

Efectos potenciales del calentamiento global en ecosistemas de montaña: cambios en la actividad exo-enzimática de los microorganismos del suelo

Nathaly Guerrero^{1,2}✉, Benjamin Turner¹, Valeria Pizarro²

¹Smithsonian Tropical Research Institute, Apartado 0843-03092, Balboa, Ancón, Panamá

²Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia

Autor para correspondencia: ✉ kirana1015@yahoo.co.in

Resumen

La actividad exo-enzimas cambia con la temperatura, pero la proporción de dichos cambios es diferente entre los ecosistemas de alta montaña del Volcán Barú, Panamá. Encontrándose en la mayoría de las exo-enzimas (fosfomonoesterasa, fosfodiesterasa, quitinasa, β -glucosidasa y sulfatasa) un menor incremento para el ecosistema de páramo con vegetación achaparrada en comparación con los otros ecosistemas de alta montaña muestreados (bosque de bambú, bosque de niebla y páramo de gramíneas). Esto puede estar dado, por diferencias en los limitantes ambientales, la calidad del sustrato y otros mecanismos de estabilización que afectan los índices de reacción enzimática y por ende, la aparente sensibilidad a la temperatura.

Introducción

Actualmente, el cambio climático ha pasado de ser una opinión a una problemática tangible a nivel global. Dicho cambio tiene y tendrá un efecto en la estructura y función de los ecosistemas (Andrade, *et al* 2002). Sin embargo, las respuestas de los ecosistemas al cambio climático dependerán de la velocidad del cambio y de las condiciones intrínsecas de los mismos, como son: la resiliencia y la velocidad de adaptación de cada uno de los componentes del sistema. Si se presentan cambios en la vegetación se podría afectar la disponibilidad de agua, calidad y cantidad de hojarasca, cantidad y composición de los exudados de las raíces, y distribución de carbono (C) en el perfil de suelo (Grayston *et al.* 1997; Rothe y Binkley 2001; Gleixner *et al.* 2005; Hättenschwiler 2005 En: Kirby y Potvin, 2007). Siendo el suelo, un sistema dinámico basado en interacciones geoquímicas y biológicas, que está y estará siendo afectado de manera directa e indirecta por cambio climático

(Vitousek *et al.* 1997). Además, en el suelo los ecosistemas terrestres cumplen un papel fundamental al capturar y acumular elementos en él, manifestándose como un sistema ecológico dentro de los ciclos biogeoquímicos (Andrade *et al.* 2002). Las condiciones edáficas y microbianas del suelo, son importantes en el reciclaje de nutrientes y emisión de gases (Alarcón *et al.* 2002), siendo estas primordiales para entender del tipo de retroalimentación al calentamiento global que se espera por respiración en suelos, producto de la degradación de materia orgánica, mineralización, reciclaje de macronutrientes, entre otros procesos, que se llevan a cabo usando enzimas (Marx *et al.* 2001). Estas enzimas controlan la tasa y extensión de las reacciones (Fuhrmann, 2005) y podrían ser sensibles al aumento de la temperatura que se está presentando por calentamiento global. Dicha sensibilidad aparente depende, de las propiedades intrínsecas de descomposición de los diferentes compuestos orgánicos del suelo y de las limitaciones ambientales (Davidson & Janssens, 2006). Estas limitaciones podrían disminuir o enmascarar la aparente sensibilidad a la temperatura, al reducir las concentraciones de sustrato en los sitios de reacción enzimática (Davidson & Janssens, 2006). Mostrando, que las limitaciones ambientales, la calidad del sustrato y otros mecanismos de estabilización son factores que afectarían los índices de reacción y por ende, la sensibilidad aparente a la temperatura (Davidson & Janssens, 2006). Haciéndose primordial el estudio de condiciones edáficas, microbianas y enzimáticas como una herramienta para la construcción de modelos predictivos que permitan afrontar los efectos que el cambio global tenga sobre estos ecosistemas.

Área de estudio

Este estudio se realizó en el Parque Nacional Volcán Barú (PNVB; Fig. 1) ubicado en la región occidental de Panamá, Cordillera Central (Samudio, 2001). El volcán Barú posee una altitud de 3474 msnm, correspondiente al punto más alto de la República panameña. El clima es de carácter subtropical, con un régimen climático monomodal (Samudio, 2001). La precipitación promedio varía entre 3000 y 4000 mm año⁻¹ y la temperatura promedio entre 12 y 24 °C, dependiendo de la altitud

(Samudio, 2001). Adicionalmente, se encuentra un alto contenido de roca ígnea, predominando andesita y andesita basáltica, y en menor cantidad dacita – sílice (Le Bas and Streckeisen, 1991 En: Sherrod *et al.*, 2008). La actividad volcánica comenzó hace 0.5 millones de años presentándose erupciones con flujos de lava y otras de tipo explosivo. La última erupción fue hace 400 o 500 años aproximadamente, pudiéndose obtener una variedad edáfica ligada a condiciones propias de los ecosistemas, material parental, historia geológica y características climáticas moldeadoras de procesos formadores de suelo, dando como resultado algunas zonas con suelos de origen poligénico (Shoji *et al.* 1993). Actualmente el volcán está catalogado como potencialmente activo.

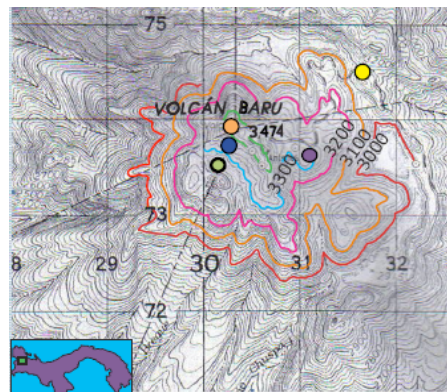


Figura 1. Ubicación del Volcán Barú y los ecosistemas muestreados. ■:BB (bosque de bambú y roble a 3070 msnm); ■:PG (Páramo de gramíneas a 3280 msnm); ■:BN (Bosque de niebla a 3300 msnm); ■:P1 (Páramo con vegetación achaparrada a 3376 msnm) y ■:P2 (Páramo con vegetación achaparrada a 3452 msnm).

Este estudio se llevó a cabo en cuatro ecosistemas del PNVB, todos ellos ubicados por encima de los 3000 msnm (Fig. 1): bosque de bambú y roble (BB), páramo de gramíneas (PG), bosque de niebla (BN) y páramo de vegetación achaparrada (con dos altitudes de muestreo: P1 y P2). En cada ecosistema se estableció un transecto de banda de 100 x 2 m² paralelo a la cumbre del volcán. Dependiendo la topografía y la pendiente se extrajeron entre tres y cinco réplicas por medio de un corazonador. Cada réplica estaba compuesta por diez repeticiones. Las muestras fueron transportadas en condiciones de refrigeración al laboratorio, donde fueron tamizadas para extraer raíces y rocas.

Análisis enzimático

La actividad enzimática microbiana se midió usando el protocolo de sustratos fluorimétricos de hidrolasas en suelos de Marx *et al.* (2001). Se cuantificaron las exo-enzimas: fosfomonoesterasa y fosfodiesterasa implicadas en la hidrólisis del fósforo (P), β -glucosidasa para el carbono (C), quitinasa para el nitrógeno (N) y sulfatasa para el azufre (S). Como sustrato se usó 4-metil umbeliferil ligado a compuestos análogos, dependientes de la enzima a cuantificar. El pH obtenido de las muestras de suelo estuvo alrededor de 5 (datos no mostrados), por lo que se utilizó como buffer 0.5 M de acetato de sodio/ácido acético. Las temperaturas de incubación fueron 4, 10, 22, 30 °C. Estas temperaturas se usaron para tener una clima que se asociara a las variaciones diarias presentes en sistemas montañosos tropicales. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el promedio de temperatura específico en el PNVB y que la mayoría de estudios sobre enzimas usan 30 °C, permitiendo posteriores comparaciones. El ensayo se realizó en microplatos que tenían una columna con seis pozos para el blanco, otra para el estándar (MU) y dos columnas por sustrato. La incubación se llevó a cabo por 2 h para 4 y 10° C y 1 h para 22 y 30°C. Al finalizar la incubación se agregaron 60 μ L de 0.5M NaOH para detener la reacción y optimizar el pH para la lectura. La fluorescencia fue leída a una excitación con longitud de onda de 355 nm, y una emisión con longitud de onda de 450 nm en un microplato fluorimétrico computarizado (BioLumin TM960, Kinetic fluorescente/absorbance, Molecular Dynamic).

Con los valores resultantes de la actividad enzimática se realizaron regresiones lineales para cada ecosistema muestreado por exo-enzima, obteniendo el R^2 y la ecuación de la recta. Para cada ecosistema muestreado con un R^2 significativo (95 % de confianza) se hizo una comparación entre pendientes usando el programa estadístico Sigma Plot v 11.0.

Resultados

Para la fosfomonoesterasa la actividad enzimática a 4°C estuvo entre 239 y 1383 $\text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$. Mientras que a 30 °C los valores ascendieron desde 998 a 4126 $\text{nmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ entre P1 y PG

respectivamente. Para la fosfodiesterasa, el rango a 4 °C estuvo entre 28 (P1) y 144 nmol g⁻¹ h⁻¹ (PG), incrementándose a 124 y 463 nmol g⁻¹ h⁻¹ a 30 °C. La β- glucosidasa varió de 35.41 (P1) a 462 nmol g⁻¹ h⁻¹ (BB) siendo los mismos ecosistemas los que presentaron cantidades límite en 30 °C (204-1390 nmol g⁻¹ h⁻¹). La quitinasa presentó una variación desde 42 hasta 637 nmol g⁻¹ h⁻¹ a 4 °C. Mientras que dicha variación a 30 °C fue entre 193 y 1759 nmol g⁻¹ h⁻¹ en P2 y BB respectivamente. Finalmente, la sulfatasa presentó a 4 °C valores entre 6 y 116 nmol g⁻¹ h⁻¹ incrementándose de 37 a 345 nmol g⁻¹ h⁻¹ a 30 °C para los ecosistemas P1 y BB.

Las regresiones entre la actividad de las exo-enzimas y las diferentes temperaturas de incubación mostraron en la mayoría de los casos una relación directamente proporcional (Fig 2). Sin embargo, las pendientes (nmol g⁻¹ h⁻¹ °C⁻¹) resultantes de dicha regresión difieren según el ecosistema por exo-enzima muestreada. Para la fosfomonoesterasa y la fosfodiesterasa los ecosistemas BB, PG y BN presentaron un mayor incremento en la actividad enzimática al aumentar la temperatura de incubación. Contrariamente, P1 y P2 no presentaron este mismo grado de incremento. Para la β- glucosidasa los ecosistemas con mayor incremento fueron BB y BN. Mientras P1 y P2 presentaron un menor incremento. PG no tuvo una regresión significativa con la temperatura, dado a un comportamiento inexplicable a 10 °C, omitiendo dicha pendiente del análisis. Para quitinasa y sulfatasa el ecosistema que presentó mayores cambios al aumentar la temperatura fue BB, mientras P2 presentó los menores cambios. El resto de los ecosistemas presentaron variaciones intermedias.

Discusión

Para todas las enzimas el páramo con vegetación achaparrada (dos altitudes) tuvo la menor sensibilidad aparente respecto a la temperatura. Adicionalmente, este ecosistema presentó las mayores diferencias en sus condiciones edáficas (humedad, densidad, textura, pérdida por ignición, macro-nutrientes, nutrientes disponibles para las plantas, entre otros) en comparación a los otros ecosistemas (Datos sin publicar). Siendo probable, que diferencias en estas condiciones intrínsecas,

en que se desarrollan las enzimas, estén relacionadas con la sensibilidad mostrada. Por ende, se recomienda relacionar la tasa de reacción enzimática con otras condiciones edáficas que podrían estar restringiendo el aumento de la actividad enzimática. Además, la estructura del suelo en los bosques y el páramo de gramíneas (sistema radicular, abundante, porosidad, humedad, contenido

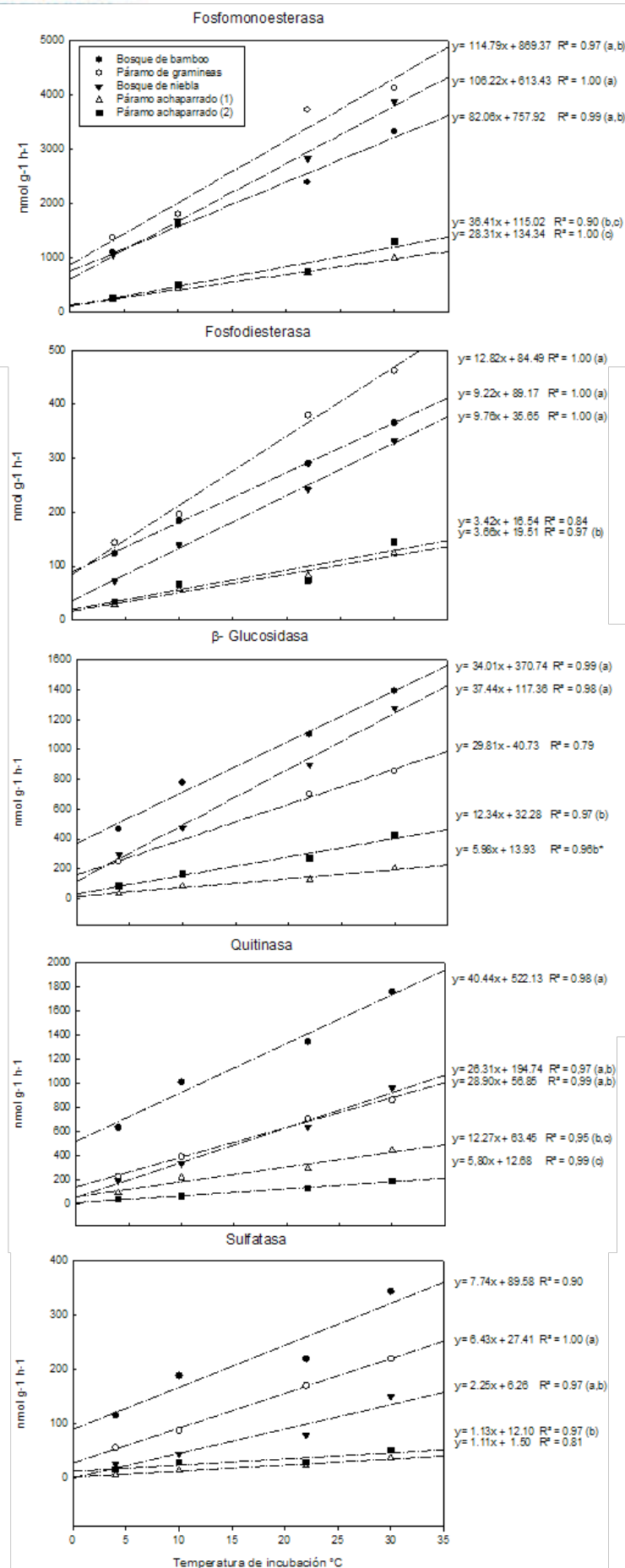


Figura 2. Variación de la actividad enzimática a diferentes temperaturas de incubación (4, 10, 22, 30 °C) para cada uno de los ecosistemas muestreados. Lado derecho de la grafica: ecuación de la regresión lineal y R^2 (indica diferencias significativas entre las pendientes con 95 % confianza)

de materia orgánica, entre otras) podría estar brindando un espacio adecuado para el desarrollo microbiano con mayores cantidades de exo-enzima y micro sitios activos para la reacción enzimática. Otro factor, que podría estar explicando la diferencia entre el incremento de la reacción con respecto a la temperatura, es el tipo de materia orgánica que entra a los diferentes ecosistemas (cantidad y complejidad), ya que esto y las condiciones ambientales y microbianas estructuran el tipo de sustrato con el que va a interactuar la enzima, teniendo cada sustrato propiedades cinéticas diferentes. Mostrando, que sistemas con sustratos más simples, que podría ser el caso del páramo con vegetación achaparrada (menor tiempo de génesis, poca entrada de materia orgánica, entre otros) tendrían menos sensibilidad aparente a la temperatura en comparación con sustratos más complejos (otros ecosistemas). Sin embargo, estos datos más que concluir nos permite hipotétizar sobre uno de los puntos vulnerables por calentamiento global. Siendo necesaria, la integración de otras variables microbianas, edáficas y climáticas para tener una visión global de los cambios que se están presentando y del tipo de retroalimentación que se presentan por calentamiento global a nivel microbiano.

Bibliografía

- Andrade, G.; Rosa, M.; Arango, G. Lineamientos para definir la vulnerabilidad y adaptabilidad de los ecosistemas colombianos ante la Convención de Cambio Climático. En: Castaño, C. Páramos y ecosistemas Altoandinos de Colombia en condición HotSpot & Global Climatic Tensor. Colombia: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), 2002. p. 71-162
- Davidson, E.A; Janssens, I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature, 2006. 440-9: 165-173

- Fuhrmann, J. Microbial Metabolism. En: Sylvia, D.; Hartel, P.; Fuhrmann, J.; Zuberer, D. Principles and applications of soil microbiology. Estados Unidos: Pearson Prentice Hall, 2005. p. 54-84
- Kirby, K; Potvin, K. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of small-scale carbon sink project. Forest Ecology and Management, 2007. 246: 208-221
- Marx, M.C.; Wood, M.; Jarvis, S.C. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils. Soil Biology & Biochemistry, 2001. **33**:1633-1640.
- Samudio, R. Panamá. En: Kappelle, M; Brown, A. D. Bosques Nublados del Neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Fundación Agroforestal del Noroeste de Argentina (FUA), World Conservation Union (IUCN), University of Amsterdam (IBED-UvA), Laboratorio de Investigaciones Ecológicas los Yungas de Argentina (LIEY). INBio Press. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. 2001. p. 371
- Sherrod, D.R; Vallance, W.J; Espinosa, T. A; McGeehin, P.J. Volcán Barú—Eruptive History and Volcano-Hazards. Estados Unidos: U.S. Geological Survey, 2008. p 33.
- Shoji, S; Nanzyo, M; Dahlgren, R. Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. Developments in Soil Science 21. 1993. p. 288