

Consideraciones sobre una posible solución a la ecuación fundamental de H. Jenny*

—WILFREDO VERA E, RENE ELISSEGARAY C, WALTER LUZIO L, MONICA MENIS M**

ABSTRACT

A solution to Jenny's equation of soil formation was explored using basic parameters such as the elements of soil minerals

An empiric expression yielding the change of a given element within the soil minerals was obtained from weathering rate data. The expression was used to infer changes in a given soil property as the result of soil weathering. The equations were tested with data obtained from an experiment of intensified leaching over volcanic ash soil

Introducción

SEGUN Jenny (2), el suelo es un sistema físico abierto en el cual las sustancias pueden ser agregadas o removidas. Así, las propiedades de cada sistema (s_1, s_2, s_3, \dots) están funcionalmente interrelacionadas y quedan expresadas como:

$$F(s_1, s_2, s_3, \dots) = 0 \quad [1]$$

A su vez, las relaciones entre las propiedades del suelo y los factores de formación se pueden expresar por la ecuación:

$$S = f(c_l, o, r, p, t, \dots) \quad [2]$$

que representa la ecuación fundamental de Jenny (2) y que establece que la magnitud de cualquier propiedad del suelo (s) es función de los factores de formación de suelos. El cambio total de una propiedad dependerá de los cambios que se produzcan en los factores de formación, es decir:

$$\begin{aligned} ds = & \left(\frac{\partial s}{\partial c_l} \right) c_{l,o,r,p,t,dc_l} + \left(\frac{\partial s}{\partial o} \right) c_{l,r,p,t,do} + \\ & \left(\frac{\partial s}{\partial r} \right) c_{l,o,p,t,dr} + \left(\frac{\partial s}{\partial p} \right) c_{l,o,r,t,dp} + \\ & \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right) c_{l,o,r,p,dt} + \end{aligned} \quad [3]$$

La dificultad de la solución práctica de esta ecuación radica en la imposibilidad de cuantificar algunos de los parámetros que ella incluye.

Por esta razón, en este trabajo se discute una posible solución que toma en cuenta elementos básicos del suelo en sí, que son cuantificables en su totalidad

Método

Se tomó como base la ecuación fundamental de Jenny (2) y mediante análisis diferencial se discute una solución de ésta.

Discusión

Es un hecho que las propiedades de los suelos no permanecen constantes a través del tiempo. Su variación dependerá de la variación de los constituyentes del suelo, lo cual no es más que la expresión de la forma e intensidad como actúan los factores de formación.

Los cambios que sufren los constituyentes inorgánicos dependerán, a su vez, de las condiciones de meteorización en el transcurso del tiempo; transformaciones que serán más o menos importantes según sea

* Recibido para la publicación el 9 de setiembre de 1977.

** Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

la resistencia de esos constituyentes a los procesos de destrucción y a las condiciones del medio ambiente del perfil. Dentro de estas últimas, es probable que el micro-medio ambiente, la intensidad de la lixiviación y la accesibilidad (1) sean los mecanismos que gobiernan en forma decisiva el curso de la meteorización

Si se considera que un proceso normal en los suelos es la meteorización de minerales primarios a minerales secundarios, la cantidad y naturaleza de estos últimos constituirá un reflejo de las condiciones en que se desarrollan estos procesos.

Así los minerales, por efecto de los procesos de meteorización, liberan al ambiente parte o la totalidad de los elementos que los constituyen. La tasa de liberación dependerá de las características estructurales, físicas y químicas del mineral primario, además de las condiciones del medio ya señaladas anteriormente.

Si se cuantifica este proceso, resulta que la cantidad Q de un elemento i (Q_{i1}) que existió en un tiempo t_1 , variará a Q_{in} , en el tiempo n , después de ocurrido la meteorización, o sea:

$$\begin{array}{ccc} Q_{i1} & \xrightarrow[\text{meteorización}]{Q_{in}} & Q_{in} \\ t_1 & \xrightarrow{\Delta t} & t_n \end{array} \quad \Delta Q_i = Q_{in} - Q_{i1} \quad \Delta t = t_n - t_1$$

La expresión que relaciona estos cambios corresponde a:

$$\frac{\Delta Q_i}{\Delta t} = m_i \psi(Q_i) \quad [4]$$

donde:

$\frac{\Delta Q_i}{\Delta t}$: es la variación en cantidad de un elemento con respecto al tiempo.

$\psi(Q_i)$: expresa la tendencia de la variación de Q_i en el tiempo, y

m_i : es un factor que depende de las características de cada mineral, o sea, representa la tasa a la cual un elemento puede ser liberado

La función ψ se obtiene mediante análisis estadístico de regresión y correlación de datos obtenidos en experiencias de terreno o laboratorio. El factor m , o constante de meteorización, se obtiene al asignar el valor $1-10-\infty$ al mineral del suelo más resistente a la meteorización. A partir de éste pueden obtenerse los valores de m para los demás constituyentes.

Para obtener la cantidad total de la variación del elemento en un transcurso de tiempo, se utiliza la siguiente expresión:

$$\int_{Q_{ik+p}}^{Q_{ik}} \frac{dQ_i}{\alpha(Q_i)} = m_i \int_{t_k}^{t_k+p} dt \quad [5]$$

donde:

Q_{ik} : es el contenido del elemento en el tiempo t_k , y

Q_{ik+p} : representa la cantidad a la que varía el elemento en un transcurso de tiempo p .

Como esta ecuación cuantifica la forma en que varía un determinado elemento, o sea un constituyente del suelo, indirectamente está midiendo la variación de las propiedades de los suelos como se planteó en un comienzo. O sea, si V_x representa una propiedad del suelo, ésta quedará expresada como una función de la suma de las variaciones de los distintos constituyentes

$$V_x = f [m^{11} \alpha^{11}(Q^{11}) + m^{12} \alpha^{12}(Q^{12}) + m^{1s} \alpha^{1s}(Q^{1s}) + \dots + m^{21} \alpha^{21}(Q^{21}) + m^{22} \alpha^{22}(Q^{22}) + \dots + m^{2s} \alpha^{2s}(Q^{2s}) + m^{rs} \alpha^{rs}(Q^{rs}) \dots] \quad [6]$$

Por lo tanto:

$$V_x = f \left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s m_{ij} \alpha_{ij}(Q_{ij}) \right] \quad [7]$$

donde:

V_x : propiedad del suelo

m_{ij} : constante de meteorización

f, α_{ij} : funciones

i : elemento

j : constituyente (mineral)

Q_{ij} : contenido del elemento en un constituyente

Como Q_{ij} varía a medida que avanzan los procesos de meteorización, V_x también varía:

$$\Delta V_x = \Delta f \left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s m_{ij} \alpha_{ij}(Q_{ij}) \right] \quad [8]$$

Por otra parte la ecuación fundamental de Jenny (2), establece que una propiedad del suelo es función de los factores de formación de suelos, es decir:

$$s = f (cl, o, r, p, t, \dots) \quad [2]$$

En consecuencia, por analogía $s = V_x$, o sea:

$$f (cl, o, r, p, t, \dots) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s m_{ij} a_{ij}(Q_{ij}) \quad [9]$$

de manera que la ecuación [3] cambia a:

$$dV_x = \left(\frac{\partial V_x}{\partial cl} \right)_{o,r,p,t,dt} + \left(\frac{\partial V_x}{\partial o} \right)_{cl,r,p,t,do} + \left(\frac{\partial V_x}{\partial r} \right)_{cl,o,p,t,dr} + \left(\frac{\partial V_x}{\partial p} \right)_{cl,r,p,t,dp} + \left(\frac{\partial V_x}{\partial t} \right)_{cl,o,r,p,dt} \quad [10]$$

El cociente de cada sumando identifica a una climofunción, una biofunción, una topofunción, una litofunción y una cronofunción respectivamente, y la suma de estas funciones representa la derivada total que, a su vez, corresponde a la variación que manifiesta una propiedad del suelo en el transcurso de la meteorización.

Aplicación

En un trabajo realizado por Vera y Elissegaray (3) se obtuvieron datos experimentales de la variación de diferentes elementos y propiedades de un suelo derivado de cenizas volcánicas y sometido a lixiviación intensificada.

Con el fin de aplicar las fórmulas obtenidas se utilizaron algunos datos del trabajo de Vera y Elissegaray (3).

La tendencia de la variación del Ca soluble a través del tiempo queda expresada mediante la ecuación:

$$Ca = e^{-0.02} t^{-0.53} \quad [11]$$

Con un coeficiente de correlación de -0,86**

Experimentalmente se obtuvieron los siguientes valores: al inicio de la experiencia $Ca = 1,16$ meq/l al término de la experiencia $Ca = 0,50$ meq/l

Al aplicar la fórmula (5) se obtiene:

$$d(Ca) = -0,53 e^{-0.02} t^{-1.53} dt$$

$$\int_{Ca^1}^{Ca^5} d(Ca) = -0,53 e^{-0.02} \int_{t^1}^{t^5} t^{-1.53} dt$$

donde:

Ca_1 : Contenido de Ca al inicio de la experiencia (en el tiempo t_1)

Ca_5 : Contenido de Ca al término de la experiencia (en el tiempo t_5)

Entonces:

$$Ca^5 - Ca^1 = e^{-0.02} (t_5^{-0.53} - t_1^{-0.53})$$

donde:

$$Ca_5 = x$$

$$Ca_1 = 1,16 \text{ meq/l}$$

$$t_5 = 5$$

$$t_1 = 1$$

Por lo tanto $x = 0,59$ meq/l que corresponde al contenido de Ca soluble al final de la experiencia. La diferencia con el dato experimental de 0,09 meq/l se puede explicar en base al coeficiente de correlación que se obtuvo y que fue de -0,86**.

La variación de una propiedad del suelo a través del tiempo se puede cuantificar mediante la ecuación [7]. Para su aplicación se utilizaron los datos experimentales relacionados con el complejo de intercambio del trabajo ya mencionado

El valor inicial de la CIC fue 32,59 meq/100 g de suelo y el valor final fue de 27,13 meq/100 g de suelo.

Las ecuaciones que reflejan la tendencia de los cationes de intercambio son:

$$Na = e^{0.33} t^{-1.51} \quad (r = -0,86^{**})$$

$$K = e^{0.006} t^{-2.074} \quad (r = -0,94^{**})$$

$$Mg = e^{0.44} t^{-0.20} \quad (r = -0,94^{**})$$

$$Ca = e^{3.15} t^{-0.05} \quad (r = -0,81^{**})$$

$$H = 4,226 + 0,001 t \quad (r = 0,26)$$

Entonces

$$CIC = Na + K + Mg + Ca + H$$

$$CIC = e^{0.33} t_5^{-1.51} + e^{0.006} t_5^{-2.074} + e^{0.44} t_5^{-0.20} + e^{3.15} t_5^{-0.05} + 4,226 + 0,001 t_5$$

Por lo tanto $CIC = 27,046$ meq/100 g de suelo.

Al igual que en el caso anterior la diferencia de 0,084 meq/100 g de suelo con el dato experimental, se puede explicar a causa de los coeficientes de correlación parciales.

Resumen

Se analizó una posible solución a la ecuación fundamental de Jenny, en función de parámetros básicos como son los elementos que forman parte de los minerales constituyentes del suelo.

Considerando la meteorización (tasa y tendencia) de los minerales del suelo, se obtuvo una expresión empírica que cuantifica la variación de los elementos de dichos minerales. A partir de esta última, se determinó la ecuación que refleja los cambios de una propiedad del suelo en el transcurso de la meteorización.

Las ecuaciones obtenidas se probaron con datos experimentales de un suelo derivado de cenizas volcánicas sometido a lixiviación intensificada.

Literatura citada

- 1—BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils, New York, John Wiley, 1964. 470 p
- 2—JENNY, H. Factors of soil formation. New York, McGraw-Hill, 1941. 281 p
- 3—VERA, W. y ELISSEGARAY, R. Meteorización de un suelo derivado de cenizas volcánicas en condiciones de laboratorio. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Santiago 1977. 105 p

Notas y Comentarios

Condecoración venezolana para Gerardo Budowski

Por sus estudios y aportes conservacionistas, el Dr. Gerardo Budowski fue condecorado por el gobierno venezolano con la Orden "Henry Pittier" en su Primera Clase. El galardón fue entregado por el Ministro del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, ingeniero Arnoldo José Gabaldón, el 5 de enero de 1979, en Caracas, Venezuela. La condecoración es otorgada por el Gobierno de Venezuela sobre la base de una decisión conjunta de los Ministros de Agricultura y Cría, y del Ambiente y Recursos Renovables.

Gerardo Budowski, de nacionalidad venezolana, se ha destacado internacionalmente en el campo de las ciencias forestales y de la ecología. Para *Turrialba*, que ha contado siempre con su colaboración y apoyo, esta noticia es muy grata, y se complace en expresar sus felicitaciones por esta nueva distinción que ha recibido en su carrera. El Dr. Budowski ha vuelto a Costa Rica después de trabajar tres años en la sede de la Unesco en París, como iniciador de los programas de ecología y conservación y desempeñar por seis años en Ginebra el cargo de director general de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales. Actualmente es Jefe del Programa de Recursos Naturales Renovables en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) con sede en Turrialba, Costa Rica.

Cultivo de células para producción de drogas

Las compañías farmacéuticas están deseando obtener formas más fáciles y baratas de hacer muchas drogas aprovechando un proyecto audaz, en gran escala, de cultivo de células vegetales, que ha iniciado la Universidad de Sheffield, Inglaterra. La técnica ofrece una alternativa a la extracción de ingredientes vitales de plantas, algunas de ellas no cultivadas y situadas en lugares poco accesibles. (*New Scientist* vol. 81, N° 1137, p. 97).

El equipo de Sheffield espera tener una planta piloto trabajando durante 1979. Las píldoras anticoncepcionales están entre los productos que se podrían manufacturar mediante el cultivo de células vegetales. Esta posibilidad recibe un empuje de la actual escasez de los rizomas del cabeza de negro

mexicano (*Dioscorea floribunda*) del cual se extraen los esteroides que se usan en las píldoras (Cf *Turrialba* vol. 27, p. 226). Y así, hay otras fuentes vegetales que no son abundantes y cuya obtención crea problemas a las firmas farmacéuticas de Europa. Si a esto se une el clima imprevisible, el hecho de que las cosechas sólo ocurren en ciertas épocas del año, y los cambios políticos, se comprenderá el porqué las firmas farmacéuticas están deseosas de hacer inversiones en el cultivo artificial de células vegetales. En Alemania Occidental y en el Japón hay ya laboratorios que están produciendo tabaco y alimento para el gusano de seda (Cf *Turrialba* 28: 192) con cultivos de células vegetales. Otras posibilidades son la fabricación de morfina y otros alcaloides que normalmente son extraídos de amapolas; la digitalina y otros estimulantes del corazón que se encuentran naturalmente en la digital; y otros compuestos usados como condimento, aditivos o laxantes.

El trabajo en Sheffield está dirigido por John Barnard, ingeniero químico, y por su colega Michael Fowler. Han mostrado ya que el tejido vegetal, como el de las hojas, puede ser estimulado para que se divida rápidamente en el medio de cultivo apropiado y a formar una masa de células "no diferenciadas", esto es, células que no forman tejido. Las células pueden ser separadas mediante una agitación suave. A intervalos, el producto elaborado por las células puede ser extraído del fluido o si no secretan el producto, las células pueden ser cosechadas y el producto extraído de ellas. La productividad de los cultivos de células puede ser controlada de manera que produzcan, en una intensidad constante, morfina, digitalina o muchos otros productos.

El cultivo de células vegetales ha sido desarrollado mucho menos que el cultivo bacteriano o fungoso. Los problemas son diferentes. Las células vegetales no crecen solas naturalmente; tienen que ser separadas, y prevenir que se adhieran a los lados de los recipientes y que comiencen a formar colonias multicelulares. Las células deben ser agitadas para separarlas pero suavemente para evitar dañarlas.

Un avance crucial se hizo hace pocos meses cuando fue evidente que, simplemente por selección repetida de las cepas de más alto rendimiento en los cultivos, era posible elevar la productividad rápidamente hasta cinco o diez veces. Este descubrimiento hizo potencialmente económica la tecnología costosa empleada en el cultivo de células, por lo menos para las drogas más caras que se requieren en grandes cantidades. Conforme la ingeniería genética vegetal se expanda gradualmente, también aumentará la gama de productos que se podrían hacer con cultivos de células vegetales.