

Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999 - 2013; caso Región de Madre de Dios (Puerto Maldonado – Inambari).

Deforestation in the southeast of the amazon of Peru between the years 1999 - 2013; Region case of Madre de Dios (Puerto Maldonado - Inambari).

Gabriel Alarcón^{1*}, JorgeDíaz¹, Mauro Vela¹, Mishari García¹, José Gutiérrez²

1, Profesores de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios -Madre De Dios – Perú.

2, Profesor del Departamento Académico de Humanidades, Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.

*Correspondencia e-mail: galarcona@hotmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido 02-06-2016
Artículo aceptado 04-09-2016
On line: 21-09-2016

PALABRAS CLAVES:

Cambio de cobertura,
Tasa anual de cambio,
Random Forest,
Minería aurífera aluvial.

ARTICLE INFO

Article received 02-06-2016
Article accepted 04-09-2016
On line: 21-09-2016

KEY WORDS:

Cover change,
Annual change rate,
Random Forest,
alluvial Gold Mining.

RESUMEN

El estudio cuantifica las áreas deforestadas en una de las zonas más impactadas por el hombre, al suroeste de la ciudad de Puerto Maldonado (Puerto Maldonado – Inambari), las imágenes Landsat TM 5 y 8 OLI fueron procesadas utilizando una clasificación semiautomática denominada “Random Forest” propuesto por la Mesa de Servicios Ambientales y Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques de la Región Madre de Dios, Perú. La metodología incluyó procedimientos de documentación, verificación y validación que permitieron evaluar la calidad de la información generada y los datos reportados. Los resultados de la investigación reportan; una superficie deforestada para los años 1999-2013 de 55426 ha, que representa una tasa anual de cambio de cobertura de -0,22% y una deforestación anual promedio de 3 246 ha/año. De ello se deducen para los años 1999-2008, 2008-2011 y 2011-2013 tasas anuales de cambio de -0,18%, -0,30% y -0,31%, con una deforestación anual promedio de 2 594 ha/año, 4 427 ha/año y 4 410 ha/año respectivamente. Los cambios producidos en el área de estudio, muestran la sistemática conversión de bosque a deforestación para el año 2008-2011 con 29 478 ha, siendo la mayor responsable el avance de la minería aurífera aluvial influenciada por la pavimentación de la vía interoceánica y por el alza del precio del oro como el agente principal de la deforestación, y en menor orden, la ampliación de la frontera agrícola, la ganadería y la actividad forestal.

ABSTRACT

The study quantifies the deforested areas in one of the areas most affected by humans, southwest in the city of Puerto Maldonado (Puerto Maldonado - Inambari), the Landsat images TM 5 and 8 OLI were processed using a semiautomatic classification called "Random Forest" proposed by Mesa de Servicios Ambientales y Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques in the region of Madre de Dios, Peru. The methodology included documentation procedures, verification and validation to assess the quality of information generated and the data reported. The results of the investigation report; a deforested for years 1999-2013 of 55426 ha, which represents an annual rate of change of coverage of -0,22% and an average annual deforestation of 3246 ha/year. It deducted for the years 1999-2008, 2008-2011 and 2011-2013 annual rates of change of -0,18%, -0,30% and -0,31%, with an average annual deforestation of 2594 ha/year, 4427 ha/year and 4,410 ha/year respectively. Changes in the study area, show the systematic conversion of forest to deforestation for the year 2008-2011 with 29 478 ha, being most responsible advancing of alluvial gold mining influenced by the paving of the interoceanic highway and the gold price rises as the main agent of deforestation, and lower order, expanding the agricultural frontier, cattle rising and forestry.

INTRODUCCIÓN

El uso del suelo y cambios de la cubierta del suelo ha sido una clave de investigación con impactos multidireccionales en sistemas naturales y antropizados (Chávez et al., Dourojeanni, 2006; Perz et al., 2013). Los cambios de uso del suelo pueden afectar la biodiversidad de las reservas naturales cercanas a estos impactos así como también las redes hídricas, suelo, entre otros (Rendon et al., 2013).

Muchos estudios sobre la dinámica en cambios de uso del suelo, se han convertido en importantes herramientas de gestión para zonas donde recientemente se ha observado la introducción de la mano del hombre, especialmente en la amazonia peruana, donde aún quedan muchos espacios aun no tocados por la mano del hombre (Durojeanni, 2006; Perz et al., 2013;) especialmente cuando se requiere abrir nuevos accesos carrózales a zonas en donde no se debería conservar por su valor paisajístico (Perz et al., 2013).

Está establecido que el acceso a la tierra está estrechamente relacionada al cambio de cobertura del suelo (Chávez et al., 2013, Chomitz & Gray, 1996). En particular, los análisis de la deforestación en la amazonia han demostrado que nuevas carreteras y pavimentación, se asocian con la deforestación. La investigación ha confirmado de manera similar que la principal causa de la deforestación es la carretera Interoceánica, en este caso por efecto de la actividad minera. Esta acción se da en el corredor minero y el sector denominado La Pampa, ubicada cerca de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios (Asner et al, 2013; Perz et al., 2013, Rendon et al, 2013).

Para efectos de esta investigación se adopta el criterio de impacto indirecto a lo que pueden ocurrir a distancias mayores. Esta distancia para condiciones amazónicas es generalmente estimada en 50 km a cada lado de la carretera en un plazo de 10 años (Durojeanni, 2006). En Madre de Dios, esta área de influencia incluye predios agrícolas, concesiones forestales (madera, castaña, ecoturismo, conservación, reforestación), zona de amortiguamiento, reservas y parques nacionales.

Se propuso una clasificación supervisada en base a segmentos y un algoritmo predictivo que usa la técnica de Bagging para combinar diferentes árboles de decisión, que son métodos muy flexibles de regresión que pueden operar un gran número de variables, incluso con problemas de correlación entre ellas, donde cada árbol es construido con observaciones y variables aleatorias, El procedimiento seleccionó individuos al azar a través de un muestreo con reemplazo para crear diferentes set de datos, ello permitió predecir los nuevos datos usando el "voto mayoritario", donde clasificará como "positivo" si la mayoría de los arboles predicen la observación como positiva. Como clasificador, se empleó el algoritmo de clasificación del Random Forest implementado con el programa libre R Project 16v. 2.14.0. —(Lactayo, Salcedo, & Victoria 2013).

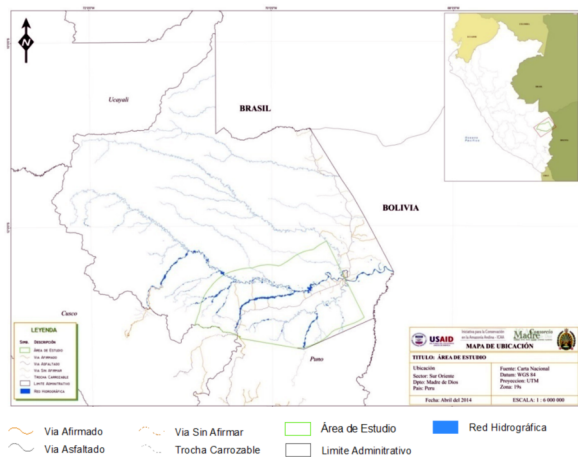
El presente estudio presenta los resultados del análisis de la deforestación para los años 1999, 2008, 2011 y 2013, a través de imágenes Landsat, que permitirá contar con una línea de base para ser incorporada a los planes estratégicos regionales y se traduzca en decisiones técnicas y políticas de manejo de los recursos naturales como reforestación, restauración, rehabilitación, agroforestería e instalación de viveros forestales (Chávez et al., 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicado en la parte suroeste de la región de Madre de Dios, comprende parte de los distritos de Huepetuhe, Inambari, Madre de Dios y Laberinto (1 512 759,70 ha). Madre de Dios ocupa parte de la selva sur del Perú, puntualmente la selva baja que limita con el departamento de Puno al sur, Cusco al oeste y el de Ucayali al norte, así como con los países Bolivia y Brasil. Según la Zonificación Ecológica Económica – ZEE (GOREMAD & IIAP, 2009), cuenta con una superficie aproximada de 8 518396 ha (6.64 % del territorio nacional), donde habitan cerca de 109 555 mil habitantes (INEI, 2007). El clima es caluroso y lluvioso. Tomando como referencia a Puerto Maldonado, las precipitaciones alcanzan los 300mm mensuales y la temperatura promedio es de 25°C. La tenencia de la tierra en Madre de Dios abarca, y en especial el área de estudio

un mosaico de diferentes tipos con distintas reglas de uso del suelo, áreas privadas en el sector agrícola, concesiones forestales para la recolección de castaña (*Bertholletia excelsa* H.B.K) y madera, concesiones mineras y petroleras de prospección, tierras indígenas y áreas naturales protegidas (GOREMAD & IIAP, 2009), esta última muestra a la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Manu como áreas directamente amenazadas por la deforestación (Asner et al., 2013; Chávez et al., 2013; Perz et al., 2013).

Figura 1. Ubicación del área de estudio, eje carretero Puerto Maldonado-Mazuko, Madre de Dios – Perú.



La investigación es de tipo descriptiva con un diseño no experimental transeccional correlacional. Para la evaluación se utilizó imágenes Landsat TM 5 correspondientes a los años 1999, 2008 y 2011 y OLI para el año 2013, que están incluidas en el Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84 datum. Estas imágenes de satélites fueron elegidos en base a la disponibilidad de imagen libre de nubes durante la estación seca de junio a septiembre (Cuadro 1).

Cuadro 1 Información de adquisición de imágenes Landsat

Sensor	Pat Row	Fecha de Imagen
Landsat 5TM	003 69	03 de Septiembre 2011
Landsat 5TM	002 69	27 de Agosto 2011
Landsat 5TM	003 69	02 de Septiembre 1999
Landsat 5TM	002 69	10 de Agosto 1999
Landsat 5TM	003 69	25 de agosto 2008
Landsat 5TM	002 69	03 de Septiembre 2008
Landsat 8 OLI	003 69	06 de Julio 2013
Landsat 8 OLI	002 69	31 de Julio 2013

El proceso se basa en una clasificación supervisada sobre segmentos para las imágenes Landsat de los años 1999, 2008, 2011 y 2013, a través de la aplicación del método Random Forest del programa R; que trabaja con scripts y requiere la construcción de tres conjuntos de datos, las áreas de referencia, los segmentos y una base de datos con información complementaria (Pendiente, curvatura, verdor, humedad y brillo) CA, 2007; INRENA, SZF, & CDC-UNALM, 2006).

Para el procesamiento y análisis de las imágenes se utilizó el ENVI 4.8® y su aplicativo ENVI EX, ArcGis 10® con licencia del Centro de Teledetección para el estudio y gestión de los recursos naturales de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Para determinar las categorías y el cambio de cobertura de suelo se trabajó bajo la leyenda nivel cero; cuya leyenda fue adaptado por la Mesa de Servicios Ambientales y Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques de Madre de Dios propuesta en el año 2013; desarrollada por CORINE Land Cover (IDEAM, 2010). Donde emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial (escala espacial) con distintos niveles de detalle temático (niveles de la leyenda jerárquica definición de una serie de clases en los niveles 1 y 2).

Cuadro 2. Leyenda de clasificación de imágenes; nivel 0.

Descripción Nivel 0	Código Nivel 0	Descripción Nivel 1	Código Nivel 1
Deforestación	3	Áreas Urbanizadas	1
Deforestación	3	Área de Extracción Minera	2
Deforestación	3	Áreas Agrícolas	3
Deforestación	3	Agua de disposición Residual	11
Bosque	1	Bosque	4
Bosque	1	Sombra de montaña con vegetación	4.1
Bosque	1	Área con Vegetación Pacales y Arbustivos	5
Bosque	1	Áreas Húmedas	7
No Bosque	2	Áreas Sin vegetación (Playas)	6
No Bosque	2	Área sin vegetación – Montaña	6,1
No Bosque	2	Sabanas	12
No Bosque	2	cochas secas	12,1
No Bosque	2	Nieve	13
No Bosque	2	vegetación riverense	14
Cuerpos de Agua	2	Superficies de Agua	8
ND	0	Nubes	9
ND	0	Sombras de Nubes	10

Fuente: (2013); Tomado y adaptado de CORINE Land Cover (IDEAM 2010).

Para la validación, se realizó una salida de campo para tomar datos del terreno y contrastar con los datos generados en gabinete a través de una Matriz de Confusión e Índice de Kappa, la cual es un test de estadística descriptiva para comparar una clasificación resultante con información fehaciente de terreno y la concordancia inter-observador. Para el tamaño de muestra se utilizó el método de distribución binomial donde se calculó 368 muestras de entrenamiento que han sido distribuidos por categorías de clasificación del estudio (Chuvieco & Hanston, 2010; Jensen, 2004). Las muestras de entrenamiento fueron distribuidas con un nivel de detalle “1”: i. Agricultura 167, ii. Bosque secundario 60, iii. Minería 52, iv. Cuerpos de agua 34, v. Humedales 26, vi. Áreas urbanizadas 12, vii. Bosque primario 8, viii. Vegetación ribereña y ix. Playa 2. La colección de muestras se realizó en el mes de junio del año 2013. En la colección de datos de campo se utilizó el formato del Centro para el Estudio de Instituciones, Población y Cambios en el Medio Ambiente de la Universidad de la Indiana (CIPEC).

Para el cálculo de la tasa de deforestación se usó la matriz de cambio de cobertura, donde se comparó áreas iniciales y finales, para un periodo determinado que es igual a (R), (CA, 2007; INRENA et al., 2006; Puyravaud, 2003).

$$R = (A1 - A2) / (t2 - t1) \tag{1}$$

Donde A2 y A1 son las áreas de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1), se calcula la tasa de cambio anual (q), que se obtiene comparando el área cubierta por bosque en la misma región en dos épocas

diferentes. La fórmula empleada en el presente estudio (Eq. 2) resulta en una tasa porcentual anual, usada frecuentemente para cálculos de esta índole (Puyravaud, 2003)

$$q = (A2/A1) 1/(t2-t1) - 1 \tag{2}$$

Donde A1, A2, t1, t2 se definen como en la Eq. 1.

Para determinar el cambio de cobertura entre los años de 1999-2008, 2008-2011, 2011-2013 y 1999-2013, se realizó una operación de diferencia entre las coberturas de cada época (Puyravaud, 2003).

$$\text{Época 1999} * 10 + \text{Época 2008} \tag{3}$$

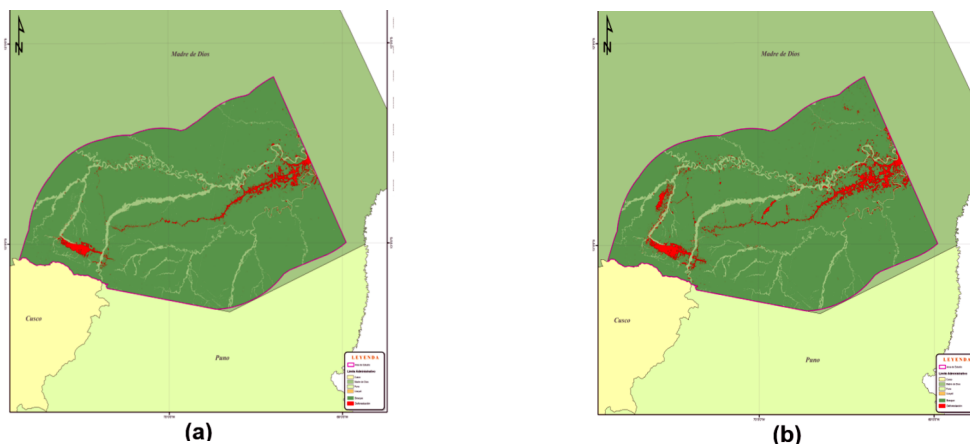
RESULTADOS

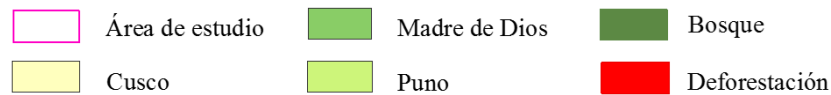
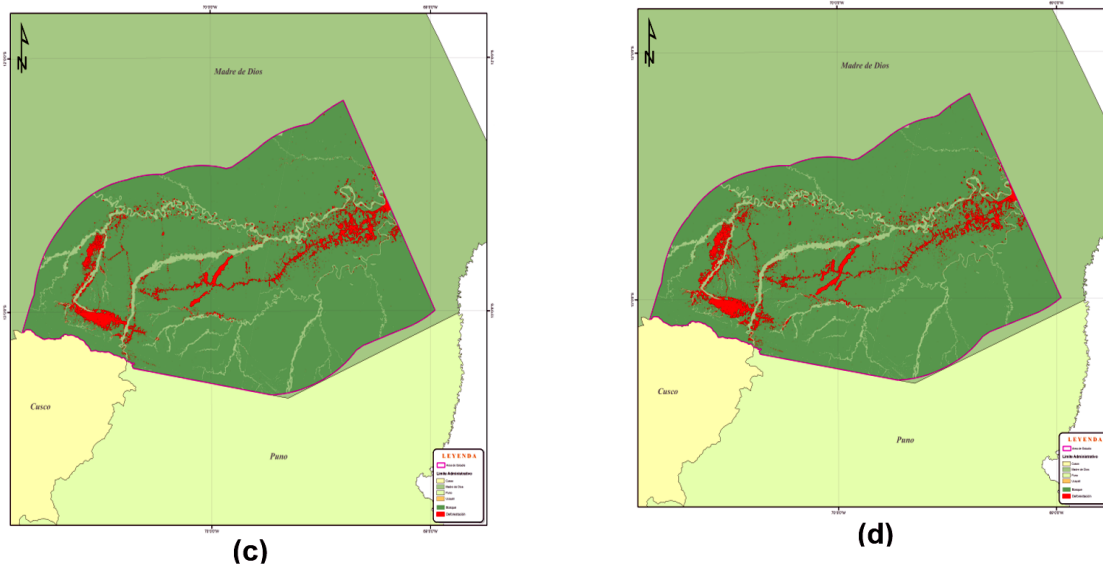
Análisis de la deforestación: Los cálculos y mapas de deforestación del sector comprendido entre el eje carretero Puerto Maldonado – Inambari de los años 1999, 2008, 2011 y 2013 (Cuadro 3 y figura 2) son uno de los resultados del estudio realizado, en donde se encuentran representadas por la leyenda nivel cero (Cuadro 2). Esta categorización emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial (escala espacial) con distintos niveles de detalle temático.

Cuadro 3. Reporte de clasificación supervisada (Random Forest) del Eje carretero Puerto Maldonado – Inambari, años 1999, 2008, 2011 y 2013.

Años	Clases	
	Bosque (ha)	Deforestación (ha)
1999	1 480 516,20	32 243,50
2008	1 457 169,28	55 590,42
2011	1 443 892,10	68 867,60
2013	1 435 074,95	77 684,75

Figura 2. Clasificación supervisada Semiautomática con Random Forest de las imágenes Landsat de los años 1999 (a), 2008 (b), 2011(c) y 2013 (d) (Puerto Maldonado - Inambari), Madre de Dios – Perú.





Los resultados de la dinámica temporal a nivel del área de estudio (Cuadro 3 y la figura 3), muestran que la deforestación ha avanzado aceleradamente en periodos muy marcados. Se ha producido una ligera pérdida de bosque en los periodos 1999 y 2008 con 23 346,92 ha. Sin embargo, la evaluación reporta un incremento significativo en los años posteriores, siendo la más sistemática conversión de bosque a deforestación para el año 2008-2011 con 68 867,60 ha.

Validación y evaluación de precisión: La validación de campo del estudio se llevó a cabo en un periodo de 1 mes en el año 2013 para las áreas deforestadas en el eje carretero Puerto Maldonado – Inambari en un área de influencia de 50 km a ambos lados. Un total de 368 puntos fueron generados aleatoriamente en el sistema de información geográfica para definir las ubicaciones para las visitas de campo. Cada punto fue ubicado y observado con un Sistema de Posicionamiento Global, clasificando el punto como Bosque y deforestación. La κ -estadística fue de 0.91, lo que significa que la fuerza de concordancia es casi perfecta superando el mínimo valor requerido (0.81), este resultado indica una alta fiabilidad de los mapas de deforestación, bosque y detección de cambio. Para nuestro caso (2013) la variación de precisión está en función a la dinámica de cambios sufridos en el área

de estudio, obteniéndose una mayor incidencia en el año evaluado.

Tasa de Deforestación: Los resultados de la deforestación total anual promedio (Eq. 1) para el área de estudio en el cuadro 4, están expresados en número de hectáreas por año y la tasa anual de cambio q (Eq. 2) expresadas en porcentaje por año.

Cuadro 4. Tasa de Deforestación de la zona de estudio.

Tasa de Deforestación			
Años calculados	Años	Tasa anual de deforestación (%) (q)	Deforestación total anual promedio (ha) (r)
1	1999-2008	-0,18	2 594,10
2	2008-2011	-0,30	4 425,73
3	2011-2013	-0,31	4 408,58
4	1999-2013	-0,22	3 245,80

Los datos indican una tasa anual de cambio q (Eq. 2) de -0.18% para el período 1999-2008 con 2 594,10 ha/año, -0,30% para el periodo 2008-2011 con 4 425,73 ha/año y de -0.31% para el período 2011-2013 con 4 408,58 ha/año.

Sin embargo, el análisis multitemporal de los periodos 1999-2013 muestra una tasa anual de deforestación -0,22% con 3 245,80 ha/año, promedio inferior a los periodos 2008-2011 y 2011-2013. Las tasas de deforestación muestran diferencias

marcadas, registrando mayores tasas de deforestación en el periodo 2008-2011 y 2011-2013, esto debido a la fuerte presión por procesos de deforestación al bosque debidos a la minería aurífera aluvial en primer orden y a otros agentes impulsores en menor orden como la agricultura migratoria y la tala ilegal.

Cambio de cobertura: La detección de áreas de cambio a través de imágenes de diferenciación se muestra en el cuadro 5 y figura 4, que destacan áreas de sustracción con aumento en el cambio gradual por periodos de 1999-2008 (9 años) con 30 771,71 ha, 2008-2011 (3 años) con 29 471,94 ha, y 2011-2013 (2 años) con 28 539,01 ha.

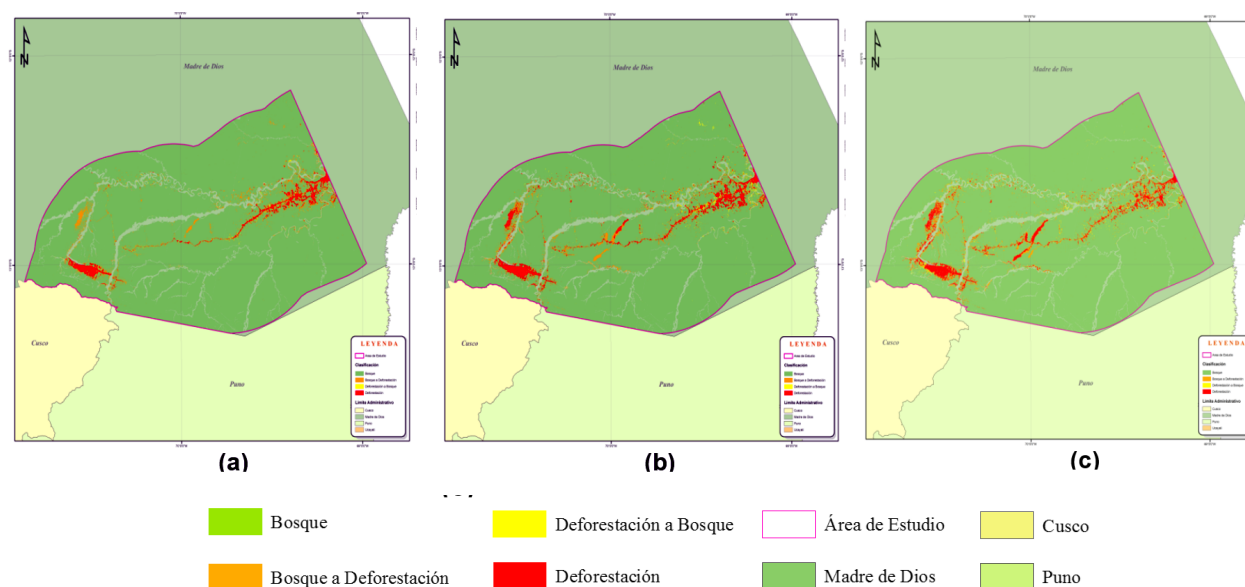
Cuadro 5. Cambio de cobertura de la zona de estudio.

Cambio de Cobertura					
Años calculados	Años	Persistencia de bosque (ha)	Persistencia deforestación (ha)	Bosque a Deforestación (ha)	Deforestación a algún tipo de cobertura* (ha)
1	1999-2008	1449744,48	24818,71	30771,71	7424,80
2	2008-2011	1427697,34	39395,66	29471,94	16194,76
3	2011-2013	1415353,09	49145,74	28539,01	19721,86
4	1999-2013	1425100,16	22268,71	55416,04	9974,79

*Tipo de cobertura con vegetación inicial que no es bosque, producto de las áreas abandonadas por la actividad minera y agrícola.

La secuencia de mapas de bosque y deforestación producidos para los años 1999, 2008, 2011 y 2013 confirman que la deforestación ha avanzado en el área de estudio (Figura 4). Esta dinámica, permitió que las áreas deforestadas se duplicaran desde 1999 hasta 2013. La variación espacial en la pérdida de bosques, tanto por la distancia de la vía principal y otras carreteras, cercanía a centros poblados, a los ríos, así como la tenencia de la tierra (concesiones forestales, maderables, de reforestación, agricultura y minería aurífera aluvial) proporciona un mayor detalle en la comprensión de cómo afecta la accesibilidad en el incremento de la deforestación en el área de estudio (área de influencia que comprende parte de los distritos de Laberinto, Inambari, Madre de Dios y Huetupahu).

Figura 3. Cambio de cobertura de uso del suelo de los años 1999-2008 (a), 2008-2011 (b) y 2011-2013 (c) del eje carretero Puerto Maldonado – Inambari, Madre de Dios – Perú.



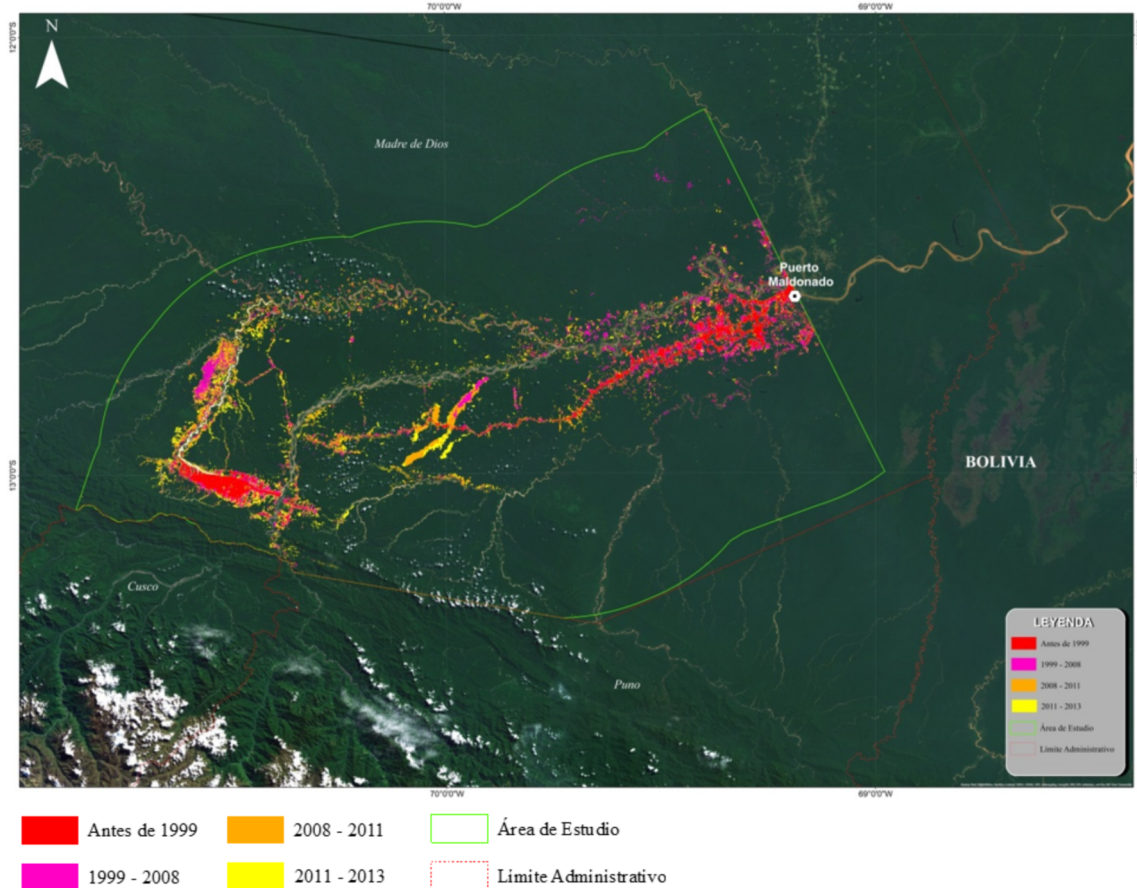
Según el nivel de clasificación, la dinámica de deforestación fue más pronunciada en tierras agrícolas y concesiones de reforestación a lo largo de la vía interoceánica dentro y fuera de la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata.

En este sentido, las categorías de tenencia de la tierra (concesiones forestales maderables, castaña, conservación, ecoturismo, reforestación, agricultura, minería aurífera y territorio de comunidades nativas) y su propio Reglamento reflejan un problema grave de

superposición ligada a la falta de claridad en su otorgamiento y diferentes normas de uso. Esta situación, permite a la minería de oro acceder a áreas destinadas a otros usos a través de acuerdos internos

ilegales, realidad que pone en riesgo a la misma Reserva Nacional Tambopata, si el gobierno no adopta políticas y programas de ordenamiento territorial.

Figura 4. Cambio de cobertura de uso del suelo de los años 1999 al 2013, del eje carretero Puerto Maldonado – Inambari, Madre de Dios – Perú.



DISCUSIONES

La deforestación y sus efectos son problemas que vienen aquejando a los países de América Latina. Sus bosques se talan a un ritmo demasiado rápido y el ritmo de plantación se queda bastante atrás. La pérdida de cobertura boscosa como consecuencia de la deforestación, provocada por la producción agropecuaria, minera, desarrollo de infraestructura y la falta de planeación urbana y territorial, representa una de las mayores amenazas para la Amazonía (Foley et al., 2007; Perz, Aramburú, & Bremner, 2005; RAISG, 2015).

Se estima que en los últimos 30 años se han talado en América Latina cerca de 2 millones de kilómetros

cuadrados de bosques, al ser superior a los 50 mil km² por año la tasa actual de deforestación es "particularmente grave", el hecho de que la población más expuesta a los impactos del cambio global en América Latina es la que se asienta en la zona rural (RAISG, 2015). En los países de América Latina la mayor transformación de los bosques amazónicos y subsecuente deforestación se dio en la década de 1970, impulsada por políticas gubernamentales de modernización de la infraestructura y de promoción de la expansión agrícola y minería. Esto se desprende de la revisión de los patrones de asentamiento precoloniales y el análisis de los movimientos contemporáneos de ocupación de la Amazonía, que son parte del marco del estudio como causas de la deforestación (Armenteras, Rudas, Rodríguez, Sua & Romero, 2006; Gutiérrez-

Vélez et al., 2011; Müller, Schierhorn, Gerold, & Pacheco, 2012; Southworth et al., 2011).

A nivel del área de estudio, históricamente en Madre de Dios han ocurrido una serie de cambios, y los cambios en las políticas económicas generaron diferentes patrones de uso del suelo, marcada por una serie de ciclos económicos de auge y caída, como en la época del caucho, la madera y el oro. Como en otros casos de dependencia de un solo producto básico, los auges se han visto limitados por la inestabilidad de los mercados mundiales (Chávez et al., 2013, Chávez & Perz, 2013).

Las bases para estos cambios se concretaron entre los años 2001-2006, cuando el gobierno peruano supervisó y planificó la pavimentación de la Carretera Interoceánica. La pavimentación incrementó el valor de las tierras y en ese contexto se produjo la expansión de cultivos y pastos, especialmente en las áreas más cercanas a la autopista (Naughton-Treves, Mena, Treves, Alvarez, & Radeloff, 2003; Perz et al., 2013; Southworth et al., 2011).

En el año 2008, a raíz de la crisis financiera mundial el precio del oro aumentó considerablemente, esta situación también generó un incremento de la extracción aurífera en la macro región sur del Perú y en particular en la región Madre de Dios, impulsando masivamente la actividad minera. Los bosques de la Amazonía occidental del Perú se han convertido en el epicentro de la minería de oro, desarrollada mayormente por ilegales, esta naturaleza clandestina de la actividad minera ha generado el monitoreo y el reporte de pérdidas forestales extremadamente importantes (Asner et al., 2013; Swenson, Carter, Domec, & Delgado, 2011).

Culminada la pavimentación de la vía interoceánica que se extiende a través de la región de Madre de Dios y el área de estudio, sumada al aumento del precio del oro en el mercado internacional, se da inicio al incremento de la tasa de deforestación más drástica suscitada anteriormente (Swenson et al., 2011) Esta infraestructura ha sido desde el 2006 y actualmente es una de las principales causas de la deforestación en Madre de Dios, esta vía ha permitido la migración a la región de otras áreas del Perú y de haber contribuido

al incremento de la actividad minera, de la agricultura y la explotación forestal (Asner et al., 2013; Chávez, 2014, Chávez et al., 2013; Chávez & Perz, 2013; Perz et al., 2013 Swenson et al., 2011).

La zonas de amortiguamiento y áreas naturales protegidas (Reserva Nacional Tambopata, Parque Nacional Bahuaja Sonene, Parque Nacional Manu, Parque Nacional Alto Purus y la Reserva Comunal Amarakaeri) constituye un componente importante de la conservación de los bosques en Madre de Dios, que cubren más de la mitad de toda la superficie forestal de la región (GOREMAD & IIAP, 2009). Sin embargo, el otorgamiento desordenado de derechos de tenencia de tierras muestran una dinámica favorable en el incremento de la deforestación, de acuerdo a estas características se identificó a la minería aurífera aluvial de oro (formal, ilegal o informal), expansión agrícola y la tala ilegal como los principales impulsores directos del aumento de la deforestación (cambio de uso de la tierra) (Asner et al., 2013; Chávez, 2014; Chávez et al., 2013; Chávez & Perz, 2013; Perz et al., 2013; Swenson et al., 2011).

En este contexto, las causas y los efectos de deforestación específicamente en la Amazonía, no es un problema puntual de Madre de Dios, si no, son problemas compartidos en la Amazonía de América Latina, y más similares en los países de Brasil (Acre), Bolivia (Pando) y Perú (Madre de Dios) por sus características socio-demográficas y ambientales (Southworth et al., 2011). Estas pérdidas de bosque alcanzaron en la Amazonía boliviana alrededor de 10 mil km² entre los años 2000-2013, siendo las principales causas directas la ganadería, la agricultura mecanizada y la agricultura en pequeña escala (Müller, Pistorius, Rohde, Gerold, & Pacheco, 2013; RAISG, 2015). En la Amazonía brasilera el ritmo de la deforestación disminuyó a partir de 2006, no obstante, de 2000 a 2013 se perdieron 174 mil km² de bosque, es decir, 5% de la superficie boscosa original. Esta pérdida está asociada principalmente con la agricultura y la ganadería (Nepstad, Stickler, Soares-Filho, & Merry, 2008; RAISG, 2015; Souza Jr. et al., 2013). En la Amazonía colombiana la deforestación experimentó un aumento importante en el período 2005-2010, cuando se perdieron 6 167 km² de

bosques, del 2010 a 2013 se registró una pérdida de 1 684 km², siendo las principales presiones sobre la amazonia colombiana la expansión de la frontera agrícola y la minería ilegal (Dávalos et al., 2011; IDEAM, 2010; RAISG, 2015). En cuanto a la Amazonía peruana presenta la cuarta mayor pérdida acumulada de bosque en la región (9,1%) entre 2010 y 2013. La agricultura y la ganadería son las más importantes causas directas de deforestación, pero a partir de 2009 son una amenaza creciente las plantaciones agroindustriales (palma y cacao), que demandan áreas cada vez mayores de bosque primario. Caso particular, obedece la amazonia de la región de Madre de Dios con respecto a las demás regiones del país y de América Latina, donde la deforestación es causada principalmente por la minería aurífera aluvial, sumada a la acelerada inmigración de los pobladores de la región andina, el alza del oro en el mercado internacional y las políticas inadecuadas del gobierno peruano en ordenamiento territorial (2002-2010) (Asner et al., 2013, Chávez & Perz, 2013; Dammert, 2014; Martino, 2007; RAISG, 2015; Swenson et al., 2011).

Por su parte) en su estudio análisis de la deforestación (2000-2010) en las tierras bajas de Bolivia (Chiquitania, sur de Guayaramerín - Beni, norte de Puerto Rico – Pando), menciona la alta contribución de la ganadería a la deforestación, y en menor proporción pero no menos importante la agricultura mecanizada y la agricultura a pequeña escala, siendo la conversión de bosque a deforestación para el periodo 2000-2005 de 397 993 ha, con una tasa promedio anual de 79 599 ha. El periodo 2005-2010 presento una conversión de 537 236 ha, con una tasa promedio anual de 107 447 ha. Los resultados mostrados difieren considerablemente con el estudio propuesto, debido a la escala de trabajo, la magnitud de los problemas y factores que afectan a cada país y estado. Sin embargo, nos muestra un futuro alentador si se aplican experiencias de políticas y programas de desarrollo exitosos, como el caso de la reducción de la tasa de deforestación en el estado de Acre – Brasil, de 111 000 ha/año en 2005 a 22 000 ha/año en 2008, incrementando al mismo tiempo la contribución de la agricultura y la silvicultura en el Producto Interno Bruto Estatal (PIBE) a una tasa anual del 8,6 por

ciento en términos reales, entre 2002 y 2007 ((RAISG, 2015).

En esa dirección,(Asner et al. (2013), Reporta un aumento de la deforestación por minería de oro a menos de 10 000 ha en 1999, y más de 50 000 ha en septiembre de 2012, asimismo sostiene que la extensión devastada por la actividad minera en Madre de Dios para el 2008 fue de 14%, tasa incrementada al 20% para el año 2011. Por otro lado, el sector de Guacamayo que está en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata se incrementó en un 13% del área total minera de la región de Madre de Dios hasta el año 2012. En un esfuerzo por entender la minería del oro en Madre de Dios,), informaron que las tres áreas mineras más grandes habían deforestado una área alarmante de 15 500 ha de bosque tropical primario para el año 2009. Su estudio utilizó datos de los satélites Landsat TM, con una resolución espacial de 30 m, para mapear estas tres grandes áreas mineras, una que se estableció en la década de 1980 como el área de Huepetuhe, Guacamayo y Delta-1.

Por su parte el MINAM (2012), Usando CLASlite determinó para Madre de Dios de los años 2009 al 2010 una deforestación anual de 5 402,23 ha mientras que para el año 2010-2011 fue de 5 959,29 ha, con una deforestación absoluta de 11 361,52 ha y una tasa de deforestación 5 680,76 ha/año. La misma entidad usando la metodología de la Universidad de Maryland reportó para Madre de Dios la pérdida acumulada de bosque al 2011, de 291 652 ha (4%).), registró, un incremento en la extensión deforestada en el área de estudio que alcanza las 57 030 ha que equivale pasar de 2,55 a 4,1 % del área total deforestada. De las cuatro causas de deforestación, la más importante es la agricultura practicada en la zona y a la que se atribuye un incremento del 2,21 al 3,60 % en la década pasada, mientras que la minería aurífera sería responsable del incremento de la deforestación de casi 4 500 ha, lo que significa pasar del 0,23 al 0,36 %.

Al comparar estos resultados con nuestro estudio para el año 1999-2013 muestran un total de 55 426 ha deforestadas, con una tasa anual de cambio de cobertura de -0.22% y una deforestación anual promedio de 3 246 ha/año. Para el periodo 1999-2008

de -0.18%, 2008-2011 de -0.30% y de -0.31% para el período 2011-2013. Esto corresponde una deforestación anual promedio de 2 594 ha/año, 4 427 ha/año y 4 410 ha/año. Los datos muestran una variación en la cuantificación y la tasa de deforestación, debido a las diferencias de área de estudio y nivel de detalle de evaluación. Instituciones y autores como (INRENA et al., 2003; MINAM, 2012) reportan datos a nivel del departamento de Madre de Dios, mientras autores como (Asner et al., 2013; Swenson et al., 2011), hacen referencia a áreas comprendidas y mayor impactadas por actividades antrópicas (área de influencia entre Puerto Maldonado – Inambari), como es nuestro caso. Asimismo, la tasa de deforestación anual promedio en el área de estudio es inferior al promedio anual reportado en los bosques húmedos amazónico del país (Perú), desde el 2001 al 2014, alcanzó 118 077 ha, llegando solo en el 2014 la pérdida de 177 571 ha de bosques (MINAM, 2014). Por otro lado, la variación también estaría sujeta a la metodología empleada, el estudio plantea una metodología de clasificación supervisada sobre segmentos - implementación del Random Forest del programa R (CA, 2007; INRENA et al., 2006; Oliveira et al., 2007) y discriminación de categorías a un nivel de detalle cero (IDEAM, 2010; MSAR, 2013), mientras que otros autores aplican metodologías de clasificación a través, algoritmos de conversión de DN a radiancia o reflectancia (Chuvieco & Hantson, 2010; Jensen, 2004).

CONCLUSIONES

El análisis presentado permite el estudio de la dinámica de las actividades humanas en una las zonas más impactadas por el hombre en la región de Madre de Dios (Puerto Maldonado – Inambari), dinámica que nos ayudara a entender el proceso evolutivo de la deforestación y su relación con variables socioeconómicas y demográficas. Así mismo, proveer mejor entendimiento en la contribución de la administración de las tierras, dentro y fuera de las ANPs.

El análisis muestra que en un lapso de 14 años en los sectores comprendidos entre Puerto Maldonado –

Inambari (50 km a ambos márgenes) se perdió 55 416,04 ha de bosque primario, correspondiente a una tasa de deforestación de -0,22% anual (2 594,10 ha/año). La tasa de pérdida de bosques se da más intensamente en los periodos 2008-2011 y 2011-2013 con tasas anuales de -0,30% (4 425,73 ha/año) y -0,31% (4 408,58 ha/año), casi el doble de la estimada del periodo total. Adicionalmente, la superficie de bosques deforestados principalmente por minería aurífera aluvial, han sufrido un proceso de degradación del suelo. Estos cambios indican que el área de estudio atraviesa por una etapa sin precedentes en la pérdida de cobertura boscosa y degradación del suelo, que sin duda repercute en un problema ambiental y de salud pública por la contaminación del mercurio.

Las áreas otorgadas en concesión por el estado en el año 2006 como estrategia de conservación y freno a la presión del avance de la actividad minería (concesiones de reforestación) en el área de influencia de vía interoceánica, resultaron ser las más vulnerables a la deforestación y al cambio de cobertura, siendo los periodos 2008-2011 y 2011-2013, donde se dieron los mayores cambios de bosque a deforestación, con 29 471,94 ha y 28 539,01 ha, debido gran parte por la crisis financiera mundial donde el precio del oro se incrementó considerablemente, generando un aumento de la extracción de oro y la invasión de tierras en Madre de Dios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Armenteras, D., Rudas, G., Rodriguez, N., Sua, S., & Romero, M. (2006). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*, 6(2), 353-368.
- Asner, G. P., Mascaro, J., Anderson, C., Knapp, D. E., Martin, R. E., Kennedy-Bowdoin, T., ... Muller-Landau, H. C. (2013). High-fidelity national carbon mapping for resource management and REDD+. *Carbon balance and management*, 8(1), 1-14.
- Comunidad Andina (CA) (2007). *¿Y POR DÓNDE COMENZAMOS? Prioridades de la Comunidad Andina ante el Cambio Climático*. Lima, Peru: Secretaría General de la Comunidad Andina.

- Chavez, A. (2014). Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1986 and 2007 in southeastern Peru: policy drivers and road implications. *Journal of Land Use Science*, 9(4), 414-437.
- Chávez, A., Huamani, L., Fernandez, R., Bejar, N., Valera, F., Perz, S., . . . Alarcón, G. (2013). Regional Deforestation Trends within Local Realities: Land-Cover Change in Southeastern Peru 1996-2011. *Land*, 2(2), 131.
- Chavez, A., & Perz, S. (2013). Path dependency and contingent causation in policy adoption and land use plans: The case of Southeastern Peru. *Geoforum*, 50, 138-148.
- Chomitz, K. M., & Gray, D. A. (1996). Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize. *The World Bank Economic Review*, 10(3), 487-512.
- Chuvieco, E., & Hantson, S. (2010). Plan Nacional de Teledetección de Media Resolución Procesamiento estándar de imágenes Landsat Documento técnico de algoritmos a aplicar Versión.
- Dammert, J. L. (2014). Cambio de uso de suelos por agricultura a gran escala en la Amazonía Andina: El caso de la palma aceitera. Unidad de apoyo de ICAA/IRG, Lima, Peru, 76.
- Dávalos, L. M., Bejarano, A. C., Hall, M. A., Correa, H. L., Corthals, A., & Espejo, O. J. (2011). Forests and drugs: coca-driven deforestation in tropical biodiversity hotspots. *Environmental science & technology*, 45(4), 1219-1227.
- Dourojeanni, M. J. (2006). Estudio de caso sobre la carretera interoceánica en la Amazonía Sur del Perú: Conservación Internacional Perú.
- Foley, J. A., Asner, G. P., Costa, M. H., Coe, M. T., DeFries, R., Gibbs, H. K., . . . Ramankutty, N. (2007). Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), 25-32.
- Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD) & Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) (2009). Macrozonificación Ecológica Económica de Madre de Dios - ZEE.
- Gutiérrez-Vélez, V. H., DeFries, R., Pinedo-Vásquez, M., Uriarte, M., Padoch, C., Baethgen, W., . . . Lim, Y. (2011). High-yield oil palm expansion spares land at the expense of forests in the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*, 6(4), 044029.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), and Corporación Autónoma Regional de la Magdalena (CORMAGDALENA), Bogotá, Colombia.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2007). Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Perú.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Sociedad Zoológica de Frankfurt (SZF) & Centro de Datos para la Conservación - Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM) (2003). Hacia un Sistema de Monitoreo Ambiental Remoto Estandarizado para el SINANPE. INFORME FINAL PILOTO 2002 Parque Nacional Bahuaja Sonene, Reserva Nacional Tambopata y Reserva Comunal Amarakaeri.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Sociedad Zoológica de Frankfurt (SZF) & Centro de Datos para la Conservación - Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM) (2006). Hacia un Sistema de Monitoreo Ambiental Remoto Estandarizado para el SINANPE. Piloto V: Parque Nacional Manu, Parque Nacional Alto Purús, Reserva Comunal Purús y Santuario Nacional Megantoni (2000-2005). Lima-Perú. 66.
- Jensen, J. (2004). Digital change detection. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*, 467-494.
- Llactayo, W., Salcedo, K., & Victoria, E. (2013). Memoria técnica de la cuantificación de los cambios de la cobertura de bosque a no bosque por deforestación en el ámbito de la Amazonía Peruana: periodo 2009-2010-2011, Lima: Ministerio del Ambiente Dirección General de Ordenamiento Territorial; online: <http://>

Gabriel Alarcón, JorgeDíaz, Mauro Vela, Mishari García, José Gutiérrez²

geoservidor.minam.gob.
pe/geoservidor/archivos/memoria/MEMORIA