



## Deforestación en el área de conservación privada Tilacancha: zona de recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas

### Deforestation in the Tilacancha private conservation area: water recharge zone and water supply for Chachapoyas

Rolando Salas<sup>1\*</sup>, Elgar Barboza<sup>1</sup>, Nilton Beltran Rojas<sup>1</sup>, José Mamani<sup>1</sup>, Nelson Yohel Rodriguez<sup>1</sup>

#### RESUMEN

La deforestación es un componente principal del cambio climático; el mismo que está contribuyendo a la rápida pérdida del área de bosques con importantes implicaciones para la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema. Este estudio tiene como objetivo determinar la deforestación en el área de conservación privada Tilacancha, cuya zona representa la recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas. Se aplicó el algoritmo de clasificación supervisada de máxima probabilidad incorporada en el QGIS para detectar cambios en la cobertura del suelo observados en el ACP Tilacancha utilizando datos satelitales multiespectrales obtenidos de Landsat 5 y 8 para los años 1984, 2000 y 2016. El ACP se clasificó en cinco clases principales de cobertura: arbustos, pastos y cultivos, pajonal y superficie quemada. Los mapas generados presentaron una exactitud temática global de 87% y un índice Kappa de 0.78. Los resultados indican que la cobertura forestal para el primer y segundo periodo se redujo en un 21,63% y 41,39% respectivamente, mientras que el área de pajonal se ha incrementado en un 13,63% y 18,06% respectivamente. Durante los últimos 32 años, el uso y cobertura del suelo en la zona de estudio ha estado influenciado por factores clave que giran en torno al desarrollo ganadero y agrícola. El nivel de degradación forestal ha aumentado y requiere de manera inmediata tomar nota de los cambios ambientales y establecer políticas urgentes, rigurosas y coherentes para el desarrollo racional de los recursos de esta zona.

**Palabras claves:** Cobertura del suelo, teledetección, cambio de cobertura, exactitud.

#### ABSTRACT

Deforestation is a major component of climate change; the same that is contributing to the rapid loss of the forest area with important implications for the conservation of biodiversity and the functioning of the ecosystem. The objective of this study is to determine deforestation in the Tilacancha private conservation area, whose zone represents water recharge and water supply for Chachapoyas. The maximum probability supervised classification algorithm incorporated in the QGIS was applied to detect changes in soil cover observed in the Tilacancha ACP using multispectral satellite data obtained from Landsat 5 and 8 for the years 1984, 2000 and 2016. The ACP was classified in five main classes of cover: shrubs, pastures and crops, grassland and burned surface. The generated maps presented an overall thematic accuracy of 87% and a Kappa index of 0.78. The results indicate that the forest cover for the first and second period was reduced by 21.63% and 41.39% respectively, while the area of pajonal has increased by 13.63% and 18.06% respectively. During the last 32 years, the use and coverage of the soil in the study area has been influenced by key factors that revolve around livestock and agricultural development. The level of forest degradation has increased and requires immediately taking note of environmental changes and establishing urgent, rigorous and coherent policies for the rational development of the resources of this area.

**Keywords:** Land cover, remote sensing, change of coverage, accuracy.

<sup>1</sup>Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A), Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Calle Higos Urco N° 342-350-356, Calle Universitaria N° 304, Chachapoyas, Perú

\* Autor de correspondencia. E-mail: rsalas@indes-ces.edu.pe

## I. INTRODUCCIÓN

La deforestación es el principal motivo de la pérdida de biodiversidad en los países en desarrollo (Rolland *et al.*, 2014). Normalmente, se debe a los cambios en la cobertura y al uso de la tierra, que se han visto acelerados como resultado de varios factores, como los económicos y biofísicos (Somanathan *et al.*, 2009; Mölders, 2012; Awasthi *et al.*, 2003), impactando negativamente los paisajes, la vegetación, los recursos hídricos y la biodiversidad de manera significativa (Sharma *et al.*, 1999; Singh *et al.*, 2017). La deforestación es uno de los principales componentes del cambio climático y tiene implicaciones en la extinción de especies (Brook, Sodhi, and Ng 2003), la pérdida de servicios ecosistémicos (Bendix *et al.*, 2013) la emisión de gases de efecto invernadero (Fearnside and Laurance 2004; Gibbs and Herold 2007; Kindermann *et al.*, 2008; Eva *et al.*, 2012), la conservación de la biodiversidad (Tapia-Armijos *et al.*, 2015) y cambios en la estructura y la calidad del hábitat de los ecosistemas acuáticos (Iñiguez-Armijos *et al.*, 2014).

El monitoreo a largo plazo de la cobertura de la tierra y los bosques pueden detectar eventos de deforestación, forestación y reforestación, siendo una herramienta esencial para la contabilidad de la captura de carbono en los bosques (Reddy *et al.*, 2015). La información fiable sobre la deforestación puede ayudar en el manejo efectivo de ecosistemas forestales, así como la evaluación y conservación de la biomasa (Souza *et al.*, 2003).

La Teledetección y el Sistema de Información Geográfica (SIG), proporciona las capacidades para evaluar la degradación de bosque, más aún en áreas inaccesibles. Puede jugar un papel importante en la generación de la información relacionada con la cubierta forestal (Beuchle *et al.*, 2015).

En la región Amazonas en el transcurso de los años, se han ido deteriorando las fuentes de agua debido a la quema de sus páramos y destrucción de sus bosques. La fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Chachapoyas, proviene del Área de Conservación Privada (ACP) Tilacancha, la misma que está siendo

amenazada por problemas ambientales a causa de la deforestación, quema de pajonales y otras actividades (GRA 2012, 2014). Es por ello, que se pretende determinar la deforestación en el área de conservación privada Tilacancha, cuya zona representa la recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas, por medio de la clasificación digital de imágenes satelitales LANDSAT de los años 1984, 2000 y 2016.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### Ubicación del área de estudio

El ACP Tilacancha está ubicada en los Andes Centrales, en la ecorregión páramo de la Cordillera Central y ocupa el 4% del territorio de la Región Amazonas (IIAP 2006). El ACP Tilacancha fue reconocido como tal el 6 de julio del 2010 con Resolución Ministerial 118-2010-MINAM, con el fin de conservar y protegerlos a los pajonales (jalca), los bosques montanos, la diversidad biológica y la parte alta de las subcuencas Tilacancha y Cruzhuayco, fuentes de agua que abastece a la población asentada en las comunidades de Levanto, San Isidro del Maino y de la ciudad de Chachapoyas (Guzmán-Castillo *et al.*, 2012; MINAM 2010).

El ACP se encuentra ubicado en la subcuenca del río Osmal, conocido como quebrada Tilacancha, a su vez, esta pertenece a la cuenca del río Utcubamba, al margen derecho del río Marañón. Abarca las tierras de las comunidades campesinas y los distritos de Levanto y San Isidro de Mayno las que se encuentran ubicadas en la provincia de Chachapoyas dentro de la región Amazonas (Figura 1). Según el SENAMHI, el clima en el área de estudio es lluvioso, con invierno y otoño seco, varía de semicálido a semifrío y húmedo. 5% de significación.

### Materiales

Los materiales empleados para la elaboración de la presente investigación, fueron obtenidos distintas fuentes, el límite del ACP fue obtenida a través del SERNAMP. Para la interpretación de las coberturas del suelo de los años 1984 y 2000 se utilizaron las 2 imágenes del sensor Landsat-5 TM y para el año 2016

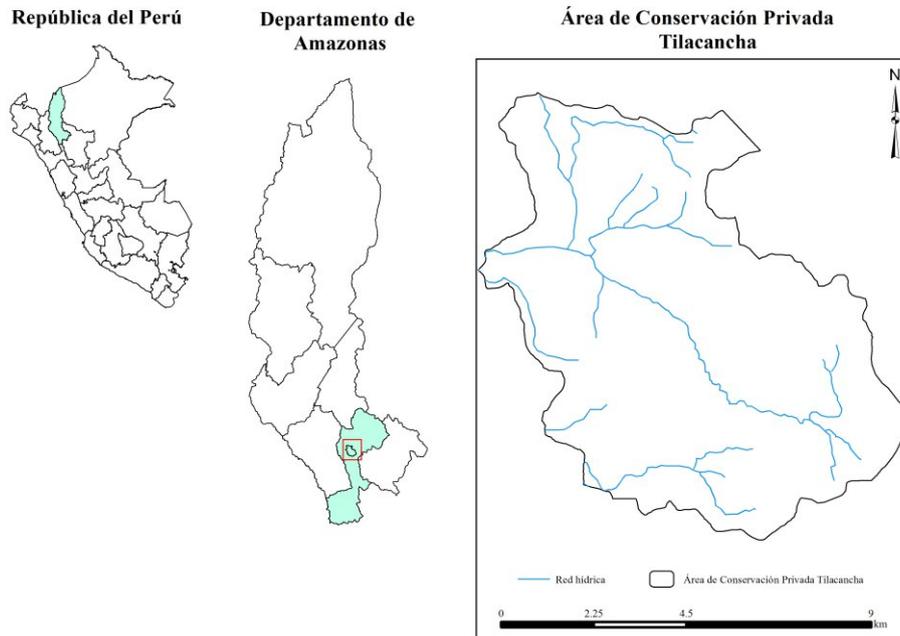


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio en la provincia de Chachapoyas (Departamento de Amazonas).

se empleó una imagen del sensor Landsat 8 OLI de USGS Earth Explorer (Path 9, Row 64). Las imágenes fueron seleccionadas teniendo consideración los siguientes criterios, presentar como máximo un 10% del área nublada o con sombras; haber sido tomadas durante la misma época de tiempo, evitando así la alteración fenológica de la vegetación (Li *et al.*, 2013; Lillesand *et al.*, 2015).

Las imágenes multiespectrales de Landsat fueron adquiridas por el conjunto de datos USGS disponible y constan de:

- Landsat 5 TM capturados el 02 de setiembre de 1984 y el 29 de agosto de 2000 cuya resolución espacial es de 30 metros. Las bandas espectrales utilizadas de este sensor fueron 1, 2, 3, 4, 5 y 7.
- Landsat 8 OLI capturado el 24 de julio de 2016. Las bandas espectrales utilizadas de este sensor fueron 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

### Métodos

Los datos satelitales utilizados en el estudio se procesaron mediante el software gratuito y libre Quantum GIS (QGIS) (Quantum GIS, 2015). La Figura 2 muestra el procedimiento adoptado para identificar los cambios en la cobertura del suelo en el área de estudio.

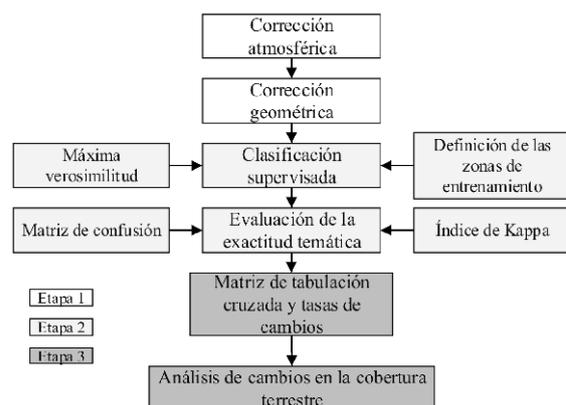


Figura 2. Esquema metodológico de la investigación

### Etapa 1

Para corregir los efectos atmosféricos y las distorsiones ocurridas en el proceso de captura e inherentes al movimiento del sensor, se realizó la corrección por Substracción de Objetos Oscuros (DOS1) (Chávez, 1996). En esta etapa las imágenes digitales satelitales fueron preparadas mediante la eliminación de distorsiones ocurridas por las condiciones de iluminación, la dispersión atmosférica y en el proceso de captura e inherentes al movimiento del sensor (Lazarevic *et al.*, 2000; Manjula *et al.*, 2013). Las imágenes fueron re-proyectadas en el sistema cartográfico WGS84, en el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (UTM), 18S (EPSG: 32718). Las imágenes se

georreferenciaron a partir puntos de control terrestre (GCP), distribuidos dentro y fuera del área de estudio para asegurar la autenticidad de la información en la elaboración de mapas de cobertura. Los datos fueron corregidos con un error medio cuadrado menor a un pixel para todas las imágenes (Abrams, 2000).

*Etapas*

Clasificación supervisada

Las imágenes satelitales fueron clasificadas mediante la técnica de clasificación supervisada utilizando el algoritmo de máxima probabilidad incorporada en la Clasificación Semiautomática (Echeverría *et al.*, 2006). Para reducir los errores de la clasificación de las coberturas se realizó una interpretación y corrección visual mediante la técnica de interpretación interdependiente. Esta técnica fue esencial debido a que los procedimientos digitales de la clasificación pueden proporcionar resultados erróneos, los cuales necesitan de la confirmación del investigador para su aceptación (Reddy *et al.*, 2015), asimismo la heterogeneidad de la vegetación en la zona de estudio es alta y puede causar errores de clasificación en mayor medida. La deforestación y los cambios en la cobertura del suelo se identificaron según las categorías de cobertura propuestas por el MINAM (2015) en la metodología CORINE Land Cover adaptada para Perú, y son las siguientes: (1) arbustos, (2) pastos y cultivos, (3) pajonal y (4) Superficie quemada.

Evaluación de la exactitud temática

Se utilizó un enfoque de muestreo aleatorio estratificado de sitios de verificación (Landis y Koch, 1977) para evaluar la precisión del mapa de cobertura terrestre de 2016, se utilizó un total de 239 puntos de verificación superficial. Se elaboró una matriz de confusión para calcular la precisión del productor (indicadores de errores de omisión), la precisión del usuario (indicadores de errores de comisión) y la precisión general de la clasificación mediante el análisis de disposición utilizando la estadística kappa (Tabla 1) (Chuvieco, 1995), mediante la ecuación 1 (Congalton y Green, 2009; Lillesand *et al.*, 2015). Según Congalton (1991), el índice Kappa es una técnica importante para propor-

cionar información con una precisión, derivada de una matriz de confusión.

$$k = \frac{m \sum_{n=1}^i a_{nn} - \sum_{n=1}^i a_{n+} a_{+n}}{m^2 - \sum_{n=1}^i a_{n+} a_{+n}} \tag{1}$$

Donde:

*i* = Dimensión de la matriz (número de clases)

*a<sub>nm</sub>* = Número de observaciones en la fila *n* columna *n*

*a<sub>n+</sub>*, *a<sub>+n</sub>* = total de marginal de fila *n* y columna *n*

*m* = Número total de observaciones.

La precisión global es calculada como el número de unidades clasificadas correctamente, sobre el número total de unidades consideradas, este índice tiende a evaluar la fiabilidad de la clasificación (Tabla 1) (Boca y Rodríguez, 2012).

**Tabla 1.** Matriz de confusión y exactitud temática

		Clases de referencia					Exactitud Usuario	Error Comisión
		A1	A2	...	AM	Total		
Clases temporales	A1	<i>a<sub>11</sub></i>	<i>a<sub>12</sub></i>	...	<i>a<sub>1m</sub></i>	<i>a<sub>1+</sub></i>	<i>a<sub>1+</sub>/a<sub>1+</sub></i>	1-( <i>a<sub>12</sub></i> / <i>a<sub>1+</sub></i> )
	A2	<i>a<sub>21</sub></i>	<i>a<sub>22</sub></i>	...	<i>a<sub>2m</sub></i>	<i>a<sub>2+</sub></i>	<i>a<sub>22</sub></i> / <i>a<sub>2+</sub></i>	1-( <i>a<sub>21</sub></i> / <i>a<sub>2+</sub></i> )
	...	...	...	...	...	...	...	...
	AM	<i>a<sub>m1</sub></i>	<i>a<sub>m2</sub></i>	...	<i>a<sub>mm</sub></i>	<i>a<sub>m+</sub></i>	<i>a<sub>mm</sub></i> / <i>a<sub>m+</sub></i>	1-( <i>a<sub>m1</sub></i> / <i>a<sub>m+</sub></i> )
	Total	<i>a<sub>+1</sub></i>	<i>a<sub>+2</sub></i>	...	<i>a<sub>+m</sub></i>	<i>m</i>	<i>a<sub>mm</sub></i> / <i>m</i>	
Exactitud Productor		<i>a<sub>11</sub></i> / <i>a<sub>1+</sub></i>	<i>a<sub>22</sub></i> / <i>a<sub>2+</sub></i>	...	<i>a<sub>mm</sub></i> / <i>a<sub>m+</sub></i>			
Error Omisión		1-( <i>a<sub>11</sub></i> / <i>a<sub>1+</sub></i> )	1-( <i>a<sub>22</sub></i> / <i>a<sub>2+</sub></i> )	...	1-( <i>a<sub>mm</sub></i> / <i>a<sub>m+</sub></i> )			

Fuente: Boca y Rodríguez, (2012)

La tasa anual de cambios se calculó comparando el área cubierta por bosques en la misma región en dos momentos diferentes. La tasa de variación anual se calculó según la ecuación (2) de tasa de interés:

$$r = \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{1/t_2 - t_1} - 1 \tag{2}$$

Donde:

*r* = tasa de cambio anual (% por año)

*a<sub>1</sub>*, *a<sub>2</sub>* = superficies de la cubierta en el tiempo *t<sub>1</sub>* y *t<sub>2</sub>*

Análisis de cambio

Mediante el uso de la técnica de detección de cambios, se puede observar las variaciones en los diferentes periodos (Macleod y Congalton, 1998; Lu *et al.*, 2004;

Mei *et al.*, 2016). Para el análisis, se calculó la superficie de cada tipo de cobertura en 1984 se convirtió en otro tipo de cobertura en el 2000, usando como primera escena el mapa de la cubierta terrestre de 1984 y como escena final las categorías que representan el mapa de cobertura terrestre de 2016. Se utilizó la metodología de detección de cambio mediante matrices de tabulación cruzada para los periodos de 1984 – 2000 y 2000 – 2016 para determinar al tipo de cobertura de suelo que transformaron las áreas de cada clasificación, los análisis estuvieron basados en la metodología propuesta por (Pontius *et al.*, 2004), el cual analiza las categorías de cobertura de suelo del tiempo 1 ( $t_1$ ), representadas por filas y las

categorías de cobertura de suelo del tiempo 2 ( $t_2$ ) en las columnas, también se representa la superficie que cambia de una categoría a otra y la persistencia es mostrada en la diagonal (Tabla 2)

En la Tabla 2 tenemos  $P_{ij}$  que representa la cantidad de cobertura del suelo que cambia de la categoría  $i$  a la categoría  $j$ . Asimismo  $P_{jj}$ , en la diagonal, indica la proporción de persistencia de la categoría  $j$ , y el resto de celdas indican una transición de la categoría  $i$  a una categoría diferente  $j$ . Las pérdidas, son calculadas como la diferencia de la categoría  $i$  entre el tiempo 1 y el tiempo 2, y las ganancias son representadas como la diferencia de la categoría  $j$  entre el tiempo 1 y el tiempo 2.

**Tabla 2.** Matriz de tabulación cruzada y tasa de cambios

Tiempo 1	Tiempo 2			Total tiempo 1	Pérdida (Li)	Tasa de cambio
	Clase 1	Clase 2	Clase 3			
Clase 1	$P_{11}$	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{+1}$	$P_{+1}-P_{11}$	%
Clase 2	$P_{21}$	$P_{22}$	$P_{23}$	$P_{+2}$	$P_{+2}-P_{22}$	%
Clase 3	$P_{31}$	$P_{32}$	$P_{33}$	$P_{+3}$	$P_{+3}-P_{33}$	%
<b>Total tiempo 2</b>	<b><math>P_{1+}</math></b>	<b><math>P_{2+}</math></b>	<b><math>P_{3+}</math></b>	<b><math>n</math></b>		
Ganancia (Gi)	$P_{1+}-P_{11}$	$P_{2+}-P_{22}$	$P_{3+}-P_{33}$			

Fuente: (Gallardo y Martínez-Vega 2012)

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Evaluación de la exactitud

El resultado de la validación del mapa de cobertura terrestre para el año 2016, se muestra en matriz de confusión (Tabla 3). Los resultados mostraron una precisión global del 87%, lo que significa que la clasificación de la cobertura terrestre de 2016 tuvo un alto nivel de concordancia, de acuerdo con (Foody, 2002), el porcentaje la precisión general de casos

asignados es correctamente. Para este estudio, el índice Kappa ( $k$ ) de 0.78 con un intervalo de confianza del 95 % lo que significa que la clasificación de la cobertura del suelo para 2016 podría considerar un nivel de fuerza de concordancia considerable según los parámetros propuestos por (Landis y Koch, 1977). Las exactitudes del productor para la categoría de pajonal, superficies quemadas y arbustos son de 0,89, 1,00 y 0,93 respectivamente (Tabla 3).

**Tabla 3.** Matriz de confusión y exactitud temática para la ACP Tilacancha

		Clases de Referencia					Exactitud Usuario	Error Comisión
		Pajonal	S. Quemada	Pastos y cultivos	Arbustos	Total Mapa		
Clases del mapa	Pajonal	108	0	3	4	115	0,94	0,06
	S. Quemada	0	4	0	0	4	1,00	0,00
	Pastos y cultivos	0	0	11	2	13	0,85	0,15
	Arbustos	13	0	9	85	107	0,79	0,21
	<b>Total referencia</b>	<b>121</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>91</b>	<b>239</b>		
	Exactitud Productor	0,89	1,00	0,48	0,93		Exactitud global = 0,87	
Error Omisión	0,11	0,00	0,52	0,07		Índice Kappa = 0,78		

**Tasa de cambios**

La deforestación en la zona de estudio ha estado sujeto a cambios severos que han sido causados por factores humanos. La tasa de deforestación anual en el en el ACP Tilacancha para el período de 1984-2000 fue 1,11 %; aumentando considerablemente en el período 2000-2016 a 2,06%. La tasa promedio de deforesta-

ción para todo el período de estudio de 32 años fue del 1,59 %.

**Análisis de cambios**

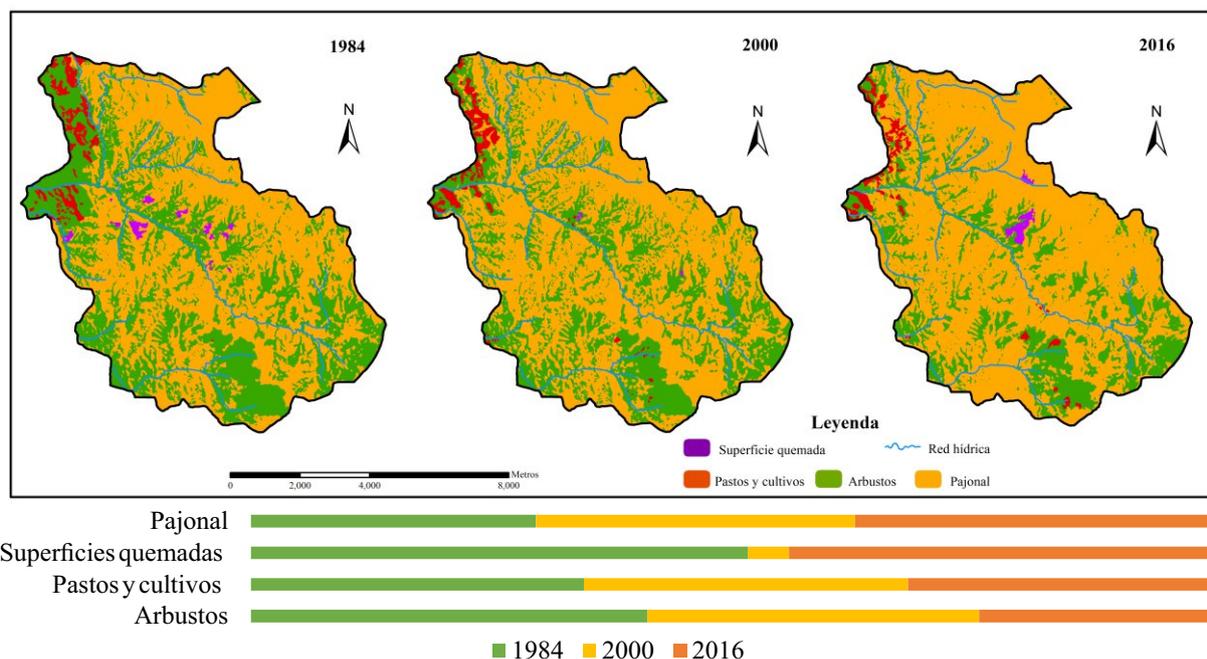
Las tablas 4 y 5 muestran el área de cambio de superficie entre las diversas categorías cobertura del suelo en la comparación entre los períodos pasados y presentes (Figura 3).

**Tabla 4.** Matriz de tabulación cruzada y tasa de cambio en el periodo de 1984 - 2000

1984	2000				Total 1984 (ha)	Pérdida (Li)	Tasa de cambio (r)
	Pajonal	S, quemadas	Pastos y cultivos	Arbustos			
Pajonal	3840,98	1,03	3,64	122,70	<b>3968,35</b>	3,21	0,71
S, quemadas	35,95	0,01	0,00	13,22	<b>49,19</b>	99,97	-14,41
Pastos y cultivos	104,81	0,00	53,94	1,72	<b>160,47</b>	66,39	-0,16
Arbustos	465,31	3,03	98,79	2055,30	<b>2622,43</b>	21,63	-1,11
<b>Total 2000 (ha)</b>	<b>4447,06</b>	<b>4,08</b>	<b>156,37</b>	<b>2192,94</b>	<b>5950,23</b>		
Ganancia (Gi)	13,63	99,67	65,50	6,28			

**Tabla 5.** Matriz de tabulación cruzada y tasa de cambio en el periodo de 2000 - 2016

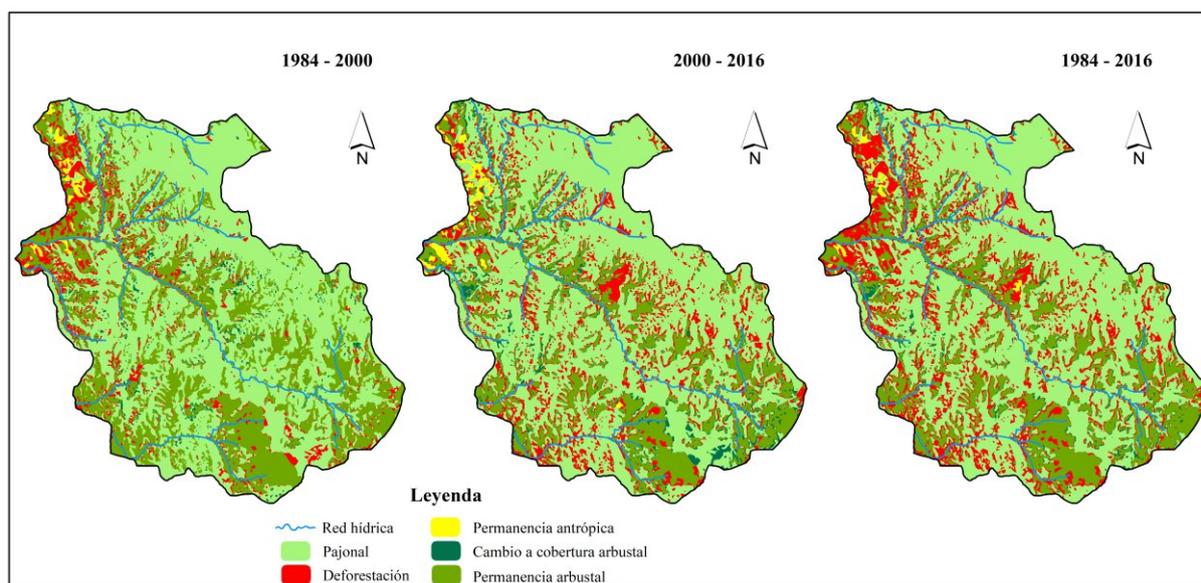
2000	2016				Total 2000 (ha)	Pérdida (Li)	Tasa de cambio (s)
	Pajonal	S, quemadas	Pastos y cultivos	Arbustos			
Pajonal	4127,4	30,17	19,54	269,93	<b>4447,09</b>	7,19	0,78
S- quemadas	0,72	0,00	0,00	3,36	<b>4,08</b>	100,00	15,76
Pastos y cultivos	60,18	0,00	82,92	13,26	<b>156,36</b>	46,97	-0,31
Arbustos	848,90	12,22	46,44	1285,38	<b>2192,93</b>	41,39	-2,06
<b>Total 2016 (ha)</b>	<b>5037,2</b>	<b>42,39</b>	<b>148,90</b>	<b>1571,93</b>	<b>5495,75</b>		
Ganancia (Gi)	18,06	100,00	44,31	18,23			



**Figura 3.** Cobertura del suelo para los años 1984, 2000 y 2016.

En el primer periodo de 1984 a 2000, se ha producido un cambio total en la cobertura suelo de 850,21 hectáreas (12,5 %) y una persistencia (cantidad de superficie que no ha cambiado) de 5950,23 hectáreas (87,5%). Asimismo, el área cubierta por arbustos original disminuyó en aproximadamente 21,63%, de 2622,43 hectáreas en el año 1984 a 2192,94 hectáreas en 2000 (Tabla 4, Figura 4). El área anteriormente ocupada por arbustos, redujo una parte importante de su superficie a favor de otras coberturas del suelo de la siguiente manera: pajonal: 465,31 hectáreas; superficie quemada: 3,03 hectáreas; pastos y cultivos: 98,79 hectáreas. Para el segundo periodo el cambio total de la cobertura

ascendió a 1304,71 hectáreas (19,2%) y la persistencia de 5495,75 hectáreas (80,8%), la pérdida de arbustos fue aproximadamente 41,39%, de 2192,93 ha en el año 2000 a 1571,93 ha en el año 2016 (tabla 5). Los lugares ocupados inicialmente por arbustos fueron transformados a las siguientes coberturas: pajonal: 465,31 hectáreas; superficie quemada: 3,03 hectáreas; pastos y cultivos: 98,79 hectáreas. El área anteriormente ocupado por arbustos, se redujo en gran parte importante de su superficie a favor de otras coberturas del suelo de la siguiente manera: pajonal: 848,9 hectáreas; superficie quemada: 12,22 hectáreas; pastos y cultivos: 46,44 hectáreas.



**Figura 4.** Cambios de cobertura del suelo para los periodos 1984-2000; 2000-2016 y 1984-2016.

Al igual que en otros países de América Latina, éstas áreas fueron transformadas principalmente en pastizales para la ganadería, que es el principal factor de conversión de las coberturas de bosques, seguido de la agricultura migratoria (Trejo, 2000; Sierra, 2000), dado que esto son rasgos característicos de las zonas altoandinas (Geist y Lambin, 2002).

Durante los 32 años del periodo de estudio, 1110,15 ha de arbustos se han convertido en pajonal y un área de 109,21 ha se ha convertido en pastos y cultivos. El análisis de detección de cambios (Tabla 6) muestra que los arbustales, los pastos y cultivos se transformaron principalmente en pajonal en un 22,04% y 2,18% del área inicial, respectivamente. Las características cli-

máticas que presenta el bosque matorral premontano (características propias del área de estudio) aparentemente son óptimas para el desarrollo de la ganadería, pero debido a la baja fertilidad del suelo muchos pastos no son muy productivos y, por lo tanto, con frecuencia se abandonan después de algunos años (Bendix *et al.*, 2013).

Por otro lado, la parte no significativa del área de estudio en el momento de la toma de las imágenes, presentó superficies quemadas, dada la quema de la biomasa, práctica muy común de los campesinos para convertir los bosques en pastos y/o cultivos (Kauffman *et al.*, 2003).

**Tabla 6.** Matriz de tabulación cruzada y tasa de cambio durante los 32 años del periodo de estudio

1984	2016				Total 1984 (ha)	Pérdida (Li)	Tasa de cambio (s)
	Pajonal	S. quemadas	Pastos y cultivos	Arbustos			%
Pajonal	3781,4	26,34	3,02	157,57	<b>3968,35</b>	4,71	0,75
S. quemadas	35,80	5,77	0,00	7,62	<b>49,19</b>	88,28	-0,46
Pastos y cultivos	109,83	0,00	36,66	13,96	<b>160,46</b>	77,15	-0,23
Arbustos	1110,1	10,28	109,21	1392,77	<b>2622,42</b>	46,89	-1,59
<b>Total 2016 (ha)</b>	<b>5037,2</b>	<b>42,39</b>	<b>148,90</b>	<b>1571,93</b>	<b>5216,62</b>		
Ganancia (Gi)	24,93	86,40	75,38	11,40			

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación demuestran la viabilidad de realizar un análisis del cambio de cobertura terrestre basado en imágenes de mediana resolución (30 m). La deforestación en el ACP Tilacancha ha estado sujeto a cambios severos inducidos por factores humanos. La tasa de deforestación (2000-2016) a 2,06%. La investigación muestra además que la cobertura del suelo con respecto al primer periodo de estudio en las categorías de arbustos, pastos y cultivos se ha reducido en gran medida en un 21.63% y 66.39% respectivamente. Del mismo modo para el segundo periodo, las categorías de arbustos; pastos y cultivos presentaron una reducción de 41.39% y 46.97 % respectivamente.

De seguir así los cambios de cobertura en el ACP Tilacancha probablemente empeorará, por eso se espera que estos resultados sean usados por las autoridades políticas y administrativas para establecer una política urgente, rigurosa y coherente para la explotación y gestión racional de los recursos ambientales de esta zona. En particular, la tasa de cambio forestal severo en esta región requiere una respuesta e intervención rápidas, ya que los bosques de ésta área juegan un papel importante en la recarga hídrica, el abastecimiento de agua para los distritos de Chachapoyas, Levanto y San Isidro del Maino, la protección de los ríos y la regulación del clima.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrams, M. 2000. "The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): Data Products for the High Spatial

Resolution Imager on NASA 's Terra Platform." *International Journal of Remote Sensing* 21 (5): 847–59.

Awasthi, A., S. K. Uniyal, G. S. Rawat, y A. Rajvanshi. 2003. "Forest Resource Availability and Its Use by the Migratory Villages of Uttarkashi, Garhwal Himalaya (India)." *Forest Ecology and Management* 174 (1–3): 13–24. doi:10.1016/s0378-1127(02)00026-9.

Bendix, J., E. Beck, A Bräuning, F. Makeschin, M. Reinhard, S. Scheu, y W. Wilcke. 2013. *Ecosystem Services, Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador*. Springer: Berlín (Alemania).

Beuchle, R., R. C. Grecchi, Y. E. Shimabukuro, R. Seliger, H. D. Eva, E. Sano, y F. Achard. 2015. "Land Cover Changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga Biomes from 1990 to 2010 Based on a Systematic Remote Sensing Sampling Approach." *Applied Geography* 58: 116–27. doi:10.1016/j.apgeog.2015.01.017.

Boca, T., and G. Rodríguez. 2012. *Métodos Estadísticos De La Evaluación De La Exactitud De Productos Derivados De Sensores Remotos*. Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Buenos Aires (Argentina): Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Brook, B. W., N. S. Sodhi, and P. K. L. Ng. 2003. "Catastrophic Extinctions Follow Deforestation in Singapore." *Nature* 424: 420–23. doi:10.1038/nature01795.

Chávez, P. S. 1996. "Image-Based Atmospheric Cor-

- rections - Revisited and Improved.” *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62 (9): 1025–36. doi:0099-1112/96/6209-1025.
- Chuvieco, E. 1995. *Fundamentos De Teledeteccion Espacial*. Madrid (España): Ediciones RIALP. doi:23.304-1995.
- Congalton, R. G. 1991. “A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data.” *Remote Sensing of Environment* 37 (1): 35–46. doi:10.1016/0034-4257(91)90048-B.
- Congalton, R. G., y K. Green. 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton (EEUU): CRC Press. doi:10.1111/j.1477-9730.2010.00574\_2.x.
- Echeverría, C., D. Coomes, J. Salas, J. M. Rey-Benayas, A. Lara, y A. Newton. 2006. “Rapid Deforestation and Fragmentation of Chilean Temperate Forests.” *Biological Conservation* 130 (4): 481–94. doi:10.1016/j.biocon.2006.01.017.
- Eva, H. D., F. Achard, R. Beuchle, E. de Miranda, S. Carboni, R. Seliger, M. Vollmar, *et al.*, 2012. “Forest Cover Changes in Tropical South and Central America from 1990 to 2005 and Related Carbon Emissions and Removals.” *Remote Sensing* 4 (5): 1369–91. doi:10.3390/rs4051369.
- Fearnside, P. M., y W. F. Laurance. 2004. “Tropical Deforestation and Greenhouse-Gas Emissions.” *Ecol. Appl.* 14(4): 982–86.
- Foody, G. M. 2002. “Status of Land Cover Classification Accuracy Assessment.” *Remote Sensing of Environment* 80 (1): 185–201. doi:10.1016/S0034-4257(01)00295-4.
- Gallardo, M., y J. Martínez-Vega. 2012. “Cambios de Usos Del Suelo y Expansión Urbana En La Comunidad de Madrid: Analizando El Pasado y Simulando El Futuro.” En *XV Congreso Nacional de Tecnologías de La Informática Geográfica*. Madrid (España).
- Geist, H. J., y E. F. Lambin. 2002. “Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation.” *BioScience* 52 (2): 143. doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2.
- Gibbs, H. K., y M. Herold. 2007. “Tropical Deforestation and Greenhouse Gas Emissions.” *Environmental Research Letters* 2 (4): 9–11. doi:10.1088/1748-9326/2/4/045021.
- GRA. 2012. *¿Porqué Son Importantes Las Áreas Protegidas?* Chachapoyas (Perú): Gobierno Regionl Amazonas.
- GRA. 2014. *Autoridad Regional Ambiental: Ambiente Sano Para Vivir Mejor...* Chachapoyas (Perú): Gobierno Regionl Amazonas.
- Guzmán-Castillo, W., E. S. Arellanos-Carrión, y S. G. Chavez-Quintana. 2012. “Determinación e Incidencia de La Disposición a Pagar En Esquemas de Pagos Por Servicios Ambientales Hídricos: Estudio de Caso En Las Capitales de Las Provincias de Chachapoyas, Rodríguez de Mendoza y Uctubamba.” *Folia Amazonica* 21 (1–2): 141–51. doi:10.24841/fa.v21i1-2.42.
- IIAP. 2006. *Estrategia Regional de La Diversidad Biológica de Amazónas*. Iquitos (Perú): BIODAMAZ.
- Iñiguez-Armijos, C., A. Leiva, H. G. Frede, H. Hampel, y L. Breuer. 2014. “Deforestation and Benthic Indicators: How Much Vegetation Cover Is Needed to Sustain Healthy Andean Streams?” *PLoS ONE* 9 (8): 1–10. doi:10.1371/journal.pone.0105869.
- Kauffman, J. B., M. D. Steele, D. L. Cummings, y V. J. Jaramillo. 2003. “Biomass Dynamics Associated with Deforestation, Fire, and Conversion to Cattle Pasture in a Mexican Tropical Dry Forest.” *Forest Ecology and Management* 176 (1–3): 1–12. doi:10.1016/S0378-1127(02)00227-X.
- Kindermann, G., M. Obersteiner, B. Sohngen, J.

- Sathaye, K. Andrasko, E. Rametsteiner, B. Schlamadinger, S. Wunder, y R. Beach. 2008. "Global Cost Estimates of Reducing Carbon Emissions through Avoided Deforestation." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (30): 10302–7. doi:10.1073/pnas.0710616105.
- Landis, J. R., y G. G. Koch. 1977. "The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data." *Biometrics* 33 (1): 159. doi:10.2307/2529310.
- Lazarevic, A., T. Fiez, y Z. Obradovic. 2000. "A Software System for Spatial Data Analysis and Modeling." *System Sciences* 1 (1): 1–10. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=926648](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=926648).
- Li, P., L. Jiang, y Z. Feng. 2013. "Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors." *Remote Sensing* 6 (1): 310–29. doi:10.3390/rs6010310.
- Lillesand, T. M., R. W. Kiefer, y J. W. Chipman. 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation*. New Jersey (EEUU): John Wiley & Sons.
- Lu, D., P. Mausel, E. Brondízio, y E. Moran. 2004. "Change Detection Techniques." *International Journal of Remote Sensing* 25 (12): 2365–2407. doi:10.1080/0143116031000139863.
- Macleod, R. D., y R. G. Congalton. 1998. "Quantitative Comparison of Change-Detection Algorithms for Monitoring Eelgrass from Remotely Sensed Data." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64 (3): 207–16.
- Manjula, K. R., J. Singaraju, P. Anand, y K. Varma. 2013. "Data Preprocessing in Multi-Temporal Remote Sensing Data for Deforestation Analysis." *Global Journal of Computer Science and Technology Software & Data Engineering* 13 (6): 19–25.
- Mei, A., C. Manzo, G. Fontinovo, C. Bassani, A. Allgrini, y F. Petracchini. 2016. "Assessment of Land Cover Changes in Lampedusa Island (Italy) Using Landsat TM and OLI Data." *Journal of African Earth Sciences* 122: 15–24. doi:10.1016/j.jafrearsci.2015.05.014.
- MINAM. 2010. *Resolución Ministerial 118-2010-MINAM*. Lima (Perú): MINAM.
- MINAM. 2015. *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*. Lima (Perú): MINAM.
- Mölders, N. 2012. *Land-Use and Land-Cover Changes: Impact on Climate and Air Quality*. New York (EEUU): Springer.
- Pontius, R. G., E. Shusas, y M. McEachern. 2004. "Detecting Important Categorical Land Changes While Accounting for Persistence." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101 (2–3): 251–68. doi:10.1016/j.agee.2003.09.008.
- QuantumGIS. 2015. *QGIS Geographic Information System*. <http://www.qgis.org>.
- Reddy, C., G. Rajashekar, P. Hari Krishna, C. S. Jha, y V. K. Dadhwal. 2015. "Multi-Source and Multi-Date Mapping of Deforestation in Central India (1935-2010) and Its Implication on Standing Phytomass Carbon Pool." *Ecological Indicators* 57: 219–27. doi:10.1016/j.ecolind.2015.05.003.
- Rolland, J., F. L. Condamine, F. Jiguet, y H. Morlon. 2014. "Faster Speciation and Reduced Extinction in the Tropics Contribute to the Mammalian Latitudinal Diversity Gradient." *PLoS Biology* 12 (1). doi:10.1371/journal.pbio.1001775.
- Sharma, A., R. Prasad, S. Saksena, y V. Joshi. 1999. "Micro-Level Sustainable Biomass System Development in Central Himalaya: Stress Computation and Biomass Planning." *Sustainable Development* 7 (3): 132–39. doi:10.1002/(SICI)1099-1719(199908)7:3<132::AID-SD112>3.0.CO;2-2.
- Sierra, R. 2000. "Dynamics and Patterns of Deforestation

- tion in the Western Amazon: The Napo Deforestation Front, 1986–1996.” *Applied Geography* 20: 1–16.
- Singh, S., C. S. Reddy, S. V. Pasha, K. Dutta, K. R.L. Saranya, y K. V. Satish. 2017. “Modeling the Spatial Dynamics of Deforestation and Fragmentation Using Multi-Layer Perceptron Neural Network and Landscape Fragmentation Tool.” *Ecological Engineering* 99. Elsevier B.V.: 543–511. doi:10.1016/j.ecoleng.2016.11.047.
- Somanathan, E, R Prabhakar, y Bhupendra Singh. 2009. “Decentralization for Cost-Effective Conservation SCIENCE.” *PNAS* 106 (11): 4143–47.
- Souza, C., L. Firestone, L. M. Silva, y D. Roberts. 2003. “Mapping Forest Degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through Spectral Mixture Models.” *Remote Sensing of Environment* 87 (4): 494–506. doi:10.1016/j.rse.2002.08.002.
- Tapia-Armijos, M. F., J. Homeier, C. I. Espinosa, C. Leuschner, y M. De La Cruz. 2015. “Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s - Losing a Hotspot of Biodiversity.” *PLoS ONE* 10 (9): 1–18. doi:10.1371/journal.pone.0133701.
- Trejo, I. 2000. “Deforestation of Seasonally Dry Tropical Forest a National and Local Analysis in Mexico.” *Biological Conservation* 94 (2): 133–42. doi:10.1016/S0006-3207(99)00188-3.