

NOTAS Y DOCUMENTOS

APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE PIERI (1995) A SUELOS MONTAÑOSOS DE VENEZUELA

APPLICATION OF THE INDEX OF STRUCTURAL STABILITY OF PIERI (1995)
TO MOUNTAINOUS GROUNDS OF VENEZUELA

LUISA FERNÁNDEZ DE ANDRADE

INTRODUCCIÓN

La degradación de los recursos naturales y la contaminación ambiental son los problemas con mayor incidencia en los trópicos. En la actualidad, así como lo señala Velázquez *et al.* (2007) existen áreas extensas de tierras afectadas por procesos de degradación irreversibles como la erosión acelerada, la desertificación, la compactación, la acidificación, la reducción en el contenido de materia orgánica, la disminución de la biodiversidad genética y el agotamiento de la fertilidad natural del suelo.

Los suelos con mayor riesgo a la degradación física, que limitan el desarrollo agrícola sostenido, corresponden a los de mayor inestabilidad estructural. Esto último, en función del contenido de materia orgánica, que depende a su vez, del tipo de cobertura o cultivo y de la práctica de manejo, especialmente de la fertilización orgánica.

La ausencia de un único método o índice de fácil adopción, que permita de forma integral, objetiva y rápida de diagnosticar la susceptibilidad a la degradación de los suelos basado en su estabilidad estructural, dificulta el diagnóstico ambiental indispensable en la planificación territorial, muy especialmente en el área agrícola, donde se requiere brindar alternativas eficaces y sustentables en el manejo de los suelos.

Por tanto, se hace necesario evaluar los índices ya existentes o desarrollar otros que estén en capacidad de suplir esta inquietud y brindar una herramienta útil en la planificación de uso y manejo de suelos y aguas.

Entre los índices existentes está el “índice de estabilidad estructural”, desarrollado por Pieri en 1995, y el presente trabajo pretende aplicar el mencionado índice a áreas ubicados en el centro norte del país.

MARCO TEÓRICO

La degradación de los suelos y la estabilidad estructural

La sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola puede establecerse mediante índices relacionados con la activación, aceleración o retardo de los procesos de degradación, los cuales dependen de la estabilidad estructural del suelo.

La guía para la elaboración de estudios del medio físico del Ministerio de Medio Ambiente de España (2000), indica con la denominación de estabilidad estructural, o estabilidad de los agregados, a la resistencia de los grumos y agregados del suelo a deshacerse o disgregarse en condiciones de humedad, depende del tipo y cantidad de arcilla en el suelo, del tipo y cantidad de la materia orgánica, y del tipo y cantidad de cualquier otro agente cementante que permita mantener estable la estructura.

Ramírez *et al.* (2008), indican los factores que influyen en la degradación de los suelos, a saber: 1) la pérdida de su estructura, cambio que puede determinarse con el indicador “índice de estructura del suelo” (Oleschko *et al.*, 1992; Pieri, 1995); 2) la reducción del contenido de materia orgánica del suelo (que se determina con el porcentaje MOS); 3) las pérdidas de partículas del suelo, y 4) la pérdida de nutrientes que se pueden determinar con los niveles de erosión de los suelos.

El desarrollo agrícola sustentable está en función del mantenimiento de la calidad del suelo, directamente relacionado con la susceptibilidad a la degradación que depende de la estabilidad estructural de los suelos.

Siendo la estabilidad estructural, el equilibrio en la relación agua-aire en el suelo, vinculado a la buena retención y circulación de agua, la baja separabilidad de las partículas de los agregados y por consiguiente reflejado en una menor pérdida de suelo separado que potencialmente puede ser acarreado por la escorrentía que deriva, por lo tanto, reflejada en un menor riesgo a la degradación física.

Los suelos inestables estructuralmente -alto riesgo a la degradación física- limitan el desarrollo agrícola sostenible, relacionado al contenido de materia orgánica, que depende a su vez, del tipo de cobertura o cultivo y de las prácticas de manejo de suelos.

La estabilidad de agregados es ampliamente reconocida como un indicador clave para la degradación del suelo. Existe un número importante de métodos para determinarla, o estimarla a partir de sus características. La determinación del estado de agregación del suelo y la estabilidad de los agregados ha sido realizada usando diferentes métodos e índices, pero no existen métodos, modelos o índices estandarizados que se puedan utilizar de manera universal.

Quiroga (2004) señala que:

Si bien los indicadores edáficos (físicos, químicos, biológicos y bioquímicos) no determinan independientemente la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica (MO) es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (...). El valor crítico de un indicador, en este caso de la MO, puede variar ampliamente entre series de suelos (Thomas *et al.*, 1997) y entre sitios diferenciados por el régimen de humedad (Dalal y Meyer, 1995) y temperatura (Amelung *et al.*, 1999; Hevia *et al.*, 2003). Por ello, normalmente se presentan dificultades para utilizar a la MO como un indicador individual de calidad de los suelos. De esta manera, nuestros trabajos parten de la hipótesis que los contenidos de MO, en *Haplustoles* y *Hapludoles* de la región semiárida y subhúmeda pampeana, resultan principalmente dependientes de factores relacionados con el régimen hídrico de los suelos (precipitaciones, capacidad de retención de agua y granulometría) y con el manejo de residuos (sistema de producción, secuencia de cultivos, sistema de labranza, fertilización).

La razón por la cual la estabilidad estructural sería un excelente indicador de la calidad del suelo, y por lo tanto, de la sostenibilidad, la ofrece Lobo y Pulido (2006) cuando afirman que:

Dado que la estructura del suelo es una condición compleja que está asociada a muchos procesos agronómicos y ambientales, es de particular importancia evaluar su estabilidad frente a fuerzas externas (gotas de lluvia, presiones mecánicas) e internas (fragmentación por explosión de aire atrapado como resultado de un rápido humedecimiento e hinchamiento diferencial).

Pero su determinación por métodos directos o experimentales son complejos, como se evidencia en el trabajo de los mencionados autores:

La selección de los métodos de evaluación y la interpretación de los resultados depende del propósito de la medición. El método más comúnmente usado para medir la estabilidad de los agregados es el tamizado en húmedo. Otros métodos están basados en la simulación del impacto de las gotas de lluvia, dispersión ultrasónica, rompimiento de los agregados por inmersión en agua, o el tamizado en seco.

A esta complejidad de la determinación de la estabilidad estructural y su importancia, hace referencia Lobo y Pulido (2006) cuando indican que:

La estabilidad de la estructura influye directa e indirectamente otras propiedades físicas y químicas del suelo y puede ser usada como un indicador de la degradación de los suelos (Cerdeira, 2000). La cuantificación de los cambios que ocurren en la estructura del suelo (desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo) son el punto de partida en el estudio de los procesos de degradación física de los suelos y su control (Pagliai *et al.*, 2004). Uno de los indicadores del estado estructural del suelo es la estabilidad de los agregados (Mbagwu, 2004), debido a que cuando esta sufre una disminución marcada, producto de la aplicación de fuerzas externas como el impacto de gotas de lluvia, la acción de presiones mecánicas externas, o internas como la fragmentación de agregados por explosión de aire atrapado por rápido humedecimiento e hinchamiento diferencial, se incrementa la degradación de los suelos e influye en el movimiento y retención de agua, erosión, sellado y encostrado, reciclaje de nutrientes y penetración de raíces (Bronick y Lal, 2004; Gabriels *et al.*, 1997).

Los índices para evaluar la estabilidad estructural del suelo:

Lobo y Pulido (2006) señalan diversos índices para evaluar la estabilidad estructural del suelo, a saber:

- a. Los métodos directos (experimentales) basados en el tamizado en húmedo de los agregados: método de Yoder (1936); método de Yoder modificado (descrito en Pla, 1983); diámetro medio ponderado de los agregados tamizados en agua (DMP) (Kemper y Rosenau, 1986) (modificado por Pla, 1983); partículas menores de 250µm que se separan de los agregados tamizados en agua (El Swaify y Dangler, 1982); índice de Estabilidad Estructural (EE) (Topp *et al.*, 1997); índice de Estabilidad estructural (SI) (De Leenheer y De Boodt, 1959); índice de inestabilidad estructural (Henin *et al.*, 1958); índices de sellado absoluto y relativo (Nacci y Pla, 1991); y el índice de consistencia C5-10 (De Ploey, 1981).
- b. Los métodos indirectos (ecuaciones), índices derivados de características de suelo para la predicción de sellado y encostrado, tenemos: el índice de separabilidad de partículas (ISP) (Florentino, 1998); el índice de Sellado- Encostrado de los suelos (ISE), calculado con base a experimentos realizados por Florentino (1998), derivado de ecuaciones de regresión; y el índice de encostramiento (IE), FAO (1980); y el índice de encostramiento de FAO (1980) modificado para las condiciones de los Llanos Occidentales (Comerma *et al.*, 1992).

Existe otro método indirecto, muy sencillo de determinar la estabilidad estructural aplicado por Ramírez *et al.* (2008) en la cuenca del río Reventado (Costa Rica) y es el índice estructural de Pieri (1995) (IE).

Así, con el objeto de minimizar los efectos de variaciones en la granulometría sobre indicadores de calidad de suelos se han desarrollado distintos índices, como por ejemplo MO/arcilla+limo (Pieri, 1995), MO/arcilla (Ferraris *et al.*, 2002) o el índice de compactación relativa (densidad aparente/densidad aparente máxima) que permite comparar el grado de compactación entre suelos de distintas texturas.

El índice de Estabilidad Estructura de Pieri (1995)

Pieri en 1995 presenta un trabajo de investigación con la intención de responder la interrogante ¿Qué específicamente aprendimos de los experimentos agronómicos a largo plazo que sea de bastante importante para garantizar que el apoyo continúe? Y enfocado en los resultados de los experimentos a largo plazo sobre el manejo de suelos iniciados en la mitad de la década de los años de 195050 (que ya tienen 60 años) en el África francófona semiárida.

El levantamiento de la literatura correspondiente realizada (Pieri, 1989 y 1992) demostró que estos experimentos proveen un esquema referencial único los procesos de fertilidad del suelo en relación al control de la productividad en el área de estudio. Los datos de estos experimentos proporcionan una guía en la perspectiva de mejorar las prácticas de manejo de suelos adaptadas a las sabanas semiáridas al sur del Sahara. Consecuentemente, la mejor existencia de estos experimentos a pesar de sus limitaciones inherentes muestran una incondicional mantenimiento. Las mediciones de los cambios en el tiempo de la productividad de los cultivos y la eficiencia relacionada con los cambios en la fertilidad del suelo, ii) evaluar los cambios en la calidad del suelo y las causas agronómicas que han inducido cambios en la fertilidad del suelo.

Pieri (2005) indica que tales experimentos resultan costosos mantenerlos en el tiempo, ya que requieren manejo y calibración constante, así como la precisión y adecuada recolección y manejo de los datos, además, su financiamiento oficial puede considerar excesivo particularmente a nivel nacional y regional, a nivel internacional las organizaciones de investigación que trabajan en países desarrollados, prefieren dirigir el mayor esfuerzo en el aspecto agronómico con ensayos a corto plazo.

La información generada de estos estudios permitió desarrollar el índice de estabilidad estructural de Pieri (1995) relacionada con grado de degradación del suelo.

El índice estructural IE (Pieri, 1995) determina la relación entre el contenido de la materia orgánica (MO) y la fracción mineral fina del suelo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$IE = \% MO / (\% \text{ Limo} + \% \text{ Arcilla}) \times 100$$

Donde los valores de IE inferiores a 5 indican suelos degradados, los valores de IE entre 5 y 7 indican suelos con alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación; los valores de IE entre 7 y 9 indican suelos con moderado riesgo a la degradación y los valores IE superiores a 9 representan suelos estructuralmente estables.

Este método indirecto, muy sencillo de determinar fue aplicado por Ramírez *et al.* (2008) a la cuenca del río Reventado (Costa Rica), cuyo estudio evidenció que 19% de los suelos de esa cuenca están degradados, 33% son suelos altamente susceptibles a la degradación, 25% de los suelos son ligeramente susceptibles a la degradación física y 23% de los suelos son estructuralmente estables, debido a la presencia de altos contenidos de compuestos órgano-minerales estables, especialmente en el horizonte superficial.

Funaro *et al.* (2005), citado por Quiroga (2004), en su investigación con el fin de evaluar la incidencia de la capacidad de retención de agua (CRA) y los índices de Pieri (1995) y de Ferraris *et al.* (2002) en el rendimiento de girasol, comprobaron que el amplio rango de variación en los contenidos de arcilla y limo no solo condiciona la capacidad de retención de agua (CRA) de los suelos sino también los niveles críticos de algunos indicadores relacionados con la nutrición de los cultivos. Así determinado valor de materia orgánica (MO) puede ser considerado bajo, medio o alto dependiendo de la granulometría, tal lo planteado por Quiroga *et al.* (1996).

Luisa Fernández De Andrade

METODOLOGÍA

El presente estudio aplica el índice de Pieri a la información de suelo superficial de los estudios de suelos detallados realizados por Abreu y Ojeda (1984); Henríquez y Serrano (1986) y Fernández (1994), en la Estación Experimental Bajo Seco de la UCV ubicada en la cuenca del río Petaquire, Municipio Carayaca del Distrito Federal, y Localizada en las siguientes coordenadas geográficas: 10°27'22" de Latitud Norte y 67°11'55" de Longitud Oeste, entre los 1600 y 2300 msnm.

Se realizará el cálculo del índice estructural IE (Pieri, 1995) expresado con la siguiente ecuación: $IE = \% MO / (\% \text{ Limo} + \% \text{ Arcilla}) \times 100$

La interpretación del índice estructural del suelo (Pieri, 1995) citado por Álvarez (1999), es la siguiente:

- Suelos degradados: $IE < 5$: son suelos con alta susceptibilidad a la erosión y a la degradación física.

- Suelos altamente susceptibles: IE: 5 – 7: son suelos con alto riesgo a la degradación física debido a la formación de costras duras arcillosas en la superficie, la compactación y la erosión.
- Suelos ligeramente susceptibles: IE: 7 – 9: son suelos con un leve riesgo de la degradación física.
- Suelos estructuralmente estables: IE: > 9: son relativamente estables, tiene importante contenido de carbono orgánico.

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Las características generales del área de estudio se resumen en el cuadro 1, y la aplicación del IE Pieri (1995) en los suelos seleccionados se resume en el cuadro 2.

La aplicación del índice de Pieri (1995) indicó que aproximadamente el 50 % de los suelos estudiados son estructuralmente estables; el 30 % ligeramente susceptibles, estos porcentajes relacionados al importante contenido de materia orgánica en suelos montañosos; y el 20% restante presenta alta susceptibilidad a la degradación.

Cuadro N° 1.
Información general de los suelos seleccionados

Id	Altitud	Espesor	Textura	EG %	pH	Taxonomía de suelo	Fuente
1	1855	0-24	Fa	45	6,3	<i>Typic Eutropepts</i>	Abreu y Ojeda 1984
2	1710	0-24	F	25	4,1	<i>Typic Humitpepts</i>	Abreu y Ojeda 1984
3	1770	0-25	Fa	0	5,5	<i>Aquic Paleudults</i>	Abreu y Ojeda 1984
4	1825	0-20	F	49	5,6	<i>Orthoxic Tropudults</i>	Abreu y Ojeda 1984
5	1850	0-14	FAa	65	5,2	<i>Orthoxic Tropudults</i>	Abreu y Ojeda 1984
6	1770	0-20	Fa	0	5,2	<i>Aquic Paleudults</i>	Abreu y Ojeda 1984
7	1920	0-5	FAa	32,4	5,75	<i>Aquic Tropudults</i>	Henriquez y Serrano 1986
8	2015	0-25	FAa	5,0	6,65	<i>Typic Paleudults</i>	Henriquez y Serrano 1986
9	2195	0-21	FA	16,8	4,5	<i>Typic Humitropepts</i>	Henriquez y Serrano 1986
10	1935	0-19	FA	1,6	3,95	<i>Typic Tropudults</i>	Henriquez y Serrano 1986
11	1910	0-14	FAa	15,7	5,7	<i>Typic Tropudults</i>	Henriquez y Serrano 1986
12	1825	0-10	F	21,9	5,5	<i>Orthoxic Tropudults</i>	Fernández 1994
13	1935	0-10	Fa	8,1	4,5	<i>Typic Tropudults</i>	Fernández 1994
14	1920	0-10	Fa	4,9	5,4	<i>Aquic Tropudults</i>	Fernández 1994
15	1935	0-10	Fa	9,5	5,9	<i>Typic Tropudults</i>	Fernández 1994

Cuadro N° 2.
Índice de estabilidad de Pieri (1995) de los suelos analizados

Id	MO (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	IE Pieri	Interpretación valorativa de los suelos
1	2,155	23,7	13,8	Fa	5,75	altamente susceptibles
2	7,55	43,6	11,3	F	13,75	estructuralmente estables
3	4,48	34,2	12,5	Fa	9,59	estructuralmente estables
4	8,19	38,8	18,8	F	14,22	estructuralmente estables
5	2,34	26,3	28,8	FAa	4,25	suelos degradados
6	4,24	33,3	10	Fa	9,79	estructuralmente estables
7	4,62	23,49	20,7	FAa	10,45	estructuralmente estables
8	3,74	25,77	24,3	FAa	7,47	ligeramente susceptibles
9	4,93	33,91	29,5	FA	7,77	ligeramente susceptibles
10	3,38	28,83	30,3	FA	5,72	altamente susceptibles
11	4,62	27,67	25,4	FAa	8,71	ligeramente susceptibles
12	7,32	33,54	20,8	F	13,47	estructuralmente estables
13	3,97	28,71	17,8	Fa	8,54	ligeramente susceptibles
14	4,21	33,77	13,7	Fa	8,87	ligeramente susceptibles
15	4,18	32,5	13,6	Fa	9,07	estructuralmente estables

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, X. Y E. OJEDA (1984). *Los suelos de la Estación Experimental Bajo Seco. Cotas 1720 a 1900 msnm*. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. Venezuela. 204 p.
- FERNÁNDEZ DE A., L. (1994). Evaluación del riesgo de erosión por salpique en suelos en la cuenca alta del río Petaquire. *Venesuelos* 2(2):50-53.
- FUNARO, D., A. QUIROGA, R. FERNÁNDEZ Y E. NOELLERMEYER (2005). *Incidencia de la CRA y el índice de materia orgánica/arcilla mas en el rendimiento del girasol*. En: Cosecha Gruesa 2005. EEA INTA, Anguil. pp 6-8.
- HENRÍQUEZ, M. y J. SERRANO (1986). *Estudio agrológico detallado de la Estación Experimental Bajo Seco. Cotas 1900-2300 msnm*. Trabajo de Grado. UCV. Maracay. Venezuela. 142 p.
- LOBO, D. y M. PULIDO (2006). Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. *Venesuelos* 14:22-37.
- PIERI, C. (1995). Land-use change in the semiarid and arid tropics of Africa. B. Turner, A. Gómez-Sal, F. González Bernáldez, F. di Castri (Eds.) *Global land use change: A perspective from the Columbian Encounter*. CSIC. Madrid, España. pp. 341-360.
- PIERI, C. (1995). Long-term soil management experiments in semiarid Francophone Africa. *Adv. Soil Sci.* 225-264 pp.
- PIERI, C. (1995). Long-term soil management experiments in semi-arid Francophone Africa. In: *Soil Management: experimental basis for sustainability and environmental quality*. R. Lal and B. Steward (eds). Lewis Publishers/CRC. Florida, USA. 266 p.
- PIERI, C., J. DUMANSKI, A. HAMBLIN y A. YOUNG. (1995). *Land Quality Indicators*. World Bank Discussion Paper 315, World Bank, Washington D.C. 63 p.
- QUIROGA, A. (2004). *Aspectos del manejo del agua y la fertilidad en molisoles de la región semiárida pampeana*. Publicado por la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Santa Rosa, La Pampa. 11 p.

- RAMÍREZ, L., A. ALVARADO, R. PUJOL, A. MC HUGH y L. BRENES (2008). Indicadores para estimar la sostenibilidad agrícola de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32 (2):93-118.
- REINO DE ESPAÑA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE (2000). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Serie Monografías. Madrid.
- VELÁSQUEZ, H., J. MENJIVAR y C. ESCOBAR (2007). Identificación de suelos susceptibles a riesgos de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento. *Acta Agron.* Vol.56 no.3. 16 pp.

Luisa Fernández De Andrade. Licenciada en Geografía, Universidad Central de Venezuela (1988). Profesora de pregrado y postgrado e investigadora de la Universidad Central de Venezuela desde 1989, en el área de Edafología, Manejo de Suelos y Metodología de la Investigación. Magister (1994) y Doctora (2002) en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.

Correo electrónico: fernandezdeandrade@gmail.com

