil at different vegetation covers: Sabana mountain and forest, and with different % organic matter. The equipment is reliable in terms of repeatability of measurements and viable in the research that is to be done on soil compaction in the different paths of Waraira Repano National Park.

Keywords: Penetrometry; trekking; human feet; compaction

Construção e calibração de um penetrômetro de impacto para medir os efeitos das caminhadas

Resumo

Foi desenhado um penetrômetro de impacto, em forma mecânica, para avaliar a resistência mecânica nos solos, produzida pela pressão das pisadas humanas, em duas trilhas: Sabas Nieves e Los Venados, do Parque Nacional Warairo Repano (El Ávila, Venezuela). O aparelho tem a vantagem de ser leve e, portanto, portátil, já que pesa somente 1.2 kg. É preciso, validado estatisticamente e prático como expõe o protocolo de uso. Os resultados mostraram que o uso do protótipo no campo, é sensível para detectar diferenças na resistência mecânica do solo, em diferentes coberturas vegetais: Savana de montanha e Floresta, e com diversas porcentagens de matéria orgânica. O equipamento é confiável em termos de repetibilidade das medições e viável nos trabalhos de pesquisa a serem realizados sobre a compactação do solo, nas diferentes trilhas do Parque Nacional Waraira Repano.

Palavras-chave: Penetrometria; trilhas caminhadas; pisadas humanas; compactação

I. Introducción

El conjunto montañoso que se conoce como Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila), forma parte del sistema de la Cordillera de la Costa, el cual se halla hacia la parte centro-norte costera de Venezuela, en América del Sur. Las sinuosas elevaciones del Parque Nacional El Ávila ocupan parte de los territorios del estado Vargas, el Distrito Capital y el estado Miranda. Abarca una superficie de 85.192 hectáreas. Su punto más bajo está a 120 metros de altura, mientras que el más alto (el Pico Naiguatá), se encuentra a 2.765 metros de altura. La montaña Ávila, tiene una longitud de más de 80 Km y unos 16 km de ancho, representa un pulmón vegetal de la ciudad de Caracas. El imponente frente sur del parque mira a los Valles de Caracas, Guarenas y Guatire, y es más corto, más estrecho y de menor superficie que el del norte (Ovalles, s/f; Denis, 2009; Vivas, Cegarra y Maggiorani, 2010).

El parque tiene condiciones y situaciones muy especiales, ya que casi todo su perímetro limita con áreas urbanas, lo que genera serios problemas de conservación del medio natural. A pesar de ello, ha sido posible mantener gran parte de su superficie fuera del crecimiento urbanístico de la ciudad, destacándose que el límite urbano de Caracas se realizó acatando los linderos fijados en el decreto de creación del parque, es decir, desde el 18 de diciembre de 1958, según Decreto n.º 473 publicado en Gaceta Oficial n.º 25.841.

El Parque corresponde a una abrupta región montañosa con laderas y fuertes pendientes. Además cuenta con 16 accesos a través de senderos, entre los más concurridos por encontrarse próximos a la ciudad de Caracas figuran, el «Sabas Nieves» y el de «Los Venados» localizados, en la urbanización Altamira y Cotiza respectivamente. El aumento en el tránsito de personas sobre ambos senderos durante los fines de semanas es notorio, existiendo un incremento de la demanda con un mayor número de personas que busca el contacto con la naturaleza y la realización de actividades físico-deportivas, así como también de lugares de esparcimiento y recreación. Ante esta situación, se observa la alteración del paisaje, la cual ha ocurrido de forma progresiva.

Los efectos de las pisadas de los visitantes sobre el suelo es motivo de interés de esta investigación. Si bien la compactación pudiera ser uno de esos efectos producto del pisoteo continuo, quizás también, la disminución de la materia orgánica y/o la desaparición de la cobertura vegetal en zonas muy pisadas. En consecuencia, la presencia humana en los espacios naturales, es posible que genere una amplia variedad de efectos en caminos

frecuentados, pero principalmente la acción mecánica del tránsito de personas o vehículos originan la compactación del perfil edáfico (Andrés, 1998), un fenómeno que generalmente ocurre.

La compactación del suelo, es definida como el incremento de densidad aparente que resulta de la aplicación de una carga o presión. Esta presión puede venir de fuerzas mecánicas aplicadas, de la contracción de algunos suelos al secarse y de la destrucción de la materia orgánica o de la estructura del suelo (Narro, 1994). Aparte de los procesos naturales que forman capas de suelo compactadas, se reconocen el tránsito de maquinarias y ganado como los factores compactantes relacionados al hombre Nacci y Pla Sentís (1992). Adicionalmente, la presión de las pisadas humanas o la circulación de vehículos de uso recreativo, también ocasiona compactación en el suelo (Hammit y Cole, 1998). Su importancia dependerá tanto de las propiedades intrínsecas del suelo (estructura, textura, materia orgánica, entre otros) y de la cubierta vegetal que soporta, como de factores extrínsecos (tipo y nivel de utilización) Gómez citado en Andrés (1998). A causa de la compactación, las partículas del suelo se empaquetan, con la consecuente reducción del espacio intersticial. De igual modo, la estructura del suelo se degrada, los agregados se rompen y el resultado es la reducción de la porosidad total del suelo, la capacidad de aireación y el drenaje (Gómez, 1999; Casanova, 2005).

Por otra parte, los procesos de compactación tienen diferente significación en mecánica de suelos y en agronomía. En el primer caso se requiere que el suelo tenga una elevada capacidad portante y una baja compresibilidad, lo que se consigue con una compactación sistemática. Para el crecimiento de las plantas, por el contrario, interesa evitar la compactación e incluso favorecer la fragmentación por medio del laboreo (Porta, López-Acevedo y Roquero, 1999). En este sentido, es notoria la tendencia a estudiar la compactación con fines de minimizarla, como consecuencia de la intervención de las prácticas agronómicas de nivelación y laboreo (Reyes, 2010; Richmond y Rillo, s/a).

Dentro de este marco, el estado de compactación de los horizontes en el momento de una prospección de suelo, se puntualiza sistemáticamente utilizando criterios que permitan una evaluación cualitativa. Al afectar la estructura, la compactación puede describirse de forma indirecta a través de la densidad aparente, del radio de huecos, de la porosidad y de la estabilidad de agregados (Gómez, 1999; Lipiec y Hatano, 2003). Cuando se produce un cambio en la geometría de huecos, otra forma de abordar el estudio, consiste en utilizar aquellas condiciones que pueden verse afectadas: curvas características de humedad, velocidad de infiltración, conductividad

hidráulica, difusividad suelo-agua, permeabilidad al aire y difusión de gases (Pla Sentís, 1983; Lipiec y Hatano, 2003).

La resistencia a la penetración (R), se ha utilizado en muchos ensayos de compactación como una medida más. Se puede realizar en el laboratorio y/o en campo, siendo más recomendada esta última. Se basan en el corte del suelo a lo largo de una superficie, determinada por la geometría del aparato o bien en ensayos de penetración, que resultan más fáciles de realizar (penetrómetro). Según Usón, Boixadera, Bosch y Enrique (2010) el penetrómetro va registrando lecturas a medida que profundiza en el suelo, por ello el resultado es un conjunto de medidas de resistencia para cada profundidad. La resistencia a la penetración se expresa como fuerza por unidad de área en KPa ó MPa.

Existen varios tipos de penetrómetros, los cuales deben ser cuidadosamente calibrados. Al respecto, Vásquez *et al.*, (2011), señalan de manera general, dos tipos de penetrómetros, los estáticos y los dinámicos. Los primeros miden la resistencia del suelo con un desplazamiento del cono a una velocidad constante, por lo que se construyen con dispositivos motorizados para mantener la velocidad. Los segundos se basan en la energía lograda por el impacto de un martillo como resultado de su caída libre a una altura determinada. Diversos estudios han utilizado el penetrómetro para determinar la resistencia natural del suelo. A pesar de la diversidad de equipos y métodos utilizados, hay evidencia de que la resistencia o dureza del suelo, es caracterizada adecuadamente a través de estos equipos (Nacci y Pla Sentís, 1992). Se han establecido relaciones entre las medidas obtenidas de resistencia a la penetración y otros parámetros de orden físico, tales como densidad aparente, porosidad y contenido de humedad (Vásquez *et al.*, 2011; Ramírez y Salazar 2012), pero de orden biológico o químico, son escasos (Reyes, 2010; Reyes, 2014). Tal vez, una de las mayores ventajas del penetrómetro, sea su versatilidad, ya que es usado en campo directamente, pudiéndose en poco tiempo realizar un gran número de lecturas. Luego, basado en esas mediciones se ubican y delimitan áreas de valores máximos, mínimos y promedios, las cuales serán estudiadas con mayor detalle a corto o medio plazo.

En cuanto a su uso en el laboratorio y particularmente en el caso del estudio de costras superficiales, los penetrómetros deben ser diseñados de forma tal, que puedan registrarse de manera precisa, cambios en la resistencia a la penetración en escasos espesores (Julio y Giubileo, 2008) y generalmente se recomienda usar puntas de tipo agujas debido al reducido espesor de la costra (Nacci y Pla Sentís, 1992).

Este parámetro de resistencia a la penetración (RP), ha sido ampliamente utilizado en gran cantidad de trabajos sobre compactación, como pueden ser: diferencias entre tractores de ruedas o cadenas de goma y/o máquina pesada (Richmond y Rillo, s/a; Schäffer, 2007), número de veces que pasa una máquina (Gómez, 2011).

Dentro de este orden de ideas, las investigaciones sobre las presiones aplicadas al suelo por el tránsito de personas son pocas o escasamente reseñadas en la literatura (Radulovich y Sollins 1985; Andrés y Del Cerro, 1992). En algunos casos solo se menciona los efectos negativos (Andrés y Del Cerro, 1992). De esta situación no escapa el Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila). Al respecto, Vivas, Cegarra y Maggiorani (2010), señalan que el conocimiento científico de los componentes físico-ambientales es deficiente. Menos aún, es posible encontrar en la bibliografía consultada, investigaciones que describan aspectos de la física del suelo, específicamente de la compactación. La compactación generalmente trae consigo, dos tipos mayores de consecuencias negativas que pueden afectar el ambiente: 1) disminución de la permeabilidad al agua y aire, lo que propicia la erosión por escorrentía, hipoxia radicular y condiciones reductivas entre otros; 2) consolidación de las capas superficiales lo que afecta negativamente la emergencia de plántulas y el desarrollo radicular (Pla Sentis, 1983; Narro, 1994).

En tal sentido y para fines de identificar la presencia de capas compactas en los senderos «Sabas Nieves» y en «Los Venados», el trabajo se enmarcó en dos objetivos, el primero en el diseño, construcción y calibración de un penetrómetro de impacto, a confeccionarse en forma mecánica para el uso de diagnóstico de problemas de compactación que pudiera estar generándose en los senderos, por las pisadas de los visitantes en el Parque Nacional Warairo Repano (El Ávila). El segundo objetivo, validación del penetrómetro a través de correlaciones de los datos resultantes de la variable porcentaje de materia orgánica.

II. Materiales y Métodos

II.1. Diseño y construcción del penetrómetro de impacto

Para la construcción del equipo se utilizó una varilla cilíndrica de acero enroscada de 72 cm de longitud, y diámetro de 4 mm. La longitud de la varilla, se estableció conforme a un recorrido necesario de la pesa o masa de inercia, de inserción al suelo y colocación de mango para el operario (**Figura 1**). Desde el extremo desde el cual se suelta la pesa hasta la punta inferior de la varilla, se ubicaron tope superior y tope inferior utilizando arandelas de acero

para el límite de recorrido de la pesa o masa, aseguradas con doble tuercas ajustadas al vástago o varilla que permiten incluso variar el recorrido total de la pesa. El largo total del recorrido se fijó en 37 cm. Se colocó un tubo de aluminio por encima de la varilla como guía de la caída libre de la pesa, permitiendo un apropiado deslizamiento. Por otro lado, el extremo superior de la varilla se colocó un mango de metal enroscado y sobre el mango un nivel de burbuja para garantizar la no actuación de fuerzas laterales entre el equipo y el suelo.

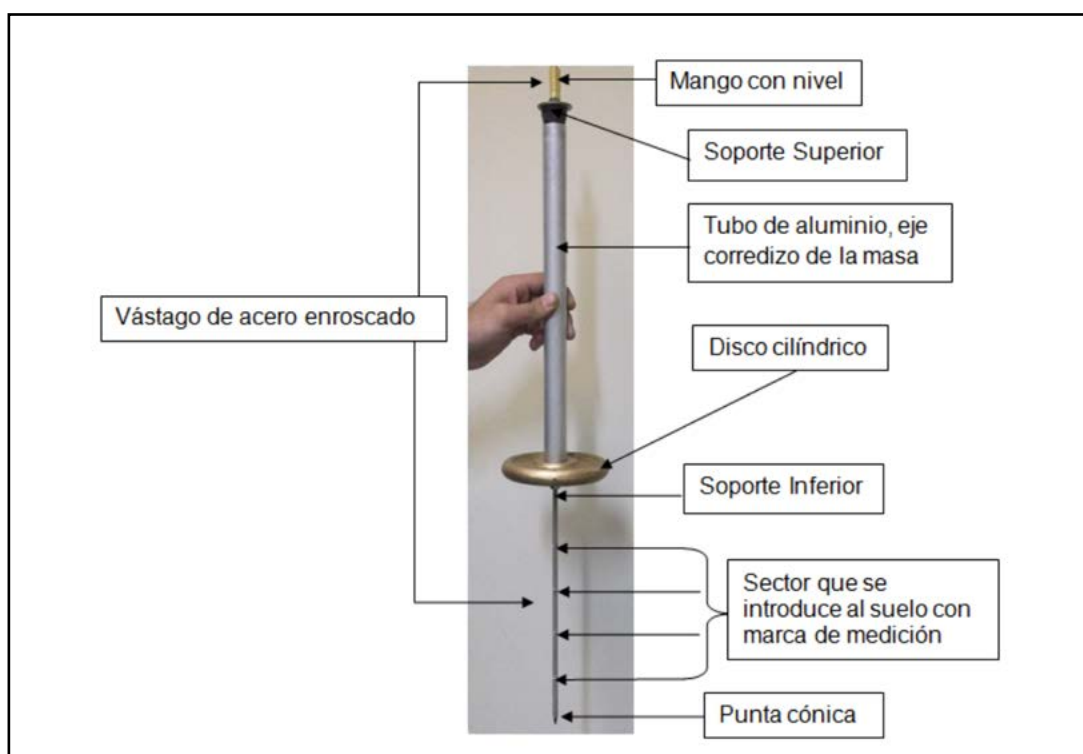


FIGURA 1. Esquema general del penetrómetro de impacto

Para la pesa, se estableció una magnitud de 1 kg, en consideración a las reacciones de suelo esperadas en el sendero. En cuanto a su forma, la masa está representada por un disco cilíndrico centrado en el desplazamiento longitudinal sobre el tubo de aluminio que recubre el vástago de acero, lo que posibilita su adecuada caída libre. El cono no es enroscado sino constituye la punta terminal de la varilla de acero. Su diseño se logró con un esmeril, obteniéndose la punta cónica fina, con un ángulo de 20° aproximadamente. El diseño habitual del cono presenta una superficie mayor en la base del vástago, para evitar adherencia del suelo. Por la pequeña profundidad al-

canzada podría no ser importante este aspecto en el diseño. La parte de la varilla que se inserta en el suelo, tiene una longitud de 27 cm y sobre ella, tiene dibujada cuatro marcas espaciadas cada 5 cm, comenzando desde la parte inferior de la misma, sin considerar la punta cónica, hasta completar los 20 cm en el registro de la profundidad alcanzada en cada golpe de masa; luego continua 7,0 cm de la varilla hasta llegar a la brida inferior o tope inferior, lo que permite extender la barra de inserción si fuera necesario.

II.2. Metodología para la determinación de la resistencia a la penetración (RP) del suelo

Se coloca el penetrómetro en posición vertical en el punto a determinar la resistencia y donde se encuentre el nivel de burbuja, se deja caer en caída libre el disco, desde la parte superior donde se encuentra la arandela de tope, hasta el punto de impacto que es la segunda arandela inferior. Se repite esta acción, contando el número de golpes necesarios para que el penetrómetro se introduzca los primeros 5 cm en el suelo (marca o raya sobre la barra de inserción). Se anota en la planilla el número de golpes y se reitera el punto de dejar caer el disco, hasta alcanzar los cm de profundidad de exploración predeterminados según el objetivo de estudio. Para calcular la resistencia a la penetración (R), se procedió según lo señalado por Govaerts (2013), aplicando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{N.M.g.SD}{(AxPD)}$$

Donde:

R= resistencia en (MPa)

N = N° de impacto

M= la masa de la pesa (kg)

g= la gravedad= 9,81 m/s²

SD= la distancia que se desliza la pesa (m)

A= área lateral del cono (m²)

$$A = \pi.r.\sqrt{r^2 + h^2}$$

PD = distancia de penetración (m)

La masa de impacto fue de 0,935 kg, la distancia de deslizamiento de la pesa fue de 0,37 m y las distancias de penetración fueron 0,5, 0,10 y 0,15 m. El área lateral del cono fue de 0,912 x10⁻⁴m²

II.3. Descripción del área de estudio

En el sector de estudio, se presentan suelos muy evolucionados y profundos, ácidos y se clasifican como Haplohumults (menor temperatura) y Hapludults (mayor humedad) (Elizalde, Vitoria y Rosales, 2007).

El clima del parque es muy variado debido, principalmente, a los diversos pisos altitudinales. Por tanto, el elemento más resaltante desde el punto de vista climático, lo constituye la temperatura, la cual varía de 27 °C (promedio a nivel del mar) hasta los 5 °C en el Pico Naiguatá, con una temperatura media anual de 21 °C. La precipitación es de carácter orográfico con una intensidad mayor en la vertiente norte que en la sur, producto del choque de los vientos alisios con la cordillera. La precipitación media anual varía entre 600 - 1400 mm (Pereira y Aso, 1981).

III. Muestreo

Las medidas de la resistencia a la penetración y toma de muestra se realizaron en los senderos: «Sabas Nieves» y en «Los Venados», ambos ubicados en el Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila), urbanización Altamira y Co-tiza respectivamente. El primero localizado a los 10°30'48" y 10°31'47" latitud Norte y entre los 66°51'13" y 66°51'32" longitud Oeste. El segundo localizado a 10°32'07" y 10°32'21" latitud Norte y 66°53'48" y 66°53'49" longitud Oeste (**Figura 2**).

El sendero «Sabas Nieves» tiene una longitud de 5 km, en el ascenso, se evidencian cambios bruscos de pendiente en diferentes tramos, erosión superficial y tipo cárcavas a lo largo del camino, así como también, ampliación lateral del sendero en detrimento de la cobertura vegetal (**Figura 3**), caracterizada por una sabana de montaña, producto de las recurrentes intervenciones del hombre, especialmente la tala, el pastoreo y los incendios Hubber (citado en Gondelles, 2004). En el otro sendero, «Los Venados», el muestreo se realizó en la zona conocida como sendero aéreo, que tiene una longitud de 220 m, y es utilizado para la interpretación de la naturaleza. El camino es más angosto y no se observa ampliación lateral del mismo. Según Hubber (citado en Gondelles, 2004), la vegetación dominante es de Bosque veranero, compuesto por un alto porcentaje de especies caducifolias, es decir, especies que de enero a mayo pierden total o parcialmente las hojas. Antes de iniciar el sendero, se encuentra la mayor zona del uso frecuente para acampadas, conocida como La Casona (**Figura 4**).

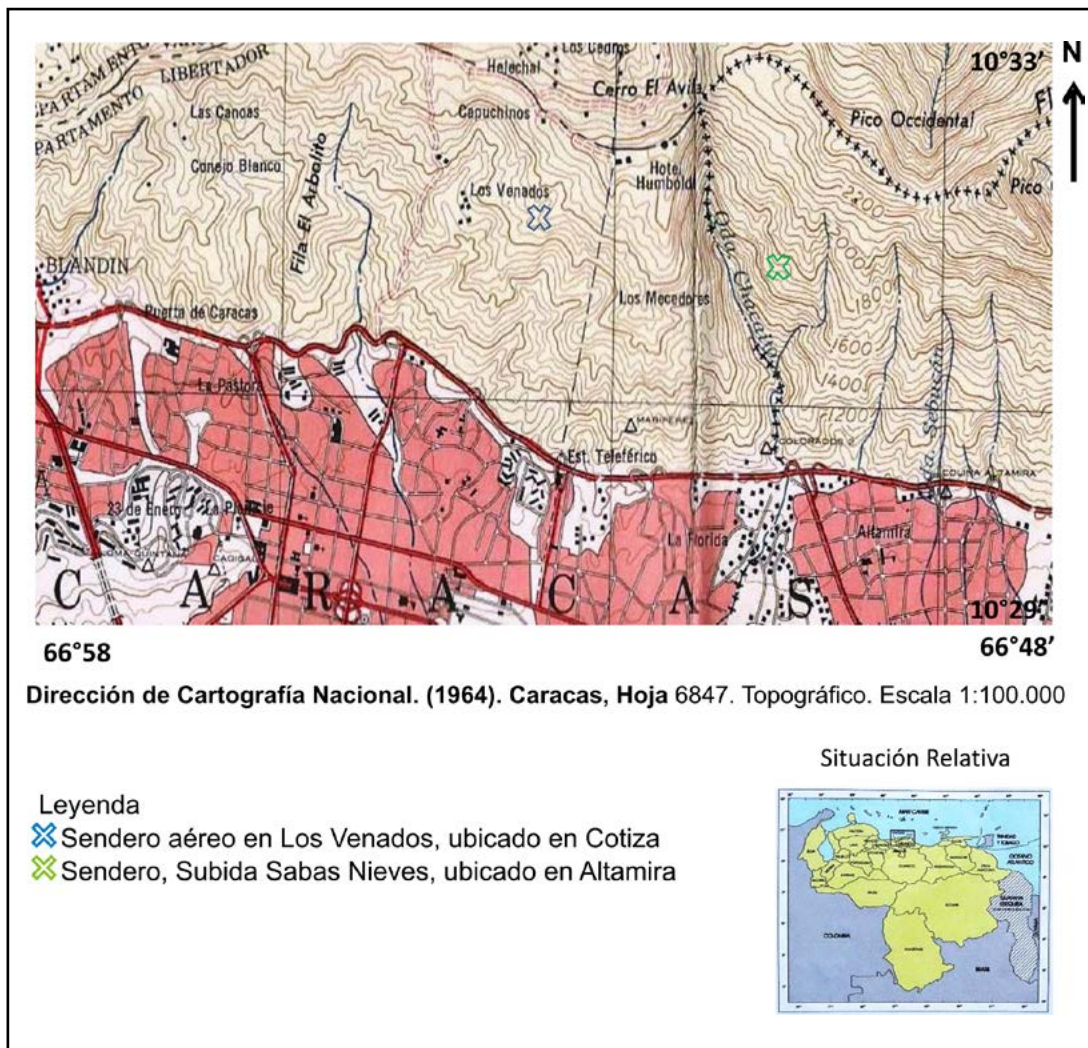


FIGURA 2. Localización de la zona de estudio



FIGURA 3. Sendero, Subida Sabas Nieves, ubicado en Altamira



FIGURA 4. Sendero aéreo en «Los Venados», ubicado en Cotiza

En el sendero «Sabas Nieves», se trazaron 6 transectas, repartidas de la siguiente forma: las tres primeras, en la entrada al sendero y las otras tres restantes, en el tramo intermedio conocido como «Subida El Diablo». En el sendero «Los Venados» se trazaron tres transectas, A, B y C. La localización fue al azar, procurando ubicarlas al inicio, en la mitad y, antes de finalizar cada uno de los senderos. Todas las transectas, fueron de 10 m de longitud. Se efectuaron las mediciones cada 2,5m. Paralelamente a las transectas patrones (a lo largo de la línea de pisada), se utilizó la vertiente derecha, para trazar las transectas controles, por observarse menos pisoteada.

Las mediciones de la R, se realizaron siguiendo el criterio de Countryman y Sofranko citados en Andrés (1998). Los autores mencionados, establecieron en 15 cm la profundidad del suelo afectada por pisoteo humano, aunque estos efectos se extienden a una mayor profundidad en el caso de vehículos, y con tendencia a mayor magnitud. Estas medidas tomadas a lo largo de cada sendero se referirán a una compactación relativa y no absoluta, pues en este caso, se tendría que comparar los resultados de cada sendero con un máximo de compactación que correspondería a ese tipo de suelo.

Posteriormente, en el mismo sitio donde se realizó la medición de la R, se recolectaron las muestras de suelo, las cuales fueron extraídas de los primeros cinco centímetros del perfil, utilizando una pala pequeña, totalizando 54 muestras. Se colocaron en bolsas plásticas herméticas, previamente rotuladas y se trasladaron en cavas térmicas. Se determinó carbono orgánico del suelo (cos) por Walkley y Black (Anderson y Ingram, 1993), mediante el método basado en la oxidación de la materia orgánica con dicromato de

potasio en medio ácido; la materia orgánica del suelo (MOS), se estimó a partir del COS multiplicado por el factor empírico de van Benmelen equivalente 1,724 (Jackson, 1964), con la finalidad de conocer ciertas condiciones químicas donde se realizaron las pruebas. La medición de la pendiente a lo largo de cada transecta, se hizo con una brújula marca Brunton, modelo profesional con clinómetro.

IV. Análisis Estadístico

Se utilizó el Alfa de Cronbach para determinar la confiabilidad del aparato. Se realizó el análisis de regresión para toda la profundidad evaluada, considerando los valores de resistencia a la penetración como variable dependiente y el número de impactos como la variable independiente y ajuste de curvas, para determinar el modelo estadístico que caracterice al prototipo. La homogeneidad de las variancias se comprobó mediante el test de Levene, y se efectuó la prueba de ANOVA de un factor, para verificar las diferencias significativas estadísticamente, entre las muestras de suelo patrón y control. La prueba de Scheffé se realizó a diferentes profundidades y en los diferentes sitios. Se establecieron correlaciones múltiples entre los valores de R de muestras patrones y controles y porcentaje de materia orgánica para verificar la asociación de las variables. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa SPSS, versión 7.5.

V. Resultados

El coeficiente de alfa de Cronbach total del instrumento fue 0.74, superior al mínimo aceptable de 0.7 (Vallejo, 2007). Este valor muestra una fuerte relación entre el número de golpes y la resistencia a la penetración, al ejecutar el penetrómetro de impacto en campo.

En consecuencia, el modelo «Potencia» es el que más se ajusta, teniendo en cuenta los diferentes indicadores estadísticos, según se observa en el **Cuadro 1** y su correspondiente gráfico que se muestra en la **Figura 5**, siguiendo la ecuación que caracteriza el mismo:

$$Y = 0,478374 \cdot X^{0,034426} \quad r^2 = 87,4\%$$

CUADRO 1. Resultados estadísticos de los diferentes modelos aplicados al prototipo

Aspecto	Modelos		
	Lineal	Potencia	Exponencial
Significación de los parámetros	0,00	0,00	0,00
Coefficiente de Determinación r^2	57,3%	76,5%	59,6%
Coefficiente de Determinación Ajustado	57,1%	76,3%	59,4%
Error estándar de estimación	1,68	0,44	0,58
Suma de cuadrado residual	454,12	32,10	55,18
Cuadrado medio residual	2,83	0,20	0,34
F	215,30	521,90	236,74
Constante	0,460	0,478	0,815

Las ecuaciones de los otros dos modelos son:

Lineal: $Y = 0,460054 + 0,213840 \cdot X$, $r^2 = 75,7\%$

Exponencial: $Y = 0,815368 \cdot \exp [0,060778 \cdot X]$, $r^2 = 77,2 \%$

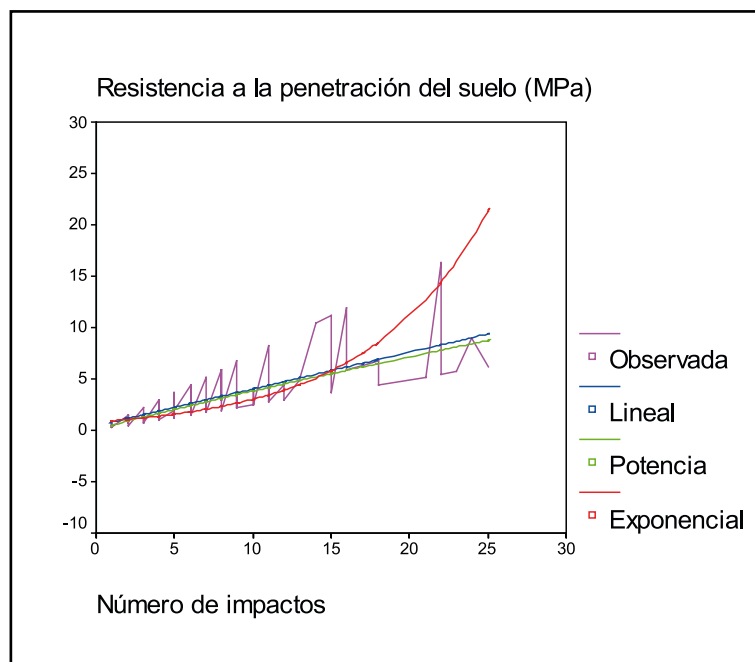


FIGURA 5. Ajuste de curvas mediante linealización

En la matriz de correlación, **Cuadro 2**, el resultado del coeficiente de correlación de Pearson (r), presenta una asociación directa fuerte, entre las

variables impactos-resistencia, y una asociación inversa entre las variables resistencia-profundidad significativa, a nivel 0,01 (bilateral); así mismo, moderada entre las variables impactos-profundidad significativas, a nivel 0,05 (bilateral) y n=162. Lo que permite señalar que en los suelos compactados aumenta el número de impactos, la resistencia disminuye con la profundidad, no así el número de impactos.

CUADRO 2. Matriz de correlaciones inter-variables físicas

		RESISTEN	IMPACTOS	Profundidad
Correlación de Pearson	RESISTEN	1,000	,757**	-,341**
	IMPACTOS	,757**	1,000	,195*
	Profundidad	-,341**	,195*	1,000
Sig. (bilateral)	RESISTEN	,	,000	,000
	IMPACTOS	,000	,	,013
	Profundidad	,000	,013	,
N	RESISTEN	162	162	162
	IMPACTOS	162	162	162
	Profundidad	162	162	162

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

El estadístico de la prueba de Levene ($p=0,000$) permitió aceptar la igualdad de varianzas poblacionales entre los dos grupos de la variable resistencia (patrón y control) y sitios de muestreo. El estadístico ANOVA de un factor permitió verificar las diferencias significativas, entre transectas patrones y controles, en la variable resistencia a la penetración y por sitios.

La entrada al sendero de «Sabas Nieves», en Altamira, la media de la resistencia es de 4,83 MPa. En el mismo sendero, subiendo hacia el puesto de Guarda-Parque, conocido como la «Subida El Diablo», el valor medio de la resistencia es de 2,48 MPa, mientras que en «Los Venados» es de 1,45 MPa.

Se realizaron las comparaciones a posteriori (**Cuadro 3**), utilizada para conocer cuáles son las medias de los diferentes sitios que más difieren (significancia < 0,05), mediante la prueba de Scheffé. Estas comparaciones múltiples, revelaron, que las variables resistencia a la penetración R e Impactos, la variación de medias de los impactos, es en los tres sitios: entrada al sendero «Sabas Nieves» Altamira, «Subida El Diablo» y «Los Venados» y conforman cada uno un grupo en los subconjuntos homogéneos para un alfa del 5%. Mientras que la variación de medias a la penetración R, resultaron dos subconjuntos homogéneos (**Cuadro 4**).

CUADRO 3. Comparaciones múltiples por sitios

Variable dependiente	(I) Sitio	(J) Sitio	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
RESISTEN	Altamira	El Diablo	2,3545 *	,416	,000	1,3276	3,3814
		Los Venados	3,3766 *	,416	,000	2,3497	4,4034
	El Diablo	Altamira	-2,3545 *	,416	,000	-3,3814	-1,3276
		Los Venados	1,0221	,416	,051	-4,84E-03	2,0489
	Los Venados	Altamira	-3,3766 *	,416	,000	-4,4034	-2,3497
		El Diablo	-1,0221	,416	,051	-2,0489	4,838E-03
IMPACTOS	Altamira	El Diablo	5,1852 *	,847	,000	3,0930	7,2774
		Los Venados	7,8333 *	,847	,000	5,7411	9,9255
	El Diablo	Altamira	-5,1852 *	,847	,000	-7,2774	-3,0930
		Los Venados	2,6481 *	,847	,009	,5559	4,7404
	Los Venados	Altamira	-7,8333 *	,847	,000	-9,9255	-5,7411
		El Diablo	-2,6481 *	,847	,009	-4,7404	-,5559

* La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

CUADRO 4. Subconjuntos homogéneos a la penetración R

Sitio	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Los Venados	54	1,4582	
El Diablo	54	2,4803	
Altamira	54		4,8348
Sig.		,051	1,000

De la misma manera, para probar la diferencia de medias de las resistencias del suelo a diversas profundidades, se realizaron la prueba de Levene de homogeneidad de varianzas, la prueba de Anova de un factor y las comparaciones a posterior (**Cuadro 5**) para las diferentes profundidades. La prueba de Levene permitió aceptar la igualdad de varianzas poblacionales en diferentes profundidades, a un alfa de 10%. El análisis de varianza, dejó en evidencia diferencias entre las medias de la variable resistencia a la penetración entre 0-5 cm con las otras profundidades, mientras que de

5-10cm y 10 a 15 cm conformaron un subconjunto homogéneo con valores de significancia < 0,05. Significa que el horizonte comprendido entre los 0 y 5 cm de profundidad, no comparte ciertos rasgos o características similares, con el horizonte entre 5-10 cm y con el horizonte entre 10 y 15 cm de profundidad, en un alfa o nivel de significación del 5%.

CUADRO 5. Comparaciones múltiples a diferentes profundidades

Variable dependiente	(I) Profundidad	(J) Profundidad	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
RESISTEN	0-5	5-10	1,6124 *	,466	,003	,4617	2,7630	
		10-15	2,1408 *	,466	,000	,9901	3,2914	
	5-10	0-5	-1,6124 *	,466	,003	-2,7630	-,4617	
		10-15	,5284	,466	,527	-,6223	1,6791	
	10-15	0-5	-2,1408 *	,466	,000	-3,2914	-,9901	
		5-10	-,5284	,466	,527	-1,6791	,6223	
	IMPACTOS	0-5	5-10	-1,2778	1,036	,469	-3,8386	1,2831
			10-15	-2,5926 *	1,036	,046	-5,1534	-3,17E-02
5-10		0-5	1,2778	1,036	,469	-1,2831	3,8386	
		10-15	-1,3148	1,036	,449	-3,8757	1,2460	
10-15		0-5	2,5926 *	1,036	,046	3,174E-02	5,1534	
		5-10	1,3148	1,036	,449	-1,2460	3,8757	

* La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

En cuanto a las medias de la variable impacto, el horizonte comprendido entre los 0 y 5 cm de profundidad, presentó diferencias con respecto a la profundidad entre 10 y 15 cm. El horizonte entre 5-10 cm no mostró diferencias entre las medias con respecto a los horizontes entre 0-5 cm y 10 y 15 cm en un alfa o nivel de significación del 5%.

Con respecto a la distribución de los valores de resistencia del suelo (**Figura 6**), en el sendero aéreo «Los Venados», los valores de esta variable son similares, mientras que, en «Sabas Nieves» Altamira, presenta mayor dispersión, seguido por el sitio «Subida El Diablo».

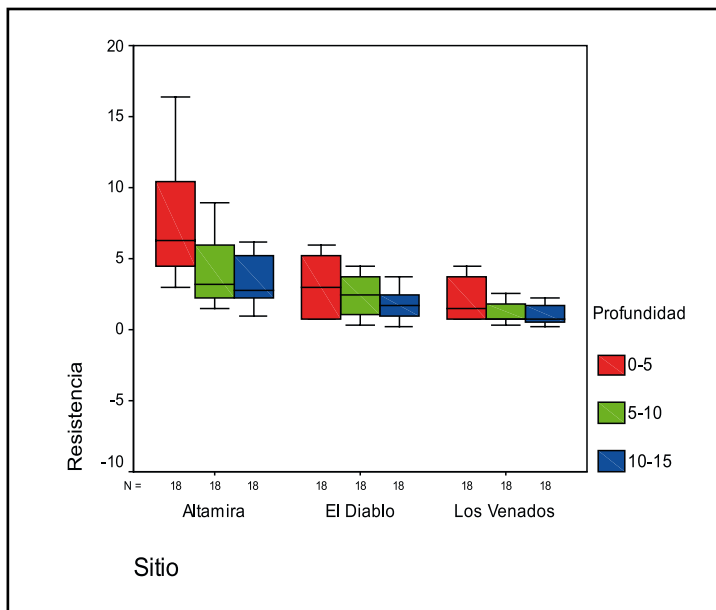


FIGURA 6. Distribución de la resistencia en los sitios de muestreo

Si se maneja la posibilidad del sitio de «Los Venados» como el lugar más conservado, por presentar pendientes casi planas, entonces a diferentes profundidades, «Sabas Nieves» Altamira presentan valores superiores de resistencia a la penetración del suelo, seguido por la localidad, «Subida El Diablo», **Figura 7.**

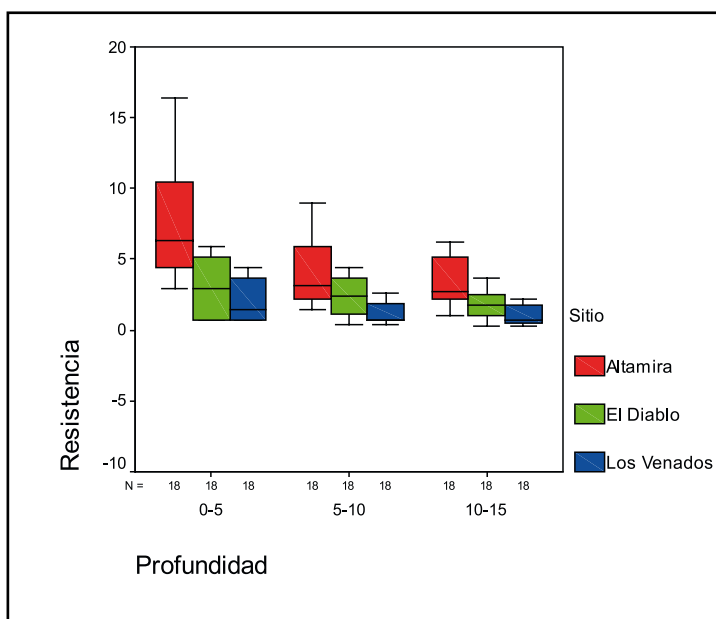


FIGURA 7. Distribución de la resistencia a diferentes profundidades

Los perfiles del suelo, representativos de la entrada al sendero «Sabas Nieves» (**Figura 8**), muestran valores promedio de resistencia a la penetración a diferentes profundidades. En el perfil patrón, los valores de resistencia son tres veces mayores en comparación con el perfil control. Se identificaron capas compactadas (≥ 2 MPa), en ambos perfiles, al aumentar la profundidad del suelo.

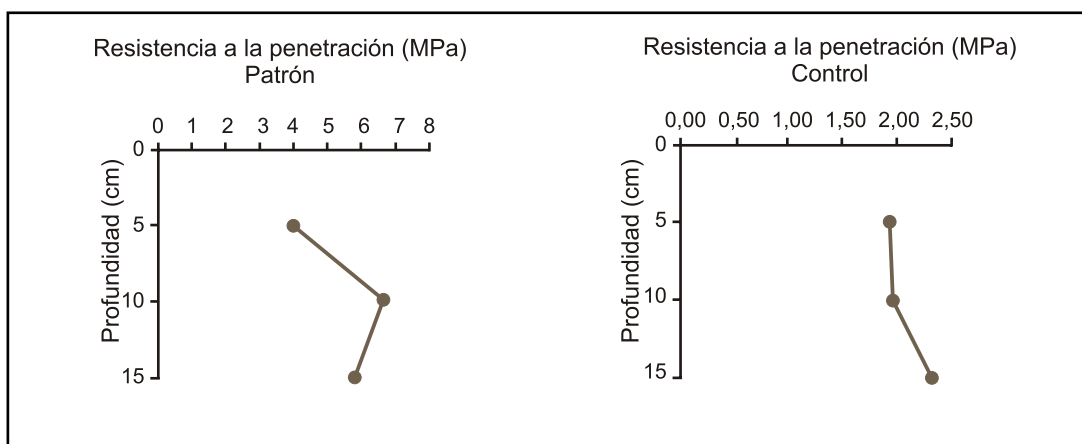


FIGURA 8. Resistencia a la penetración medida en el suelo, entrada al sendero «Sabas Nieves»

En la **Figura 9**, se muestran los perfiles de suelo de la «Subida El Diablo». Los valores promedio de resistencia a la penetración, aumentaron en profundidad para ambos perfiles, pero solo alcanzaron valores mayores a 2 MPa en el perfil patrón.

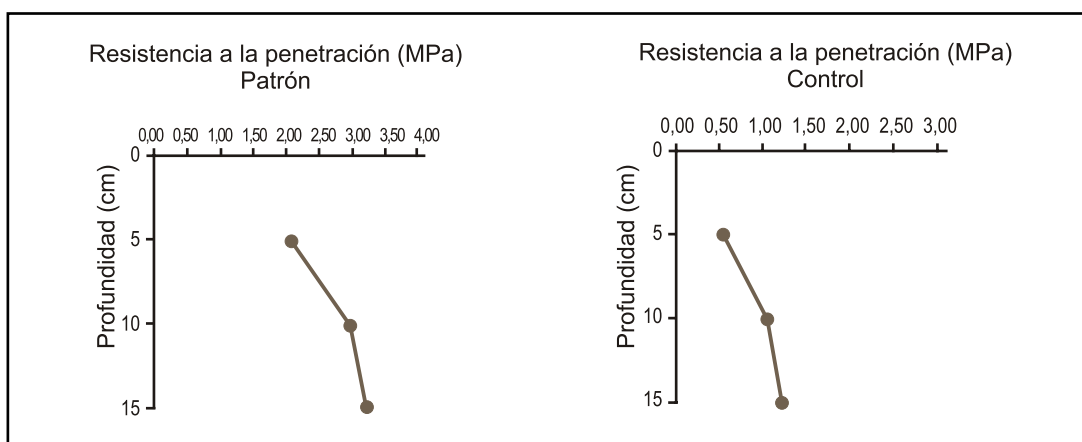


FIGURA 9. Resistencia a la penetración medida en el suelo, «Subida El Diablo»

En el sendero aéreo «Los Venados», los perfiles del suelo, **Figura 10**, presentan valores promedios de resistencia a la penetración, inferiores a 2 MPa a diferentes profundidades, a excepción en el perfil patrón, donde se observó a los 15 cm, la aparición de una capa compactada.

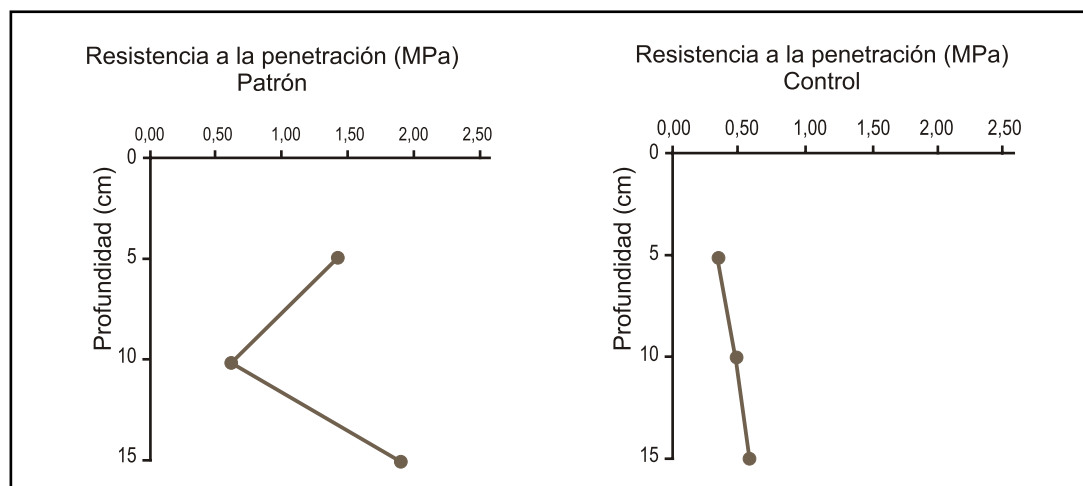


FIGURA 10. Resistencia a la penetración medida en el suelo, sendero aéreo «Los Venados»

Los impactos necesarios para penetrar al suelo, en el perfil patrón de «Sabas Nieves», fueron el doble con respecto a los otros dos perfiles patrones. Igualmente, se observó en el perfil control, valores de resistencia cuatro veces mayores, en comparación con los valores de perfil control «Los Venados».

Por lo que se refiere a la pendiente del terreno, la entrada al sendero de «Sabas Nieves» y en el sendero aéreo «Los Venados», los valores son de 3% y de 8%, que acuerdo al tipo, clasifican como casi plana y ligeramente onduladas respectivamente.

En la «Subida El Diablo», que constituye el tramo medio del sendero de «Sabas Nieves» en Altamira, la pendiente es de 60%, es decir, escarpada, y los valores de R, a diferentes profundidades, en las transectas patrones, no resultaron los más altos. En este lugar, es notoria la erosión tipo surcos y en cárcavas, lo que evidencia, que ambos tipos de erosión no son causados por el pisoteo, sino por agentes como el viento y el agua (**Figura 11**). Sin embargo, la destrucción de la cubierta vegetal, relacionada por ampliación lateral del sendero por el tránsito de personas, y la compactación del suelo, asociadas a la sobreexplotación recreativa de línea de pisada, contribuyen en gran medida a acelerar el proceso.



FIGURA 11. Subida El Diablo, tramo intermedio del sendero «Sabas Nieves»

La erosión es el impacto más serio y permanente del suelo. Mientras que muchos de los otros impactos derivados del recreo (compactación, pérdida de materia orgánica, entre otros), pueden recuperarse una vez que cese la utilización, si los niveles de frecuencia han sido moderados, con la erosión no ocurre lo mismo (Andrés y Del Cerro, 1992). Generalmente una vez desencadenado el proceso erosivo, continúa independientemente del uso del área. Se trata de un efecto irreversible pero que se podría disminuir o detener (Andrés, 1998; Toledo, 2013).

El **Cuadro 6**, muestra correlaciones entre variable física y química, para la profundidad evaluada de 5 cm. El coeficiente de correlación de Pearson (r), presenta una asociación inversa de leve a moderada, entre las variables materia orgánica-resistencia y materia orgánica-sitios, significativa al nivel 0,01. Por tanto, donde hay mayor contenido de materia orgánica, disminuye la resistencia a la penetración y es menor la compactación del suelo y varía en los diferentes sitios.

CUADRO 6. Matriz de correlaciones inter-variables física-química

		RESISTEN	MO	Sitio
Correlación de Pearson	RESISTEN	1,000	-,392**	-,614**
	MO	-,392**	1,000	,485**
	Sitio	-,641**	,485**	1,000
Sig. (bilateral)	RESISTEN	,	,003	,000
	MO	,003	,	,000
	Sitio	,000	,000	,
N	RESISTEN	54	54	54
	MO	54	54	54
	Sitio	54	54	54

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Se realizaron las comparaciones a posteriori (**Cuadro 7**), utilizada para conocer cuáles son las medias de los diferentes sitios que más difieren (significancia < 0,05), mediante la prueba de Scheffé. Estas comparaciones múltiples, revelaron, que las variables resistencia a la penetración R y % de materia orgánica (MOS) en los primeros 5 cm de profundidad, la variación de medias de la R, es en dos de los tres sitios: entrada al sendero «Sabas Nieves» Altamira, un solo grupo y la «Subida El Diablo» y «Los Venados» conforman el otro grupo en los subconjuntos homogéneos para un alfa del 5%. Mientras que la variación de medias del % (MOS), resultaron también dos subconjuntos homogéneos (**Cuadro 8**).

CUADRO 7. Comparaciones múltiples de variables físico-químicos

Variable dependiente	(I) Sitio	(J) Sitio	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
RESISTEN	Altamira	El Diablo	4,0126 *	,876	,000	1,8048	6,2203
		Los Venados	5,0461 *	,876	,000	2,8384	7,2539
	El Diablo	Altamira	-4,0126 *	,876	,000	-6,2203	-1,8048
		Los Venados	1,0336	,876	,503	-1,1742	3,2413
	Los Venados	Altamira	-5,0461 *	,876	,000	-7,2539	-2,8384
		El Diablo	-1,0336	,876	,503	-3,2413	1,1742
MO	Altamira	El Diablo	-,1589	,259	,829	-,8129	,4951
		Los Venados	-1,0530 *	,259	,001	-1,7070	-,3990
	El Diablo	Altamira	,1589	,259	,829	-,4951	,8129
		Los Venados	-,8941 *	,259	,005	-1,5481	-,2401
	Los Venados	Altamira	1,0530 *	,259	,001	,3990	1,7070
		El Diablo	,8941 *	,259	,005	,2401	1,5481

* La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

La variación de la resistencia mecánica del suelo expresada en MPa, se explica satisfactoriamente con el modelo completo, es decir, al incluir la variable materia orgánica, en los tres sitios y en las transectas patrones y controles.

CUADRO 8. Comparación de promedios de variables físico-químicos por sitio

Sitio	Promedio R (MPa)	% MO	Subconjunto	Significancias
Sabas Nieves	7,19		1	
El Diablo	3,18			
Los Venados	2,14		2	<0.05
Sabas Nieves		0,37	2	
El Diablo		0,53		
Los Venados		1,42	1	<0.05

La entrada al sendero «Sabas Nieves», la media del contenido de materia orgánica es del 0,37 %. En el mismo sendero, subiendo hacia el puesto de Guarda-Parque, conocido como la «Subida El Diablo», el valor medio de materia orgánica es 0,53%, mientras que en «Los Venados», es de 1,42%.

En «Sabas Nieves» y en «Los Venados», las pendientes son menores, el pisoteo frecuente provoca compactación del suelo y reducción del % de materia orgánica, siendo más intenso estos efectos, en la entrada al sendero en Altamira, es decir, en «Sabas Nieves», pero la erosión es escasa en ambos lugares. Al comparar los tres lugares estudiados, el sendero «Los Venados», presenta los valores más bajos de R y el % de materia orgánica (MOS) más alto, mientras que Sabas Nieves, muestra los valores más altos de R y el % de MO más bajo y con valores intermedios de ambas variables la «Subida El Diablo».

El pisoteo del suelo producto del uso recreativo, destruye y dispersa la capa orgánica de éste y provoca la compactación de su parte mineral. Al compactarse, las partículas del suelo quedan con menos poros capaces de retener agua y aire. Esto afecta negativamente el crecimiento de las plantas. En la literatura se reconoce que valores superiores a 2 MPa, de resistencia a la penetración, ya es un valor crítico que dificulta el crecimiento de las raíces (Copains, 2010).

En este sentido se comprende, que al disminuir la capacidad de infiltración por parte del suelo, el agua de lluvia escurre y en las zonas de pendientes escarpadas, se canalizan en forma de surcos; estos van profundizándose y creciendo, generando erosión tipo cárcavas (Toledo, 2013). Tal situación es notoria, a lo largo de la línea pisada del sendero la «Subida El Diablo», donde se concentra las aguas de lluvia. Poco a poco se han creado auténticas cárcavas y este tipo de erosión, una vez iniciado, continúa por sí mismo

debido a la acción erosiva, aunque cese el tránsito por el sendero (Hammit y Cole, 1987). Además, el problema se complica, porque las personas evitan la incomodidad de caminar por cárcavas, creando senderos paralelos que a su vez, acaban convirtiéndose en nuevas zanjas. Al mismo tiempo, parte de la materia orgánica se ha perdido por la erosión. La degradación del suelo por efecto de la compactación, es un proceso asociado a la erosión del suelo, ya que la promueve al disminuir la infiltración del agua en el perfil del suelo (Rodríguez, 2010).

A consecuencia del pisoteo frecuente, se produce alteraciones en el contenido de materia orgánica, se desplaza de la superficie del suelo los restos orgánicos, que al descomponerse proporcionarán la materia orgánica al suelo mineral, mientras que en otras, por el contrario, la materia orgánica acumulada entrará en el suelo por percolación formando bandas oscuras (Monti y Mackintosh citado en Andrés, 1998). Todos estos cambios en la materia orgánica pueden incrementar los efectos de la compactación, dejando al suelo más vulnerable a la erosión.

VI. Conclusiones

Los resultados indicaron que el penetrómetro de impacto diseñado, es sensible para detectar diferencias en la resistencia mecánica del suelo, en diferentes coberturas vegetales: Sabana de montaña y Bosque veranero, y con distintos % de materia orgánica. El diseño del aparato tiene la ventaja de ser ligero y por tanto portátil, ya que solo pesa 1.2 kg. Es preciso, fue validado estadísticamente y práctico como lo expone el protocolo de uso. El pisoteo permanente del suelo, producto del uso recreativo en los diferentes senderos estudiados lo deteriora y compacta aumentando la susceptibilidad a la erosión.

Cuanto mayor es la pendiente, crece la energía cinética del agua siendo principal agente erosivo. Asimismo, el tipo de cubierta vegetal y la pendiente del terreno en cada una de las zonas, son diferentes, por lo que la capacidad de respuesta ante el proceso erosivo, también lo es. La gravedad del impacto del pisoteo sobre el suelo de los senderos estudiados, depende del lugar.

En general, la destrucción de la cubierta vegetal, relacionada por ampliación lateral del sendero, y la compactación del suelo, asociadas a la sobreexplotación recreativa de las éstas áreas naturales, contribuyen en gran medida a acelerar el proceso erosivo del Parque Nacional Waraira Repano, El Ávila.

El equipo es viable en los trabajos de investigación que se requiera realizar sobre la compactación del suelo, en los diferentes senderos del Parque Nacional Waraira Repano El Ávila.

Futuras investigaciones y pruebas del prototipo son necesarias, para delinear más claramente las interrelaciones de compactación del suelo, densidad aparente, la textura y respiración basal, con las condiciones climáticas como temperatura y precipitación, asociadas con los tipos de coberturas y tasa de descomposición de la materia orgánica.

Es importante considerar, que los resultados físicos y químicos son un aporte a los escasos antecedentes encontrados sobre esta temática y su relación con la compactación del suelo por pisadas.

Agradecimientos

A la Sra. Blanca Golding de Ruiz, por su valiosa asesoría en la escogencia de los materiales y ensamblaje de los mismos. Al M.Ed. José Luis Chávez, por los comentarios y sugerencias al presente trabajo. Igualmente, a la Subdirección de Investigación y Postgrado de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, por el apoyo financiero para este proyecto, registrado con el n.º 13.061, en el Centro de Investigación en Ciencias Naturales «Manuel Ángel González Sponga» (CICNAT).

Referencias bibliográficas

- ANDERSON, J.; INGRAM, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods*, (2ª. Ed.) UK. CAB International, Wallingford.
- ANDRÉS, M. (1998). Estudio del Impacto ambiental causado por el recreo en los Chorreros del Río Mundo (Albacete) y proposición de medidas correctoras. *Colección Tesis Doctorales*, 77. España: Universidad de Castilla-La Mancha.
- ANDRÉS, M.; DEL CERRO, A. (1992). Estudio de los principales efectos negativos causados por las actividades recreativas en los bosques. Un caso particular: Los Chorreros del Río Mundo (Albacete). *Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 7: 219-226.
- CASANOVA, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- COPAINS, S.R.L. (2010). *Penetrómetro modelo INTA*. Disponible en: http://parque-nacional-el-avila.blogspot.com/2009_04_01_archive.html www.copains.com.ar/pdf/med_pen_vill.pdf [29 de Enero 2011].
- DECRETO n.º 473. (Creación del Parque Nacional El Ávila). (1958, Diciembre 18). *Ga-*

- ceta Oficial de la República de Venezuela*, 25.841, Diciembre 18, 1974.
- DENIS, L. (2009). *Parque Nacional El Ávila*. Disponible en: http://parque-nacional-el-avila.blogspot.com/2009_04_01_archive.html [2 de Mayo de 2014].
- ELIZALDE, G.; VILORIA, J.; ROSALES, V. (2007). Geografía de suelos de Venezuela (Cap. 15) (pp. 402-537). *Medio físico y recursos ambientales. Tomo II. Obra Completa: GeoVenezuela*. Caracas: Fundación Empresas Polar.
- GONDELLES, R. (2004). Venezuela. El Ávila, Parque Nacional. *Mapa Guía del Parque Nacional Waraira Repano*. Caracas: Ecograph.
- GÓMEZ, E. (1999). *Procesos Erosivos. Estrategias para su caracterización e implementación de sus prácticas básicas de control y prevención*. Colombia: Universidad de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales y Ecología-ICNE.
- GÓMEZ, K. (2011). *Incidencia de la compactación ocasionada por el tractor en las propiedades físicas en un andisol*. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6417/1/822133.2011.pdf>. [1 de Mayo de 2014].
- GOVAERTS, B. (2013). *Resistencia a la penetración. Guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo*. México: (CIMMYT).
- HAMMITT, W.E.; COLE, D.N. (1998). *Wildland recreation: Ecology and Management*. New York:
- INSTITUTO NACIONAL DE PARQUES (INPARQUES) (2006). Bosques, sabanas, ríos y quebradas. *Mapa Guía del Parque Nacional Waraira Repano*. Caracas: Inparques.
- JACKSON, M. (1964). Chemical composition of soil. (pp.71-141). En BEAR, F. (Comp.). *Chemistry of soil*. New York: Reinhold
- JULIO, D.; GIUBILEO, G. (2008). Penetrómetro para el estudio de costras de suelo en laboratorio. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 37(19):191-204.
- LIPIEC, J.; HATANO, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma* 116:107-136.
- NACCI, S.; PLA SENTIS, I. (1992). Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical*, (1-2): 115-132.
- NARRO, E. (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. México: Trillas.
- OVALLES, L. (s/f). *WARAIRA REPANO (El Ávila)*. Disponible en: <http://diversidadbiologica.info.ve/diversidadbiologica.php?seccion=&target=detailed&category=05-PNOO&subcategory=PNOO0018>. [19 de abril de 2014].
- PEREIRA, J.; ASO, P. (1981). *Parque Nacional del Ávila/Guaraira Repano. Sierra Grande*. (pp.23-29). Caracas: Lagoven.
- PLA SENTÍS, I. (1983). Método para diagnosticar los problemas de compactación y aireación en el suelo. *Revista Alcance*, 32(1):77-83.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. España: Muni-Prensa.
- RAMÍREZ, R.; SALAZAR, C. (2012). *Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un andisol-Marinilla La Montañita*.

- Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/cambios_de_la_resistencia_a_la_penetracion.pdf [14 de Abril de 2014].
- RADULOVICH, R.; SOLLINS, P. (1985). Compactación de un suelo aluvial de origen volcánico por tráfico de personas. *Agronomía Costarricense*, 9(2):143-148.
- REYES, W. (2010). Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro*, 22(1):29-36.
- REYES, W. (2014). 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.
- RICHMOND, P.; RILLO, S. (S/F). Evaluación del efecto de la compactación por el rodado de maquinarias sobre algunas propiedades físicas del suelo y el cultivo de trigo en siembra directa. *INPOFOS, Informaciones Agronómicas*, 32: 22-25.
- RODRÍGUEZ, O. (2010). Conservación de suelos y agua. Una premisa del desarrollo sustentable. Caracas: Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.
- SSPS. Real Stats.Real Easy, 7.5.
- SCHÄFFER, B. (2007). *Compaction of Restored Soil by Heavy Agricultural Machinery*. . Disponible en: www.researchgate.net/.../Soil...soil.../60b7d51e925c51efb1.pdf [1 de mayo de 2014].
- TOLEDO, V. (2013). Cuantificación de la erosión regresiva en cabeceras y pérdidas de suelo en cárcavas en el sector de Susucal, estado Lara, Venezuela. *Revista de Investigación*, (80) 37: 117-138.
- USÓN, A.; BOIXADERA, J.; BOSCH, A; ENRIQUE, A. (2010). *Tecnología de suelos: estudios de casos*. Lérida: Universitat de Lleida.
- VALLEJO, P. (2007). *La fiabilidad de los tests y escalas*. . Disponible en: <http://web.upcomillas.es/personal/peter/estadisticabasica/Fiabilidad.pdf> [29 de mayo de 2014].
- VÁSQUEZ, I.; GÓMEZ, A.; VELÁZQUEZ, A.; ALDRETE, A.; FIERROS-GONZÁLEZ, A. (2011). Un penetrómetro dinámico para evaluar la resistencia mecánica en suelos forestales. *Revista Chapingo Serie Forestales y del Ambiente*, 17(2): 293-202.
- VIVAS, L.; CEGARRA, J.; MAGGIORANI, V. (2010). *Libro Tomo 1. Atlas. Áreas protegidas de Venezuela, 10 Parques Nacionales*. Caracas: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente-INPARQUES.