

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/259391258>

Modelamiento geoestadístico de cambio futuro de cobertura de suelo como apoyo a los planes de ordenamiento territorial en la Amazonía del Ecuador

Article · August 2012

CITATIONS

0

READS

255

1 author:



Pablo Cabrera-Barona

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador

52 PUBLICATIONS 540 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Policentricidad y la gestión pública de los ODS en el DMQ [View project](#)



Geoinformática Aplicada a los Estudios Sociales Urbanos y Territoriales [View project](#)

MODELAMIENTO GEOESTADÍSTICO DE CAMBIO FUTURO DE COBERTURA DE SUELO COMO APOYO A LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LA AMAZONÍA DEL ECUADOR.

PABLO CABRERA BARONA¹

¹ UNIGIS EN AMÉRICA LATINA / UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
Diego de Robles y Avenida Interoceánica. Cumbayá. Quito. Ecuador
E-mail: pablo.cabrera@team.unigis.net

Recibido: 28 de agosto 2012 / Aceptado: 30 de noviembre 2012

RESUMEN

A partir del año 2009 empezaron a desarrollarse los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) para los diferentes niveles de gobierno en Ecuador. Actualmente, tenemos una variedad de Planes de Ordenamiento Territorial, pero realmente pocos se han sujetado a un proceso metodológico completo, tomando en cuenta no solo procesos participativos y de análisis territorial, sino también métodos más científicos como el modelamiento prospectivo de cambio de cobertura de suelo usando técnicas geo estadísticas. La mayor parte de la Amazonía del Ecuador se encuentra cubierta de bosques, por lo que los POT en esta región tienen que poseer una perspectiva del cambio de cobertura de suelo, con el fin de procurar un desarrollo tomando en cuenta la protección de sus bosques. En el presente estudio, se realizaron modelamientos con técnicas geo estadísticas utilizando cadenas de Markov y automatismo celular en base a mapas de uso de suelo y cobertura vegetal del Cantón Amazónico de Taisha, a escala 1:50000, de los años 1990 y 2008, y tomando como caso de estudio el Cantón amazónico de Taisha, Provincia de Morona Santiago, Ecuador. Los resultados obtenidos demuestran que la pérdida de bosque húmedo tropical es evidente en la zona respecto al año 1990. Los modelos indican un aumento de áreas agropecuarias para el año 2026, aunque muestran una baja probabilidad de que actuales áreas de bosque se transformen en áreas agropecuarias para ese año. Con estos resultados, el Cantón Taisha cuenta con información útil para que los tomadores de decisiones puedan tener mejores criterios al implementar políticas públicas. Así también, es una muestra de cómo las herramientas y el modelamiento SIG, son un gran apoyo, y complemento, a los conocimientos territoriales locales.

Palabras clave: *Ordenamiento Territorial, Amazonía, cobertura de suelo, modelamiento*

ABSTRACT

Since 2009 Ecuador began to develop the Land Management Plans (LMP) for its different levels of government. Currently, we have a variety of LMP, but few have been subjected to a complete methodological process, taking into account not only participatory processes and spatial analysis, but also more scientific methods, as prospective modeling land cover change using geo statistical techniques. Most of Ecuador's Amazon is covered by forest, so the LMP in this region must have a perspective of

land cover change, in order to procure a development taking into account the protection of their forests. In the present study, conducted with technical geo statistics modeling using Markov chains and cellular automata, based on land use and land cover maps (1:50000 scale, years 1990 and 2008) of the Amazonian local government of Taisha (Province of Morona Santiago, Ecuador). The results show that the loss of tropical rain forest in the area is evident from the year 1990. Models indicate agricultural areas will increase by 2026, but show a low probability that of existing forest areas are transformed into agricultural areas by the year. With these results, the Taisha local government has useful information for decision makers to have better criteria to implement public policies. So, too, is an example of how GIS and modeling tools, are very supportive, and complement, for local's knowledge.

Palabras clave: *Land Managment, Amazon region, land cover, modeling*

1. INTRODUCCIÓN

Existen algunas experiencias de Ordenamiento Territorial (OT) en la Amazonía del Ecuador tomando en cuenta perspectivas locales y comunitarias, como también, cosmovisión indígena (Resl, 2009). La importancia de esta clase de trabajos, radica en que la Amazonía del Ecuador es habitada, a más del pueblo mestizo, por 10 Nacionalidades Indígenas, cada una con características culturales propias. En Ecuador el análisis de tenencia de la tierra y de mapeo de comunidades indígenas se ha realizado con bastante éxito (Sarango, 2011), y existen muchas experiencias positivas de mapas participativos con el fin de contar con información de uso de suelo (FIDA, 2009), tenencia de la tierra (Poole 2010) y tierras indígenas (Chapin et al, 2010) de aspectos sociales, productivos y culturales del territorio (FIDA, 2009; Belair et al, 2010), y hasta de mapeo a diversas escalas de zonas comunitarias y fincas (Smith et al, 2009). Por otro lado, existen experiencias, que se basan en el levantamiento y recopilación de información mediante técnicas establecidas, usando tecnologías de información, GPS, sensores remotos y cartografía, pero que pueden alejarse muchas veces del concepto de geografía social y participativa institucional (Lobatón, 2009) muy útil en procesos de OT en territorios indígenas. Por tal motivo, podemos decir que un proceso de levantamiento de información y de aplicación metodológica eficiente, en tiempo y recursos, se puede lograr uniendo diferentes talentos y metodologías (Poole, 2010), tanto institucionales (cartografía oficial), participativas (cartografía participativa) como científicas (por ejemplo, modelamiento espacial). El presente estudio se enfoca en el modelamiento espacial geo estadístico de cambio temporal de cobertura de suelo en el Cantón Taisha, usando dos clases de modelamiento predictivo: cadenas Markov y automatismo celular. El Cantón Taisha es un gobierno local cuyo territorio en su mayoría está ocupado por Nacionalidades Indígenas, Shuar y Achuar, y este estudio, a más de identificar los cambios de uso de suelo usando los dos modelos mencionados, discute como esta clase de análisis espacial puede apoyar a la toma de decisiones del gobierno local, como también, unirse y enriquecerse con el conocimiento local.

2. METODOLOGÍA

El área de estudio es el Cantón Taisha ubicado en la Provincia de Morona Santiago, Ecuador, en los límites con Perú (**Figura 1**). Se utilizó como información para el modelamiento los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo a escala 1:50000, de los años 1990 y 2008 (MAE, 2011) y la información base de vías y de poblados escala 1:50000, del territorio del Cantón.

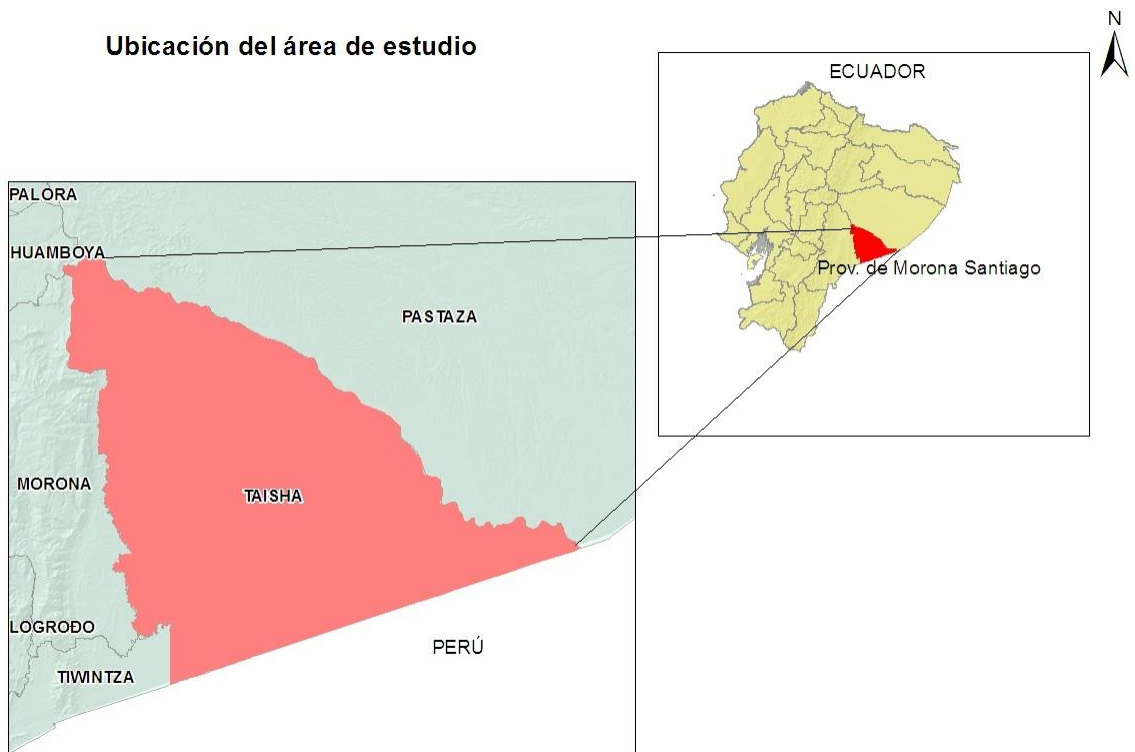


Figura 1. Área de estudio

Se aplicó dos tipos de modelos predictivos, a) cadenas de Markov, y b) algoritmos de autómatas celulares. En las cadenas de Markov, cada variable (o píxel en una imagen) ocupa un sitio determinado, y el valor de cada sitio es dependiente de los valores del mismo sitio en un tiempo anterior (Tso y Mather, 2001). El modelo con cadenas de Markov es un modelo discreto, en donde el valor de la variable en el tiempo futuro va a depender del valor de la misma variable en el tiempo o período anterior. (Paegelow et al, 2003), por lo que toma en cuenta la dinámica interna del sistema, es decir, la evolución a través del tiempo de las distintas coberturas dentro de un área determinada, sin tomar en cuenta las dinámicas o factores externos de dicha evolución (Tso y Mather, 2001; Paegelow et al, 2003; Poska et al, 2008).

El modelo de autómatas celulares, es un método que usa los resultados generados por la cadena de Markov y simula cambio de una variable de un estado a otro en función del estado de dicha variable en un tiempo anterior y de los valores de las variables vecinas, siendo estos cambios funciones de reglas específicas de decisión (Poska et al, 2008). En este caso, cada célula es un píxel, y su estado en un determinado tiempo es una función del estado de las células que la rodean (Wolfram, 1984; Vázquez y Oliver, 2008). Por ejemplo, el valor o estado V de una célula en posición (i,j) estaría expresado de la siguiente manera:

$$V_{i,j} = f(V_{i+1,j}, V_{i-1,j}, V_{i,j+1}, V_{i,j-1})$$

Donde $V_{i+1,j}$, $V_{i-1,j}$, $V_{i,j+1}$ y $V_{i,j-1}$ son los valores o estados de sus células vecinas.

En el modelo con cadenas de Markov se ingresó la imagen de cobertura y uso de suelo de tiempo inicial, la del año de 1990, y la de tiempo final, de 2008. Como la diferencia de años entre 1990 y 2008 son 18, se calculó la matriz de probabilidades de cambio de coberturas al año 2026 (18 años desde el 2008). Para el modelo que utilizó cadenas de Markov y autómatas celulares, primero se ingresó al modelo una imagen de tiempo inicial, la del 2008, después se ingresó la matriz de áreas de transición de una clase de cobertura de suelo a otra, obtenida mediante cadenas de Markov y finalmente una imagen condicionante o imagen factor, en función de la cobertura de bosque y de presencia de vías y poblados. Las imágenes de factores, son imágenes de ubicación ideal de una cobertura, cuya escala de valores va desde 0 a 255, siendo los valores más altos los que representan mejores condiciones para el desarrollo de una cobertura dada (Clark Labs, 2003; Poska et al, 2008). Para producir dicha imagen, se asignó valores de 0 a un radio de 200 metros alrededor de vías, a un radio de 400 metros alrededor de poblados, y a las zonas agropecuarias, mientras que para el resto de la imagen se asignó valores de 255. La razón de esto, fue que en los recorridos de campo, se logró observar un cambio de la cobertura de bosque intervenido a bosque más denso/primario en un rango de 200 metros a partir de límites de caminos y a un rango de 400 metros alrededor de límites de vías. Los valores de 255 fueron asignados a la mayoría del territorio del Cantón, que es bosque amazónico primario.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **Figura 2** muestra las probabilidades en el territorio del Cantón Taisha de que las actuales coberturas de suelo se transformen en zonas agropecuarias.

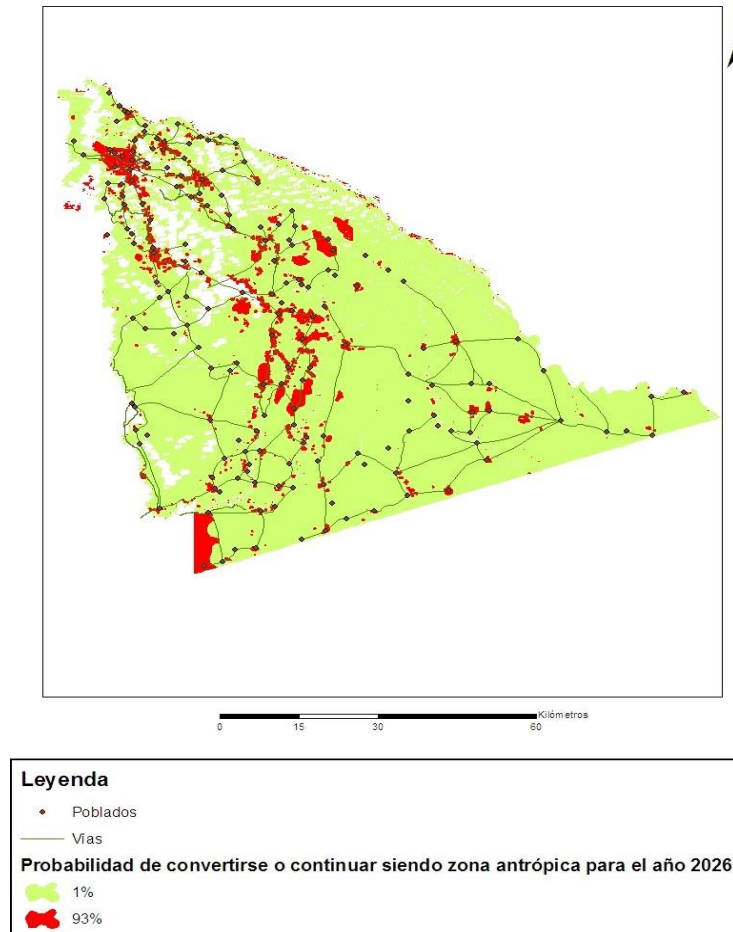


Figura 2. Probabilidades de cadenas de Markov de cambio al año 2026

Se aprecia que la cobertura de bosque actual posee solo un 1% de probabilidad de convertirse en zona agropecuaria para el año 2026. Actualmente existen también algunas coberturas de tipo arbustivo y herbáceo en el territorio de Taisha, sin embargo las mismas son de tamaño mínimo y no han experimentado cambios bruscos en los años de estudio, como también, no se presentan como coberturas representativas para el año 2026. Al contrario, sí existe una presencia representativa de zonas agropecuarias, las mismas que para el año 2026 presentan una probabilidad de 93% de continuar siendo zonas de cultivos.

En la **Figura 3** se puede apreciar visualmente que las coberturas agropecuarias experimentarían un crecimiento en extensión, según los modelos realizados, aunque para el modelamiento prospectivo se observa que algunos pequeños parches de zonas agropecuarias desaparecen y se vuelven bosque, la generalidad es que muchos parches agropecuarios crecen de tamaño y otros que se encontraban aislados entre sí, se conectan, originando parches más grandes.

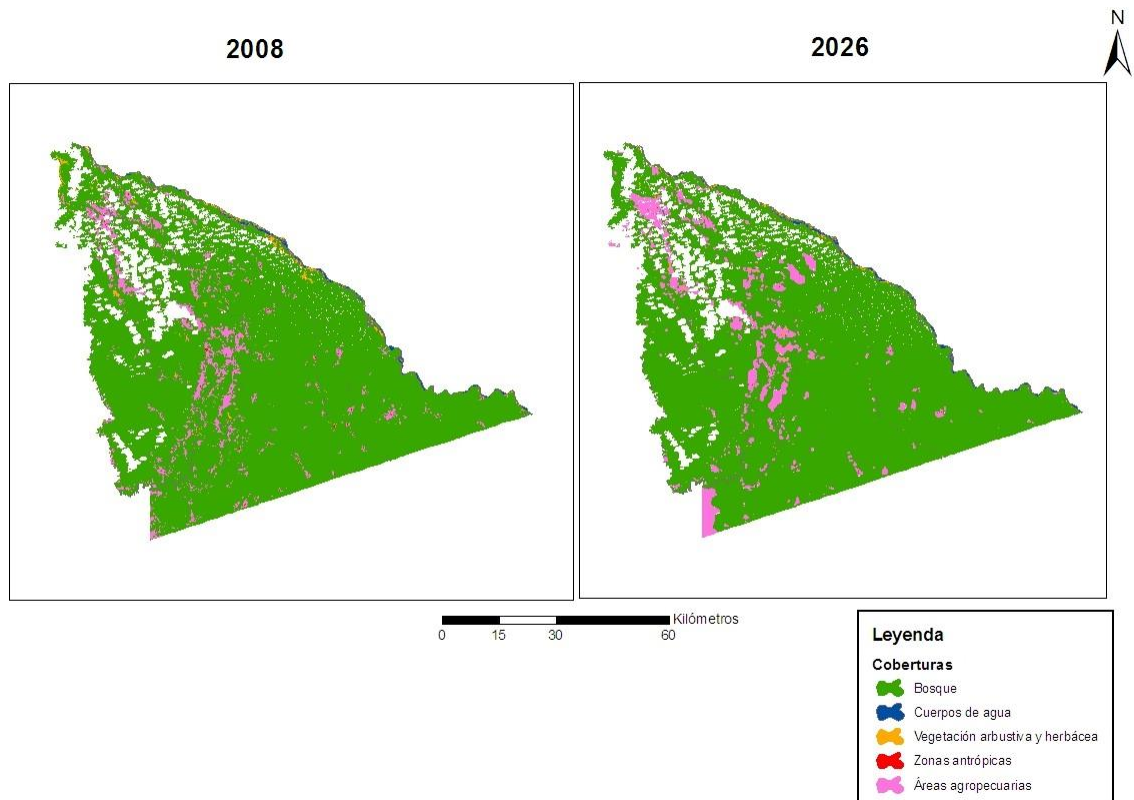


Figura 3. Modelo de cambio de cobertura de suelo para el año 2026

En la **Figura 4** se ve claramente el decrecimiento de la extensión de bosque, en 1990 hubieron 535300 Ha de bosque en el Cantón, para el año 2008 llegaron a 509000 Ha y para el año 2026 se estima un área de bosque de 501600 Ha, es decir, un decrecimiento de 33 700 Ha respecto al año 1990; la **Figura 5** muestra un incremento de áreas agropecuarias de 10520 Ha para 1990 a 35020 Ha para el año 2008, y para el año 2026 se estima un área de zonas agropecuarias de 44220 Ha.

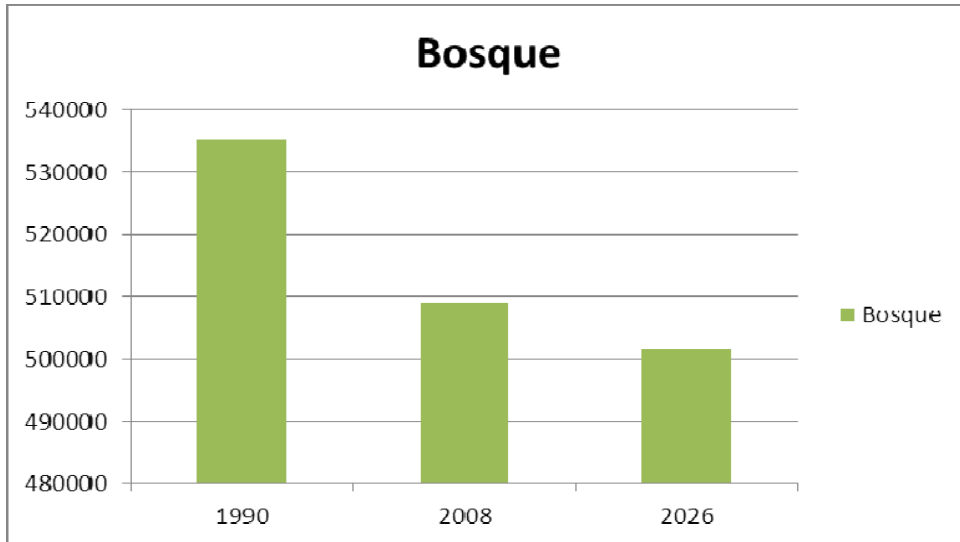


Figura 4. Cambio de cobertura de bosque para los años 1990, 2008 y 2026.

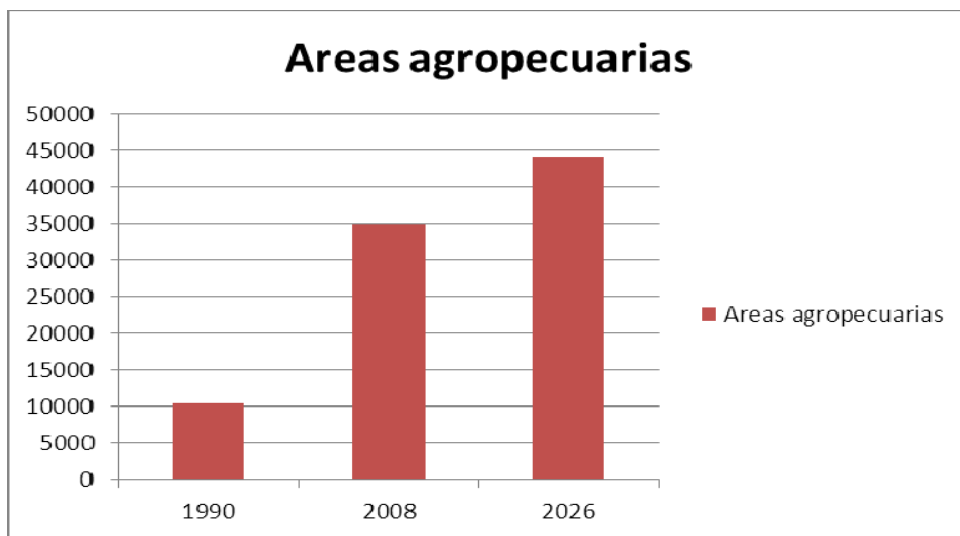


Figura 5. Cambio de cobertura de áreas agropecuarias para los años 1990, 2008 y 2026.

Es importante determinar el enlace entre las probabilidades de cambios de cobertura calculadas con cadenas de Markov y los resultados del modelo de autómatas celulares: mientras el primero muestra una probabilidad muy baja de que actuales zonas de bosque se conviertan en zonas agropecuarias, el segundo muestra una tendencia de crecimiento de zonas agropecuarias, es decir, pérdida de cobertura vegetal nativa. Por tal razón, podemos afirmar que las probabilidades de cadenas de Markov solamente se encuentran en función del cambio de estado de un píxel de un año a otro, y no de otros parámetros que puedan incentivar – o frenar este cambio –.

Por otro lado, ya que el modelo de autómatas celulares toma en cuenta influencia de vías y poblados actuales, calcula necesariamente un decrecimiento de bosque. Se puede decir que los resultados muestran la tendencia de cambio de coberturas de suelos en función de lo que estas mismas coberturas han experimentado en la zona de estudio estos últimos años, más influencia vial/zona poblada, sin embargo no necesariamente esto refleja la realidad actual o la realidad que puede pasar en el futuro. En primer lugar hay que tomar en cuenta la escala de trabajo, 1:50000, que si bien es suficiente para trabajar con el territorio de Taisha, los mapas utilizados, por su naturaleza misma (producto de análisis digital de imágenes satelitales) poseen ya un grado de error. En segundo lugar, el modelamiento geo estadístico, como su nombre lo indica, es de naturaleza probabilística y randómica, sujeta en una primera fase solamente al cambio de “estado” de coberturas de suelo, para posteriormente ser en alguna medida modelado este cambio con ayuda de condiciones o factores.

Son estas mismas condiciones o factores, que pueden ser muy variados, los que intervienen en la sensibilidad de un modelo y por ende en sus resultados; en el caso del presente estudio se tomaron en cuenta presencia de vías y poblados, pero indudablemente se pueden utilizar en el modelamiento de cambio de uso de suelo de Taisha otros factores, no solo físico-ambientales o de infraestructura, sino factores sociales, culturales o económicos. En este caso nos estamos desligando de la praxis comúnmente aplicada en el modelamiento, donde el contexto socio-cultural es poco explorado, y nos acercamos más a una visión más integral y necesaria para las realidades de la amazonía ecuatoriana.

Supongamos que la comunidad indígena de un gobierno local plantea que un área de su territorio es sagrada y debe ser protegida de cualquier intervención que origine deforestación, mientras que determinan que otra área puede ser aprovechada para uso forestal ya que culturalmente ese lugar es de menor importancia; en este caso surgen varias preguntas, por ejemplo, ¿Qué valores asignar en el modelo de cambio de cobertura de suelo a los territorios sagrados de bosque?, ¿Cómo ponderar estos valores respecto a los valores de influencia de vías y poblados?, ¿Hasta qué límite podemos aumentar más factores o variables explicativas de cambio de cobertura de suelo?. En este caso es importante evaluar la sensibilidad del modelo, ya que algunas variables pueden cambiar fuertemente los resultados del modelo, mientras que para otras, el modelo puede no ser sensible. Como siguiente punto, es importante señalar la importancia de esta clase de modelos para el ordenamiento territorial (OT) de los territorios de gobiernos locales amazónicos.

En la **Figura 6** se observa algunos pasos importantes que se deben realizar con el fin de obtener estrategias territoriales para la planificación. Una primera fase tiene que ver con la caracterización por sistemas (ambiental, social, económico, de infraestructura – principalmente-) del territorio, su zonificación y evaluación, mientras que una segunda fase explora los escenarios territoriales que se pueden dar, con el fin de obtener mejores criterios de planificación.

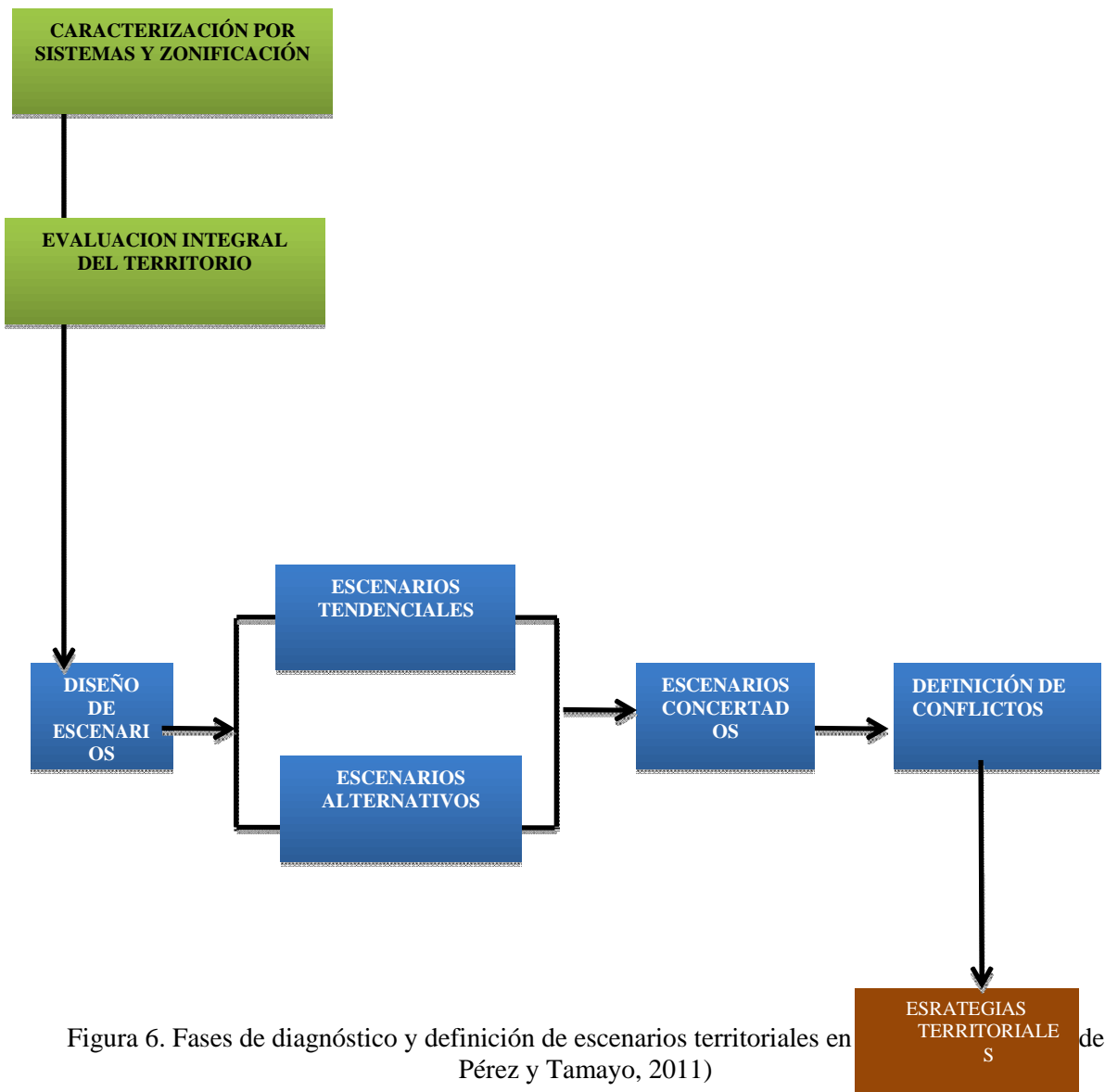


Figura 6. Fases de diagnóstico y definición de escenarios territoriales en (Pérez y Tamayo, 2011)

4. CONCLUSIONES FINALES

Observamos que existen muchos procesos de OT que llegan solamente a la primera fase mencionada anteriormente. La segunda fase tiene que ver con el diseño de escenarios, los cuales pueden ser escenarios tendenciales y escenarios alternativos: aquí se encuentra el *link* entre los procesos “técnicos” y los procesos participativos, en donde la tendencia de cambio territorial es marcada por la realidad actual del territorio y su tendencia de cambio en función de variables que pueden ser determinadas,

mientras que la realidad alternativa territorial puede ser planteada abiertamente por la comunidad independientemente de datos estadísticos o matemáticos, sino en función de su percepción. Aquí el tipo de experiencias semejantes al presente trabajo toma gran interés, ya que en la práctica el uso de la geo estadística y de modelamiento espacial para obtener modelos de cambio tendencial o prospectivo es casi nulo, y suponiendo que en un OT si se ha trabajado con escenarios, comúnmente los escenarios tendenciales son inferidos solamente en función de la zonificación territorial obtenida, obviando cualquier otro tipo de análisis más avanzado como el geo estadístico, análisis que incluso es recomendado por diversos técnicos gubernamentales con el fin de obtener información más completa. El caso de que un gobierno local indígena cuente con información de modelamiento geo estadístico para su plan de OT, y que al mismo tiempo pueda ligar esta información con información de mapeo participativo que las mismas comunidades locales puedan producir, es un caso en donde los actores y tomadores de decisiones locales cuentan con herramientas poderosas para la planificación. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que este tipo de modelamiento refleja solamente una *posible* realidad, al mismo tiempo que puede ser mejorado con nuevas variables de interés como se mencionó anteriormente. A futuro recomiendo esto, como también, una política de capacitación a técnicos locales que fomenten las bases de conocimiento en SIG y ciencia geográfica en su gobierno local, mejorando la capacidad de auto gestión y auto producción de información, para le evaluación continua del ordenamiento territorial.

REFERENCIAS

- Chapin, M; Lamb, Z; y Threlkeld, B. 2010. Mapeo de tierras indígenas. Annual Review of Anthropology 3
- Clark Labs. 2003. Manual de Idrisi Kilimanjaro
- Bélair, C; Ichikawa, K; Wong, BYL; Mulongoy, K.J. (Editors) 2010. Sustainable use of biological diversity in socio-ecological production landscapes. Background to the 'Satoyama Initiative for the benefit of biodiversity and human well-being.' Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 52, 184 pages.
- FIDA. 2009. Buenas prácticas en cartografía participativa. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola
- Lobatón, S. 2009. Reflexiones sobre Sistemas de Información Geográfica Participativos (SIGP) y cartografía social. Universidad Nacional de Colombia
- MAE. 2011. Mapas de Uso de Suelo del Ecuador 1:50000. Primer nivel de información
- Paegelow ,M; Camacho Olmedo ,MT; Menor Toribio, J. 2003. Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. GeoFocus 3: 22-44.
- Pérez, A; Tamayo, D. 2011. Ordenamiento Territorial. GIS con Ordenamiento Territorial con nacionalidades y pueblos indígenas. UNIGIS en América Latina/GeoCentro USFQ

- Poole, P. 2010. ¿Hay vida después del mapeo de la tenencia? Aprendizaje y acción participativos.
- Poska, A; Sepp, E; Veski, S; Koppel, K. 2008. Using quantitative pollen-based land-cover estimations and a spatial CA_Markov model to reconstruct the development of cultural landscape at Rouge, South Estonia. *Veget Hist Archaeobot* 17:527–541
- Resl, R. 2009. UNIGIS in Latin America 1999-2009: Experiences of a Distance Education Program for GIS in Latin America. Universidad San Francisco de Quito-Universidad de Salzburg
- Sarango, J. 2011. GeoCentro USFQ. Mapeo Participativo en la planificación de los Pueblos y Nacionalidades. Panel “Gestión Territorial con enfoque a Pueblos y Nacionalidades del Ecuador”. Charlas de Estudios Ecuatorianos LASA. FLACSO.
- Smith, J; Sarmiento, L; Acevedo, D; Rodríguez, M; Romero, R. 2009. Un método participativo para mapeo de fincas y recolección de información agrícola aplicable a diferentes escalas espaciales
- Tso, B; Mather, P. 2001. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. Taylor and Francis Group, Great Britain. USA
- Vázquez, JI; Oliver, J. 2008. Evolución de autómatas celulares utilizando algoritmos genéticos. Universidad de Deusto. Spain
- Wolfram, S. 1984. Cellular automata as models of complexity. *Nature* 311: 419 - 424