

Relación entre las pisadas de los visitantes y la compactación sobre el suelo del sendero de Sabas Nieves del Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila)

Relationship between the treads of the visitors and on the path soil compaction of Sabas Nieves in the Waraira Repano National Park(Ávila)

Valentina Toledo

toledo.valentina@gmail.com

Jean Carlos Álvarez

Jean_alvarez09@hotmail.com

Sarahy Nieves

sarahynieves@gmail.com

**Universidad Pedagógica Experimental Libertador,
Instituto Pedagógico de Caracas. Venezuela**

Artículo recibido en noviembre 2016 y publicado en septiembre 2017

RESUMEN

En el Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila), el efecto de las pisadas por el tránsito de personas en el sendero Sabas Nieves, “Subida El Diablo”, no ha sido reportado. Se cuantificó la resistencia a la penetración a diferentes profundidades, y algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con el objetivo de evaluar el posible deterioro del mismo. Los análisis fueron: pH, conductividad eléctrica, humedad gravimétrica, carbono orgánico y respiración basal. A través del análisis estadístico, se evidenció diferencias significativas entre las transectas patrones y controles. Existe degradación de la estructura en los altos valores de compactación > 2MPa, con la consecuente escasa cobertura vegetal, bajo aporte de materia orgánica y deficiencia de nutrientes lo largo de la línea de pisada. En las transectas controles, el suelo es menos susceptible a la erosión pues se encuentran invadidas por las gramíneas forrajeras, las cuales cumplen con funciones ecológicas.

Palabras clave: Compactación; gramíneas forrajeras; El Ávila; erosión; pisadas

ABSTRACT

In the Waraira Repano National Park (Ávila), the effect of the produced by the pressure of human feet for the movement of people on the path Sabas Nieves, "Subida El Diablo", has not been reported. The penetration resistance to different depths and some physical, chemical, and biological properties of the soil, with the objective of evaluating the possible deterioration of the same was quantified. Analyses were: pH, electrical conductivity, gravimetric moisture, organic carbon and basal respiration. Through statistical analysis, significant differences among the transects showed patterns and controls. There is degradation of the structure in the high values of compaction > 2MPa, with consequent low vegetation cover, low contribution of organic matter and nutrient deficiency along the line of tread. In the transects controls, the soil is less susceptible to erosion because they are invaded by the forage grasses, which comply with ecological functions.

Key words: *Compaction; forage grasses; Ávila; erosion; human feet*

INTRODUCCION

La degradación de la estructura del suelo, muchas veces llamada compactación del suelo, es definida FAO (s/f) como la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él (Boletín Técnico Pionner, s/f). En condiciones naturales, es decir, sin intervención antrópica, se pueden encontrar en el suelo horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Según Ortiz y Hernanz (1989) puede originarse por fuerzas internas (ciclos de humedecimiento y secado del suelo) y por fuerzas externas (cargas de maquinarias, pisoteo del ganado y lluvia) y su importancia a nivel mundial es cada vez más relevante dada su incidencia en la calidad y salud de los suelos.

La compactación de los suelos es uno de los procesos de degradación física más común en suelos agrícolas productivos y una de las causas de la reducción de la productividad, lo cual justifica que exista, un amplio desarrollo de metodologías que permiten estimar los riesgos de la compactación de los suelos, para así prevenir o mitigar sus efectos adversos (Williams y Reyes, 2010; Williams y Reyes 2014).

Por el contrario, en mecánica de suelo, el objetivo es alcanzar un grado de compactación adecuado de la masa de suelos, con la finalidad de obtener un suelo de la manera estructurado, que posea y mantenga un comportamiento mecánico a través de toda la vida útil de la obra, valiéndose de diferentes equipos que originan presión en el lecho interior (Rico y Del Castillo, 2006).

En todo caso, difiere el concepto según el área de trabajo, para el primer caso interesa evitar la compactación e incluso favorecer la fragmentación por medio del laboreo, como base para el crecimiento de las plantas. No obstante, el desarrollo teórico de la acción maquinaria sobre un suelo se basa necesariamente en los planteamientos del segundo.

Ahora bien, las presiones aplicadas sobre el suelo, sin cubierta vegetal, por el caminar de las personas trabajando en él, son escasamente reportadas (Radulovich y Sollins, 1985). Los mismos autores señalan que una persona de 75 kg ejerce una presión con sus pies de aproximadamente entre 0,015 a 0,06 MPa, o más si pisa con fuerza. Es así como puede ser numéricamente comparable, en distintos casos, con datos y cálculos, de las presiones ejercidas sobre el suelo por maquinarias, ganado (considerando el efecto amortiguador del pasto) y/o por personas.

La zona montañosa ocupada por el Parque Nacional (PN) Waraira Repano (El Ávila) en Venezuela, se encuentra intervenida por el hombre desde mucho antes de su creación como parque. Son varias las amenazas que existen sobre su integridad biológica, que se resumen en: invasiones humanas, invasión de especies exóticas, teleférico, centralización de los recursos y cacería ilegal (Parkswatch, 2002). Clasificado como un parque vulnerable por las diversas amenazas, que en ciertos momentos sobrepasan a sus fortalezas, es posible que esté frente a otra amenaza, la cual se torna cada vez más inminente, como es el deterioro de los senderos ante las pisadas de las personas que visitan el parque.

En el PN Waraira Repano (El Ávila), la mayoría de los programas de conservación, están dirigidos a la búsqueda de soluciones para los

incendios forestales. En general, los ecólogos señalan que la introducción de gramíneas exóticas, como por ejemplo, el pasto Guinea (*Panicum maximum*), ahora renombrada como *Megathyrus Maximus* (Jacq.) (Heuzé y Tran, 2015) y el pasto gordura *Melinis minutiflora* (P. Beauvois), (Heuzé, Tran y Boval, 2015), que cubren gran parte de la ladera sur del parque, ha modificado la dinámica ecológica original, pues su cobertura se incrementa cada años con los incendios (Steyermark y Huber, 1978; Manara 1998). Este proceso llamado sabanización es la consecuencia más importante y dañina de la introducción de especies en el Ávila, reduciendo el área boscosa. Lo que no se quema en un año se acumula, ocasionando quemas mucho más intensas en los años siguientes (Castillo citado en Barrios, 2013).

La *Melinis minutiflora* P. Beauvois, reemplazan gramíneas nativas como *Trachipogon plumosus* y *Paspalum plicatulum* (Vareschi, Baruch et al, Bilbao y Medina citado en Barrios, 2013). Según Steyermark y Berry (1983), las gramíneas están limitadas a los bordes de caminos y algunos de los sitios más altos y expuestos. Gutiérrez y Monedero (1998), lograron la caracterización de la superficie ocupada por el sector de Caracas del Parque Nacional, en función de la amenaza, vulnerabilidad y riesgos de incendios de vegetación obtenidos por el modelo cartográfico digital en cada mes de la temporada de incendios, concluyen señalando, que si bien el principal factor que afecta la propagación de incendios son el tipo y características de la vegetación, por ser combustible del fuego, el efecto de la topografía, aunado a la velocidad y dirección del viento representan un factor primordial a considerar en un sistema de evaluación de riesgo de incendios en zonas montañosas.

Por otra parte, García (2015), implementó un sistema de roturar la sabana a fin de permitir la germinación de las semillas sembradas directamente; las reforestaciones se hicieron en Catuche, Cachimbo y Duarte, con la experiencia favorable del uso de especies pioneras como la tara amarilla (*Oyadea verbesinoides*) y hayuelo (*Dodonaea viscosa*). Estas especies sembradas directamente en terrazas crecen rápidamente y van debilitando el crecimiento de las gramíneas debido a la sombra que

producen, con lo cual ayuda a dinamizar el proceso de sucesión natural. El mismo autor señala que un factor que ha incidido en el crecimiento de las especies arbóreas plantadas o que las nuevas especies hayan progresado por efecto de la sucesión natural, es el factor edáfico. En algunos sectores donde hay suelos fértiles se pueden observar crecimiento de árboles con alturas de 10 a 15 m. No obstante, este avance ha sido lento pero aun así, ha permitido nueva cobertura donde predominan los arbustos y árboles, además se observa que el avance del fuego es mucho más pausado y se dispersa mucho menos que cuando existen las sabanas, por lo cual, la extinción de los incendios es más rápida y efectiva.

En consecuencia, en la bibliografía consultada, no aparece reportada alguna investigación sobre efectos de las pisadas de los visitantes en las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo.

La mayor cantidad de visitantes de este parque se observa durante los fines de semana. Sin embargo, es difícil estimar la cantidad precisa de excursionistas que transitan los numerosos caminos que tiene El Ávila anualmente, debido a que el registro que llevan los guarda parques es voluntario.

En el tránsito de los visitantes, el sendero soporta variadas cargas de personas por muchos años, sin el racionamiento de los períodos de visitas y descanso, por lo que se pudiera generar un proceso de compactación de las capas superficiales y/o profundas del suelo, limitando la profundización de las raíces y con el tiempo extinción de buena parte de la cobertura vegetal, por la falta de aireación y formación de peladeros en los sitios más compactados. En tal sentido, y considerando que el efecto de la compactación del tránsito de persona por los senderos no ha sido reportado en el Parque, se planteó cuantificar la resistencia a la penetración del suelo (RP) y los efectos en ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, con el objetivo central de evaluar el posible deterioro del mismo, en un sector del sendero "Sabas Nieves" conocida como Subida el Diablo.

MÉTODO

Descripción del área de estudio

La zona de estudio se ubica en el PN Waraira Repano (El Ávila), localizada en el tramo central de la Cordillera de la Costa, en la vertiente sur, en el sector intermedio del sendero Sabas Nieves, conocido como “Subida El Diablo”, ubicado a $10^{\circ}31'02''$ latitud Norte y $66^{\circ}51'30''$ longitud Oeste, a una altitud de 1225 m.s.n.m. (figura 1).

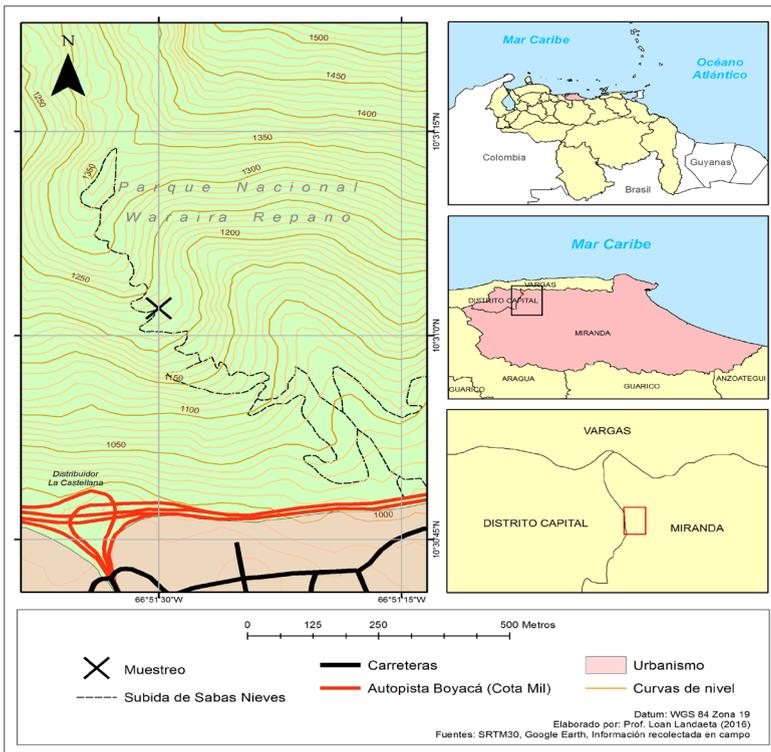


Figura 1. Localización del área de estudio

Las dos grandes asociaciones litológicas componentes del macizo del Ávila, están conformadas por rocas de diferente grado de metamorfismo: las de la Asociación Metamórfica Ávila, integrada principalmente por gneises de ojos (augeneises) de composición granítica y mármoles de

la Formación Peña de Mora y la Asociación Metamórfica La Costa. Por tanto, se presentan suelos muy evolucionados y profundos, ácidos y se clasifican como Haplohumults (menor temperatura) y Hapludults (mayor humedad) (Elizalde, Vilorio y Rosales, 2007).

La vegetación dominante es la sabana de montaña, la cual está presente entre los 1000 y los 1600m. Estas sabanas son originadas por la regresión del bosque debido a causas humanas, en especial las talas, el pastoreo y los incendios (Instituto Nacional de Parques, 1982). El clima del parque es muy variado debido, principalmente, a los diversos pisos altitudinales. 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). Finalmente, una amplia red de senderos habilitados para el excursionismo permite al visitante recorrer y conocer detalles de la naturaleza y de elementos y procesos que los conforman.

Muestreo

Las medidas de la resistencia a la penetración se realizaron en el sendero Sabas Nieves, en el tramo intermedio conocido como “Subida El Diablo”, Se trazaron al azar, en la línea central del sendero, tres transectas patrones de 10 m de longitud cada una. Se efectuaron las mediciones cada 2,5 m. Paralelamente a las transectas patrones (a lo largo de la línea de pisada o piso del sendero), se utilizó la vertiente derecha, para trazar las transectas controles, por observarse menos pisoteada, esta constituye el límite crítico, ubicada en el área inferior desbrozada del paso que se extiende más abajo del sendero (figura 2).

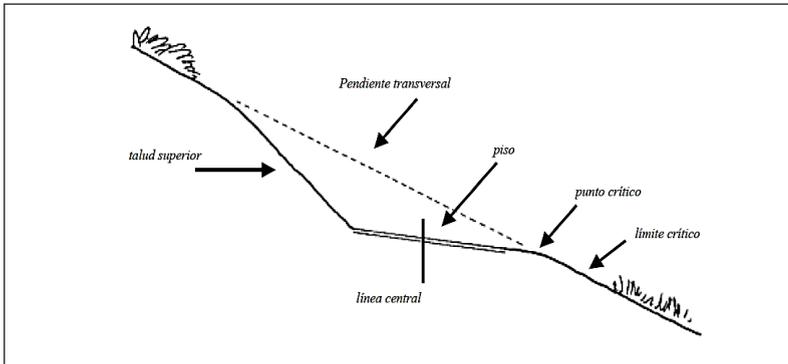


Figura 2. Vista transversal de un sendero

Para las mediciones de la RP, se utilizó un penetrómetro de impacto mecánico, siguiendo el protocolo de Toledo y Millán (2016), a 0-5, 5-10, 10-15 y 15 a 20 cm de profundidad, totalizando 72 mediciones. Posteriormente, en el mismo sitio donde se realizó la medición de la RP, utilizando una pala pequeña, se recolectaron en bolsas plásticas herméticas previamente rotuladas, 3 muestras en cada una de las transectas (Patrón y Control), en los primeros cinco centímetros del perfil, totalizando 18 muestras de suelo y se trasladaron en cavas térmicas. El muestreo se realizó en el mes de Enero. Se determinaron las siguientes propiedades, con el propósito de utilizarlas como indicadores y bioindicadores de procesos de compactación: humedad gravimétrica, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico y respiración basal.

Preparación de las muestras

Para la determinación de las propiedades físicas y químicas, cada muestra de suelo se secó al aire por 72 horas, se realizó la molienda y se pasó por un tamiz de 2 mm. Luego de tamizada, se mezcló y se almacenó en recipiente con tapa a temperatura ambiente. El pH y la conductividad eléctrica (CE) a 25°C, se determinaron en relación suelo:agua 1:1. El pH se midió con un pH-meter Waterproof, y la CE se determinó con un conductímetro Waterproof. El contenido de humedad se determinó por la diferencia de peso que experimentaron las muestras después de ser

sometidas a calentamiento a 105 °C por 24 h. Se cuantificó el carbono orgánico del suelo (CO) 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 (MO), se estimó a partir del CO multiplicado por el factor empírico de van Benmelen equivalente 1,724 (Jackson, 1964).

Para el atributo biológico, cada muestra fresca se extendió sobre una superficie de cerámica limpia y utilizando guantes de goma se retiró el material grueso (piedras, hojas, raíces), luego se pasó por un tamiz de 2 mm. La muestra tamizada se mezcló y se guardó en recipiente con tapa, en nevera (4°C) los primeros siete días de realizados el muestreo.

Como bioindicador, se determinó la respiración basal (RB) usando 50 g de suelo, capturando el CO₂ durante 24 horas en NaOH 0,1M y luego medido por titulación con HCl 0,1 M (Anderson, 1982). Se seleccionó este bioindicador por presentar alta sensibilidad a los cambios en el suelo y buen estimador de la actividad microbiana del suelo (Pascual et al. 1997). Finalmente, la medición de la pendiente a lo largo de cada transecta, se hizo con una brújula marca Brunton, modelo profesional con clinómetro.

Análisis estadístico

La homogeneidad de las variancias se comprobó mediante el test de Levene y se efectuó la prueba de la t de Student, para determinar las diferencias entre las medias de las resistencias a la penetración y en las propiedades físicas, químicas y biológicas de las muestras de suelo patrón y control; la prueba de Anova de un factor y las comparaciones a posterior de Scheffé a diversas profundidades y correlaciones múltiples entre las propiedades. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 7.5.

RESULTADOS

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) (cuadro 1), y la Prueba T, se evidenció diferencias significativas entre los dos grupos, cuadro 2. El valor promedio de RP en las transectas patrones fue de 3,33 MPa, mientras que en las transectas controles la RP fue de 1,15 MPa.

Cuadro 1. Estadísticos del grupo

	Transecta	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
RESISTEN	Patron	36	3,3347	1,4668	,2445
	Control	36	1,1513	,6945	,1158

Cuadro 2. Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias					
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error tip de la diferencia	Intervalo de confianza para la media
						Inferior	Superior	
RESISTEN								
Se han asumido varianzas iguales	23,044	,000	8,072	70	,000	2,1834	,2705	1,6439 2,7229
No se han asumido varianzas iguales			8,072	49,943	,000	2,1834	,2705	1,6401 2,7267

Por tanto, el valor de RP a lo largo del piso del sendero, es decir, en las transectas patrones es el triple en comparación con las transectas controles, superando umbrales de compactación reconocidos, que para el caso de la resistencia a la penetración del suelo, es en torno a 2-3 MPa (Glinski y Lipiec, 1990; Allmaras et al., 1993). En consecuencia, en las transectas controles, la presencia de las gramíneas *Megathyrsus Maximus* Jacq. (pasto guinea) y la *Melinis minutiflora* P. Beauvois (pasto de gordura), ejerce un efecto amortiguador de las presiones sobre el suelo.

En general, sobre las transectas patrones, se necesitó en promedio, 9 golpes para perforar en intervalos de 5 cm de suelo en los primeros 25 cm del perfil, mientras que, 5 golpes en promedio se necesitaron para las transectas controles, incrementándose el número de golpes, a medida que aumentaba la altitud, tanto para patrones como controles. En el cuadro 3, se puede observar en promedio, una disminución de los valores de RP con la profundidad sin que los valores mayores de 2 MPa sea irreversible hasta los 10 cm.

Cuadro 3. Descriptivos de la resistencia a la penetración a diferentes profundidades

RESISTEN	Profundidad	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
	0-5	8	3,1831	2,1172	,4990	2,1302	4,2360	,74	5,95
	5-10	8	2,4390	1,4282	,3366	1,7288	3,1492	,37	4,47
	10-15	8	1,8188	1,0455	,2464	1,2989	2,3387	,25	3,72
	15-20	8	1,5310	1,0727	,2528	,9975	2,0645	,19	4,46
	Total	72	2,2430	1,5833	,1866	1,8709	2,6150	,19	5,95

Para probar la diferencia de medias de las resistencias a la penetración 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 4). La prueba de Levene permitió aceptar la igualdad de varianzas poblacionales en diferentes profundidades, a un alfa de 10 %.

Cuadro 4. Comparaciones múltiples de la variable RP

(I) Profundidad	(J) Profundidad	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
0-5	5-10	,7441	,493	,522	-,6706	2,1588
	10-15	1,3643	,493	,063	-5,E-02	2,7790
	15-20	1,8521*	,493	,015	,2374	3,0868
5-10	0-5	-,7441	,493	,522	-2,1588	,6706
	10-15	,6202	,493	,666	-,7944	2,0349
	15-20	,9080	,493	,344	-,5067	2,3227
10-15	0-5	-1,3643	,493	,063	-2,7790	5,E-02
	5-10	-,6202	,493	,666	-2,0349	,7944
	15-20	,2878	,493	,952	-1,1269	1,7024
15-20	0-5	-1,8521*	,493	,015	-3,0868	-,2374
	5-10	-,9080	,493	,344	-2,3227	,5067
	10-15	-,2878	,493	,952	-1,7024	1,1269

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

El análisis de varianza, dejó en evidencia, diferencias entre las medias de la variable resistencia a la penetración entre 0-5 cm y 15-20 cm. Por el contrario, en las profundidades comprendidas entre 5-10 y 10-15 cm comparten ciertos rasgos, en un alfa o nivel de significación del 5% (cuadro 5). Es notorio que las pisadas por el sendero “Sabas Nieves” en el tramo de la Subida El Diablo, ha incrementado no solo la severidad, sino además la profundidad a la cual ocurre la compactación del suelo, situación que se agravaba a medida que se avanzaba en el recorrido, junto con el aumento de la altitud y los cambios de pendiente, las cuales pasaron de ser llanas (< 2%), a inclinadas (15%) y finalmente escarpadas (57%), tales cambios ocurrieron entre los 997-1202 m.s.n.m.

Cuadro 5. Medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos de la RP

Profundidad	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
15-20	18	1,5310	
10-15	18	1,8188	1,8188
5-10	18	2,4390	2,4390
0-5	18		3,1831
Sig.		,344	,063

En la figura 3, se muestran perfiles de suelo representativos de la «Subida El Diablo». Los valores promedio de resistencia a la penetración del suelo, aumentaron en profundidad para ambos perfiles, pero solo alcanzaron valores mayores a 2 MPa en el perfil patrón

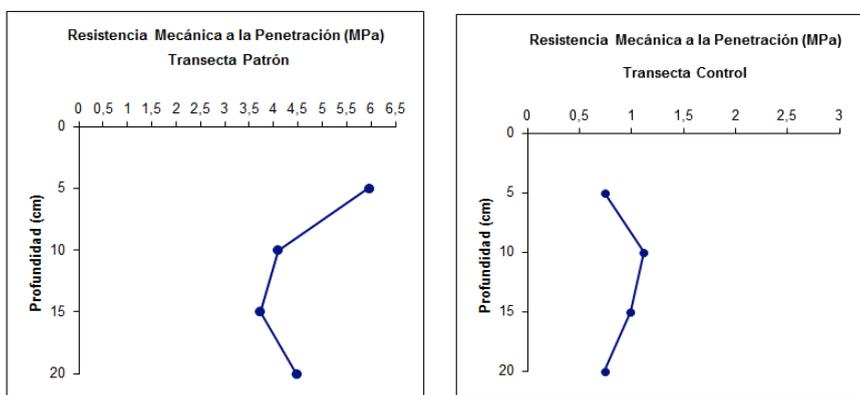


Figura 3. Perfiles de suelo representativos de la Subida El Diablo

De acuerdo con los análisis de varianza y las pruebas de medias, el estadístico F de la prueba de Levene (cuadro 6), no permite aceptar la igualdad de varianzas poblacionales ($p > 0,05$), entre los dos grupos (patrones y controles), en las variables física (RP) y química (pH). Mientras que la Prueba T, se puede observar diferencias significativas en las mismas variables al nivel de 5%. En ambos análisis, el porcentaje de humedad del suelo (variable física), la igualdad de varianzas es ($p > 0,05$), y no es estadísticamente diferente al nivel de significación alfa de 5%. En tanto que, en el resto de las variables químicas como biológicas (CE, CO, MO y RB), la prueba de Levene, permite aceptar la igualdad de las varianzas entre los dos grupos y todas con diferencias estadísticamente significativa, exceptuando la CE.

Cuadro 6. Prueba para la igualdad de varianzas en las propiedades físicas, químicas y biológicas

Variable	Estadístico	gl1	gl2	Sig.
	De Levene			
Resistencia	0,740	1	16	0,402
Humedad	0,187	1	16	0,671
pH	1,192	1	16	0,291
C.E.	8,590	1	16	0,010
CO	8,066	1	16	0,012
MO	8,130	1	16	0,012
RB	8,583	1	16	0,010

Cuadro 7. Prueba t de Student para la igualdad de medias en las propiedades físicas, químicas y biológicas

Variable	t	gl	Sig.
			(bilateral)
Resistencia	8,480	16	0,000
Humedad	-0,198	16	0,845
pH	-4,577	16	0,000
C.E.	1,487	16	0,156
CO	-2,940	16	0,010
MO	-2,941	16	0,010
RB	-2,732	16	0,015

En el cuadro 8, se muestran los valores de las propiedades físicas, químicas y biológicas considerados en el estudio. Los suelos patrones en promedio en los primeros 5 cm de profundidad, presentaron un valor de RP 5,04 MPa mientras que los suelos controles 1,32 MPa, lo cual coloca una vez más en evidencia, que existe mayor grado de compactación en las líneas de las transectas patrones, es decir, en el piso del sendero, presentando diferencias significativas.

Cuadro 8. Descriptivos de los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo en las transectas patrones y controles en los primeros 5 cm. N=18.

	Transecta	Patron	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
							Límite inferior	Límite superior		
RESISTEN	Transecta	Patron	9	5,0444	1,0344	,3448	4,2494	5,8395	2,98	5,95
		Control	9	1,3216	,8154	,2718	,6948	1,9483	,74	2,98
		Total	18	3,1830	2,1178	,4992	2,1298	4,2362	,74	5,95
HUMEDAD	Transecta	Patron	9	,8944	,6215	,2072	,4167	1,3721	,28	1,99
		Control	9	,9500	,5650	,1883	,5157	1,3843	,23	1,92
		Total	18	,9222	,5769	,1360	,6354	1,2091	,23	1,99
PH	Transecta	Patron	9	6,7222	,1394	5,E-02	6,6150	6,8294	6,50	6,90
		Control	9	6,9889	,1054	4,E-02	6,9079	7,0699	6,90	7,20
		Total	18	6,8556	,1822	4,E-02	6,7649	6,9462	6,50	7,20
CE	Transecta	Patron	9	,1122	5,9E-02	2,E-02	7,E-02	,1573	,05	,23
		Control	9	8,E-02	1,5E-02	5,E-03	7,E-02	9,E-02	,05	,10
		Total	18	1,E-01	4,4E-02	1,E-02	8,E-02	,1193	,05	,23
CO	Transecta	Patron	9	,1014	,1211	4,E-02	8,E-03	,1945	,00	,27
		Control	9	,5189	,4083	,1361	,2050	,8328	,00	1,14
		Total	18	,3102	,3626	9,E-02	,1298	,4905	,00	1,14
MO	Transecta	Patron	9	,1728	,2062	7,E-02	1,E-02	,3313	,00	,46
		Control	9	,8900	,7021	,2340	,3503	1,4297	,00	1,96
		Total	18	,5314	,6230	,1468	,2216	,8412	,00	1,96
RB	Transecta	Patron	9	16,7422	11,6200	3,8733	7,8103	25,6742	4,42	35,32
		Control	9	40,4300	23,2687	7,7562	22,5441	58,3159	13,42	79,79
		Total	18	28,5861	21,6070	5,0928	17,8412	39,3310	4,42	79,79

El contenido de humedad (0,89-0,95 %) es bajo, siendo menor en los perfiles patrones. Los valores de pH (6,7- 6,9) muestran que los suelos son ligeramente alcalino. Según USDA (1999), la mayoría de los nutrientes, se halla entre pH 6.0 y 7.0, por tanto, que no debería haber ninguna afectación en la disponibilidad de los nutrientes en ambos perfiles.

Por otra parte, los valores de CE (0,008 – 0,10 dSm⁻¹), en ambas transectas, indican que los suelos no son salinos, lo que podría esperarse una respuesta microbiana con pocos organismos perturbados (USDA, 1999).

Los contenidos de carbono orgánico (0,1- 0,5%), para ambos perfiles, son muy bajos, según la clasificación de Walkley-Black, y presentan diferencias significativas.

Los resultados de la RB (16,74 - 40,43 mg C-CO₂ g⁻¹h⁻¹), mostraron mayores valores en los suelos controles con respecto a los suelos patrones, con una diferencias significativa. De acuerdo con los rangos presentados por (Woods End Research, citado en USDA, 1999), para el primer caso, el suelo ha perdido parte de materia orgánica disponible y la actividad biológica es baja. Mientras que en las transectas controles, el suelo se encuentra en un estado ideal de la actividad biológica, posee adecuada materia orgánica y activas poblaciones de microorganismos.

A pesar de que los porcentajes de MO (0,17 – 0,86) son bajos para ambos sitios, presentan diferencias significativas. Probablemente, las diferencias en las propiedades físicas, químicas y biológicas entre las dos transectas (patrones y controles) sirven para indicar la magnitud de la degradación del suelo, cuando un sitio (La Subida El Diablo), dominado por las gramíneas forrajeras (pasto guinea y pasto gordura), ha sido sometido a períodos prolongados de tala, quema y pisoteo. También cabe la posibilidad de que ambas gramíneas, no se benefician de la misma comunidad microbiana que otros gramíneas nativas y que al contrario, una comunidad microbiana deteriorada puede contribuir a su establecimiento (Melgoza, Balandrán, González y Álvarez, 2014).

Adicionalmente, es posiblemente que las plántulas muestren una respuesta morfofisiológica distintas al efecto de la alta compactación, pues en las transectas controles, se mantiene la cubierta vegetal con las gramíneas forrajeras, con valores de resistencia a la penetración del suelo menores a 2 MPa.

Las gramíneas forrajeras, particularmente el pasto Guinea *Megathyrsus Maximus* (Jacq.), es utilizado como cultivo de cobertura y como subsolador biológico, es decir, el sistema radical fasciculado que presentan, favorece la creación una rizósfera extendida que logra penetrar en horizontes del suelo que limitan el crecimiento de raíces (Barrios, 2013). El pasto de Guinea crece bien en suelos secos, que no sean demasiado pobres en nutrientes, de cualquier textura incluso en suelos arenosos (Radillos, González, Ceballos, 2009). Es una hierba voluminosa que ayuda a la prevención de la erosión del suelo, ya que proporciona una rápida cobertura vegetal (Roose, 1994).

Por otra parte, la gramíneas *Melinis minutiflora* P. Beauvois, puede crecer en una amplia gama de pH del suelo (4.5 a 8.4), es tolerante de aluminio, pero no puede crecer en suelos salinos. Es pionera en áreas que han sido quemadas o en lugares muy rocosos. Su crecimiento vigoroso también previene la erosión de los suelos (principalmente cenizas) (ECOCROP, 2011; FAO, 2011). A pesar de los exiguos requerimientos de nutrientes y de una amplia adaptabilidad de ecosistemas, los valores de resistencia a la penetración mayores a > 2 Mpa, pareciera estar afectando la germinación y por ende el crecimiento de ambas gramíneas en las transectas patrones, las cuales ejerce un efecto amortiguador de las presiones sobre el suelo, en las transectas controles o límites críticos de las secciones transversales a lo largo del sendero.

El cuadro 9, muestra correlaciones entre variables físicas, químicas y biológicas del suelo. El coeficiente de correlación de Pearson (r), presenta una asociación inversa de moderada a alta, entre las variables resistencia-pH, significativa al nivel 0,01 y de leve a moderada entre las variables resistencia-CO y resistencia-MO significativa al nivel 0,05.

La asociación inversa entre la RP y pH pudiera ser explicado con los argumentos de Louman (2006), quien señala que la capacidad de retención del agua, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de penetración de las raíces pueden resultar afectadas por dos cambios en el suelo (compactación y disminución del pH).

Cuadro 9. Correlaciones múltiples entre las variables físicas, químicas y biológicas.

	RESISTEN	HUMEDAD	PH	CE	CO	MO	RB	
Correlación de Pearson	RESISTEN	1,000	,193	-,712**	,366	-,583*	-,582*	-,431
	HUMEDAD	,193	1,000	,116	,063	,325	,326	,256
	PH	-,712**	,116	1,000	-,155	,450	,449	,425
	CE	,366	,063	-,155	1,000	-,235	-,235	,126
	CO	-,583*	,325	,450	-,235	1,000	1,000**	,413
	MO	-,582*	,326	,449	-,235	1,000**	1,000	,411
	RB	-,431	,256	,425	,126	,413	,411	1,000
	Sig. (bilateral)	RESISTEN		,443	,001	,135	,011	,011
HUMEDAD		,443		,647	,805	,188	,187	,304
PH		,001	,647		,540	,061	,061	,079
CE		,135	,805	,540		,347	,348	,619
CO		,011	,188	,061	,347		,000	,088
MO		,011	,187	,061	,348	,000		,090
RB		,074	,304	,079	,619	,088	,090	
N		RESISTEN	18	18	18	18	18	18
	HUMEDAD	18	18	18	18	18	18	18
	PH	18	18	18	18	18	18	18
	CE	18	18	18	18	18	18	18
	CO	18	18	18	18	18	18	18
	MO	18	18	18	18	18	18	18
	RB	18	18	18	18	18	18	18

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

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

Seguramente, la falta de cobertura vegetal y por consiguiente el aporte de materia orgánica, lo largo de las transectas patrones, afecten significativamente el grado de compactación y a la profundidad a las cuales se encuentran las capas compactadas y viceversa. En diversas investigaciones, señalan a la materia orgánica como un buen acondicionador de propiedades físicas del suelo, ya que contribuye al aumento de la porosidad del suelo con la consecuente disminución de la RP (Allmaras et al., 1993; Ramírez y Salazar, 2012). 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. En consecuencia, 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), siendo la erosión un impacto biofísico potencial. Una vez iniciado, continúa por sí mismo debido a la acción erosiva, aunque cese el tránsito por el sendero (Hammit y Cole, 1998). Además, el problema se complica, porque las personas evitan la incomodidad de caminar por las cárcavas generadas en el área central del sendero, entonces al hacerlo por el borde externo, se produce la destrucción del punto crítico y ensanchamiento del límite crítico, lo cual imposibilita de mantener el flujo de agua hacia el exterior del sendero, produciéndose la erosión por todo el lecho del mismo, como se visualiza en la figura 4, situación que denota una falta de mantenimiento en este punto del tramo e impacto ambiental potencial.



Figura 4. Erosión hídrica tipo cárcavas

Tomada de: <https://i.ytimg.com/vi/lyMgySRtJvg/maxresdefault.jpg>

La erosión es un proceso que actúa de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y más reactivas del suelo (arcilla y materia orgánica), dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas. De esta manera, la erosión provoca una disminución de la concentración de nutrientes en el suelo degradado remanente (Stocking citado en Runel y Seguel 2011).

Sobre dicha base, Louman (2006) menciona que el lavado de nutrientes, el aumento en la concentración de Al y la reducción del pH pueden afectar la regeneración natural en los claros en bosques. Quizás a corto plazo, esto ocurra en la Subida El Diablo, es decir, se agudice la disminución del contenido de materia orgánica y de nutrientes, aumente la degradación de la estructura del suelo y por ende la capacidad del suelo para infiltrar y retener agua, comprometiendo la fertilidad y el reciclaje de nutrientes del suelo, siendo aún más difícil detener el avance de la erosión de las cárcavas o alcanzar la regeneración de la vegetación en las mismas.

Una propiedad estrechamente relacionada con esta serie de alteraciones dentro del perfil es la materia orgánica, reconocida como un componente fundamental en complejas interacciones entre procesos físicos, químicos, y biológicos del suelo. Interviene de manera preponderante tanto en las propiedades físicas (estructuración del suelo, formación y estabilidad de los agregados) como en la propiedades químicas y biológicas (adsorción de nutrientes y nicho ecológico de microorganismos) (Arriaga y Lowery citado en Brunel y Seguel, 2011; Gaitán, 2013).

Del análisis precedente, el suelo en el tramo Subida El Diablo, presenta cambios al comparar las transectas patrones con las controles. El principal agente desencadenante de acciones adversas son los visitantes, quienes afectan al medio, ya que el Parque no cuenta con un plan de racionamiento de los períodos de visitas y descanso. Los dos principales efectos negativos en el piso del sendero, son la compactación y la pérdida de cubierta vegetal. Estos se deben, por una parte, a la acción mecánica directa del pisoteo y por otra parte, a una acción indirecta desencadenada por la alteración de las propiedades del suelo.

Andrés y Cerro (1992), señalan que a medida que se intensifica el pisoteo, las herbáceas son más resistentes a los primeros impactos. Luego se genera la proliferación de especies más resistentes a las nuevas condiciones y con ello pérdida en la diversidad, hasta que finalmente, se reduce las especies resistentes y la imposibilidad de la regeneración, con la consecuente pérdida total de cubierta vegetal junto con la formación y extensión de peladeros en los sitios más compactados.

Por consiguiente, se observan algunos impactos biofísicos potenciales provocados por el sendero tales como: erosión, pérdida de vegetación e introducción de especies invasoras en el corredor del sendero, así como también, otros impactos ambientales/del uso potenciales en el estado del sendero: ensanchamiento del piso, pérdida del límite crítico (y con ello del drenaje), incisiones en el sendero (con la consiguiente pérdida de drenaje) y desgaste del piso del sendero en el tramo estudiado.

Finalmente, ambas gramíneas no han sido modificadas como pastizales con fines de producción animal, tampoco existe información de éstas en relación con la estructura y la funcionalidad del ecosistema, lo cual limita cuantificar ecológicamente el impacto de las invasiones en el suelo.

Se recomienda, medir las tasas de cambio en la cantidad y calidad en relación a erosión, ciclos biogeoquímicos, e infiltración de la lluvia en relación a la presencia de éstas gramíneas, como se ha hecho en otras plantas invasoras (Crawford y Rudgers, 2012 ; Kivlin y Hawkes, 2011; Perkins, Johnson y Nowak, 2011).

CONCLUSIONES

La cuantificación del estado de compactación, en el tramo Subida El Diablo en el sendero Sabas Nieves, en el Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila), realizada con base en valores que toman una serie de propiedades del suelo, reflejan la degradación de la estructura del suelo, en los altos valores de compactación, por consiguiente, baja fertilidad y mayor facilidad de erosión a lo largo del piso del sendero.

El valor de la resistencia a la penetración del suelo a lo largo de la línea de pisada, (transectas patrones) es el triple en comparación con las transectas controles, superando el umbral de 2 MPa, afectando la germinación y por ende el crecimiento de ambas gramíneas forrajeras en el sendero.

En los lugares invadidos por las gramíneas forrajeras Pasto gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.) y Pasto guinea *Megathyrus Maximus* (Jacq.) (transectas controles), cumple con funciones ecológicas, dado que protege al suelo de la erosión.

Agradecimientos

Al MSc. Loan Landaeta por el diseño y elaboración del mapa que representa el tramo de estudio, 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

- Andrés, M.; Del Cerro, A. (1992). Estudio de los principales efectos negativos causados por las actividades recreativas en los bosques. Un caso particular: Los Chorros del Río Mundo (Albacete). *Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 7: 219-226
- Allmara, R., Juzwik, J., Overton, R., Copeland, S. (1993). Soil compaction: causes, effects, management in bareroot nurseries. Disponible en: www.rngr.net/publications/proceedings/1993/allmaras.pdf/.../file. [Consulta: 2016, Agosto 16]
- Anderson, J. (1982). Soil respiration. En A.L. Page, R.H Miller y D. Keeney. (Comp), *Methods of soil analysis: part 2*. (2da ed.). (pp.837-871). Madison: Agron. Monogr.9. ASA and SSSA
- Anderson, J.y Ingram, J. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility: A handbook of methods*, (2ª. Ed.) uk. Wallingford: cab International

- Boletín Técnico Pionner. (s/f). Compactación del suelo. [Documento en línea]. Disponible en: www.pionner.com/CMRoot/International/.../boletines/Compactación_de_suelo.pdf. [Consulta: 2016, Mayo 08]
- Barrios, J. (2013). Las plantas exóticas: una amenaza para la región del Escudo Guayanés. [Documento en línea]. Disponible: www.guianashield.org/index.../301-barrios-j-plantas-invasivas-en-el-escudo-guayanes. [Consulta: 2016, Agosto 05]
- Crawford, K., y Rudgers, J. (2012). Plant species diversity and genetic diversity within a dominant species interactively affect plant community biomass. *J Ecol*, 100(6):1512-1521
- ECOCROP, (2011). Ecocrop base de datos, FAO. Disponible: <http://www.feedipedia.org/node/5368> [Consulta: 2016, Agosto 07]
- Elizalde, G.; Vilorio, J.; Rosales, V. (2007). Geografía de suelos de Venezuela. *Medio físico y recursos ambientales. Tomo II. Obra Completa: GeoVenezuela*. (pp. 402-537) Caracas: Fundación Empresas Polar
- FAO.(2011). Índice de pastizales. Un catálogo de búsqueda de pastos y leguminosas forrajeras. Disponible: <http://www.feedipedia.org/node/5367>. [Consulta: 2016, Agosto 07]
- FAO. (s/f). Soluciones para la compactación del suelo. [Documento en línea]. Disponible: www.fao.org/ag/ca/Training_Materials/CD27Spanish/sc/soil_compaction.pdf. [Consulta: 2016, Agosto 19]
- García, J. (2015). Rompiendo Las Sabanas del Ávila. Consideraciones preliminares. [Documento en línea]. Disponible: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/cenam/6_Foro_RSAA_-_13-May-2015_Conferencia_Ing._JR_Garcia.pdf. [Consulta: 2016, Agosto 05]
- Gaitán, J.(2013). Evaluación de erosión hídrica en suelos bajo cobertura forestal y agrícola, en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica. Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal.
- Glinski, J y Lipiec, J. (1990). *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. USA: CRC Press Inc.
- Gutiérrez, M., y Monedero, C. (1998). Diseño de un modelo cartográfico digital en la evaluación del riesgo a incendios de vegetación tropical en zonas montañosas. En J. Roger, J. y C. Castellanas (Comp.), IV

- Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente. (Vol.1, pp.202-208). Caracas: Equinoccio, USB
- Hammit, W.E.; Cole, D.N. (1998). *Wildland recreation: Ecology and Management*. New York: Wiley
- Heuzé, V. , Tran, G. y Boval, M. (2015). *Pasto gordura (Melinis minutiflora)*. [Documento en línea]. Feedipedia, un programa por el INRA, el CIRAD, AFZ y la FAO. Disponible: <http://www.feedipedia.org/node/414> [Consulta: 2016, Agosto 09]
- Heuzé, V., Tran, G. (2015). *Pasto guinea (Megathyrus Maximus)*. [Documento en línea]. Feedipedia, un programa por el INRA, el CIRAD, AFZ y la FAO. Disponible: <http://www.feedipedia.org/node/416> [Consulta: 2016, Agosto 09]
- Instituto Nacional de Parques. (1982). *Guía de los Parques Nacionales y Monumentos Naturales de Venezuela*. Caracas: Fundación de Educación Ambiental
- Jackson, M. (1964). Chemical composition of soil. (pp.71-141). En Bear, F. (Comp.). *Chemistry of soil*. New York: Reinhold
- Kivlin, S., y Hawkes, C. (2011). Differential between effects of invasion and diversity: impacts of aboveground plant communities on belowground fungal communities. *New Phytologist*, 189(2):526-535
- Louman, B. (2006). Impacto ambiental del aprovechamiento. En L. Orozco, C. Brumér y D. Quirós. (Comp.), *Aprovechamiento de impacto reducido en bosques latifoliados húmedos tropicales* (pp.361-399). (Serie técnica. Manuel técnico/ No.63). Costa Rica: CATIE
- Manara, B. (1998). *El Ávila. Biografía de una montaña*. Caracas: Monte Ávila Editores
- Melgoza, A., Balandrán, M., González, R., y Alvarez, C. (2014). Biología del pasto rosado *Melinis repens* (Willd.) e implicaciones para su aprovechamiento o control. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu*, 5(4):429-442
- Monedero, C., y Gutiérrez, M. (2001). Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical el Ávila. *Ecotropicos*, 14(1):19-30
- Ortiz, C., y Hernanz, J. (1989). *Técnicas de la mecanización agraria*. Madrid: Mundi-Prensa
- Parkswatch (2002). *Venezuela: Parque Nacional El Ávila*. [Documento en

- línea]. Disponible en: www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/avn_pspa.pdf. [Consulta: 2016, Mayo 02]
- Pascual, J., García, C., Hernández, T y Ayuso, M. (1997). Changes in the Microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biol. Fert. Soils*, 24: 429-434
- Pereira, J.; Aso, P. (1981). Parque Nacional del Ávila/Guaraira Repano. Sierra Grande. (pp.23-29). Caracas: Lagoven
- Perkins, L., Johnson, D., y Nowak, R. (2011). Plant-induced changes in soil nutrient dynamics by native and invasive grass species. *Plant Soil*, 345(1-2):365-374
- Ramírez, R., y 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*. [Documento en línea]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/cambios_de_la_resistencia_a_la_penetracion.pdf [Consulta: 2014, Abril 14]
- Radillo, F., González, A. y Ceballo, B. (2009). Efecto de abonos orgánicos e inorgánicos en la producción del pasto guinea (*Panicum maximum jaqc*) variedad "Tanzania". [Documento en línea]. VI Simposio Internacional de Pastizales 4 al 7 de Noviembre de 2009, México. Disponible: <http://patrocipes.org.mx/publicaciones/pastizales/SimposioPastizales6/pastizala.pdf> [Consulta: 2016, Mayo 07]
- Radulovich, R.; Sollins, P. (1985). Compactación de un suelo aluvial de origen volcánico por tráfico de personas. *Agronomía Costarricense*, 9(2):143-148.
- Rico, A., y Del Castillo, H. (2006). Compactación de suelos. La Ingeniería de suelos en las vías terrestres. Carreteras, ferrocarriles y autopistas, (vol. 1, 154-220). México: Limusa
- Roose, R. (1994). L'érosion en nappe ou le stade initial de l' érosion hydrique. *Introduction á la gestión conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols* (GCES) (pp.89-218). Roma: Bulletin Pedologique de la FAO, 70
- Runel, N., y Seguel, O. (2011). Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro sur*, 39(1):1-12
- Steyermark, J. & O. Huber. 1978. Flora del Ávila. Publicación Especial de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, Vollmer Foundation

- y Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Caracas, Venezuela
- Steyermark, J. & P. Berry. 1983. Flórmula de los bosques deciduos de Caracas. *Mem. Soc. Ci. Nat. "La Salle"* 23(120): 157-214
- 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
- Toledo, V., y Millán, Z. (2016). Construcción y calibración de un penetrómetro de impacto para medir los efectos del senderismo. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 27(52):481-506
- USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Washington, DC: Instituto de Calidad de Suelos
- Williams, J., y Reyes, R. (2010). Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro*, 22(1): 29-36
- Williams, J., y Reyes, R. (2014). Procesos de compactación en su suelo vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la Llanura de Coro, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*, 26(1): 39-48