

RECONSTRUCCIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA/USO DEL SUELO DEL REINO DE CALAKMUL PREHISPÁNICO.

Laura Alfonsina Chang-Martínez^a, Jean-François Mas Causse^a

^a Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental,
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de La Huerta, CP 58190 Morelia
Michoacán México
lchang@pmip.unam.mx

RESUMEN

La modelación de cambio de cobertura/uso del suelo (CCUS) se aplica frecuentemente para entender procesos de cambio en la actualidad, y en escenarios en el futuro (modelos prospectivos), y hacia el pasado en retrospectiva. Sin embargo, casi no existen modelos de los registros de cambios en la cobertura del suelo del pasado, indagando en el inicio del cambio. El proyecto recurre a la historia y a los registros arqueológicos para explicar los cambios en el pasado, el modelo se hizo a través del software DINAMICA con puntos basados en la distribución de sitios arqueológicos, se simuló la presencia humana tomando en cuenta las localidades (arqueológicas), la distancia a ellas y la vegetación obteniendo la probabilidad de cambio, se consideró al Maíz como fuente primordial de alimento y para la generación de parcelas, posteriormente se aplicó la densidad poblacional para generar la dinámica a través del tiempo de acuerdo a una tasa de crecimiento y el cambio en el rendimiento requerido por persona por año. El modelo permite observar la dinámica de la población prehispánica del reino de Calakmul durante el Clásico y su sistema agrícola.

Palabras clave: Modelación, CCUS, cultura prehispánica, Calakmul, arqueología.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de modelos de simulación de cambios de cobertura/uso del suelo (CCUS) permite entender los procesos de cambio que se llevaron a cabo en el pasado así como evaluar y proyectar la evolución del paisaje bajo diferentes escenarios. El resultado de la modelación nos permite indagar sobre cambios a nivel social derivados de una sobre explotación de los recursos (Valdez, 2006). Pueden generarse empíricamente mediante el desarrollo de un modelo matemático que estima la probabilidad de cambio en función de un conjunto de variables explicativas (Geist y Lambin, 2001).

Existen dos enfoques de modelación de los CCUS: modelos basados en los actores y los modelos basados en patrones (Verburg, 2006; Castella y Verburg, 2007). Los modelos orientados a actores (o agentes) se basan generalmente en encuestas de hogares,

que representan a los actores de los CCUS de forma explícita mediante la simulación de las tomas de decisión (Parker et al., 2001; Anselme et al., 2010; Lagabrielle et al., 2010). Los modelos basados en patrones y evaluación de tierras utilizan datos de percepción remota y de censos para simular los CCUS a través de la parametrización de las transiciones de una categoría de CUS a otra. Ambos enfoques se pueden eventualmente combinar (véase, por ejemplo Castella y Verburg, 2007).

En general, en el enfoque orientado a patrones, un análisis espacial de los cambios se lleva a cabo a través de la comparación de dos mapas de CUS históricos (pasado reciente). El mapa y la matriz de cambio resultantes permiten estimar los patrones y procesos de cambio (tipos de transiciones y tasas de cambio). El análisis de los cambios pasados en relación con variables explicativas (típicamente variables como pendiente, accesibilidad, tipo de suelo, tenencia de la

tierra, estatuto de protección, densidad y características de la población) permite mapear la probabilidad de las diferentes transiciones. Este análisis se basa generalmente en un método estadístico como modelos de regresión o pesos de evidencia (Mas et al., 2009).

Si bien la mayoría de los cambios analiza cambios de un pasado reciente para elaborar modelos prospectivos a corto plazo (15 años), existen algunos modelos enfocados en simular cambios que ocurrieron en un pasado mucho más lejano. Por ejemplo, se puede mencionar un modelo basado en agentes y desarrollado para estudiar los procesos ecológicos, económicos, sociales y políticos del pueblo prehispánico "Anasazi" que se encontraba en el suroeste de EE.UU. durante el periodo de 600 a 1600 D.C. en el contexto de un medio natural dinámico (Axtell et al., 2002; Kohler et al., 2005; 2012). Existen otros estudios que no son modelos propiamente pero que se han interesado en el cambio de cobertura y uso de suelo históricos o prehistóricos (Defries, 1999; Ramankutty y Foley, 1999; Williams, 2000; Ruddiman, 2003; Barton et al., 2010; Etter et al., 2012). En menor frecuencia encontramos modelos dirigidos a patrones que tienen fundamento en la arqueología basados en estimaciones de tasas de densidad poblacional y tasas de deforestación para uso agrícola (Yu et al., 2012).

Los modelos de CCUS permiten obtener los procesos de cambio relacionados con el manejo forestal, las fuerzas biofísicas y económicas que influyen en dichos procesos (Chowdhury, 2006; Mas et al., 2009; Soares-Filho, 2009; Galicia et al., 2007). Permiten generar distintos escenarios que ponen a prueba teorías sobre el colapso de civilizaciones, las causas de cambios y el efecto de políticas. (Wyman y Stein, 2010).

En la región de Calakmul, se han estudiado la toma de decisiones de la población del sitio, y como estas decisiones influyen en la administración de las tierras y la dinámica de los paisajes contemporáneos (Geoghegan, 2001). Sin embargo no existen estudios de CCUS del pasado agrícola Maya,

que prueben las teorías acerca del colapso (600-900 d.C.) de esta civilización. Existen numerosas teorías para explicar el abandono de los principales centros de población durante este periodo. Algunos autores lo atribuyen a una sobreexplotación de los recursos naturales relacionado con la intensificación de la agricultura como respuesta al crecimiento poblacional, (McNeil et al., 2010). Otras explicaciones se enfocan en problemas políticos, los efectos del cambio climático local donde resalta una sequía que pudo afectar los periodos de siembra y cosecha y afectar en la disponibilidad de los recursos (Desmares, 2001; Haug, 2003; Hodell, 1995; Turner y Sabloff, 2012). Existen posturas integradas basadas en la combinación de la sobreexplotación de los recursos aunado a un cambio climático. Se basan en registros que indican una sequía hacia el clásico tardío (600-900 d.C) justamente en el apogeo de la civilización donde se cree hubo la mayor densidad poblacional en las grandes metrópolis (Lhuillier, 1981; Harrison, 1990; Medina-Elizalde 2012)

Este estudio pretende evaluar el aporte de la modelación espacial a la comprensión de la evolución de los paisajes en el pasado. Para ello, se modelaron los CCUS en la región de Calakmul en Campeche perteneciente al territorio de la cultura prehispánica Maya y así poder reconstruir la dinámica del paisaje a través de la modelación, probando diferentes escenarios que prueben teorías acerca del colapso.

2. MODELO CALAKMUL

Las culturas prehispánicas tenían distintas prácticas agrícolas en algunos casos complejos como llanuras húmedas (Camellones), tolas campos elevados y terrazas, así como agricultura de temporal extensiva (Denevan y Turner II, 1974; Denevan, 2006) y no todas tenían el mismo efecto en el paisaje. Al respecto existen algunas teorías sobre los métodos utilizados para intensificar las prácticas agrícolas y responder al aumento poblacional: como la disminución del periodo de descanso o

alargamiento del periodo de cultivo en el ciclo de roza, tumba y quema, y el uso de técnicas para mantener la fertilidad de los suelos como el tapado (Slash/Mulch en la literatura anglo-sajona) (Johnston, 2003).

La modelación se enfoca en la producción de escenarios de cambios, basados en un análisis de los datos pasados en combinación con diferentes opciones estratégicas, como la aplicación de herramientas de conservación, la intensificación de la agricultura, la redistribución de los subsidios al sector de producción y otros factores que se expresen en el sistema agrícola (Mas et al., 2011; Mas, 2012).

La modelación espacial de la probable ocupación del territorio del reino Maya de Calakmul; se generó con base en diferentes hipótesis sobre la evolución de la densidad, la distribución de la población así como el rendimiento agrícola anual por persona estimando para diferentes prácticas agrícolas (métodos de intensificación, rendimientos y pérdidas de rendimiento con el tiempo, alternancia de los periodos de producción y descanso) utilizadas en la región, esto nos permitirá entender mejor los paisajes “probables” correspondientes a cada escenario (por ejemplo la proporción de bosques y áreas agrícolas, el aumento de bosques secundarios, etc.) y aportar elementos a la evaluación de la evolución del paisaje en el tiempo y de las causas posibles del colapso en el caso de Calakmul (Folan et al., 2001; Bochar y Usselman, 2006; Diamond, 2006).

2.1. Simulación de cambio de uso del suelo.

2.2.1. Materiales

En el modelo se utilizan programas computacionales de sistemas de información geográfica (ArcGIS, IDRISI, Q-GIS), de modelación IDRISI y de análisis estadístico (R). En particular se usó el programa DINAMICA (<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>). Este programa fue originalmente diseñado para modelar deforestación y evolucionó hacia una

plataforma de modelación lo suficientemente flexible para poder integrar conocimiento experto y reglas orientadas a agentes.

La superficie total de las capas utilizadas fue de 250 000 hectáreas, en formato raster, donde cada pixel corresponde a una hectárea.

2.2.2. Métodos

Para reconstruir el cambio de uso de suelo de la población de Calakmul (Fig.1) se realizó un modelo preliminar dentro de un contexto espacial hipotético, donde las capas de entrada simulan una superficie hipotética con la que se construyó un mapa de probabilidad de cambio. Se generaron tres capas: 1) la vegetación con dos categorías, (1) Selva, y (2) Bajo, generadas a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE), 2) la capa de localidades generadas de forma aleatoria en el tipo de vegetación de selva que se considera cultivable y 3) el inverso de la distancia de estas localidades, normalizado en un rango de 0 a 1, que representa la probabilidad de desmonte para establecer cultivos

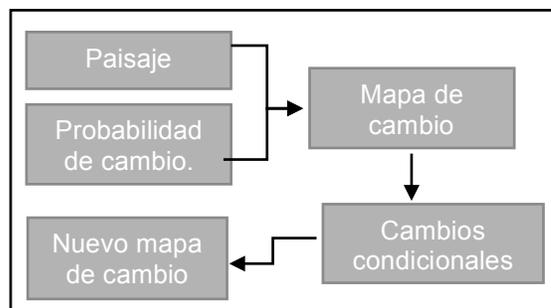


Figura 1. Estructura básica del modelo

El modelo simula un sistema de tumba, roza y quema para cultivar maíz durante 100 años. La cantidad de desmonte anual depende de la densidad poblacional. La ubicación de los cambios se basa en un mapa de probabilidad basado en las distancias a los asentamientos y el tipo de vegetación en el paisaje inicial.

El modelo simula también la permanencia de la milpa durante un cierto periodo, su abandono y la recuperación del bosque tropical: Al tercer año de milpa, se hace un

cambio a huamil simulando un descanso de diez años y posteriormente se convierte en selva, siendo candidato nuevamente a pasar a ser una parcela. (Fig. 2).

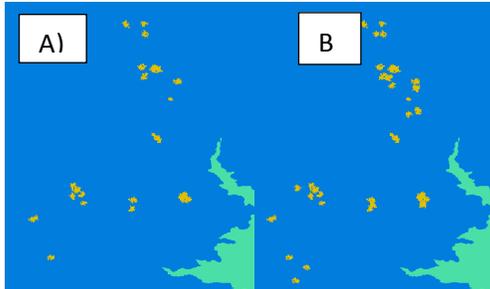


Figura 2. Generación de parcelas durante A) el primer año; B) el segundo año. El color amarillo son las parcelas, el color verde es el bajo y el color azul corresponde a la vegetacion selva/area cultivable.

2.2.3. Resultados

A través del tiempo (100 años) se observa como el modelo incrementa el area de milpa con una tasa de cambio de 500 Ha por años con parches de 50 Ha y variando un 10%; hasta llegar a un punto estable (Fig. 3) a menos de 2000 Ha., y al cabo de tres años el huamil incia para mantener el sistema regulado se convierte huamil a selva pudiendo volver a ser cosechado. Esto ocurre cuando se tiene una tasa de cambio

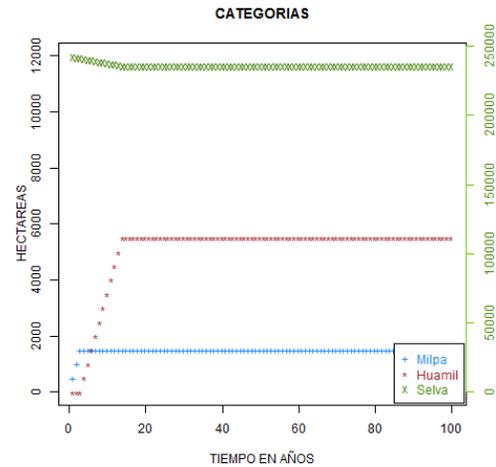


Figura 3. Comportamiento del modelo proporción, milpa, huamil, selva con una cantidad de cambio de 500 Ha/año.

Al cambiar la cantidad de cambio en la transición selva a milpa a 1000 Ha, con el mismo tamaño de parches y varianza, se observa que cambia el momento en el que el sistema se equilibra (Fig. 4).

Donde la milpa se mantiene cuando llega aproximadamente a 3000 Ha, pero en el caso del huamil hasta que llega a las 11 000 Ha se mantiene, casi semejando la cantidad de selva que pasa a milpa.

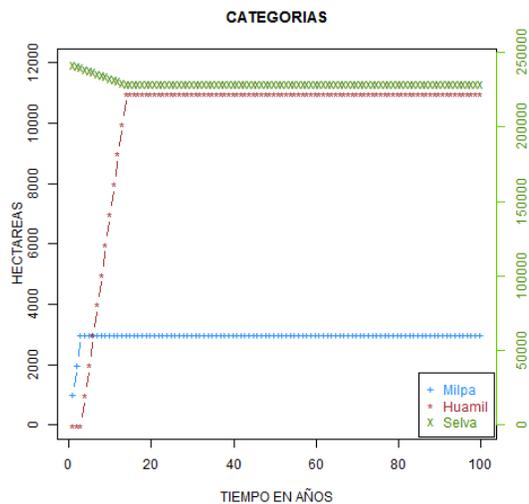


Figura 4. Comportamiento del modelo proporción, milpa, huamil, selva con una cantidad de cambio de 1000 Ha/año.

3. CONCLUSIONES

El modelo de CCUS propuesto responde a diferentes tasas de cambio, y dentro del proceso cada categoría responde de manera diferente a la cantidad de cambio requerida, en este caso la cantidad de cambio convertida a milpa es altamente variable de tal forma que se pueda observar la respuesta de los cambios en el modelo en las otras categorías. Sin embargo parte de la integración a este modelo es la presencia de un modelo acoplado que generara el cambio a partir de la densidad de la población y requerimiento necesario anual por persona, es interesante ver la respuesta con datos de generación de milpas más cercanos a la realidad.

La respuesta del huamil al cambio de la demanda en la milpa, y la respuesta en tiempo para llegar a la estabilidad dependen directamente de la demanda y el tiempo de descanso y siembra. En posteriores análisis será interesante ver escenarios en donde se muestre cambios en los periodos de cosecha y descanso, en conjunto con los requerimientos de la población, por el momento la parte más importante en este trabajo es la presencia de dinamismo del modelo en respuesta de la tasa de cambio requerida de la milpa.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Educación Pública y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento del proyecto ¿Puede la modelación espacial ayudarnos a entender los procesos de cambio de cobertura/uso del suelo y de degradación ambiental? (SEP-CONACyT CB-2012- 01-178816), en el que está incluida esta investigación.

Y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la Beca N°. 239247 otorgada.

REFERENCIAS

- Anselme, B., Bousquet, F., Lyet, F., Eetienne, A., Fady, M. & Page, B. L. 2010. Modelling of spatial dynamics and biodiversity conservation on Lure mountain (France). *Environmental Modelling & Software*, 25(1), 1385-1398.
- Axtell, R. L., Epstein, J. M., Dean, J. S., Gumerman G. J., Swedlund, A. C., Harburger, J., Chakravarty, S., Hammond, R., Parker, J. & Parker, M. 2002. Population growth and collapse in a multiagent model of the Kayenta Anasazi in Long House Valley. *PNAS*, 99: 3, 7275-7279.
- Barton, C. M., Ullah, I. & Mitsova, H. 2010. Computational modeling and neolithicsocioecological dynamics: a case study from southwest Asia. *American Antiquity*, 75 (2), 364-386.
- Bouchard, J.-F. & Usselman, P. 2006. Tipología, mecánica de un sistema y manejo del espacio: modalidades y tecnologías específicas en el uso de técnicas de cultivo. In: VALDEZ, F. (ed.) *Agricultura ancestral camellones y albarradas. Contexto social, usos y retos del pasado y del presente*. Quito, Ecuador: IFEA.
- Castella, J. C. & Verburg, P. H. 2007. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological Modelling*, 202, 410-420.
- Chowdhury, R. R. 2006. Driving forces of tropical deforestation: The role of remote sensing and spatial models. *Journal of Tropical Geography*, 27, 82-101.
- Defries, R. S., Field, C. B., Fung, I., Collatz, G. J. & Bounou, L. 1999. Combining satellite data and biogeochemical models to estimate global effects of human-induced land cover change on carbon emissions and primary productivity. *Global Biogeochemical Cycles*, 13, 803-815.
- Demarest, A. A., Rice, P. M. & Rice, D. S. 2005. *El Clásico Terminal en las tierras Bajas Mayas: Colapso, Transición y Transformación* FAMSI.
- Denevan, W. M. 2006. Una perspectiva histórica sobre el descubrimiento del Campos Elevados (Camellones) prehispánicos. In:

- Valdez, F. (ed.) *Agricultura ancestral camellones y albarradas. Contexto social, usos y retos del pasado y del presente*. Quito, Ecuador: IFEA.
- Denevan, W. & L. Turnerii, B. 1974. Forms functions and associations of raised fields in the old world tropics *Journal of Tropical Geography*, 39, 24-33.
- Diamond, J. 2006. *Colapso: Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*.
- Etter, A., Mcalpine, C. & Possingham, H. 2012. Historical Patterns and Drivers of Landscape Change in Colombia since 1500: A Regionalized Spatial Approach. *Annals of the Association of American Geographers*, 98, 2-23.
- Folan, W. J., Gunn, J. D. & Domínguez, M. D. R. 2001. *"Triadic Temples, Central Plazas and Dynastic Palaces: A Diachronic Analysis of the Royal Court Complex, Calakmul, Campeche, México"* Colorado, Westview Press.
- Galicia, L., Romero, A. G., Mendoza, L. G. & Ramírez, M. I. 2007. Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia*, 50-60.
- Geist, H. J. & Lambin, E. F. 2001. *What drives Tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence*, Universidad de Louvain, Ciaco Printshop.
- Geoghegan, J., Villar, S. C., Klepeis, O., Mendoza, P., Ogneva, M., Himmelberger, Y., Chowdhury, R. R., Turner, B. L., Li & Vance, C. 2001. Modeling tropical deforestation in the southern Yucatán peninsular region: comparing survey and satellite data. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 85, 25-46.
- Gutiérrez, M. D. G. Z. 2009. De la agroecología Maya a la arqueología demográfica: ¿Cuántas casas por familia? *Estudios de cultura Maya XXXVIII*, 97-120.
- Haug, G. H., Günther, D., Peterson, L. C., Sigman, D. M., Hughen, K. A. & Aeschlimann, B. 2003. Climate and the Collapse of Maya Civilization. *SCIENCE*, 299.
- Harrison, P. D. 1990. The revolution in ancient Maya subsistence. In: CLANCY, F. S. (ed.) *Vision and Revision in Maya Studies*. Albuquerque, Nuevo México: University of New Mexico Press.
- Hodell, D. A., Curtis, J. H. & Brenner, M. 1995. Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization *Nature* 375, 391-394.
- Houet, T., Loveland, T. R., Hubert-Moy, L., Gaucherel, C., Napton, D., Barnes, C. A. & Saylor, K. 2009. Exploring subtle land use and land cover changes: a framework for future landscape studies. *Landscape Ecology*, 10, 18
- Johnston, K. J. 2003. The intensification of pre-industrial cereal agriculture in the tropics. Boserup, cultivation lengthening, and the Classic Maya. *Journal of Anthropological Archaeology*, 22, 126-161.
- Kohler, T. A., Gumerman, G. J. & Reynolds, R. G. 2005. Simulating ancient societies. Computer modeling is helping unravel the archaeological mysteries of the American Southwest. *SCIENTIFIC AMERICAN* 77-84.
- Kohler, T. A., Bocinsky, R. K., Cockburn, D., Crabtree, S. A., Varien, M. D., Kolm, K. E., Smith, S., Ortman, S. G. & Korti, Z. 2012. Modelling prehispanic pueblo societies in their ecosystems. *Ecological Modelling*, 6417, 12.
- Lagabriele, E., Botta, A., Daré, W., David, D., Aubert, S. & Frabricius, C. 2010. Modelling with stakeholders to integrate biodiversity into land-use planning e Lessons learned in Têunion Island (Western Indian Ocean). *Environmental Modelling & Software*, 25(11), 1413-1427.
- Lhuillier, A. R. 1981. *Los antiguos Mayas*, Fondo de cultura económica.
- Mas, J.-F., Velázquez, A. & Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental* 1, 23-29.
- Mas, J.-F. & Sandoval, A. F. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso de suelo en una región tropical de México. *Geotrópico*, 5(1), 1-24.

- Macmillan, W. & Huang, H. Q. 2008. An agent-based simulation model of a primitive agricultural society. *Geoforum*, 39, 643-658.
- Meneil, C. L., Burney, D. A. & Burney, L. P. 2010. Evidence disputing deforestation as the cause for the collapse of the ancient Maya polity of Copan, Honduras. *PNAS*, 107(3), 1017-1022.
- Medina-Elizalde 2012. Collapse of Classic Maya Civilization Related to Modest Reduction in Precipitation. *Science*, 24, 956-959.
- Parker, D. C., Bergher, T. & Manson, S. M. 2001. Agent-Based Models of Land-Use and Land-Cover Change. In: OFFICE, I. P. (ed.) Report and Review of an International Workshop. Irvine, California, USA: Anthropological Center for Training and Research on Global Environmental Change.
- Parker, D. C., Hessler, A. & Davis, S. C. 2008. Complexity, land-use modeling, and the human dimension: fundamental challenges for mapping unknown outcome spaces. *Geoforum*, 39, 789-804.
- Ramankutty, N. & Foley, J. A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 13 (4), 997-1027.
- Ruddiman, W. F. 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *ClimaticChange*, 61, 261-293.
- Soares-Filho, B. S., Nepstad, D. C., Curran, L. M., Cerqueira, G. C., Garcia, R. A., Ramos, C. A., Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P. & Schlesinger, P. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440, 520-3.
- Tuneri, B. L. 1974. Prehistoric intensive agriculture in the Mayan lowlands. *Science*, 185, 118-124.
- Turner, B. L., 2nd & Sabloff, J. A. 2012. Classic Period collapse of the Central Maya Lowlands: insights about human-environment relationships for sustainability. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 109, 13908-14.
- Valdez, F. 2006. *Agricultura ancestral camellones y albarradas. Contexto social, usos y retos del pasado y del presente.*, Quito, Ecuador, IFEA.
- Verburg, P. H. 2006. Simulating feedbacks in land use and land cover change models. *Landscape Ecology*, 21, 1171-1183.
- YUA, Y., GUOA, Z., WUA, H. & FINKE, P. A. 2012. Reconstructing prehistoric land use change from archeological data: Validation and application of a new model in Yiluo valley, northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 156, 99-107.
- Wainwright, J. 2008. Can modelling enable us to understand the rôle of humans in landscape evolution? *Geoforum*, 39, 659-674.
- Wyman, M. S. & Stein, T. V. 2010. Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize. *Applied Geography*, 30, 329-342.
- Williams, M. 2000. Dark ages and dark areas: global deforestation in the deep past. *Journal of Historical Geography*, 26, 28-46.
- Yu, Y., Guo, Z., Wu, H. & Finke, P. A. 2012. Reconstructing prehistoric land use change from archeological data: Validation and application of a new model in Yiluo valley, northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 156, 99-107.