

# TEORÍA DE ESTADOS Y TRANSICIONES APLICADA A SUELOS VOLCÁNICOS SOMETIDOS A DIFERENTES MANEJOS II: RESPIRACIÓN DEL SUELO

<sup>(1)</sup>Fernando Paz, <sup>(2)</sup>Sara Covaleda, <sup>(2)</sup>Juan F. Gallardo, <sup>(3)</sup>Christian Prat, <sup>(1)</sup>Jorge D. Etchevers y <sup>(1)</sup>Claudia Hidalgo

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados de Montecillo, Texcoco (México); <sup>2</sup>C.S.I.C. Salamanca (España); <sup>3</sup>IRD-LTHE, Grenoble (Francia). <[pellat@colpos.mx](mailto:pellat@colpos.mx)>

**RESUMEN.** El uso de los Modelos de Estados y Transiciones (MET) como un marco teórico-conceptual para caracterizar la dinámica del C en ecosistemas arbóreos, permite ordenar patrones de variables asociadas a esta dinámica. Así, el uso de variables dinámicas, tal como la respiración del suelo, ofrece una visión desde la perspectiva de flujos asociados a inventarios, que puede interpretarse bajo el marco de los MET. En este Trabajo se analizan los patrones temporales de la respiración del suelo y se realiza una interpretación usando tasas de cambio de la dinámica de los flujos observados. La información utilizada proviene de muestreos realizados en la microcuenca de Atécuaro, al S de la cuenca de Cuitzeo, en el Estado de Michoacán (México) durante el año 2005.

**Palabras clave:** Estados y transiciones, variables dinámicas, respiración del suelo

**INTRODUCCIÓN.** La modelación de la dinámica del carbono orgánico de los suelos (COS) y su acoplamiento a la de la biomasa aérea en ecosistemas arbóreos ofrece grandes retos. Los Modelos de Estados y Transiciones (MET) (3-5) aproximan (en versión discreta) el equilibrio suelo-vegetación de los ecosistemas, de tal forma que definen trayectorias de evolución (tiempo en forma implícita) de la dinámica observada. La ventaja de los MET es que se pueden aplicar en forma operacional para el manejo de los bosques y evaluar el impacto de estrategias de perturbación (manejo o natural), como sumidero (captura) o fuente (liberación) de C. Los MET definen de forma clara trayectorias reversibles o irreversibles de manejo, de tal forma que las consideraciones de captura de C edáfico, bajo una estrategia de manejo dada, pueden ser analizadas y evaluados sus costos (1, en este volumen). Si el sistema suelo-vegetación sobrepasa un umbral de degradación irreversible, la recuperación del estado inicial (bosque sin perturbar) es prácticamente imposible en términos operacionales. Por ello, si el sistema está en la condición de máxima degradación los intentos por restaurar las funciones del ecosistema (i.e. captura de C) serán poco útiles en términos de los costos asociados. No obstante, si un sistema está en un

estado transicional, entonces es viable que pueda restaurarse.

En la Fig. 1 se muestra un esquema de MET (1) para el COS y Al y Si libres ( $Al_d$  y  $Si_d$ ) y activos ( $Al_o$  y  $Si_o$ ), caracterizados por la razón molar  $(Si_o - Si_d)/(Al_o - Al_d)$ , que es un índice de la naturaleza del material amorfo presente en los suelos. En esta figura se observan trayectorias, reversibles e irreversibles, de la degradación del ecosistema bosque (Bosque Pino-Encino, BPE) bajo diferentes perturbaciones o manejos. La relación molar mostrada en la Fig. 1 es una caracterización estática del estado del suelo-vegetación. Una forma alternativa de un MET sería el uso de variables dinámicas, tales como la respiración del suelo.

A pesar de la complejidad de los ecosistemas forestales, donde muchos factores interactúan entre sí (temperatura y humedad ambiental y edáfica, microbiología, tipo y edad de la vegetación, etc.) es posible entender las interacciones entre los elementos del sistema analizando una sola variable-respuesta capaz de ordenar patrones de variables asociadas. En este caso se va a emplear la respiración del suelo ( $R_s$ ) como componente dinámica del COS para elaborar un MET que caracterice la dinámica del C en el sistema suelo-vegetación-atmósfera.

**MATERIALES Y MÉTODOS.** El área de estudio seleccionada se encuentra en la microcuenca de Atécuaro, en la parte suroccidental de la cuenca de Cuitzeo, Estado de Michoacán (México; 19° 33' y 19° 37' N; 101° 09' y 101° 15' W). Se trata de un gradiente altitudinal que incluye 11 puntos, sobre *Andosol*, con zonas de pastos (P1), bosques mixtos de pino-encino con diferente degradación (B1-B7; al incrementar el número incrementa la degradación), un área que sufrió un incendio en el año 2000 (I) y dos áreas de cultivo (C1 y C2).

En sitios seleccionados se monitoreó el suelo con un equipo de respiración (EGM4 de *PP Systems*) que determina *in situ* el flujo de  $CO_2$  emitido por la superficie edáfica. Para ello se realizaron de 5 a 8 mediciones en cada sitio durante los meses de abril, julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre (2005). Los promedios de las mediciones de  $R_s$  ( $mg\ CO_2\ g^{-1}\ d^{-1}$ ) se

utilizaron para estimar los parámetros de un modelo temporal empírico. La relación entre  $\ln(R_s)$  y el tiempo ( $t$ ) fue modelada linealmente usando tres segmentos asociados al crecimiento de la vegetación: etapa inicial creciente, etapa de meseta y etapa decreciente.

En la Fig. 2 se muestran los resultados obtenidos al ajustar el modelo propuesto a

promedios mensuales de  $R_s$ , para un bosque latifolio (2). En este caso, la variación diaria se filtró al usar promedios mensuales. El ajuste del modelo a los datos fue el adecuado por lo que puede usarse de forma fiable como una primera aproximación.

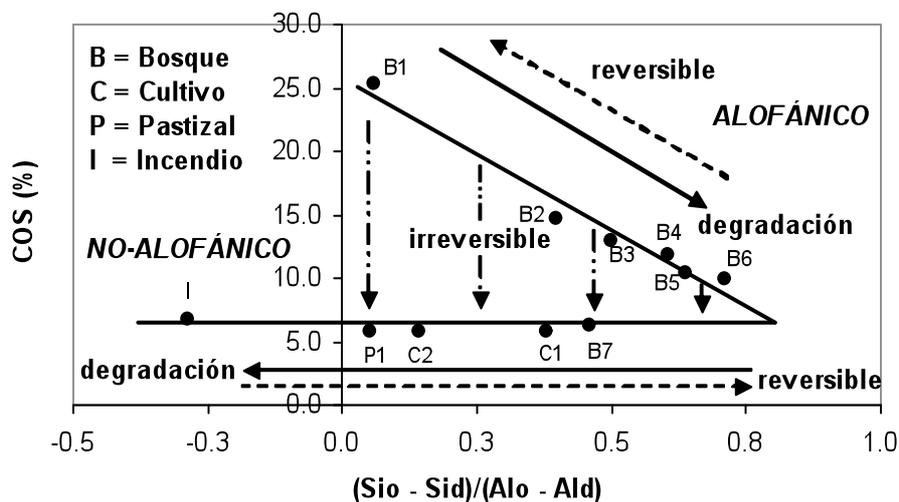


Figura 1. Modelo de estados y transición para la relación molar  $(S_{io} - S_{id}) / (A_{lo} - A_{ld})$  para un BPE.

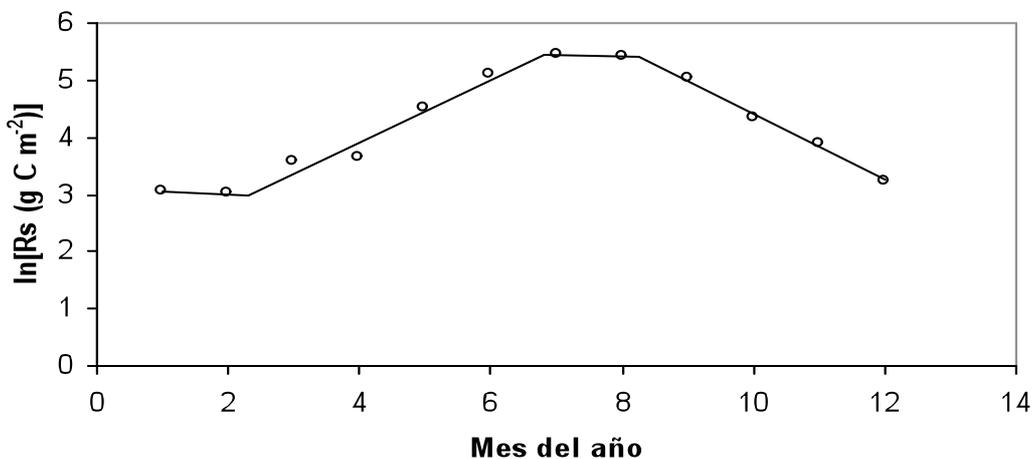


Figura 2. Modelo temporal de  $R_s$  para datos mensuales de un bosque latifolio (2).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN.** En la Fig. 3 se muestra el ajuste del modelo temporal de  $R_s$  para el sitio B6, donde se observa que en la etapa decreciente el modelo representa un comportamiento adecuado a los datos. En general, en la mayoría de los sitios sólo se pudo modelar el  $R_s$  en la etapa decreciente, ya que en la creciente no se contó con un número suficiente de datos (se exige al menos 3 datos o un patrón general bien

definido). De la Fig. 1, en los puntos sobre la línea horizontal de COS mínimo, los patrones temporales de  $R_s$  se consideran desacoplados del sistema suelo-vegetación-atmósfera (este tema es abordado en la tercera parte de esta serie de comunicaciones), por lo que mostraron comportamientos erráticos y no pudieron ser modelados, como muestra en la Fig. 4 para el sitio C1.

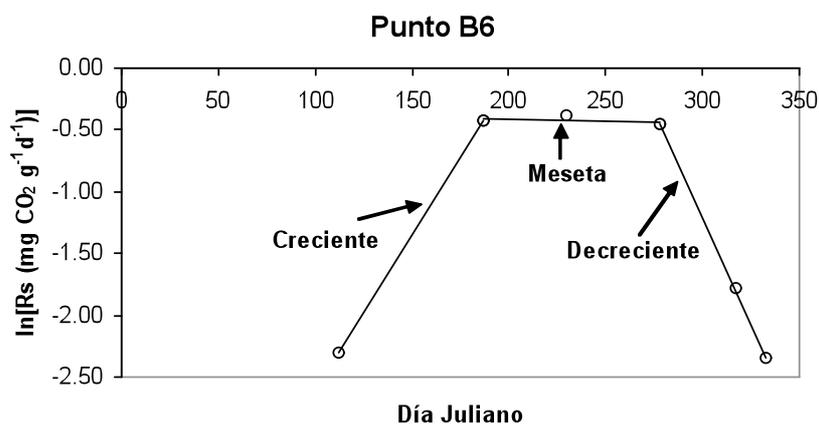


Figura 3. Modelo temporal ajustado para Rs en el sitio B6.

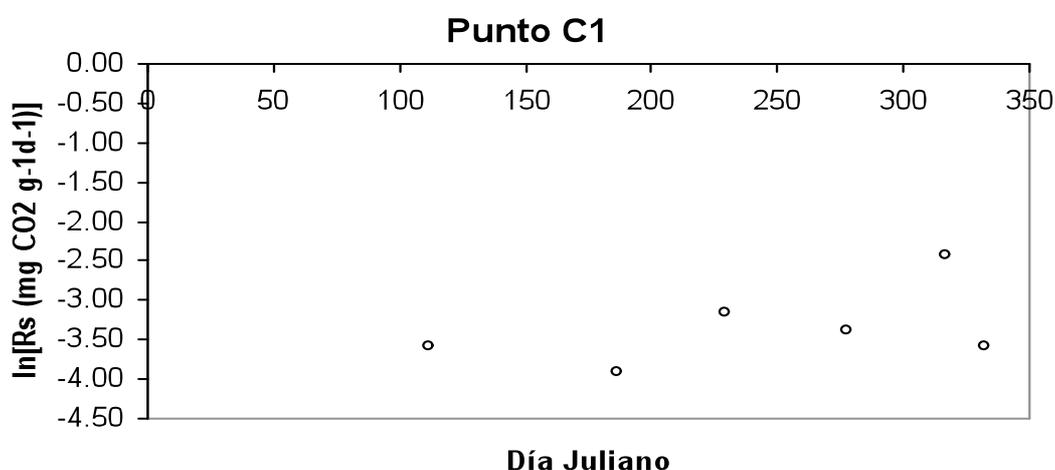
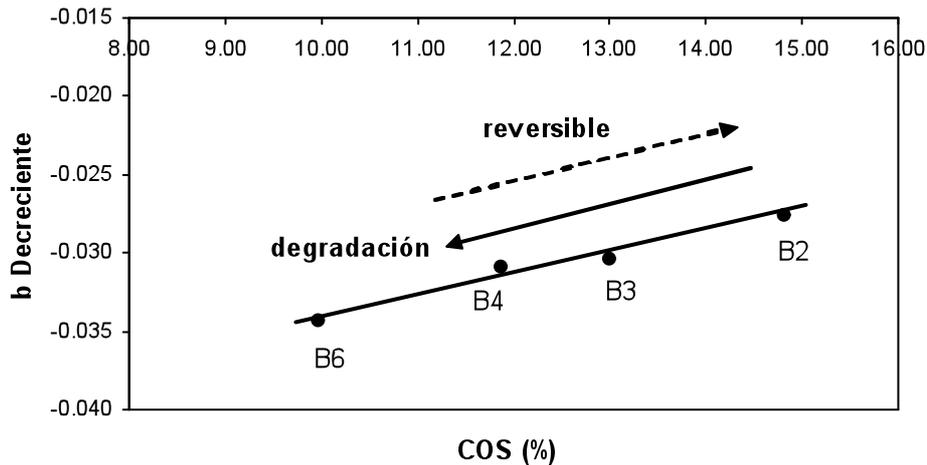


Figura 4. Modelo temporal ajustado para Rs en el sitio C1.

En el caso de los puntos o sitios que están sobre la línea de degradación del sistema BPE (Fig. 1; puntos B1 a B6) el modelo propuesto estuvo bien definido, por lo que se estimaron, por regresión lineal, sus valores. En la Fig. 5 se muestra la relación entre la pendiente  $b$  de la etapa decreciente del modelo temporal de Rs y el COS. El uso de la pendiente  $b$  para representar la dinámica de la respiración (tasa de cambio) es adecuado dado que el valor máximo de Rs (etapa de meseta) y su intersección con las etapas creciente o decreciente están altamente correlacionadas con las pendientes de dichas etapas.

La Fig. 5 también muestra que las pendientes (tasas de cambio) de la relación Rs con el tiempo representan el estado de degradación del

sistema BEP (Fig. 1) de forma adecuada; por tanto, las variables dinámicas pueden utilizarse para entender la respuesta del ecosistema. A mayor degradación, la tasa de cambio es más baja (pendiente negativa más pronunciada), lo que implica, por la relación entre la pendiente y el valor de Rs máxima, que la Rs acumulada durante el periodo del crecimiento y decrecimiento de la vegetación será menor que en el caso de un sistema menos degradado. Así, la versión estática del MET que usa la relación molar (Sio-Sid)/(Alo-Ald) predice inventarios de COS más bajos a mayor degradación del sistema BEP, lo que es congruente con la versión dinámica (usando Rs) e indica que a mayor degradación del sistema se tendrá una menor tasa de Rs (dado que el COS es menor).



**Figura 5.** Padrón entre la pendiente b de la etapa decreciente y el COS.

**CONCLUSIONES.** De la presentación de los resultados del MET usando la variable dinámica  $R_s$  se puede concluir que el uso de  $R_s$  (flujos) es compatible con variables estáticas del COS (inventarios) y representa en forma completa la dinámica del C en el sistema suelo-vegetación-atmósfera. Esto es sólo válido para sistemas acoplados con la atmósfera, donde los flujos tienen patrones coherentes en el tiempo, tal como se muestra en la tercera parte de esta serie de comunicaciones.

El aspecto de los tiempos necesarios para la recuperación de las funciones “óptimas” no es claro, por lo que será materia de un trabajo posterior.

#### LITERATURA CITADA.

1. Covalada, S., F. Paz, J. Gallardo, C. Prat, J. Etchevers. y C. Hidalgo. 2007. Teoría de estados y transiciones aplicada a suelos volcánicos sometidos a diferentes manejos I: relación molar (Sio-Sid)/(Alo-Ald). Simposio Carbono Orgánico del Suelo y Calentamiento Global: Perspectivas y Oportunidades de Investigación en Latinoamérica. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Guanajuato (México). En prensa.
2. Jiabing, W., G. Dexin, W. Miao, P. Tiefan, H. Shijie y J. Changjie. 2006.

Year-round soil and ecosystem respiration in a temperate broad-leaved Korean pine forest. *For. Ecol. Manage.*, 223: 35-44

3. Stringham, T.K., W.C. Krueger, y P.L. Shaver. 2001. States, transitions and thresholds: Further refinement for rangeland applications. Special Report 1024. Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis (USA).  
<[www.ftw.nrcs.usda.gov/glti/pubs.html](http://www.ftw.nrcs.usda.gov/glti/pubs.html)>.
4. Stringham, T.K, W.C. Krueger y P. L. Shaver. 2003. State and transition modeling: An ecological process approach. *J. Range Manage.*, 56: 106-113.
5. Tugel, A.J. y J.R. Brown. 2001. State and transition ecosystem models – application to soil survey and dynamic soil properties databases. En: Proceedings of the National Cooperative Soil Survey Conference, June 25-29, Fort Collins (USA). pp: 194-201.

**AGRADECIMIENTOS.** Los autores agradecen a Aurelio Báez, Paola Bustos, Lenin Medina y a Crecenciano Chavez su colaboración en los trabajos de campo y a la División General XII de la Unión Europea la financiación del Proyecto *REVOLSO*.

Paz F., Covalada S., Gallardo J.F., Prat Christian, Etchevers J.D., Hidalgo C.

Teoria de estados y transiciones aplicada a suelos volcanicos sometidos a diferentes manejos : 2. Respiracion del suelo.

In : Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo. Leon : SLCS, 2007, 4 p. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 17., Leon (MEX), 2007/09/17-21.