



USDA Natural Resources Conservation Service

Indicator	Test	Function
B	?	?



Soil Quality Indicators

INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

Indicadores Biológicos y Funciones del Suelo

Los indicadores biológicos ofrecen una visión de los componentes vivos del suelo. Al igual que los indicadores físicos y químicos, los indicadores biológicos están relacionados con las funciones del suelo y se pueden usar para evaluar sus funciones y la calidad del suelo. Estos indicadores son propiedades dinámicas del suelo que son muy sensitivos al manejo del suelo, desordenes naturales, y a químicos contaminantes. Doran y Safley (1997) y Pankhurst et al. (1997) sugirieron que un indicador, independiente de su naturaleza, debe cumplir con los siguientes criterios: 1) que se pueda interpretar; 2) estar bien correlacionados con los procesos del ecosistema; 3) integrar las propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos; 4) estar a disposición de muchos usuarios; y 5) ser sensitivos a cambios. Adicionalmente, un indicador debe ser reproducible, baja variabilidad especial y temporal, y facial de muestrear y métodos analíticos simples.

Es importante saber cuál indicador probar, que información se necesita para manejar apropiadamente el suelo, y donde obtener la información. En general, los indicadores biológicos más informativos de las funciones del suelo son aquellos que nos ilustran acerca de los procesos de suelo a través de sus organismos.

Hay incontables organismos en la capa fina de la superficie del suelo. Estos organismos tienen un papel clave en la descomposición de la materia orgánica del suelo, en el ciclo de nutrientes, en la degradación del suelo por contaminación, y en la formación y estabilidad de la estructura del suelo; adicionalmente, se adaptan a cambios en su ambiente, tal como el estrés debido a sequías, anegamiento, escases de sustratos (i.e., escases de alimento), y contaminantes. La biota del suelo también responde rápidamente al uso y manejo del suelo por lo cual puede ser un buen indicador del suelo. Sin embargo, hay limitaciones para hacer la medición directa de los organismos del suelo; a causa de esto, las propiedades biológicas dinámicas (reparación, POM, PMN, y encimas) a menudo se usan como substitutos como medidas de procesos del suelo causadas por la biota del suelo. Ácidos grasos fosfolípidos y han ganado aceptación en el ámbito académico y en laboratorios de investigación. La respiración del suelo se mide en el campo o en la oficina de campo. Las lombrices, que a menudo no son diversas y fáciles de contar, son la única biota que se ha considerado útil como indicador biológico por personal de campo sin tener entrenamiento especial y que se miden en el campo mediante la determinación de su abundancia.

Los indicadores biológicos pueden reflejar el número total, tipo, y actividad de microorganismos y la diversidad de organismos vivos en el suelo, en particular la población microbiana. Algunos indicadores biológicos están ligados a fracciones de materia orgánica (POM, β -glucosidasa), reservas de nitrógeno (PMN) o la biota del suelo (respiración).

El manejo del suelo y desordenes naturales pueden tener impacto positivo o negativo en la biota del suelo.

Efecto de la labranza y manejo de residuos. Cambios en las condiciones del suelo por el manejo del suelo, como labranza o manejo de residuos, pueden tener efecto positivo o negativo sobre la biota del suelo (roedores, arañas, lombrices, cucarrones, bacterias, hongos, protozoarios, nematodos, etc.). Gupta y Yeates

(1997) reportaron que los efectos de la labranza y manejo de residuos de plantas sobre el tamaño, actividad, y la estructura de la comunidad de la población de la microfauna (bacterias, hongos, protozoos, y nematodos) se pueden atribuir a alguno de los factores siguientes:

1. Suministro de alimento (grandes poblaciones de bacterias y hongos se presentan cuando los residuos son devueltos al suelo)
2. Cambios en poblaciones de microorganismos secundarios (como micro artrópodos, que son nematodos predadores, and nematodos, que son predadores de protozoos) Alteración de propiedades físicas del suelo (i.e., mejoramiento de estabilidad de agregados debido a sistemas de labranza reducida y al mejoramiento de disponibilidad de humedad a causa de la retención de residuos)
3. Alteración de propiedades físicas del suelo (i.e., mejoramiento de estabilidad de agregados debido a sistemas de labranza reducida y al mejoramiento de disponibilidad de humedad a causa de la retención de residuos)
4. Cambios en la distribución de los residuos de MO a través del perfil de suelo (i.e., mejor distribución de la MO en suelos cultivados comparada con suelos con labranza mínima donde los residuos se concentran en la superficie de la capa fina del suelo)
5. Aplicación de pesticidas, fungicidas, y otros químicos tóxicos para la biota
6. Sistemas de cultivo (rotaciones, cultivos de cobertura, labranza convencional, fertilizantes, etc.)

Efecto de la acidificación del suelo. La acidificación del suelo producida por continuadas siembras o aplicación de fertilizantes (sulfato de amonio o nitrato de amonio, sulfuro) pueden reducir el pH e impedir el crecimiento y actividad de la población de bacterias (excepto bacteria acidófila). A menos que las bacterias y hongos se puedan adaptar a un amplio rango de pH. El pH óptimo es 7.

Efecto de la irrigación y de la adición de sal. El agua irrigada con altos niveles de sal puede ser también una fuente de salinización del suelo. Actinomicetos y hongos son menos sensitivas a la salinización en comparación con las bacterias, excepto para la bacteria halófila (sal- tolerante).

Efecto de las prácticas de conservación. La rotación de cultivos afecta particularmente al hongo micorriza debido a que ciertas especies de plantas se infectan fácilmente por este hongo y mientras para otras no lo es. La inclusión de leguminosas en la secuencia de rotación estimula la bacteria *Rhizobium*, pero también puede ser una fuente de acidificación del suelo que impide el crecimiento de otras bacterias.

Efecto de los desórdenes naturales y del estrés. Los desórdenes naturales (i.e., fuego, sequias, e inundaciones) y manejo de los desórdenes (i.e., manejo del suelo incluyendo el cultivo, fertilización, pesticidas, y herbicidas) dan como resultado condiciones de estrés para los microorganismos. Estos estreses (ver Table 1) puede ser temporales o permanentes. Como respuesta a esta corta perturbación, comunidades biológicas en suelos salubres hacen retornar al suelo relativamente rápidamente a las condiciones iniciales. Estrés de larga duración o crónico resultará en una larga sucesión, que conduce a una nueva dinámica de equilibrio entre los componentes del ecosistema (van Bruggen and Semenov, 2000).

Varios indicadores biológicos están relacionados con la materia orgánica y están ligados al ciclo de nutrientes, a la biodiversidad y a las funciones de productividad. La Tabla 2 muestra indicadores biológicos relacionados con las funciones de la calidad del suelo.

Tabla 1. Factores de estrés

Físico	Químico	Biológico
Temperaturas extremas	pH	Deficiencia o exceso de nutrientes ^a
Potencial Mátrico (suelo seco o húmedo)	Exceso o deficiencia de nutrientes inorgánicos	Organismos externos con alta competitividad
Potencial osmótico	Anoxia	Crecimiento descontrolado de organismos, como patógenos y depredadores
Presión alta (i.e., equipo agrícola)	Salinidad	
	Biocidas (metales pesados, radioactividad, contaminantes, e hidrocarburos)	

^a Ambientes oligotróficos y eutróficos son ejemplos.

Tabla 2. Indicadores biológicos relacionados con las funciones de la calidad del suelo. (el número de asteriscos indica la significancia de la relación entre el indicador y la función. Por ejemplo, 3 asteriscos indican que es un indicador mayor y 1 o 2 indican indicadores menores.)

Indicador de la calidad del suelo	Función del suelo				
	Sostiene la diversidad, actividad, y productividad biológica “D”	Regula el flujo y la partición de agua y solutos “W”	Filtro, búfer, degradación, detox materiales orgánico e inorgánicos “F”	Almacenamiento y ciclo de nutrientes y carbón “N”	Estabilidad física y soporte de plantas y estructuras de hábitat humana “S”
Lombrices ^{b,d}	★ ★ ★	—	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★
Partículas de materia orgánica ^c	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★
Nitrógeno potencialmente disponible ^c	★ ★ ★	—	—	★ ★ ★	—
Enzimas del Suelo ^a	★ ★ ★	—	—	★ ★ ★	—
Respiración del suelo ^{a,b,c}	★ ★ ★	—	★	★ ★ ★	★ ★

^a laboratorio/método de oficina ^b método de campo ^c tiempo ^d simple observación visual

Las lombrices son de áreas no glaciales de norte América, pero especies no nativas de Europa y Asia también existen en estas áreas. Se clasifican en tres grupos basados en sus hábitats. Los habitantes de la basura ingieren residuos de plantas y pueden estar ausentes en un suelo arado y sin basura. Los habitantes del suelo mineral viven en la capa superior del suelo que es rica en materia orgánica; excavan canales estrechos y se

alimentan de una mezcla de tierra y residuos de plantas. Los excavadores profundos del suelo (rastreadores nocturnos) excavan madrigueras largas y grandes en capas profundas del suelo; llevan consigo residuos vegetales para el consumo. El excremento de lombrices de tierra es material digerido que se excreta nuevamente en el suelo, y se enriquece con nutrientes (N, P, K y Ca) y microorganismos durante su paso por el sistema digestivo del gusano. El excremento fresco es un material de intensa actividad microbiana y ciclo de nutrientes. Las lombrices de tierra aportan nutrientes al suelo y mejoran la porosidad, el labrado y el desarrollo de la raíz. También contribuyen a la construcción de la estructura del suelo y la estabilidad de los agregados.

Las enzimas del suelo aumentan la velocidad de reacción a la que los residuos vegetales se descomponen y liberan nutrientes disponibles para la planta. Son catalizadoras: sin sufrir alteraciones permanentes, provocan reacciones químicas que se producen a mayor velocidad (Tabatabai, 1994). La sustancia sobre la que actúa una enzima del suelo se llama sustrato; por ejemplo, la glucosidasa (enzima del suelo) separa la glucosa (azúcar), un compuesto común en las plantas, del glucósido (sustrato). Las enzimas son específicas de un sustrato y tienen sitios activos que se unen con el sustrato para formar un complejo temporal; la reacción enzimática libera un producto, que puede ser un nutriente contenido en el sustrato. Las enzimas del suelo no representan verdaderos niveles de actividad in situ y deben verse como un índice. Las enzimas responden más rápidamente a los cambios que ocurren en el suelo (2 años).

La fracción de materia orgánica particulada (POM), como se discute en este documento, comprende todas las partículas de materia orgánica del suelo (MOS) menores de 2 mm y mayores de 0.053 mm (Cambardella y Elliot, 1992); es biológicamente y químicamente activa y es parte del grupo lábil (de fácil descomposición) de MOS. Algunos estudios han demostrado que POM representa pequeñas y grandes cantidades de C de suelo (20 por ciento o más) en algunos suelos del este de Canadá y los Estados Unidos, dependen de los agroecosistemas y las prácticas de manejo. Más POM-C se encontró en suelos no perturbados que, en suelos perturbados, por ejemplo, aquellos bajo labranza convencional (Cambardella y Elliot, 1992).

El nitrógeno potencialmente mineralizable (PMN) se puede definir como la fracción de nitrógeno orgánico convertido en formas disponibles para la planta (o minerales) en condiciones específicas de temperatura, humedad, aireación y de tiempo. Determinar los niveles de PMN puede proporcionar una estimación del N disponible en el suelo. El PMN se origina principalmente de la biomasa microbiana y de tejidos de plantas y animales, las principales fuentes de la reserva de nitrógeno orgánico. Representa la fracción de nitrógeno de fácil descomposición por los microorganismos del suelo y se considera una medida indirecta de la disponibilidad de nitrógeno durante la temporada de crecimiento (si se mide durante ese período).

Si bien el potencial de mineralización anaeróbica de N puede ser un buen indicador del potencial de un suelo a liberar N, no necesariamente refleja los niveles de N de biomasa microbiana. Se sugirió que la proporción de N mineralizado con respecto al nitrógeno orgánico total N podría servir como un indicador sensible a las diferencias en la materia orgánica del suelo.

Traducción

Melba Salazar-Gutierrez, Professor, Biological Systems Engineering Department and Bernardita Sallato, Regional Tree Fruit Extension Specialist, Agriculture, and Natural Resources Unit. Washington State University.

Referencias

- Cambardella, C.A., and E.T. Elliot. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56:777-83.
- Dick, R.P. 1994. Soil enzyme activity as an indicator of soil quality. In J.W. Doran et al. (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, pp. 107-124. Madison, WI.
- Doran, J.W., and M. Safley. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In C.E. Pankhurst, B.M. Doube, and V.V.S.R. Gupta (eds.) *Biological Indicators of Soil Health*, pp. 1-28. CAB International.
- Drinkwater, L.E., C.A. Cambardella, J. Reeder, and C. Rice. 1996. Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. In J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication 49:217-229.
- Gupta, V.V.S.R., and G.W. Yeates. 1997. Soil microfauna as indicators of soil health. In C.E. Pankhurst, B.M. Doube, and V.V.S.R. Gupta (eds.) *Biological Indicators of Soil Health*, pp. 201-231. CAB International.
- Pankhurst, C E., B.M. Doube, and V.V.S.R. Gupta. 1997. Biological indicators of soil health: Synthesis. In C.E. Pankhurst, B.M. Doube, and V.V.S.R. Gupta (eds.) *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International.
- Smith, J.L., and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. In J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication 49:169-185.
- Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzymes. In R.W. Weaver et al. (eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*, pp. 775-833. Van Bruggen, A.H.C., and A.M. Semenov. 2000. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology* 15:13-24.