

Comparación de Áreas deforestadas a través de varias metodologías en la Provincia de Tahuamanu, Madre de Dios, Perú.

Andrea Chavez Michaelsen^{1,2}
Joel Díaz Salinas³
Ronny Fernandez Menis²
Leticia Huamani Briceño²
Rodolfo Moreno Santillán⁴

1. University of Florida, Gainesville, FL, United States.
2. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, CETEGERN, Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú.
3. Fuerza Aérea del Perú, Lima, Perú
4. Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial, Lima, Perú

Abstract.

Los procesos de deforestación están relacionados directa e indirectamente con una variedad de factores externos e internos, los cuales precisan de un monitoreo constante. Por otro lado, el monitoreo de la deforestación está siendo impactado por efectos de cambio climático. Se han observado fluctuaciones de cambio climático drástico a través de regímenes de fuego y de sequía como la presencia de sequía anormal y los registros de nivel bajo nivel de grandes ríos en 2005 y en 2010. Un nuevo enfoque de cómo la variabilidad climática afecta las estimaciones confiables de cambio de cobertura de suelo son cruciales. Este estudio compara estimaciones de deforestación entre un año sin sequía (2008) y un año con extrema sequía (2010) en la Provincia de Tahuamanu, Madre de Dios, Perú para así evaluar la confiabilidad de las metodologías. Los resultados indican un nivel variante de conversión desde bosque hacia no bosque para las metodologías ERDAS y CLASlite en comparación con las metodologías de SPRING y ENVI.

Palabras Claves: Cambio de uso de cobertura, Tahuamanu, deforestación, Perú, Madre de Dios.

1. Introducción

Los cambios en la cobertura del suelo son importantes factores que deben tener prioridad en la investigación por su gran impacto en la biodiversidad y en el cambio climático. Las tasas de deforestación más altas que se reportan globalmente ocurren en áreas tropicales, especialmente en la Amazonia (Lambin y Geist, 2006; FAO, 2006) Por otro lado, las áreas de cambio de cobertura se están produciendo con una frecuencia más acelerada lo que conlleva que el medio ambiente está cambiando de manera precipitada y poco controlada. En ese sentido, es imprescindible monitorear las áreas de cambio, así como efectuar comparaciones entre las diferentes metodologías de estimación de la deforestación.

En toda la cuenca Amazónica las prácticas de cultivos migratorios, la ganadería en pequeña y gran escala y las actividades de tala ilegal y de minería, son los factores principales que causan la deforestación (Wood y Porro, 2002; Geist y Lambin, 2003). Estos factores impulsan a la deforestación que ocurre normalmente a 50 km de las carreteras principales y han contribuido a los cambios de distintivos modelos del paisaje (Mertens et al., 2002; Arima et al., 2005). Los modelos de la tasa de deforestación se han

relacionado con una variedad de procesos socioeconómicos (Geist y Lambin, 2003). Estos procesos incluyen entre ellos los incentivos macroeconómicos (Hecht, 2005), las políticas de la expansión ganadera (Mertens et al., 2002), y las políticas de colonización (Walker et al., 2002). Los motores principales para la deforestación varían por región y por país. A nivel de Perú, se menciona a la agricultura comercial en expansión a gran escala y a la agricultura de subsistencia, seguida por la expansión ganadera y urbana como los motores principales. En el caso de Madre de Dios, el motor principal a nivel regional es la actividad minera en expansión, seguida por otras actividades como la agricultura de subsistencia y la expansión ganadera, entre otras. Para el caso de la Provincia de Tahuamanu se reporta a la expansión ganadera, la agricultura de subsistencia y los proyectos de infraestructura como los más importantes motores que conllevan a la deforestación (Chávez et al., 2011).

No cabe duda, que los procesos de deforestación están relacionados directa e indirectamente con una variedad de factores externos e internos, los cuales precisan de un monitoreo constante. Por otro lado, el monitoreo de la deforestación está siendo impactado por efectos de cambio climático. Se han observado fluctuaciones de cambio climático drástico a través de regímenes de fuego y de sequía como la presencia de sequía anormal y los registros de nivel bajo nivel de grandes ríos en 2005 y en 2010 (Marengo et al., 2009). Un nuevo enfoque de cómo la variabilidad climática afecta las estimaciones confiables de cambio de cobertura de suelo son cruciales.

El objetivo de este estudio es comparar estimaciones de deforestación entre un año sin sequía (2008) y un año con extrema sequía (2010) y así evaluar la confiabilidad de las metodologías utilizadas tomando en cuenta una nueva componente climática a través del registro de la sequía y su impacto en los valores de la reflectancia.

2. Metodología

2.1 Área de Estudio

El área de estudio abarca la provincia de Tahuamanu en la región Madre de Dios (Figura 1) dentro del Path/Row 3/68. La Provincia de Tahuamanu constituye el 25% de la región de Madre de Dios con un número de 10,742 pobladores en el año 2007 (INEI, 2007). Las actividades económicas principales son definidas por las actividades agrícolas y la extracción de madera. El clima es cálido y tropical, estacional húmedo, con una abundancia de lluvias desde octubre hasta mayo y con una corta época seca desde junio hasta septiembre. Los bosques son siempre verdes y se caracterizan por una alta diversidad con copas altas. La vegetación es la de los bosques tropicales de terrazas bajas, principalmente aluviales y bosques de *tierra firme*, así mismo con bosques de colinas bajas con paca. Los bosques aluviales tienen terrazas bajas a lo largo de los márgenes de los ríos principales y están afectados por los cambios del curso de los ríos y frecuentemente inundados. *Tierra firme* están ubicadas más arriba de los planos aluviales alagados de los cursos de los ríos y lagos y se caracterizan por una topografía plana y una variabilidad de tipos de bosques.

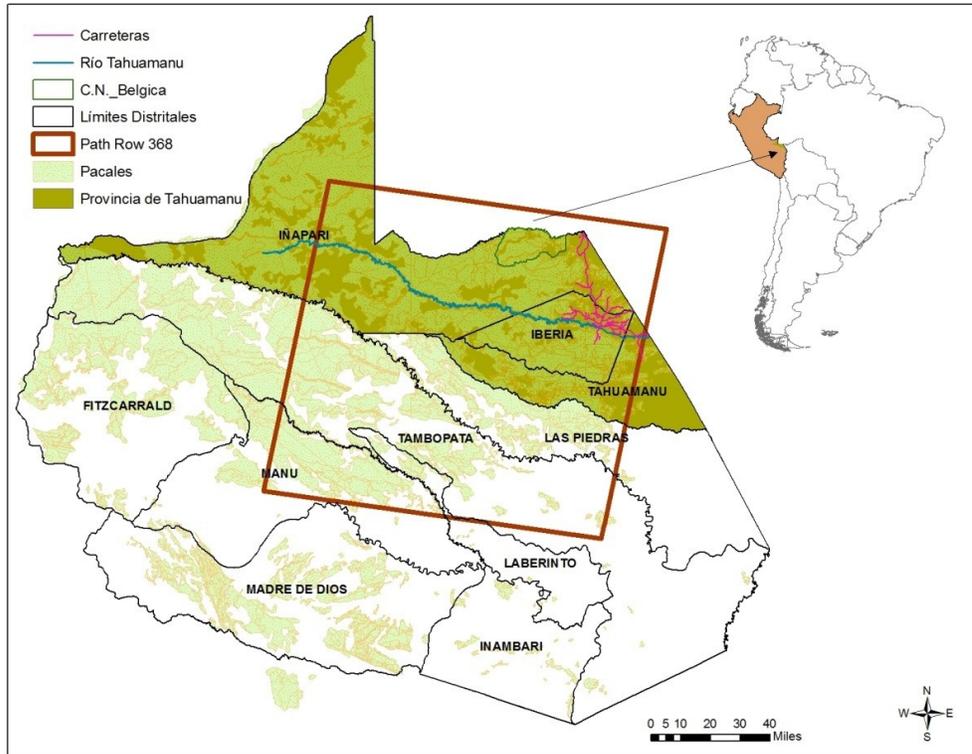


Fig. 1. Área de Estudio, Provincia de Tahuamanu, Región Madre de Dios, Perú

2.2 Datos de Percepción Remota

Se utilizaron las imágenes satelitales Landsat del Path/Row 3/68 del 5 de Mayo del 2008 y del 30 de Julio del 2010. La escenas del año 2008 y 2010 fueron rectificadas geométricamente y registradas al sistema de coordenadas de UTM WGS 1984 Zona 19S, basado en el Geocover del 2000 (www.landcover.org) con un error de RMS entre 0.2 y 0.5 pixeles para cada imagen. Para el proceso de pre-procesamiento de las imágenes satelitales se utilizó ENVI 4.7. El procesamiento de las imágenes satelitales se basó en la comparación de cuatro métodos de clasificación utilizando software ENVI 4.7, ERDAS IMAGINE 9.2, SPRING 5.1 y CLASite 2.2.

La clasificación con ENVI 4.7 se desarrolló mediante la aplicación del proceso de SAM (Spectral Angle Mapper) en base a la creación de firmas espectrales y la clasificación supervisada. La clasificación en ERDAS IMAGINE 9.2 utilizó los índices de vegetación de Tasseled Cap (TC) y la clasificación no supervisada y supervisada. A través de las imágenes compuestas de TC se obtuvo una clasificación no supervisada por medio del procedimiento de Isodata en el cual una imagen original de 255 clases fue agregada a una clasificación de tres clases. Con la ayuda de muestras de entrenamiento recolectadas en el campo durante el 2010 y la familiaridad del área se agruparon las clases espectrales similares a través de la técnica de clasificación supervisada de probabilidad máxima produciendo finalmente un mapa categórico de bosque/no bosque y cuerpos de agua. La clasificación mediante el software SPRING 5.1 se realizó la segmentación por regiones a las bandas 5, 4 y 3 del sensor TM Landsat, para luego aplicar la clasificación supervisada Bhattacharya con las clases antes mencionadas.

El Sistema de Análisis Carnegie Landsat – Lite (CLASlite) es un paquete de software para la identificación altamente automatizada, de deforestación y degradación de bosques a través de los pasos de calibración, corrección atmosférica y enmascaramiento, y el análisis Monte Carlo de mezcla espectral. CLASlite determina la cobertura fraccional del dosel de vegetación, la vegetación muerta y las superficies descubiertas. Se procedió a la clasificación a través de las corridas en CLASlite (Paso 1. Calibración de Imágenes de Satélite; Paso 2. Generación de Mapa de Cobertura Fraccional; Paso 3: Mapa de Cobertura de Bosque) de las imágenes Landsat (<http://claslite.ciw.edu/en/index.html>).

La recolección de datos de campo suministró un entendimiento para la estructura de las purmas y pacal (bambu) (*Guadua* spp) principalmente la identificación de la altura y cobertura del suelo de las especies dominantes. Cada locación del campo fue registrada con un aparato de sistema de posicionamiento global (GPS) y con sistemas de procesamiento de las imágenes. En total se obtuvieron 493 muestras de entrenamiento registradas durante los meses de agosto y octubre del 2010. Las clases definidas como bosque abarcaron bosque aluvial y *tierra firme*, así también bosque de terrazas bajas con bambú, purmas, bosque inundable. Las clases para no bosque incluyeron áreas urbanas (centros poblados y vías de transporte) y playas. La clase no bosque también contenían cultivos y pastizales (principalmente arroz, maíz, frejoles y algunos frutales). Los cuerpos de agua (sobre todo ríos y quebradas) fueron enmascarados por separado (excepto con el Spring), sobre todo para analizar la pérdida de agua, particularmente durante la imagen del 2010 que presenta extrema sequía.

Resultados y Discusiones

4. Comparación de metodologías en la clasificación de bosque a no bosque del 2008 al 2010

En general, hay una diferencia más considerable entre las metodologías utilizadas para medir el cambio de cobertura de suelo del año 2010 que del año 2008. Para el año 2008 la diferencia entre los valores reportados mediante la metodología ERDAS y CLASlite es de apenas 0.3% para la clase Bosque y de 16.1% para No Bosque (Tabla 1) para todo la Provincia de Tahuamanu dentro del área del path/row 3/68 (Tabla 1). Los resultados entre la metodología de SPRING y ENVI son más drásticas sobre todo para la clase No Bosque, indicando una diferencia de 45%. El año 2010 también reporta variaciones más diferenciadas. Por ejemplo, la variación entre la metodología SPRING y CLASlite es de 1.5 % para la clase Bosque y de 46 % para la clase No Bosque. La clase No Bosque se diferencia en un 65% entre la metodología CLASlite y ENVI para el mismo año. El caso es similar entre la metodología ERDAS y CLASlite, mostrando una variación de 0.9 % para la clase Bosque y 42 % para la clase No Bosque. La figura 2 muestra un enfoque dentro de un área más pequeño que del path/row 3/68. El área de la Comunidad Nativa de Bélgica reporta un valor de 1,481 ha de no bosque para la clasificación CLASlite a diferencia de 560 ha de ERDAS, 304 ha de SPRING y de 265 ha de ENVI respectivamente para la misma clase. Por su parte, la matriz de confusión (Tabla 2) revela que la exactitud de productor y del usuario son de niveles más bajos para CLASlite seguido por ENVI durante los dos años analizados en comparación con las demás metodologías. Los resultados demuestran que la clasificación efectuada durante los meses

de verano del año 2010 caracterizado además por extrema sequía y altas temperaturas afectó el proceso de clasificación sobre todo en el caso de CLASlite y ERDAS. El enfoque del área de C.N. Bélgica se distingue por sus extensas áreas de pacales (*Guadua* spp.) naturales, un factor que se debería de examinar en detalle.

Tabla 1. Reporte de cambio de áreas de bosque y no bosque según las diversas metodologías utilizadas para la Provincia de Tahuamanu dentro del PR 368 y el área de C.N. Bélgica

<i>Provincia Tahuamanu*</i>		BOSQUE (ha)	NO BOSQUE (ha)
2008	CLASlite 2.2	1'229,087	22,014
	ERDAS IMAGINE 9.2	1'225,124	26,256
	SPRING 5.1	1'221,370	30,488
	ENVI 4.7 - SAM	1'237,446	16,473
2010	CLASlite 2.2	1'236,478	42,184
	ERDAS IMAGINE 9.2	1'256,415	24,354
	SPRING 5.1	1'255,957	22,937
	ENVI 4.7 - SAM	1'239,052	14,924
<i>Área de C.N. Bélgica</i>		BOSQUE (ha)	NO BOSQUE (ha)
2008	CLASlite 2.2	53,093	458
	ERDAS IMAGINE 9.2	53,034	456
	SPRING 5.1	53,107	311
	ENVI 4.7 - SAM	53,283	230
2010	CLASlite 2.2	51,698	1,482
	ERDAS IMAGINE 9.2	52,966	560
	SPRING 5.1	53,002	304
	ENVI 4.7 - SAM	52,501	265

*Área de la Provincia de Tahuamanu que se ubica dentro del Path/Row 368

Tabla 2. Reporte de Niveles de Exactitud para las Imágenes Procesadas Landsat 2008 y 2010 según las cuatro analizadas metodologías.

			2008	2010
CLASlite 2.2	BOSQUE	Exactitud de Usuario	86.49%	78.67%
		Exactitud de Proponente	100%	83.10%
	NO BOSQUE	Exactitud de Usuario	100%	82.61%
		Exactitud de Proponente	80%	78.08%
ERDAS IMAGINE 9.2 TASSELED CAP	BOSQUE	Exactitud de Usuario	95.28%	90.28%
		Exactitud de Proponente	96.88%	97.01%
	NO BOSQUE	Exactitud de Usuario	95.35%	96.00%
		Exactitud de Proponente	93.18%	87.27%
SPRING 5.1 CLASSIFICADOR BHATTACHARYA	BOSQUE	Exactitud de Usuario	87.69%	98.33%
		Exactitud de Proponente	95%	96.72%

			2008	2010
ENVI 4.7 - SAM	NO BOSQUE	Exactitud de Usuario	92.86%	96.00%
		Exactitud de Produecente	81.25%	97.96%
	BOSQUE	Exactitud de Usuario	93.15%	82.28%
		Exactitud de Produecente	97.14%	98.48%
	NO BOSQUE	Exactitud de Usuario	94.44%	97.44%
		Exactitud de Produecente	87.18%	73.08%

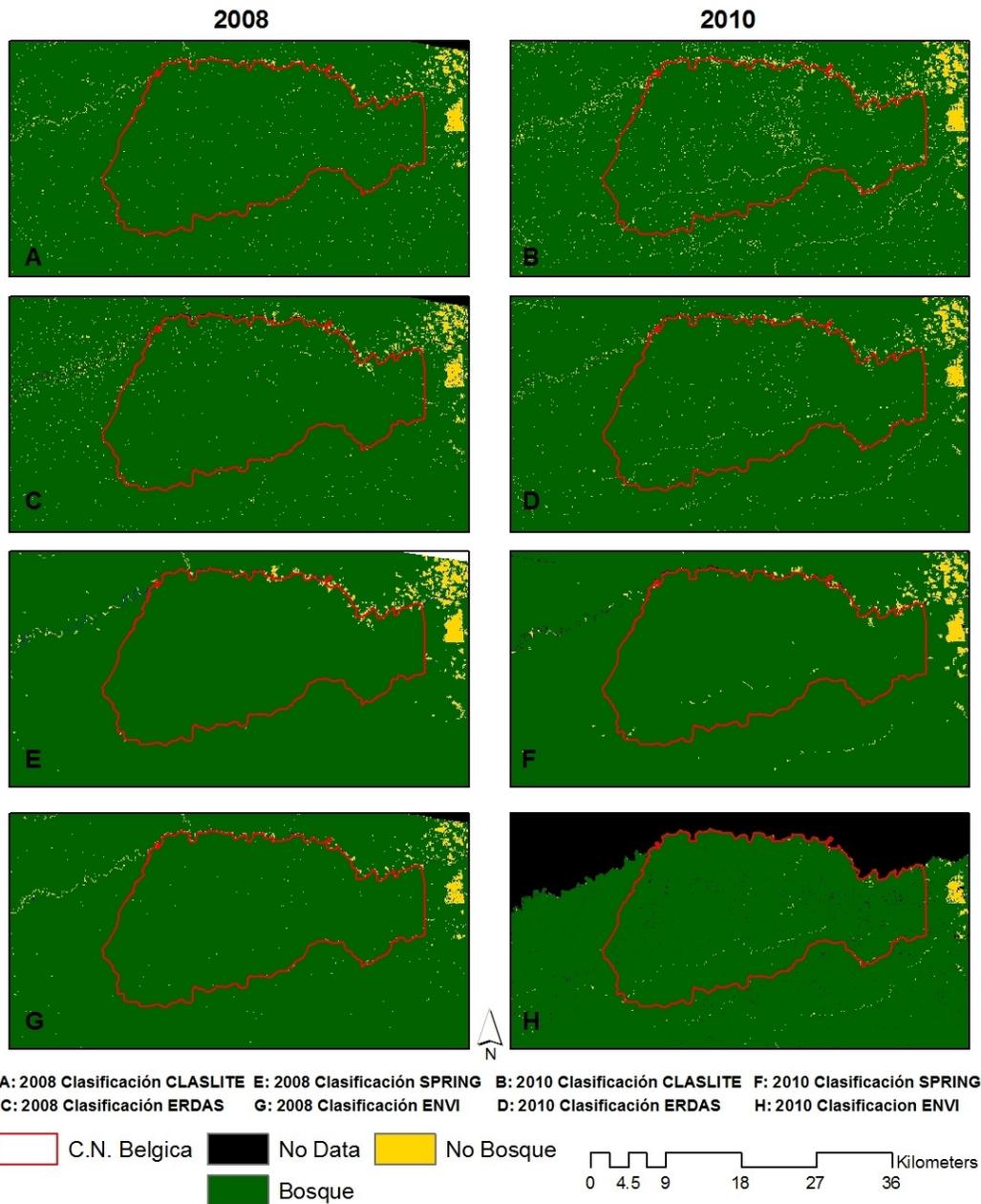


Figura 2. Mapas de Cambio de Cobertura de Suelo del 2008 al 2010 según las clasificaciones CLASlite, ERDAS, SPRING y ENVI alrededor la C.N. Bélgica.

Los software de clasificación como el CLASlite y el ERDAS identifican las especies o tipo de vegetación de pacales (*Guadua* spp) y la floración de algunas especies con altos valores de reflectancia, sobretodo en época de estrés de vegetación como consecuencia de una sequia extrema y prolongada. En el caso de CLASlite este clasifica áreas con alta vegetación de bambú o pacal o en proceso de floración como áreas deforestadas (véase Figura 1 la ubicación de pacales y áreas clasificadas como no bosque en 2010). Este patrón relacionado a la fenología de los bosques tropicales (el proceso de pérdida y ganancia de hojas de árboles, floración y fructificación) no está muy bien documentado (PNUMA, 2010), y no hay mucha información disponible; sin embargo, se sabe que la mayor parte de la floración y fructificación ocurre durante la estación seca. Considerando este punto, si juntamos los factores estacionales y climáticos fuera de lo común como ocurrió en 2010, es muy probable que ciertas clasificaciones automatizadas y con algoritmos establecidos como es el caso de CLASlite hayan creado datos erróneos durante los meses extremadamente secos, como muestran nuestros estudios. Los datos anormales resultantes de CLASlite se dan en su mayoría en los meses de extrema sequia. Es muy importante tomar en cuenta los periodos de floración o defoliación de las distintas especies y su ubicación, ya que estas especies presentan un grado de mayor reflectancia lo cual confunde la clasificación de un área boscosa con un área deforestada.

En este análisis se utilizaron imágenes satelitales del mes de julio para el año 2010, el cual representa un mes con altos índices de temperatura registrada en la Amazonia. Este fenómeno actúa como una anomalía térmica lo cual representa un estrés al dosel y a la vegetación en general y esto a su vez puede tener implicaciones en la clasificación de la imagen de satélite al utilizar valores de reflectancia. Según (Toomey et al., 2011), anomalías térmicas ya son consideradas motores del estrés del dosel y no solamente síntomas. Dado este caso, sugerimos incluir efectos de calor y humedad en el análisis de percepción remota, sobre todo en los meses de mayor anomalía registrada para monitorear su efecto en las clasificaciones (Hiroto et al., 2011).

4.4 Las Implicaciones para el Cambio de Uso de Suelo

4.5 Conclusión

En este artículo, se describió la aplicación de distintas metodologías para el cambio de la cobertura las cuales indicaron un nivel variante de conversión desde bosque hacia no bosque para las distintas metodologías. La clasificación con SPRING y ERDAS parecen más apropiadas mientras que la clasificación CLASlite y ENVI las menos apropiadas para el área estudiada. El monitoreo de las estimaciones de la deforestación es crucial a escalas locales y regionales, sobre todo si se trata de una región que enfrenta cambios por la presencia de factores externos como la pavimentación de la carretera. Estos monitoreos se tienen que complementar con datos de variabilidad del clima, como variaciones extremas en precipitación y temperatura. Es imprescindible evaluar diferente metodologías de clasificación para mejorar el conocimiento de los cambios de la cobertura de suelo. Las diferentes técnicas de teledetección deben ser conscientes del impacto del cambio de las variables climáticas en el procesamiento de las imágenes para su clasificación. Tomando en cuenta las crecientes predicciones climáticas sobre mayores fluctuaciones climáticas (Lewis et al., 2011), es necesario iniciar iniciativas de monitoreo

basadas en sólidas técnicas que incorporan datos climáticos y datos de vegetación regional.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional otorgado a la Iniciativa para la Conservación en la Amazonia Andina dentro del Proyecto Madre de Dios-Pando, RLA-A-00-06-00071-00. Agradecemos a Foster I. Brown, Stephen Perz, Raúl Pinedo, Gabriel Alarcón, Nemin Bejar, Frank Valera, Rogger Lopez, Edwin Jurado, Heber Baca por colaborar en los trabajos de campo y gabinete y a todo el personal de Consorcio MP, UNAMAD, PEMD, C.N. Bélgica, Concesión Maderacre, Marco Robles, Nelson Gutierrez, equipo de WWF y el Gobierno Regional MDD, equipo técnico de la Mesa REDD MDD, y a Carmen Villon de CONIDA, Perú.

Bibliografía

Arima, E.Y.; Walker, R.; Perz, S.G.; Caldas, M. Loggers and Forest Fragmentation: Behavioral Models of Road Building in the Amazon Basin. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 95, n. 3, p. 525-541, 2005.

Chávez Michaelsen, A; Bejar Chura, N., Valera Tito, F., Alarcón, G. **Visión Global y Nacional sobre la Deforestación y Degradación**. Consorcio Madre de Dios-Pando, Puerto Maldonado, Perú, 2011.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. **Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management**. Rome, Italy, 2006.

Hecht, S. Soybeans, development, and conservation on the Amazon Frontier. **Development and Change** 36, v.2, p. 375-404, 2005.

Hirota, M.; Holmgren, M.; Van Nes, E.H; Scheffer, M. Global Resilience of Tropical Forest and Savanna to Critical Transitions. **Science** v. 334, p. 232, 2011.

INEI. **Análisis socio demográfico del departamento de Madre de Dios**. Lima, Perú: INEI, 2007.

Lambin, E.F.; Geist, H.J. (Eds.) **Land-use and land-cover change: local processes to global impacts**. Heidelberg: Springer Verlag, 2006.

Lambin, E.F.; Geist, H.J. Regional differences in tropical deforestation. **Environment**, v. 45, n.6, p. 22-36, 2003.

Lewis, S.L.; Brando, P.M.; Phillips, O.L.; van der Heijden, G.M.F.; Nepstad, D. The 2010 Amazon Drought. **Science Brevia**, v. 331, p. 554, 2011.

Marengo, J.A.; Jones, R.; Alves, L.M; Valverde, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v.29, n., 15, p. 2241-2255, 2009.

Mertens, B.; Pocard-Chapuis, R.; Piketty, M.-G.; Lacques, A.-E; Venturieri, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of Sao Felix do Xingu in South Para. **Agricultural Economics**, v. 27, p. 269-294, 2002.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). **Perspectivas del Medio Ambiente: América Latina y el Caribe**. GEO ALC 3, Panamá, 2010.

Toomey, M; Roberts, D.A.; Still, C.; Goulden, M.L.; McFadden, J.P. Remotely Sensed heat anomalies linked with Amazonian Forest Biomass decline. **Geophysical Research Letters**, v. 38, doi:10.1029/2011GL049041, 2011.

Walker, R.; Wood, Ch.; Skole, D.; Chomentowski, W. The impact of land titling on tropical forest resources. In: Walsh, S; Crews-Meyer, K. (Eds.), **Linking people, place and policy: A GIScience approach**. London: Kluwer Academic Publishers, p. 131-153, 2002.

Wood, C. H.; Porro, R. (Eds.). **Deforestation and land use in the Amazon**. Gainesville: University of Florida Press, 2002.