

ESTIMACIÓN DE LA PEDREGOSIDAD VOLUMÉTRICA DEL SUELO, CON BASE EN EL ÁREA DE FRAGMENTOS DE ROCA EXPUESTOS, EN UN INCEPTISOL DE LOS ANDES VENEZOLANOS

Estimation of soil volumetric stoniness, based on the exposed area of rock fragments, in an inceptisol of the Venezuelan Andes

Jesús Andrades¹, Fernando Delgado² y Roberto López²

Universidad de Los Andes, ¹Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, ²CIDIAT, Mérida -Venezuela.

E-mail: andrades@ula.ve; delgado@ula.ve; rlopez@ula.ve

RESUMEN

Venezuela posee extensiones considerables de tierras con suelos pedregosos, particularmente en zonas de relieve accidentado y áreas montañosas, donde existen suelos de importancia estratégica para la nación. La presencia de piedras en el perfil del suelo afecta importantes características edáficas y por ende el rendimiento de cultivos, lo cual destaca la importancia de una adecuada caracterización de los suelos pedregosos. Sin embargo, la cuantificación de la pedregosidad del suelo es, por lo general, un proceso largo y tedioso, y no existe un método estándar totalmente aceptado para su estimación. La investigación se realizó en la Estación Experimental Santa Rosa del Instituto de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias de la Universidad de Los Andes (IIAP-ULA), sector La Hechicera en la ciudad de Mérida. El suelo estudiado (Humic Dystrudepts) presenta alto contenido de fragmentos gruesos de roca; del mismo se tomaron muestras en 6 perfiles. En este trabajo se propone y evalúa una metodología de estimación de la pedregosidad del suelo utilizando los principios básicos de un Sistema de Información Geográfica (SIG), considerando la hipótesis de la existencia de una relación entre el porcentaje volumétrico de fragmentos gruesos y el porcentaje de área ocupada por fragmentos gruesos expuestos y que, por lo tanto, es posible estimar una variable a partir de la otra. Se estableció una correlación positiva entre las variables consideradas, con un coeficiente significativo pero relativamente bajo ($R^2 = 0,62$). Se detectaron dificultades importantes que limitan la precisión de este método de estimación de la pedregosidad del suelo. Aparte de los errores de muestreo, otros factores como la variabilidad en tamaño y distribución de la pedregosidad en el suelo, y el hecho de que es frecuente la ocurrencia de fragmentos de roca enterrados a profundidad que no afloran o que no son detectados por el uso de sondas, inciden de manera importante en la precisión de las estimaciones. Sin embargo, podemos atribuirle un valor práctico cuando se aplica para suplir requerimientos de información a un nivel general, para evaluaciones preliminares.

Palabras clave: física de suelos, suelos pedregosos, piedra, fragmentos de roca, caracterización de suelos, suelos tropicales de montaña.

ABSTRACT

Venezuela possesses important land extensions with stony soils, settled for the development of agriculture, livestock farming and forestry activities of great strategic importance for the nation. The presence of stones in the soil profile affects edaphic characteristics and, in consequence, crop yield; a fact which highlights the importance of an appropriate characterization of stony soils. However, quantification of soil stoniness is a tedious and time consuming process, and an accepted standard method for its estimation does not exist. The study was carried out at the Santa Rosa Experimental Station, "Instituto de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias, Universidad de Los Andes" (IIAP-ULA), "La Hechicera" sector, in the City of Merida, Venezuela. The studied soil (Humic Dystrudepts) presents a high rock fragment content; 6 soil profiles were evaluated. This research intended to evaluate a methodology for the estimation of soil stoniness, using the basic principles of a Geographical Information System (GIS), considering the hypothesis that a relationship exists between the area (%) exposed on soil surface and the soil volumetric content (%) of rock fragments, and that, therefore, it is possible to estimate a variable knowing the other one. A positive correlation was established between the analyzed variables, with a significant but relatively low coefficient ($R^2 = 0,62$). Important difficulties that limit the precision for the estimation of soil stoniness were detected: Additionally to sampling errors, it is the variability in size and distribution of rock fragments in the soil, and the fact that it is frequent the occurrence of rock fragments buried to depths that makes their detection difficult, even by the use of probes. However, we can attribute a practical value to the method when it is applied to generate information at a general level, for preliminary evaluations.

Key words: soil physics, stony soils, stone, rock fragments, soil characterization, mountain tropical soils.

INTRODUCCIÓN

En términos generales, la pedregosidad del suelo está dada por la presencia de fragmentos de roca o “piedras” con diámetro, equivalente, igual o mayor que 2 mm. El término “piedra” (en diferentes idiomas, Inglés: stone, Francés: pierre, Alemán: steine, Italiano: pietra, Portugués: pedra) se refiere a un rango de tamaño particular, cuyas medidas límites dependen del sistema de clasificación usado. Por ejemplo: piedra se refiere a fragmentos de roca de 75 a 250 mm en la clasificación FAO, de 2 a 600 mm en la clasificación Británica y de 250 a 600 mm en la clasificación Norteamericana; razón por la cual algunos autores prefieren utilizar el término fragmentos de roca en lugar de piedras cuando se trata de suelos pedregosos (Poesen y Lavee, 1994).

Ingelmo (1996) destaca algunas características de la pedregosidad del suelo, a partir de cuyo conocimiento se analiza el papel de los fragmentos de roca en el suelo, en procesos como la erosión, escorrentía, evaporación, retención y movimiento del agua en el suelo; dichas características son las siguientes:

- Su composición química y mineralógica.
- Su forma posición y distribución en el perfil del suelo.
- Su tamaño y proporción relativa (relaciones de peso-volumen, relaciones con la fracción fina).
- Las características hidrofísicas que el contenido de fragmentos de roca imparten al suelo (relaciones agua-suelo-piedra y aire-suelo-piedra).

Numerosas investigaciones reseñan que la presencia de fragmentos de roca en el suelo puede afectar su comportamiento de manera significativa. Particularmente, la pedregosidad afecta propiedades del suelo como: densidad aparente (Stewart *et al.*, 1970), propiedades físicas e hidráulicas (Ingelmo *et al.*, 1990; Brakensiek y Rawls, 1994; Valentin, 1994; Sauer y Logsdon, 2002), temperatura (Jury y Bellantuoni, 1976), la susceptibilidad a la erosión (Poesen *et al.*, 1994; Martínez-Zabala y Jordán, 2008), y condiciones que afectan el volumen de enraizamiento de las plantas (Babalola y Lal, 1977). Todo ello, de acuerdo a los citados autores, tiene una influencia relevante en la respuesta hidrológica del suelo, su productividad y susceptibilidad a la degradación.

Producto de una exhaustiva revisión de la literatura e investigación acerca de los suelos pedregosos, Poesen y Lavee (1994) señalan que la relación entre el contenido de fragmentos de roca en el suelo y la productividad de las plantas es bastante compleja. Al respecto, hacen los siguientes señalamientos de mayor relevancia:

- La pedregosidad parece ser más beneficiosa para el desarrollo de las plantas en suelos arcillosos que en suelos arenosos.
- Algunas plantas arbustivas de raíces profundas parecen estar mejor adaptadas a los suelos pedregosos que árboles o gramíneas de raíces superficiales.
- Un contenido moderado de fragmentos de roca en el suelo puede afectar positivamente los regímenes de humedad y temperatura de los suelos. Sin embargo, más allá de contenido óptimo de fragmentos de roca en el suelo (variable entre 10 y 30%), la pedregosidad comienza a afectar adversamente la productividad de las plantas, por la restricción del espacio para el desarrollo de raíces y la capacidad nutricional del suelo y por el incremento de la temperatura del suelo por encima de los valores tolerados por las plantas.
- En condiciones de clima seco, dada la escasez de cobertura vegetal, la presencia de fragmentos de roca en superficie del suelo ha sido considerada favorable para el desarrollo de las plantas.

En territorio venezolano, los suelos pedregosos ocupan una importante superficie, principalmente en las tierras de montaña, y son asiento para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias y forestales, de gran importancia estratégica para la nación. La presencia de piedras en el perfil del suelo, tal como lo hemos destacado, afecta importantes características edáficas y por ende el rendimiento de los cultivos. De aquí la importancia de una adecuada caracterización de los suelos pedregosos que permita hacer predicciones acerca de su comportamiento, sus potencialidades y limitaciones para el logro de un aprovechamiento sostenible.

Dado que el efecto de la pedregosidad sobre las propiedades del suelo depende de la cantidad y localización de los fragmentos de roca en el perfil del suelo, es de fundamental importancia, en la caracterización de estos suelos, la cuantificación de la pe-

dregosidad, la cual es larga y tediosa, y no existe un método estándar totalmente aceptado para su estimación.

La forma más directa de evaluar la pedregosidad es a través de la toma de muestras del suelo, discriminando (contenidos gravimétrico y volumétrico) las diferentes fracciones por tamaño (Alexander, 1981; Schargel, 1999). Dada la serie de problemas de tipo práctico y la perturbación del suelo que ello conlleva, se han propuesto estimaciones (v.g.) a través de la interpretación de datos de teledetección (Wastenton, 1969; Viberg, 1984, citados por Eriksson y Holmgren, 1996), mediante el sondeo del suelo por medios mecánicos de mínima perturbación (Viro, 1952) o con el uso de ondas de radar que penetran el suelo (Jol, 1995), entre otros.

Para expresar la cantidad de fragmentos de roca en el suelo, al menos tres diferentes parámetros pueden ser utilizados (Poesen y Lavee, 1994): (i) cobertura de suelo superficial por fragmentos de roca; (ii) contenido de fragmentos de roca en el suelo, expresado en volumen; (iii) contenido de fragmentos de roca en el suelo, expresado en masa. Usualmente, la cobertura del suelo por fragmentos de roca puede ser apreciada visualmente y estimada con el uso de plantillas. Otro método sencillo que puede utilizarse para tal fin es el conteo de puntos sobre una transecta. Una guía para estimar la densidad de suelo desnudo y la densidad de cobertura sobre el mismo, a través de la comparación con patrones de diferentes proporciones de cobertura mostrados en una carta o cuadro de referencia, es presentada por Dissmeyer y Foster (1980).

Como objetivo fundamental de este trabajo, se propone y evalúa una metodología de estimación de la pedregosidad del suelo. Con tal propósito, se plantea la hipótesis de la existencia de una relación entre el porcentaje volumétrico de fragmentos de roca presentes en el suelo y el porcentaje de área cubierta por fragmentos de roca expuestos. Ello es aplicable tanto en la superficie del suelo (plano horizontal) como en el perfil respectivo (plano vertical); lo cual establece la posibilidad de estimar una variable a partir de la otra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo utilizado en la investigación posee un alto contenido de pedregosidad, ha sido clasificado como

miembro de la familia esquelética, franca mixta e isotérmica de los Humic Dystrudeps, y se ubica en una terraza alta del sector *La Hechicera* en la ciudad de Mérida, en terrenos de la Estación Experimental Santa Rosa, Instituto de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias, Universidad de Los Andes (Romero, 1983; Ferrer y López, 2004).

La metodología aplicada, esquemáticamente presentada en la Figura 1, se describe a continuación: En sitios aledaños, se chequearon 10 puntos entre los cuales se hizo una selección, observando que los perfiles de suelo se ubicaran en condiciones de inclinación de la pendiente menor de 10% y con profundidad del suelo igual o superior a 0,40 m. Se tomaron muestras y fotografías en 6 perfiles del suelo seleccionado, explorando hasta 0,30 m de profundidad. Las imágenes se captaron con una cámara digital, estableciendo una escala en cada fotografía; dicho procedimiento se realizó antes de recoger las muestras para el cálculo del volumen de los fragmentos de roca o piedras. Es así que el método propuesto y evaluado, para la estimación de la pedregosidad en el suelo, comprende las siguientes etapas:

- Captura de imágenes (Figura 2): se tomaron tres (3) fotografías digitales en cada sitio: una (1) fotografía en plano horizontal (suelo superficial), y dos (2) fotografías en el plano vertical (perfil del suelo), una en estrato superficial a profundidad de 0 a 0,15 m y otra subsuperficial a profundidad de 0,15 a 0,3 m. Dichas imágenes fueron referenciadas usando el programa IDRISI 32.
- Cálculo del porcentaje de área ocupada por piedras expuestas (Figura 3): se estimó el porcentaje de área total y por tamaños de piedra utilizando el programa Cartalinx (Mermoz, 2002). Para este procedimiento se utilizaron cuadrículas correspondientes a los tamaños de los tamices usados (19 mm, 6,3 mm y 2 mm) para separar distintas fracciones de piedra, estableciendo equivalencias entre estos valores y los diámetros de las partículas correspondientes. De acuerdo con los criterios de la FAO (Poesen y Lavee, 1994), se consideraron en esta investigación, fragmentos de roca del tamaño de grava (2 mm – 75 mm) y piedra (75 mm – 250 mm). Los rangos de valores establecidos para diferenciar fragmentos de roca por tamaño fueron los siguientes: grande (>19 mm – 250 mm), mediano (<19 mm, >6,3 mm) y pequeño (<6,3 mm, >2 mm).

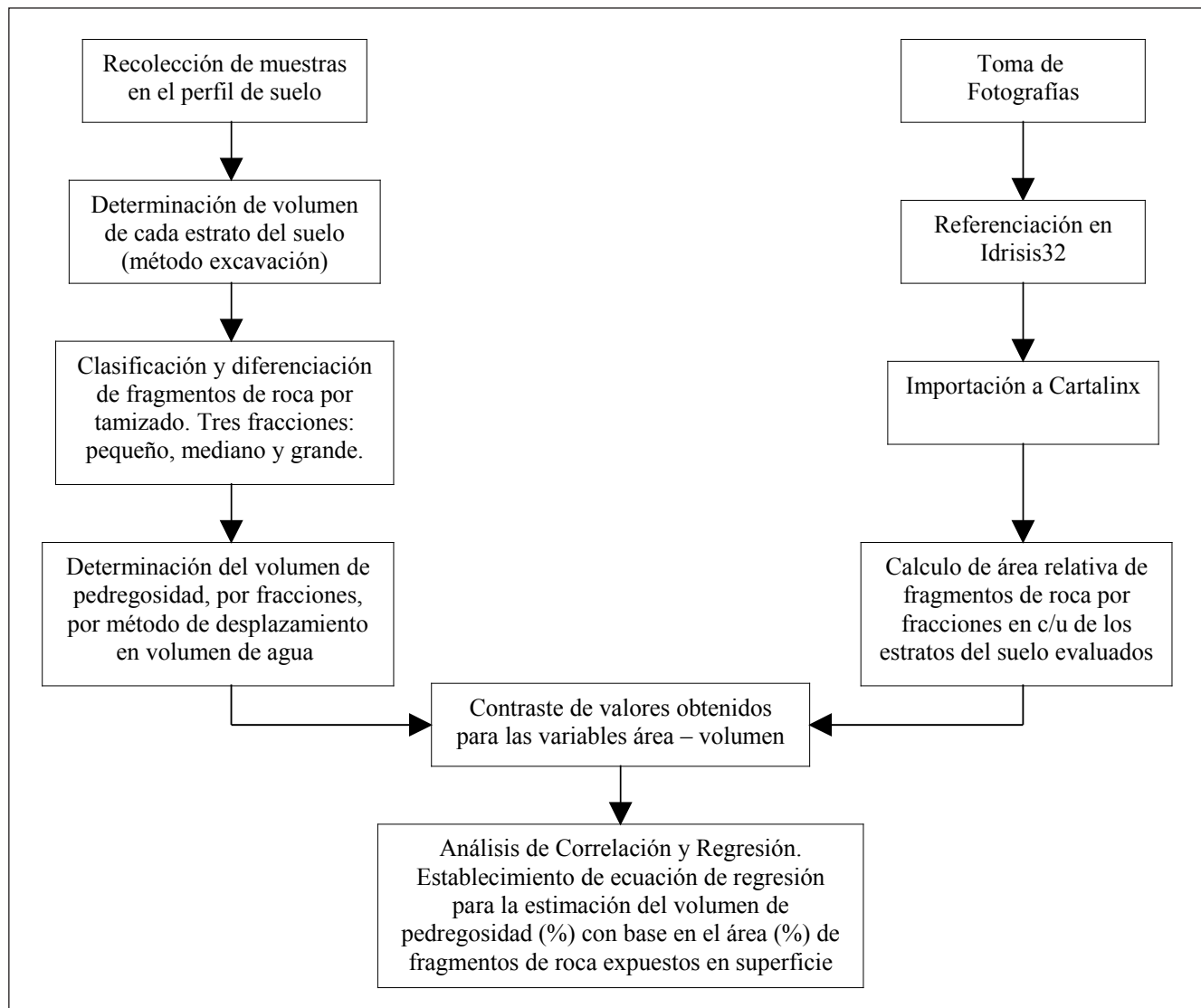


Figura 1. Resumen esquemático de la metodología aplicada.

- Evaluación de la pedregosidad volumétrica en campo: se tomaron muestras de los horizontes de los perfiles de suelo, correspondientes a las superficies fotografiadas. En cada muestra, se determinó: volumen total de suelo por el método de la excavación (Pla, 1977) y volumen de piedra correspondiente por desplazamiento en agua, discriminando por tamaño de piedra.
- La etapa final consistió en comparar los porcentajes de área ocupada por piedras expuestas con los correspondientes valores de pedregosidad volumétrica, también expresados en porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 1 presenta información referente a los 54 pares de valores (%) área – volumen obtenidos de los 6 perfiles de suelo evaluados, a través del desarrollo de las fases de la metodología aplicada. De acuerdo con los datos recabados la pedregosidad de este suelo de la Estación Experimental Santa Rosa (IIAP-ULA) presenta dominancia de la fracción de piedras grades, cuyo contenido se incrementa con la profundidad. Sin embargo, la pedregosidad no alcanza los umbrales críticos (30% volumétrico con

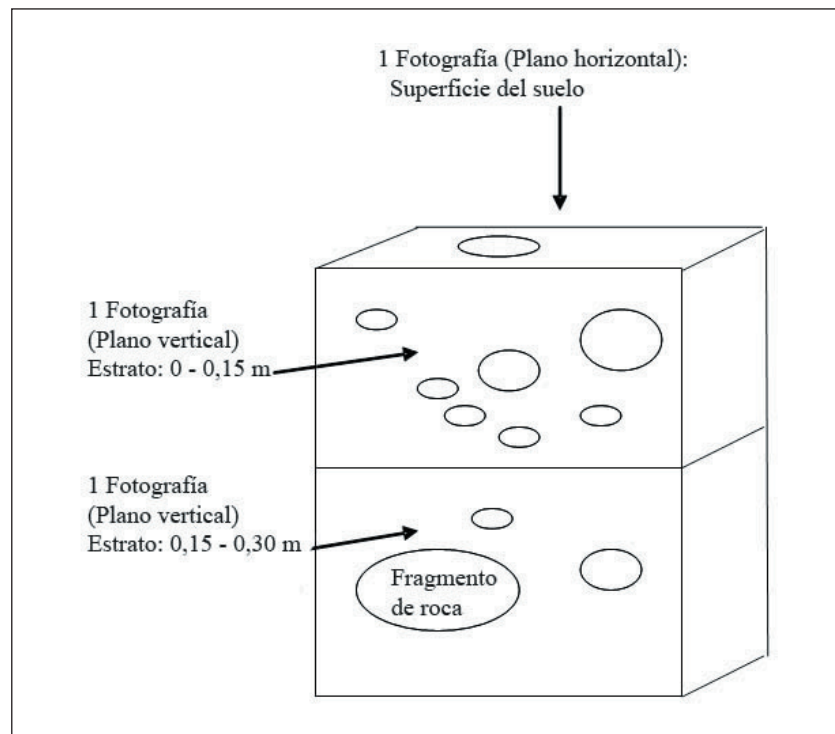


Figura 2. Captura de imágenes. Para cada una de las fracciones por tamaño de fragmentos de roca se tomaron 3 fotografías: 1 en la superficie del suelo (horizontalmente) y 2 en el perfil del suelo (verticalmente): estrato 0 – 0,15 m y estrato 0,15 m – 0,30 m.

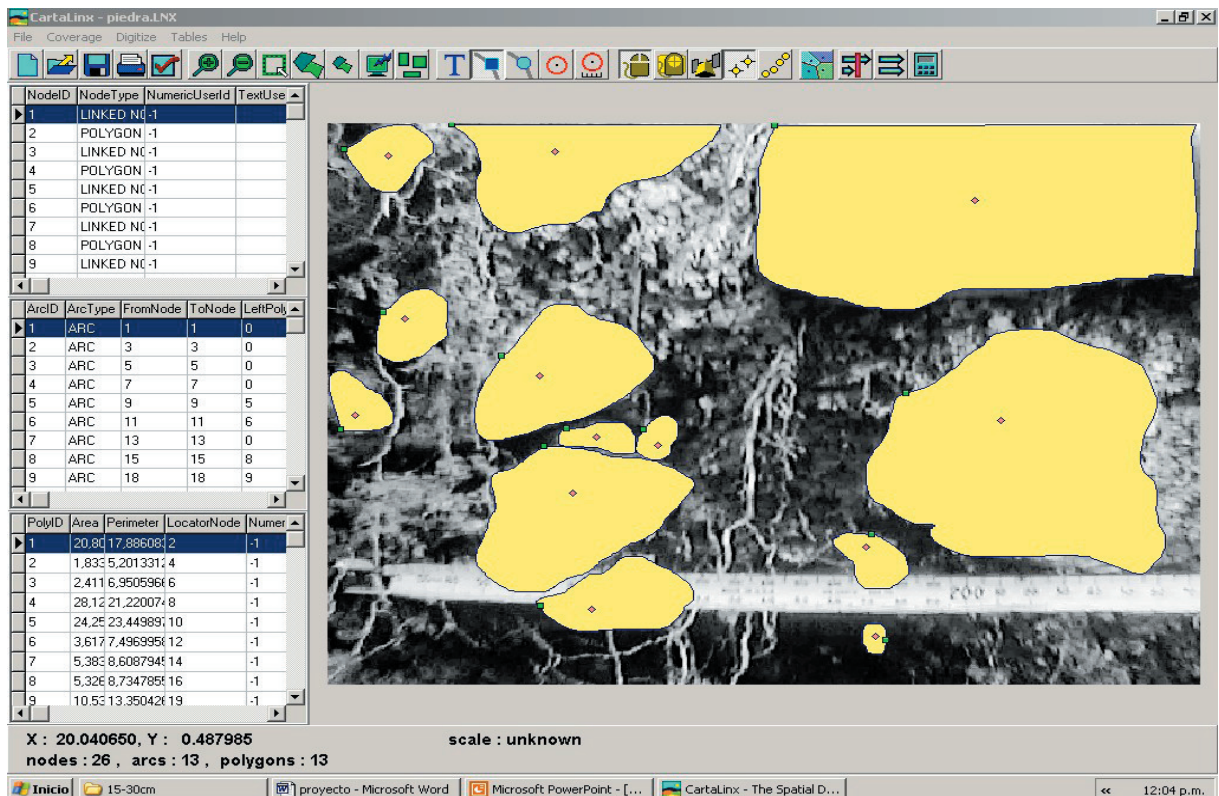


Figura 3. Cálculo del porcentaje del área de fragmentos de roca expuestos, usando Cartalinx.

Cuadro 1. Valores mínimos (Min.), máximos (Max), media (Med.) y desviación media (D.M.) para el área expuesta (%), calculada en fotografía, y el volumen (%) medido para los distintos tamaños de fragmentos de roca (planos horizontal y vertical del perfil del suelo).

Plano	Ubicación en el suelo	Fragmentos de Roca Pequeños (< 6,3 mm - > 2 mm)						Fragmentos de Roca Medianos (< 19 mm - > 6,3 mm)						Fragmentos de Roca Grandes (> 19 mm - < 250 mm)											
		Área (%)			Volumen (%)			Área (%)			Volumen (%)			Área (%)			Volumen (%)								
		Min.	Med	D.M.	Min.	Max.	Med.	D.M.	Min.	Max.	Med.	D.M.	Min.	Max.	Med.	D.M.	Min.	Max.	Med.	D.M.					
Horizontal	Superficie del suelo	0	0,64	0,15	0,16	0,25	4,18	1,83	1,38	0	5,25	2,38	1,72	0,34	7,74	4,74	2,48	0	21,28	9,59	7,93	0,5	21,94	12,37	5,63
Vertical	Perfil, Estrato 0 - 0,15 m	0	0,23	0,04	0,07	0,25	4,18	1,83	1,38	0	4,15	2,45	1,56	0,34	7,74	4,74	2,48	0	31,97	19,13	11,01	0,5	21,94	12,37	5,63
	Perfil, Estrato 0,15- 0,30 m	0	0,21	0,04	0,04	1,32	6,97	3,00	1,34	0	7,63	3,34	2,71	2,14	13,94	5,47	2,88	0	30,59	19,33	7,95	7,43	37,45	18,83	8,62

Obs.: Información generada a partir de 54 pares de valores de área - volumen, provenientes de seis perfiles de suelo evaluados. Los valores volumétricos del suelo superficial son los correspondientes al estrato de 0 - 0,15 m.

tamaño de fragmentos de roca mayor de 25 mm), capaz de impactar negativamente el desarrollo de las raíces de cultivos (Poesen y Lavee, 1994; Delgado y López, 1995). Como era esperable, dada la variabilidad en tamaño y distribución de los fragmentos de roca en el suelo, los valores obtenidos tanto para áreas expuestas (%) como volúmenes de piedra (%) resultaron también ampliamente variables; por tal razón, la media aritmética, como medida descriptiva, no constituye un valor representativo de la tendencia de los valores de las variables evaluadas. Ello lo corrobora los altos valores de las desviaciones medias para la distribución de valores (área – volumen) correspondientes a cada una de las fracciones consideradas en el estudio: fragmentos de roca pequeños, medianos y grandes.

La Figura 4 muestra el diagrama de dispersión de puntos a partir del cual se establece la relación entre área de piedra expuesta (%) vs. volumen de piedra (%). Del cálculo y medición de dichos parámetros resultaron 54 pares de valores área – volumen, incluyendo las 3 fracciones: fragmentos de roca pequeños, medianos y grande, provenientes de los 6 perfiles evaluados en los planos horizontal: un conjunto de 18 pares de datos, y vertical: un conjunto de 18 pares de datos (estrato 0 – 0,15 m) y un conjunto de 18 pares de datos (estrato 0,15 – 0,30 m). El análisis de la correlación entre las variables estudiadas muestra que la direccionalidad de la nube de puntos es ascendente, lo cual indica que su tendencia es positiva: en la medida que se incrementa el % del área de piedra expuesta (X), aumenta el % del volumen de piedra (Y) en el suelo; resultando una ecuación de regresión lineal: $Y = 0,6162X + 3,8413$, con un $R^2 = 0,53$, el cual aunque no resulta alto es significativo.

Algunas de las dificultades que confrontamos en el desarrollo de esta investigación son las siguientes:

- El tamaño mínimo del píxel de la fotografía, que constituye la resolución espacial, impidió la adecuada medición del área expuesta de los fragmentos de roca más pequeños ($\text{área} < 0,25 \text{ cm}^2$). Este inconveniente puede resolverse utilizando una cámara fotográfica de alta resolución.
- La manifestación de un efecto “iceberg” que se traduce en la inadecuada representación del área expuesta de fragmentos de roca grandes inmersos en el cuerpo del suelo, los cuales asoman a la superficie solo una pequeña parte, o en el peor de los casos ninguna parte, de su volumen real.

Esta deficiencia puede ser atenuada mediante el uso de sondas (varillas metálicas) que, penetrando el suelo, ayudan a detectar (Viro, 1952) la presencia de fragmentos de roca grandes que no afloran o que sólo muestran una pequeña área en la superficie del suelo (horizontalmente) o en el perfil expuesto (verticalmente).

Para ilustrar la manifestación del efecto “iceberg” de los fragmentos de roca grandes en nuestra investigación, y como el mismo afecta la correlación entre las variables, podemos observar, en el diagrama de dispersión de la Figura 4, el punto correspondiente a las coordenadas (X – Y): 3,43 – 21,94. Dicho punto corresponde con el citado efecto “iceberg”, dado que se trata de un fragmento de roca grande ($V = 21,94\%$) que sólo deja ver una pequeña área (A) correspondiente a un 3,43% del plano expuesto. Con el uso de una sonda, se detecta la presencia del fragmento de roca grande y se procede a exponer una mayor parte de su superficie, la cual al ser recalculada da un valor de $A = 29,43\%$; en consecuencia la coordenada (X – Y) del punto se modifica: 29,43 – 21,94. La alteración de sólo ese punto cambia de manera significativa la ecuación de regresión lineal y su factor de correlación, tal como se puede observar en la Figura 5.

El Cuadro 2 muestra la comparación entre volúmenes de pedregosidad medidos (%), en cada uno de los perfiles de suelo evaluados, y volúmenes de pedregosidad estimados (%), mediante la ecuación de regresión ajustada (Figura 5). Al analizar dichos valores podemos observar las mayores incongruencias en la estimación de fragmentos de roca pequeños, en razón de la inadecuada medición del área expuesta de los fragmentos de roca más pequeños, tal como lo señaláramos en párrafos anteriores. Las mayores diferencias entre valores medidos y estimados se observan con relación a los datos del suelo superficial en el perfil de suelo 1, probablemente debido a errores de muestreo. Asimismo, la relación “valor medido / valor estimado” en algunos casos denota subestimación y en otros sobreestimación, coincidente con el moderado $R^2 = 0,62$ obtenido. A través de dicho coeficiente, interpretamos que sólo un 62% de la variación en el volumen de pedregosidad (%) se asocia a la variación en el porcentaje del área de fragmentos de roca expuestos; lo cual es indicador del grado de precisión que podría esperarse de la aplicación de este modelo.

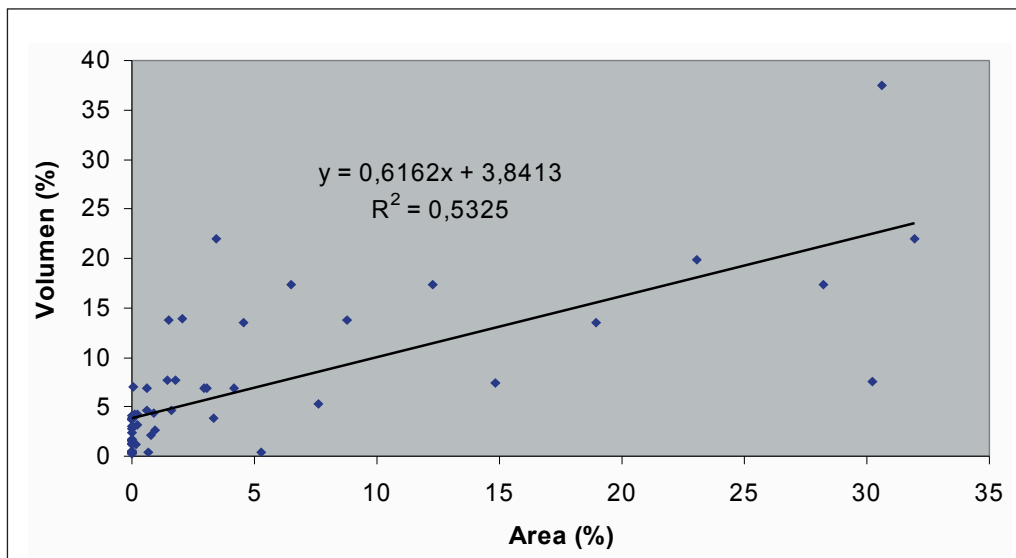


Figura 4. Correlación área expuesta (%) vs. volumen de fragmentos de roca (%) para los planos y estratos evaluados, en seis perfiles de suelo, hasta la profundidad de 0,3 m.

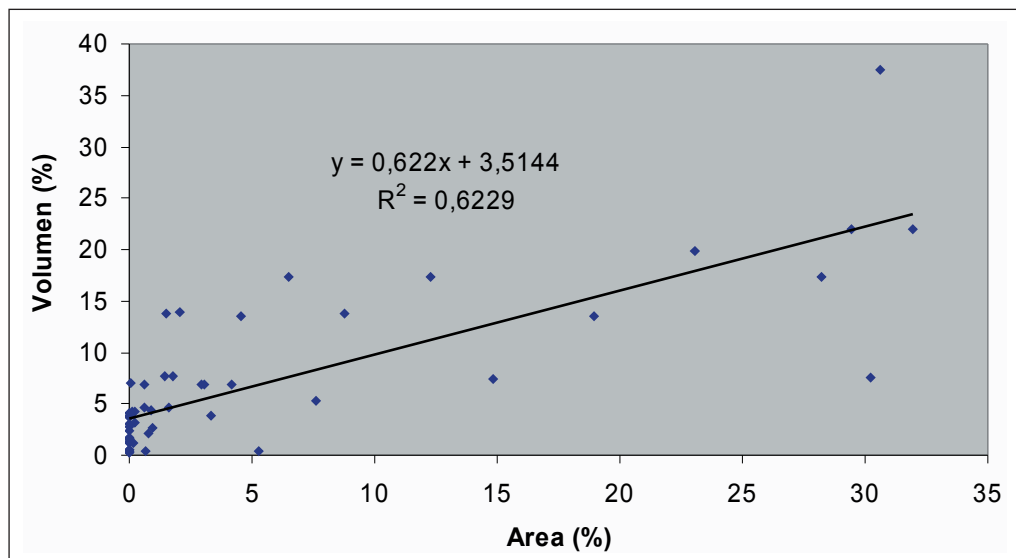


Figura 5. Diagrama de dispersión de puntos tal como en la Figura 4, excepto que solo un punto de coordenadas (X -Y): 3,43 - 21,94 ha sido sustituido por los valores 29,43 - 21,94, a fin de ilustrar el efecto “iceberg” de un fragmento de roca grande presente en uno de los perfiles evaluados.

Cuadro 2. Comparación entre volúmenes de pedregosidad (%) medidos y estimados a través de la ecuación de regresión $Y = 0,6425X + 3,6512$.

Estrato	Variable Volumen pedregosidad (%)	Perfil de suelo 1			Perfil de suelo 2			Perfil de suelo 3			Perfil de suelo 4			Perfil de suelo 5			Perfil de suelo 6								
		PP	PM	PG	PT	PP	PM	PG	PT	PP	PM	PG	PT	PP	PM	PG	PT	PP	PM	PG	PT				
Suelo superficial	Vol. medido	0,34	0,34	0,50	1,18	0,25	6,88	7,50	14,63	1,16	7,74	21,64	30,84	4,18	6,87	13,73	24,78	3,72	4,65	13,49	21,86	1,53	1,60	17,33	20,47
	Vol. estimado	4,06	7,02	3,65	14,73	3,65	4,04	17,32	25,01	3,74	4,56	5,85	14,15	3,73	5,56	4,62	13,91	3,65	4,06	15,83	23,54	3,65	3,65	11,55	18,85
Estrato 0 – 0,15 m	Relación																								
	Vol. estimado	12,5	12,5	7,69	12,48	14,29	0,59	2,33	1,72	3,23	0,59	0,27	0,49	0,89	0,81	0,34	0,55	0,98	0,88	1,18	1,08	2,38	2,27	0,67	0,92
Suelo subsuperficial	Vol. medido	2,35	4,05	22,34	28,74	1,32	2,14	8,24	11,70	6,97	13,94	37,45	58,37	3,20	5,33	19,89	28,42	1,66	2,68	7,43	11,76	2,80	4,35	17,39	24,53
	Vol. estimado	7,16	4,70	3,65	15,51	3,65	4,15	12,87	20,57	3,67	4,99	23,31	31,97	3,79	8,55	18,45	30,79	3,65	4,27	13,18	21,10	3,65	4,23	21,78	29,66
Estrato 0,15 – 0,30 m	Relación																								
	Vol. estimado	3,03	1,63	0,16	0,54	2,78	1,92	1,56	1,75	0,53	0,36	0,63	0,55	1,19	1,61	0,93	1,09	2,17	1,59	1,77	1,79	1,30	0,97	1,25	1,20
	Vol. medido																								

Obs.: Valores de la relación Volumen estimado / Volumen medido por debajo de 1 significan subestimación, valores superiores a 1 significan sobreestimación. PP, PM, PG, PT: pedregosidad de tamaño pequeño, mediano, grande y total, respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es muy importante tener en cuenta que este tipo de método, que permite de manera indirecta realizar estimaciones de la pedregosidad volumétrica del suelo, se ve afectado, aparte de los errores de muestreo, por factores como la variabilidad en tamaño y distribución de la pedregosidad en el suelo. También, de manera importante y frecuente incide en la precisión de las estimaciones, el hecho de la ocurrencia de fragmentos de roca enterrados a profundidad que no afloran o que no son detectados por el uso de sondas, tal como lo observamos en nuestras evaluaciones. Sin embargo, podemos atribuirle un valor práctico al uso de este procedimiento metodológico, particularmente cuando se trata de requerimientos de información a un nivel general, para evaluaciones preliminares (v.g.) de capacidades y aptitudes de uso de las tierras. Recomendamos tomar en consideración las dificultades que confrontamos en el desarrollo de esta investigación, pues las medidas que se tomen para superar las mismas deberían mejorar la capacidad predictiva del modelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, E. B. 1981. Volume estimates of coarse fragments in soils: A combination of visual and weighing procedures. *J. Soil Water Cons.*, 36: 360-361.
- BABALOLA, O. y R. LAL. 1977. Subsoil gravel horizon and maize root growth. I. Gravel concentration and bulk density effects. *Plant Soil*, 46: 337-346.
- BRAKENSIEK, D. L. y W. J. RAWLS. 1994. Soil containing rock fragments: effects on infiltration. In J. Poesen and H. Lavee (ed.) *Rock Fragments in Soil: Surface Dynamics*. *Catena*, 23: 99-110.
- DELGADO, F. y R. LÓPEZ. 1995. Validación de un modelo erosión – productividad en suelos de los Andes venezolanos. *Venesuelos*, 3(1): 17-24.
- DISSMEYER, G. E. y G. R. FOSTER. 1980. *Guide for predicting sheet and rill erosion on forest land*. USDA Forest Service South Eastern Area. Georgia, USA. 40p.
- ERIKSSON, C. P. y P. HOLMGREN. 1996. Estimating stone and boulder content in forest soils-evaluating the potential of surface penetration methods. *Catena*, 28: 112-134.
- FERRER, G. y R. LÓPEZ. 2004. Capacidad de retención de humedad de un inceptisol de los Andes Venezolanos y su afectación por la pérdida de suelo y la adición de abono orgánico. *Revista Forestal Venezolana*, 48(1):63-73.
- INGELMO, F., S. CUADRADO, A. IBAÑEZ y J. HERNANDEZ. 1994. Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content: implications for runoff and vegetation. In J. Poesen y H. Lavee (ed.) *Rock Fragments in Soil: Surface Dynamics*. *Catena*, 23: 73-85.
- JOL, H. M. 1995. Ground-penetrating radar antennae frequencies and transmitter powers compared for penetration depth, resolution and reflection continuity. *Geophys. Prospect.* 43(5): 693-709.
- JURY, W. A. y B. BELLANTUONI. 1976. Heat and water movement under surface rocks in a field soil: I. Thermal effects, II. Moisture effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40: 505-513.
- MARTÍNEZ-ZABALA, L. y A. JORDÁN. 2008. Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalucía, Spain. *Soil Use Management*, 24: 108-117.
- MERMOZ, M. 2002. Detección y mapeo de incendios forestales en los parques nacionales de nor-patagonia, período 1985-1999. En: <http://orbis.conae.gov.ar/emergencia/bari/norpatagonia85-99htm.htm> [Consultado: 14 Nov. 2004].
- PLA, I. 1977. *Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación en condiciones tropicales*. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela. 112p.
- POESEN, J. y H. LAVÉE. 1994. Rock fragments in topsoils: significance and processes. *Catena*, 23:1-29.
- POESEN, J., D. TORRI, y K. BUNTE. 1994. Effect of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. In J. Poesen and H. Lavee (ed.) *Rock Fragments in Soil: Surface Dynamics*. *Catena*, 23: 141-166.
- ROMERO, E. 1983. *Efecto de la fertilización nitrogenada (orgánica – inorgánica) sobre la relación suelo-planta, usando como cultivo la papa var. Alpha, en la región de los Andes*. Tesis M.Sc. CIDIAT, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 85 p.
- SAUER, T. J. y S. D. LOGSDON. 2002. Hydraulic and physical properties of stony soils in a small watershed. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66: 1947-1956.
- SCHARGEL, R. 1999. Los fragmentos de roca en la taxonomía y cartografía de suelos. pp. 71-82. En R. López, F. Delgado (ed.) *Suelos Pedregosos*. SVCS, CIDIAT, Mérida, Venezuela.

- STEWART, V. I., W. A. ADAMS y H. H. ABDULLAH. 1970. Quantitative pedological studies on soils derived from Silurian mudstones II. The relationship between stone content and the apparent density of the fine earth. *J. Soil Sci.*, 21: 248-255.
- VALENTIN, C. 1994. Surface sealing as affected by various rock fragment covers in West Africa. In J. Poesen y H. Lavee (ed.) *Rock Fragments in Soil: Surface Dynamics*. *Catena*, 23: 87-97.
- VIRO, P. J. 1952. On the determination of stoniness. Summary. *Commun. Inst. For. Fenn.*, 40(3): 1-19.