

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**DETERMINACIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO
PARA EL ANÁLISIS DE DEFORESTACIÓN
DEL VALLE PICHIS- DEPARTAMENTO DE
PASCO**

Presentado por:

Marybel Dorothy Torres Llamosas

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. MARYBEL DOROTHY TORRES LLAMOSAS, intitulado “DETERMINACIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO PARA EL ANÁLISIS DE DEFORESTACIÓN DEL VALLE PICHIS-DEPARTAMENTO DE PASCO ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

Con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 11 de diciembre de 2018

.....
Dr. Carlos Reynel Rodríguez
Presidente

.....
Mg. Sc. Ethel Rubín de Celis Llanos
Miembro

.....
Ing. Juan Carlos Ocaña Canales
Miembro

.....
Mg. Sc. Victor Barrena Arroyo
Asesor

DEDICATORIA

A mí querida abuelita Esperanza por apoyarme y alentarme siempre a poder alcanzar mis metas, a quien siempre recordaré con mucho amor y admiración

A mis queridos padres Milder y Douglas, por su paciencia y comprensión en todo momento

A Jorge por su amor y apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A mi asesor Mg. Sc. Víctor Barrena Arroyo, por su tiempo, paciencia e incondicional apoyo y orientación para el desarrollo de la presente investigación.

A los miembros del Jurado de la tesis, Carlos Reynel, Ethel Rubín de Celis y Juan Carlos Ocaña, que gracias a sus aportes me ayudaron a mejorar la calidad del documento de tesis.

A mi jefe Héctor Cisneros y amigos de la Representación de FAO en el Perú, por haberme brindado mucho apoyo y motivación en terminar mi tesis

Finalmente agradezco a mi familia, amigos y en general a todos aquellos que me apoyaron de alguna forma en terminar la presente investigación.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo determinar el periodo óptimo para el análisis de cambios en la cobertura vegetal mediante un estudio multitemporal de la cobertura vegetal en el Valle del Río Pichis, a partir de un análisis de la dinámica de cambios en periodos cortos de 1 año hasta 10 años, comprendidos entre el 2000 y 2010, mediante técnicas de interpretación visual de imágenes de satélite y procedimientos del álgebra de mapas para la determinación de cambios; el cual contribuya a generar información que conduzca a la estandarización de los periodos de análisis de deforestación y así mismo facilitar su posterior monitoreo. Para este fin, se utilizó como referencia el Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana 2000, elaborado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y 10 imágenes de satélite de mediana resolución Landsat 7 y Landsat 5 para cada año dentro del periodo 2000 al 2010, para la determinación de las superficies deforestadas y cuantificación de los cambios de la cobertura vegetal en el área de estudio. Posteriormente, mediante la prueba X^2 de bondad se compararon las similitudes de las clases de cambio generadas por periodo de estudio para evaluar la significancia de los resultados obtenidos. Del estudio se concluye que el periodo óptimo para observar cambios en la cobertura vegetal para la micro cuenca del río Pichis es de 10 años. Este periodo indica que la tasa de cambio para un periodo de 1 a 9 años no muestra cambios significativos, por lo que es posible utilizar como referencia una tasa de cambios obtenida durante este periodo y poder extrapolarla hasta 9 años. En cambio, para un periodo de 10 años, la tasa de cambios obtenida presentará cambios significativos, por lo que no puede ser usada para un análisis menor a este periodo.

Palabras clave: deforestación, bosque, agricultura, fotointerpretación, análisis de imágenes, cubierta vegetal.

ÍNDICE GENERAL

Página

I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Definición de Bosque	3
2. Importancia de los bosques en el Perú	5
3. Cobertura Vegetal y uso del suelo	6
4. Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo	7
5. Deforestación	9
5.1. Causas directas de la deforestación.....	10
5.2. Causas indirectas de la deforestación.....	12
5.3. Efectos de la deforestación en los bosques	14
5.4. Consecuencias del cambio de cobertura vegetal.....	15
6. Fundamentos de la Teledetección espacial.....	18
7. Procesamiento de Imágenes Satelitales	19
7.1. Tratamiento digital de imágenes satelitales.....	19
7.2. Interpretación visual de imágenes de satélite	20
7.2.1. Criterios empleados en la fotointerpretación	21
7.3. Evaluación de la vegetación utilizando imágenes satelitales	22
7.3.1. Estudios previos sobre cambios de cobertura de bosque (deforestación) en el Perú utilizando imágenes satelitales	23
8. Sistemas de información geográfica.....	25
8.1. Módulos de un SIG	25
8.2. Principales Aplicaciones de Analisis Espacial.....	26
8.3. Métodos para el análisis y la detección de cambios.....	28
8.3.1. Álgebra De Mapas.....	29
8.4. Prueba de Chi Cuadrado.....	30
8.4.1. El Estadístico Chi Cuadrado.....	31
8.4.2. Propiedades de la curva de distribución Chi Cuadrado.....	32
III. Materiales y Métodos.....	34
1. Descripción del Ámbito de estudio	34
1.1. Ubicación.....	34
1.2. Fisiografía.....	35
1.3. Hidrografía	35
1.4. Clima.....	35
1.5. Bosques y Recursos Forestales.....	36
1.6. Aspectos Sociales.....	37
1.7. Aspectos Económicos.....	40
2. Materiales.....	42
2.1. Cartografía digital.....	42
2.2. Imágenes de Satélite	42
2.3. Equipos.....	43
2.4. Programas Informáticos	43
3. Metodología	43
3.1. Flujo de procesos para determinar el periodo óptimo para el análisis de cambios....	43
3.2. Procesamiento de imágenes de satélite.....	44
3.3. Interpretación visual de la cobertura vegetal y usos del suelo	46
3.4. Análisis multi-temporal para la detección de cambios	47

IV.	Resultados y discusión	53
1.	Área de estudio.....	53
2.	Procesamiento.....	53
3.	Interpretación visual de la cobertura vegetal y usos del suelo.....	54
3.1.	Análisis multitemporal para la detección de cambios.....	58
3.1.1.	Preparación de Datos Raster para la detección de Cambios.....	58
3.1.2.	Obtención de los Mapas de Cambios.....	60
3.1.3.	Análisis de la Dinámica de Cambios.....	61
3.1.4.	Determinación del Periodo Óptimo de Cambios.....	75
V.	Conclusiones	79
VI.	Recomendaciones	81
VII.	Referencias bibliográficas	83
VIII.	Anexos	93

Índice de Tablas

	Página
Tabla 1:	Población del Distrito de Puerto Bermúdez en el periodo 2000-2015 39
Tabla 2:	Imágenes Landsat utilizadas 42
Tabla 3:	Clases de cambio asignadas 49
Tabla 4:	Clases de Uso de la Tierra..... 55
Tabla 5:	Modelo de Reclasificación de datos ráster para la imagen del año 2000 59
Tabla 6:	Modelo de reclasificación de datos ráster para las imágenes entre los años del periodo 2001-2010 59
Tabla 7:	Valores resultantes de la aplicación del álgebra de mapas 60
Tabla 8:	Superficie de bosque y actividad antrópica para cada año del periodo 2000-2010 62
Tabla 9:	Clases de cambio 63
Tabla 10:	Resultado de los cambios 2000-2001 64
Tabla 11:	Resultados de los cambios 2000-2002..... 65
Tabla 12:	Resultados de las clases de cambio 2000-2004..... 66
Tabla 13:	Resultado de los cambios 2000-2005 67
Tabla 14:	Resultado de los cambios 2000-2006 68
Tabla 15:	Resultados de los cambios 2000-2007..... 69
Tabla 16:	Resultado de los cambios 2000-2008 70
Tabla 17:	Resultado de los cambios 2000-2009 71
Tabla 18:	Resultado de los cambios 2000-2010 72
Tabla 19:	Tasa de Deforestación correspondiente a cada año del periodo 2000-2010. 73
Tabla 20:	Tasa de cambios para la clase “bosque” correspondiente a cada año dentro del periodo 2000 al 2010..... 74
Tabla 21:	Tabla formato para la aplicación de la Prueba Chi-cuadrado de acuerdo a las clases de cambio obtenidas 75
Tabla 22:	Resultados del análisis estadístico 76

Índice de Figuras

	Página
Figura 1: Mapa de Ubicación de la Micro cuenca del Río Pichis	34
Figura 2: Flujograma de Procesos	44
Figura 3: Esquema del proceso para obtener un mapa de cambios mediante el operador de un álgebra de Mapas.....	48
Figura 4: Procesamiento de una imagen en ERDAS Imagine 9.2.....	53
Figura 5: Interpretación visual mediante Arc Gis 10.1	54
Figura 6: Representación de bosque alto.....	56
Figura 7: Representación de Bosque Secundario Joven	56
Figura 8: Representación de Bosque Secundario Joven/ Agricultura	57
Figura 9: Representación de actividad Agropecuaria	57
Figura 10: Representación de Centro Poblado.....	58
Figura 11: Aplicación de la calculadora raster para la composición del mapa de cambios.....	60
Figura 12: Resultado de la clasificación de cambios 2000-2001.....	64
Figura 13: Resultado de la clasificación de cambios 2000-2002.....	65
Figura 14: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2004.....	66
Figura 15: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2005.....	67
Figura 16: Resultado de la Clasificación de los cambios 2000-2006.....	68
Figura 17: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2007.....	69
Figura 18: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2008.....	70
Figura 19: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2009.....	71
Figura 20: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2010.....	72
Figura 21: Tasa de deforestación anual	73
Figura 22: Mapa de cambios para el periodo 2000-2001	109
Figura 23: Mapa de cambios para el periodo 2000-2002	110
Figura 24: Mapa de cambios para el periodo 2000-2004	111
Figura 25: Mapa de cambios para el periodo 2000-2005	112
Figura 26: Mapa de cambios para el periodo 2000-2006	113
Figura 27: Mapa de cambios para el periodo 2000-2007	114
Figura 28: Mapa de cambio para el periodo 2000-2008	115
Figura 29: Mapa de cambio para el periodo 2000-2009	116

Figura 30: Mapa de cambio para el periodo 2000-2010 117

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1 Distribución de Frecuencias	93
Anexo 2 Mapas de Análisis Multitemporal de Cambios por Periodo.....	109

I. INTRODUCCIÓN

El Perú es un país de bosques. El 57,3 por ciento de su territorio está cubierto por este recurso forestal, con una extensión de 72 millones de ha de bosques, que albergan gran diversidad de especies, siendo el segundo país con la mayor extensión de bosques tropicales en América Latina, y, a escala mundial, se ubica entre los diez países más megadiversos. Estos cumplen un rol importante en la mitigación y adaptación al cambio climático al proveer bienes y servicios ambientales de gran importancia local, regional, nacional e internacional (MINAM 2010).

En la actualidad, la pérdida de cobertura boscosa en el Perú se viene incrementando de manera alarmante. Según el Mapa de deforestación del año 2000, la deforestación para ese año fue de poco más de 7 millones de hectáreas; esta condición ha generado la emisión de ingentes cantidades de carbono liberado a la atmósfera. La migración hacia el bosque, la tala indiscriminada, el comercio de madera ilegal, la instalación de cultivos ilícitos, y el comercio ilegal de fauna silvestre siguen avanzando, aún con los esfuerzos realizados hasta el momento (UNODC-MINAM 2011).

Según datos del MINAM, durante el período 2001 al 2016, el país ha perdido en promedio 123,388 ha de bosques al año. La superficie de bosques húmedos amazónicos remanente en el país en el año 2016 era de 68 733,265 ha. A nivel departamental, la pérdida de bosque húmedo Amazónico en el mismo período se concentra principalmente en los departamentos de Loreto, Ucayali, San Martín, Huánuco y Madre de Dios. Estos cinco departamentos representan el 79 por ciento de la pérdida de bosques (1 561,910 ha) para el periodo 2001-2016 a nivel nacional. No obstante, el Perú debe aún hacer mayores esfuerzos para reducir la deforestación y tratar de cumplir su compromiso con la CMNUCC de “deforestación cero” al año 2021 (MINAM-MINAGRI, s.f).

Entre los factores que conducen a la deforestación se incluyen principalmente: la conversión de bosques y pasturas para cambiar el uso de la tierra con fines agrícolas y pecuarios, a la cual se suman otras actividades como la construcción de infraestructura para el desarrollo urbano

y de comunicaciones, la explotación minera y petrolera, y las plantaciones ilegales de coca, agravadas por el precario régimen de tenencia de tierras (MINAM 2010).

Dichos procesos, usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas. Es por ello, que muchos estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo se encuentran en el centro de atención de la investigación ambiental actual (FAO 2005).

Según Lambin (2001) los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada. Es por ello, que la importancia de realizar un estudio sobre los cambios ocurridos en la cobertura y uso del suelo radica en que la información generada será un instrumento de apoyo en la planeación del desarrollo futuro en la zona de estudio.

Para monitorear dichos cambios, existen diferentes metodologías (clasificación digital, métodos automatizados de imágenes satelitales, etc.), los que incorporan diferentes herramientas tecnológicas de percepción remota orientadas al estudio de los recursos naturales que se han desarrollado en los últimos años. Sin embargo, muchos estudios realizados a nivel nacional que emplean diversas técnicas y métodos, principalmente para la detección del cambio de uso del suelo enfocados en procesos de deforestación con fines de monitoreo de bosques, usan diferentes criterios para definir los periodos utilizados para el análisis de cambios en la cobertura vegetal.

Por ello, el presente estudio busca poder estandarizar dichos periodos, proponiendo un periodo óptimo que ayude a reflejar los cambios en la cobertura boscosa, facilitando la cuantificación y monitoreo de los bosques, enfocado principalmente en la deforestación.

Así, se propone realizar un estudio de sobre el análisis de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal para un periodo de 10 años entre el año 2000 y 2010 en el Valle del Río Pichis, enfocado principalmente a la deforestación, que es causada por la ganadería intensiva, agricultura migratoria y presencia ilícita de cultivos de coca, por lo que tal análisis permitirá conocer y entender las dinámicas de cambios temporales y puedan servir de base a orientar la toma de decisiones el manejo y conservación de estos bosques.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. DEFINICIÓN DE BOSQUE

La FAO (2015) define al bosque como “Tierras que se extiende por más de 0,5 ha dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ”. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano. Dicha definición del bosque, o de las tierras forestales, se basa en la estructura de la formación (porcentaje de cubierta arbórea, altura de las especies leñosas) y su superficie.

Notas explicativas (FAO 2015)

- Los bosques se caracterizan tanto por la presencia de árboles como por la ausencia de otros usos predominantes de la tierra. Los árboles deberían poder alcanzar una altura mínima de 5 metros.
- Incluye las áreas cubiertas de árboles jóvenes que aún no han alcanzado, pero pueden alcanzar, una cubierta de dosel de al menos el 10 por ciento y una altura de 5 metros o más. Incluye también las áreas temporáneamente desprovistas de árboles debido a talas realizadas como parte de prácticas de ordenación forestal o por causas naturales, las cuales se espera se regeneren dentro de 5 años. Condiciones locales pueden, en casos excepcionales, justificar un plazo más largo.
- Incluye caminos forestales, cortafuegos y otras pequeñas áreas abiertas; bosques dentro de los parques nacionales, reservas naturales y otras áreas protegidas tales como las que revisten interés específico medioambiental, científico, histórico, cultural o espiritual.
- Incluye cortinas rompevientos, barreras protectoras y corredores de árboles con una superficie superior a 0,5 ha y más de 20 m de ancho.

- Incluye las áreas de agricultura migratoria abandonadas con una regeneración de árboles que alcanzan, o son capaces de alcanzar, una cubierta de dosel de al menos el 10 por ciento y una altura mínima de 5 metros.
- Incluye las áreas en las zonas de marea cubiertas de manglares, que sean o no clasificadas como área de tierra.
- Incluye las plantaciones de caucho, de alcornoque y de árboles de Navidad.
- Incluye las áreas cubiertas de bambú y palmeras, siempre que éstas alcancen el límite mínimo establecido en cuanto a altura y cubierta de dosel.
- Excluye formaciones de árboles en los sistemas de producción agrícola, tales como plantaciones de frutales, plantaciones de palmas aceiteras, olivares y los sistemas agroforestales con cultivos bajo una cubierta de árboles. Nota: Los sistemas agroforestales como el sistema “Taungya”, en el que se siembran cultivos solamente durante los primeros años de la rotación forestal, se deben clasificar como bosque.

La propuesta final para una definición peruana de bosques para su utilización en proyectos de Uso de la Tierra, Cambio de Uso y Forestería que apliquen al Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto durante el primer periodo de compromiso es: “Tierras con una cubierta de copa arbórea de más del 30 por ciento del área y un área mínima de 0,5 ha. Los árboles deben poder alcanzar una altura mínima de 5 m a su madurez *in situ*” (FONAM 2006).

Por otro lado, el MINAM, define al bosque como el ecosistema natural complejo de seres vivos, microorganismos, vegetales y animales, que se influyen y relacionan al mismo tiempo y se subordinan al ambiente dominante de los árboles; que se extiende por más de 0,5 ha dotadas de árboles de una altura superior a 2 m o de árboles capaces de alcanzar esta altura *in situ*, y una cubierta superior al 10 por ciento (MINAM 2012).

Para el Inventario Nacional Forestal (INF), se define bosque como “Ecosistema predominantemente arbóreo con una cubierta mínima del 10 por ciento en la proyección de las copas de los árboles sobre la superficie del suelo, los árboles son de consistencia leñosa y una altura mínima de 2 m en su estado adulto para Costa y Sierra y 5 m de altura mínima para la Selva Amazónica, en superficies mayores a 0,5 ha y con un ancho mínimo de 20 metros (MINAGRI, MINAM 2016).

2. IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES EN EL PERÚ

Si bien los bosques son muy importantes para la vida en el planeta, para un país como el Perú, con 57 por ciento de su territorio cubierto por ellos, su importancia también compromete el desarrollo económico y social. Ciertamente, los bosques son importantes por los servicios ecosistémicos que proporcionan, dentro de los que destacan los asociados a la captura y almacenamiento de carbono, a la regulación del régimen hídrico y la provisión de agua, así como a albergar la biodiversidad que beneficia a toda la sociedad. Pero los bosques también son importantes como hogar y medio de vida de los pueblos indígenas que los habitan, cuyas costumbres y prácticas, parte de su propia cosmovisión, han contribuido durante milenios a la conservación de estos ecosistemas. La visión, los conocimientos y las prácticas de los pueblos indígenas tienen un altísimo valor, tanto cultural como práctico, para seguir contribuyendo a la conservación de los bosques en beneficio del país entero y, más aún, del planeta (MINAM 2016b).

Asimismo, los bosques son la fuente de diversos productos que hoy en día se encuentran amenazados por la deforestación y la degradación de los bosques. Ello implica que, además de reducir su potencial de aporte al desarrollo, la reducción de esta superficie también contribuye a acelerar el cambio climático, por las emisiones de GEI generadas en su tala y quema para su conversión a otros usos (principalmente agricultura y ganadería). En los últimos quince años (2000-2014), el Perú ha perdido, en promedio, 118 081 ha anuales de bosques. Frente a este panorama, el Perú se ha comprometido ante la Convención Marco de Naciones Unidas ante el Cambio Climático (CMNUCC) a lograr una significativa reducción en deforestación y, por tanto, de las emisiones procedentes de esta fuente, lo cual se ve reflejado actualmente en las denominadas contribuciones nacionales determinadas (iNDC) ante dicha convención internacional (MINAM 2016b).

Por otro lado, debido a los múltiples beneficios que proveen, los bosques son un ecosistema fundamental para la vida humana. Entre los beneficios más inmediatos y visibles que brindan, son los múltiples productos fundamentales para satisfacer necesidades básicas de la humanidad. Ciertamente, los bosques proporcionan alimentos en forma de frutos, numerosas plantas comestibles e incluso carne de monte, pero también proporcionan energía en forma de leña y carbón, además de numerosos productos como maderas, fibras, látex, resinas, gomas, entre otros, que poseen diversos usos en la construcción, la industria y la farmacia (MINAM 2016b).

3. COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

Caracterizar la cobertura terrestre, el uso del suelo de un área, así como sus cambios espacio-temporales en relación con las actividades humanas, es fundamental para entender y predecir la dinámica de los componentes del paisaje. Además, proporciona un marco de referencia para el estudio de la sucesión y la dinámica de los ecosistemas, así como para el diseño de políticas y estrategias de planificación, conservación y manejo sostenible de los recursos naturales (Ojima *et al.* 1994).

Para comprender este tipo de procesos es importante tener clara la diferencia entre términos, así bien la cobertura está referida a aquellas superficies naturales o artificiales que cubren el suelo, que pueden ser de tanto origen natural (bosques, sabanas, lagunas, etc.) como a partir de ambientes creados por el hombre. En cambio, el uso del suelo refleja las acciones de las personas, obteniendo como resultado los asentamientos y actividades productivas que se desarrollan sobre la cobertura del suelo para satisfacer las necesidades antrópicas (cultivos, ciudades, represas, etc.). Las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos y naturales, además de los factores culturales o humanos (FAO 2016a).

El uso del suelo afecta el clima y las precipitaciones porque ejerce una influencia directa sobre la evapotranspiración y los vientos. Los bosques naturales evitan que se sequen las fuentes de agua. La menor humedad relativa actual es un efecto de la creciente deforestación. Las quemas, el sobrepastoreo y la eliminación total de la vegetación arbustiva perjudican la infiltración de agua. Las inundaciones tienden a ser más intensas cuando se da una menor infiltración y evapotranspiración a causa de la deforestación, porque ello causa una mayor escorrentía (Vitousek *et al.* 1997).

Un estudio de la cobertura y uso del suelo supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados, que el hombre practica en una zona o región determinada. Su importancia radica en que, a escala global, regional y local, cambios en el uso del suelo están transformando la cobertura a un paso acelerado. No obstante, los datos cuantitativos: en dónde, cuándo y por qué cada cambio toma lugar globalmente, están aún incompletos, y, algunas veces, estos datos son inexactos (Bocco *et al.* 2001).

4. CAMBIO EN LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

En las últimas décadas, la preocupación sobre la pérdida de la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo. Estos procesos usualmente englobados como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en casi todas las escalas (Bocco *et al.* 2001). De acuerdo con la evaluación de los recursos forestales mundiales realizada por FAO en el 2015, la superficie forestal mundial se redujo 129 millones de ha (un 3,1 por ciento) en el período 1990-2015 hasta quedar por debajo de los 4000 millones de ha (FAO 2016a).

Los primeros estudios proponían que los cambios de uso de suelo, como es la conversión de bosques en campos de cultivo (deforestación) o la destrucción de la vegetación natural por el sobrepastoreo, eran conversiones irreversibles, espacialmente homogéneas y lineales (Lambin *et al.* 2003). Sin embargo, los análisis del cambio de uso del suelo han cambiado de un pensamiento simplista a uno holista, en el cual se integran múltiples causas y complejas interacciones, en donde este cambio es no lineal en términos espaciales y de tiempo (Singh y Khanduri 2010).

En distintas regiones en el mundo se está experimentando un rápido y amplio cambio en su cobertura vegetal, provocando la modificación de la estructura del paisaje, debido principalmente a los efectos de las actividades antropogénicas (Bocco *et al.* 2001), por lo que se reconoce mundialmente la importancia de la comprensión de las dinámicas de cambio de cobertura/uso del suelo y su efecto en la estructura y función de los ecosistemas (Lambin *et al.* 2003).

Tal como señalan Vitousek *et al.* (1997), el uso de la tierra para proveer bienes y servicios representa la principal alteración humana al sistema tierra. Los cambios de cobertura y uso del suelo amenazan muchas veces a la diversidad biológica, contribuyen al cambio climático local, regional y global, degradan el suelo y alteran el funcionamiento y los servicios de los ecosistemas, así como la vulnerabilidad de éstos y de la población humana frente a los cambios climáticos y las perturbaciones naturales y humanas.

Entre las causas o los factores que ocasionan los cambios en la cobertura vegetal, es posible identificar dos tipos de factores: Las causas directas, son aquellas actividades humanas que

hacen uso del suelo, cambiando o manteniendo sus atributos. Entre estas causas podemos citar: la agricultura, la ganadería, la deforestación y la minería; y las causas indirectas, que están normalmente asociadas con las causas directas, y en la mayoría de las veces se encuentran directamente detrás de ellas. Entre estas causas podemos citar: los derechos de propiedad y estructuras de poder, la densidad poblacional y nivel de desarrollo social y económico, la tecnología, las fluctuaciones del mercado y las políticas gubernamentales (Cárdenas 2005).

En ese sentido, Cárdenas (2005), sustenta que todo cambio en la cobertura vegetal para un determinado territorio modifica las propiedades de los ecosistemas más rápido de lo que normalmente ocurriría. Entre algunos de los efectos ambientales del cambio de la cobertura vegetal se tiene: fragmentación del paisaje, remoción e introducción de especies, alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, erosión y elevación de sedimentos en cuerpos de agua, cambios atmosféricos, entre otros.

Según Lambin *et al.*, (2003), una alternativa para la cuantificación y mejorar el entendimiento sobre el cambio de uso/cobertura de suelo, es la percepción remota, ya que nos permite realizar monitoreos y cuantificar a pequeña y a gran escala los cambios ocurridos en la cubierta vegetal debido a las actividades antropogénicas o los generados por eventos naturales. Dicha tecnología consiste en un conjunto de procedimientos de adquisición de información desde una fuente lejana (Marrubio 2004), que ofrece información precisa para calcular el grado del cambio del uso de suelo a través del tiempo.

Este proceso denominado estudio de la dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal o “análisis de cambio de uso/cobertura del suelo” se considera como el más confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica (Velázquez *et al.* 2002), el que constituye una herramienta eficaz para las organizaciones, gobiernos, organismos responsables de un determinado territorio en cuanto al manejo de los recursos naturales (Nájera *et al.*, citado por Von Thaden 2012).

5. DEFORESTACIÓN

La Convención Marco de Naciones Unidas ante el Cambio Climático (CMNUCC), define deforestación como una conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierras no forestales (CMNUCC, 2002) y por otro lado la FAO, lo define como la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción permanente de la cubierta de dosel, por debajo del umbral mínimo del 10 por ciento (FAO 2015).

Asimismo, se entiende por deforestación como la pérdida total de la cobertura forestal a través de la tala y quema de la vegetación, el cambio de uso del suelo hacia otras actividades (agricultura, ganadería o industrias extractivas), o también la instalación de infraestructura, incluyendo carreteras y la creación poblados. De hecho, la pérdida de los bosques en grandes territorios forestales de la Amazonía no solo significa emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, pérdida de biodiversidad y de sustento para los pueblos indígenas, sino que también afecta a la agricultura que ocurre en las áreas anteriormente deforestadas, aun en aquellos casos que la actividad tiene lugar sobre suelos de capacidad de uso mayor agrícola. Ello ocurre porque la reducción de la humedad afecta negativamente la disponibilidad de agua, el incremento de la temperatura expande las plagas y enfermedades, y la ausencia de polinizadores afecta la productividad (MINAM 2016b).

El desarrollo socioeconómico y el proceso de deforestación de la zona de la selva amazónica del Perú se caracterizan por periodos marcados, cuyas causas han sido principalmente las políticas orientadas hacia la explotación de recursos naturales. Hasta antes de 1542, la actividad primaria de los nativos de la selva amazónica fue la caza y la pesca. En las últimas décadas del siglo XIX, la población de la región amazónica creció rápidamente debido a las actividades del caucho; pero especialmente en las tres últimas décadas del siglo XX se presentó un desborde económico y demográfico en la región amazónica peruana. La apertura de redes viales terrestres y la ausencia de una correlación política de ocupación urbana y rural de los espacios han sido parte de las causantes de la deforestación de amplias extensiones de bosques tropicales en la Amazonía peruana (FAO 2001).

En el Perú, la tasa de deforestación de la Amazonia sigue incrementando, al 2016, el país registró una superficie deforestada de 164 662 ha de bosques amazónicos, cifra que representa un incremento del 5.2 por ciento comparado con el año anterior (156 462 ha). En el periodo 2001-2013, se deforestaron alrededor de 1,5 millones de hectáreas de bosque

amazónico – las cuales representan en promedio una pérdida anual de 113 000 hectáreas (MINAGRI, MINAM 2017).

5.1. CAUSAS DIRECTAS DE LA DEFORESTACIÓN

La principal causa directa de la deforestación en la Amazonía peruana es la agricultura migratoria debido a la tumba, la tala y la quema del bosque por parte de los colonos para instalar cultivos y sobrevivir de éstos. Luego que disminuye la fertilidad del suelo, se desplazan a otro sitio para empezar de nuevo con lo mismo (MINAM 2009b).

Otras causas directas son la minería, particularmente la minería ilegal en Madre de Dios y los cultivos ilícitos e ilegales como la coca. Además, existe deforestación por los proyectos de infraestructura como las hidroeléctricas, la explotación de hidrocarburos, las malas prácticas de extracción de madera y la tala ilegal (GGGI *et al.* 2015).

a. Expansión Agropecuaria y Agroindustrial

El bosque además de aportar forraje y madera, tiene efectos positivos sobre el medio ambiente. Sin embargo, gran parte de la tierra habilitada para ganadería y agricultura se hace en base al desmonte masivo e irracional (Pérez-Carrera 2008).

La mayoría de los estudios realizados, indican a la expansión agropecuaria como causa principal de la conversión de bosque a tierras agrícolas y pastos (FAO 2000). La intensificación de los cultivos y las actividades ganaderas han llevado a la conclusión de que la agricultura es un importante factor causante de la deforestación y cambio de uso de los suelos en todo el mundo, así como causante de contaminación no localizada en aguas superficiales y subterráneas (Ignazi, citado por Saldaña 2010).

Según la FAO (2000), la ganadería extensiva ha demostrado tener una alta relación con la deforestación a través del tiempo. Así mismo, las cuencas que presentan mayor actividad humana, principalmente las dedicadas a la ganadería y a la agricultura, evidencian un mayor deterioro de su territorio.

Por otro lado, Pacheco *et al.* (2012) afirma que la expansión de cultivos multipropósito, también usados como biocombustibles, está relacionada directamente con la deforestación en la mayoría de sitios. Estos cultivos a menudo forman parte de inversiones a escala industrial. Además, Guariguata *et al.* (2011), sostiene que con el rápido crecimiento de la producción y consumo de biocombustibles y la proliferación de las decisiones políticas apoyando su

expansión, ha ocasionado que la preocupación por los impactos ambientales y sociales estén en aumento.

b. La Minería

La minería es una actividad a corto plazo, pero con efectos a largo plazo. Cuando se realiza actividades mineras en zonas de bosque constituye una depredación. La minería, junto con la explotación de petróleo, amenaza el 30 por ciento de las últimas extensiones de bosques primarios del mundo (Lillo 2006).

En el Perú, particularmente en Madre de Dios, la minería ilegal aluvial de oro ya ha devastado más de 50 mil ha de bosques, sin contar árboles muertos en pie, lagunas y pantanos destruidos. Además, el gran movimiento de tierras altera los sistemas de drenaje y produce pérdidas de hábitat para innumerables especies. Por otro lado, para extraer y concentrar el oro se utilizan procesos e insumos que producen residuos tóxicos (ej., con contenido de cianuro o mercurio) que contaminan el aire, los suelos y las aguas. Las entidades de fiscalización correspondientes y los Ministerios del Interior, Producción, Transportes y Comunicaciones, como parte de sus funciones y competencias, son los encargados de controlar y supervisar la distribución, transporte, comercialización, posesión y utilización de mercurio o cianuro (MINAM 2013).

Además, el enorme consumo de agua que requiere la actividad minera generalmente reduce la napa freática del lugar, llegando a secar pozos de agua y manantiales. El agua termina contaminada con materiales tóxicos que pueden continuar durante muchos años (Lillo 2006).

Entre los productos químicos peligrosos utilizados en las distintas fases de procesamiento de los metales, como cianuro, ácidos concentrados y compuestos alcalinos, generalmente terminan en el sistema de drenaje. La alteración y contaminación del ciclo hidrológico tiene efectos muy graves que afectan a los ecosistemas cercanos, de manera especialmente agravada a los bosques, y a las personas (Lillo 2006).

c. Apertura de Vías de Comunicación

Entre otros factores que impulsan el avance de la deforestación, la apertura de vías es uno de los catalizadores más importantes, ya que facilitan el acceso a zonas antes aisladas. La evidencia muestra que la intensidad de la deforestación es significativamente alta en la proximidad de ejes viales y fluviales, estos en conjunto explican el 62 por ciento de la deforestación, con el 33 por ciento de las áreas deforestadas en la cercanía de los ríos y el 29 por ciento en la cercanía de carreteras (GGGI *et al.* 2015).

Luego de la apertura de un camino comienza el proceso de extracción de madera y de ocupación de tierras por parte de pequeños productores que practican agricultura de tala y quema. Los buscadores de oro son también un factor de presión en la apertura de caminos. Posteriormente llegan los grandes productores y se intensifica el aprovechamiento de la tierra (Martino 2007).

5.2. CAUSAS INDIRECTAS DE LA DEFORESTACIÓN

De acuerdo a la Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático (ENBCC), las causas indirectas están conformadas por factores estructurales y que son difíciles de localizar puntualmente, pero se pueden señalar sus orígenes y efectos a nivel nacional y regional. La amplia gama de causas indirectas de la deforestación a nivel del bosque amazónico puede clasificarse en los siguientes factores: (i) Factores demográficos, (ii) Factores Económicos (iii) Factores Tecnológicos (iv) Factores políticos /institucionales, (vi) Factores culturales (MINAM 2016a).

a. Factores Demográficos

Principalmente vinculados con el crecimiento poblacional “población presión”, ligado a sus situaciones de pobreza y exclusión social y migración. Existe una creencia generalizada de que el crecimiento de la población (o "presión") es un importante motor de la deforestación, es considerada incluso la causa indirecta principal de deforestación (Wibowo y Byron, 1999; Sandler, 1993; Vanclay, 1993 citado en Geist y Lambin 2002).

Cabe señalar que la Amazonía resulta atractiva para la migración interna debido a la gran cantidad y riqueza de recursos naturales que ofrece, su atractivo paisajístico, además de la percepción de suelos productivos y tierras de fácil acceso. Además, en ella se desarrolla industrias como la explotación y transformación de madera, la extracción de hidrocarburos y de minerales como el oro aluvial (OIM 2015).

b. Factores Económicos

Los factores económicos engloban una serie de condiciones que sumadas entre sí y a otros factores desencadenan procesos de deforestación. Dentro de ellas se puede identificar la baja rentabilidad del bosque frente a otros usos de la tierra (al menos en el corto plazo), lo que ocasiona un costo de oportunidad negativo para el mantenimiento de la cobertura forestal; la ausencia o baja articulación con los mercados de bienes y servicios de los ecosistemas forestales (que hace invisible el valor económico de estos servicios); y, la creciente demanda

de productos de usos de la tierra competitivos con los bosques (como por ejemplo biocombustibles o cultivos industriales). También debe considerarse el financiamiento como un factor económico de alta importancia: la disposición de recursos para inversiones que no conllevan salvaguardas ambientales puede ser un potente inductor de deforestación (MINAM 2016a).

c. Factores Tecnológicos

Según la Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático (ENBCC) los factores tecnológicos se pueden mencionar a: (MINAM 2016a).

- *Bajo rendimiento/rentabilidad/sostenibilidad de la producción agrícola*, la cual es una limitante natural para actividades agropecuarias en limpio, dada por la baja fertilidad del suelo, debido a que el 90 por ciento del suelo de la Amazonía tiene deficiencias en fósforo, potasio y calcio, entre otros y padecen toxicidad por aluminio. Frente a esta limitante, se recurre a la quema de biomasa que ayuda a remediar la fertilidad del suelo amazónico. Sin embargo, las practicas agropecuarias que no armonizan con el mantenimiento de la cobertura forestal, que es la que asegura mantener la fertilidad del suelo, hace que con el tiempo se pierda la capa orgánica del suelo.
- *Escasa asistencia técnica/Tecnología inadecuada*, muchos agricultores practican métodos no sostenibles. Después de unos años de cultivo, la pérdida de fertilidad del suelo y problemas con las malezas les obliga a moverse y crear un claro de bosque en otro lugar.
- *Mecanización de actividades*, donde la actividad más intensiva y con impactos altos en la deforestación es la actividad minera, en la que se extrae el oro depositado en los placeres aluviales siguiendo el proceso de desbosque y quema, lavado del material aurífero, amalgamación del concentrado usando mercurio y finalmente la quema de la amalgama para recuperar el oro.

d. Factores políticos/ institucionales

Entre las causas indirectas más significativas sobre todo en un entorno de gobernanza aún poco fortalecida en el país, se encuentra la falta de claridad de tenencia de tierra; la demanda de los mercados tanto nacional como internacional por productos agrícolas como la palma aceitera, la carne, el café, etc.; la alta migración de la sierra hacia la Amazonia; y en general,

la existencia y establecimiento de incentivos institucionales, legales y financieros que originan el cambio de cobertura forestal a otros usos, especialmente agropecuarios (GGGI *et al.* 2015).

Entre los factores políticos, destacan los enfoques sectoriales no vinculados sin enfoque territorial ni cultural de las políticas públicas y de la gestión de recursos naturales, la falta de articulación en los tres niveles de gobierno, la ausencia de ordenamiento territorial, la limitada capacidad institucional para asegurar el cumplimiento de la ley, el escaso control y sanción de prácticas ilegales; y la imperfecta e incompleta asignación de derechos sobre el patrimonio forestal y tierras agropecuarias (MINAM 2016a).

De igual modo, aunque se reconocen los avances realizados; todavía resulta insuficiente la información disponible para evaluar el estado de conservación de los bosques y para prevenir la deforestación y degradación en estos ecosistemas (MINAM 2016a).

e. Factores Culturales

La población migrante de otras regiones del país carece del conjunto de conocimientos, prácticas y técnicas para vivir del bosque lo que conlleva a cambiar el uso de la tierra a actividades culturalmente más cercanas a su experiencia, como son la ganadería o agricultura. En general, predomina en el país una limitada cultura forestal lo que aumenta la percepción de la actividad forestal como no productiva y por tanto alienta la conversión del bosque a otros usos. La excepción notable son los pueblos indígenas y la población ribereña que viven directamente de los recursos del bosque, que, sin embargo, son percibidos como improductivos por muchos de los migrantes (MINAM 2016a).

5.3. EFECTOS DE LA DEFORESTACIÓN EN LOS BOSQUES

El futuro de los bosques tropicales se ha convertido en una de las grandes preocupaciones de la humanidad, ya que representa el más grande refugio de la diversidad biológica. La forma en que se realizan las más extensivas actividades entrópicas en ella, las cuales implican roza, tala y quema de los bosques, produce un fuerte impacto en el medio ambiente. Esta situación, junto al aumento en la atmosfera de gases antropogénicos de efecto invernadero, trae como consecuencias la distorsión climática y la mayor incidencia de problemas en la salud humana (FAO 2012).

Según Moreno (2013), por la agricultura migratoria se pierden grandes extensiones de biomasa arbórea, lo que coloca en peligro a la biodiversidad acompañante, no sólo por

pérdidas de individuos arbóreos sino también por pérdida de refugios para la fauna silvestre y de servicios ambientales del bosque.

Dependiendo de la intensidad y frecuencia de las perturbaciones, la estructura y composición florística del bosque puede cambiar marcadamente. Los espacios de recolonización de la vegetación serán ocupados por especies pioneras con poca similitud fisonómica y taxonómica con el bosque original (Laurance *et al.* 1998). Por ello es necesario conocer el índice real de la deforestación y la verdadera motivación que lleva a los pobladores a realizar estas actividades.

De acuerdo con el Inventario Nacional Forestal (MINAGRI, MINAM 2016), se estima que, en la Amazonía, la destrucción de los bosques alcanza unas 150 000 ha/año, generalmente por tala y quema para cambio de uso, inadecuada gestión forestal, que altera los ecosistemas y aumenta los riesgos de inundaciones, sequías, incendios y plagas.

Tal es así, que según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (INGEI), del año 2000, el total de emisiones/ remociones de GEI obtenido fue de 120 023 GgCO_{2eq}, donde el sector USCUS (Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura) representa el 63,6 por ciento. En consecuencia, cabe mencionar que en el sector USCUS, contrariamente a lo que puede creerse, la extracción de madera no es la principal causa de destrucción de los bosques, sino la actividad agropecuaria (agricultura migratoria y ganadería), que origina la quema de vastas extensiones de bosques para obtener áreas descubiertas donde cultivar (MINAM 2009).

5.4. CONSECUENCIAS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL

La transformación del paisaje, como consecuencia de las actividades humanas, es un proceso que no solo tiene impactos locales, sino que es uno de los factores más importantes del cambio ambiental global (Turner II 2001).

Los cambios en la cobertura de vegetación tienen consecuencias sobre la erosión de los suelos, los procesos hidrológicos y el movimiento de nutrientes en las cuencas, la pérdida del hábitat y biodiversidad, las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero, y en general, sobre la sustentabilidad de la capacidad productiva del territorio (Murdiyarsa y Wasrin, citado por Saldaña 2010).

a. Cambios en los Ecosistemas

El cambio de la cobertura vegetal natural de un paisaje produce una serie de parches de vegetación remanente rodeados por una matriz de vegetación distinta y/o uso de la tierra. Los efectos primarios de este cambio se reflejan en las alteraciones microclimáticas dentro y alrededor del remanente (parche) y el otro efecto es el aislamiento de cada área con respecto a otras áreas remanentes dentro del paisaje. Es así que, en un paisaje donde ocurre el cambio de la cobertura vegetal natural, existen cambios en el ambiente físico como en el biogeográfico (Saunders *et al.* 1991).

Los cambios de coberturas del suelo, además, pueden activar cambios en el ciclo hidrológico, el cual, a su vez, podría tener implicaciones significativas para los usos del suelo. A escala global, el cambio de coberturas y usos del suelo han demostrado tener un impacto en la circulación atmosférica (Foley *et al.* 1994; Henderson-Sellers, 1990, 1991 y 1993).

Es por ello que los cambios de usos y coberturas del suelo, y el cambio medioambiental global forman un sistema complejo e interactivo que conecta la acción humana del cambio de uso/cobertura con las retroalimentaciones medioambientales mediante sus impactos y respuestas humanas. Además, este sistema puede complicarse más debido a que los procesos ocurren en diferentes escalas espaciales y temporales. (Foley *et al.* 1994; Henderson-Sellers, 1990, 1991 y 1993).

b. Cambio Climático

Con respecto al cambio climático, los bosques tienen una triple relación. Son, al mismo tiempo, parte del problema y parte de la solución, pero al sufrir los efectos de cambio climático también son víctimas. Los bosques constituyen un gran depósito de carbono, sin embargo, en los procesos de cambio de uso del suelo, éste es liberado en la atmósfera contribuyendo a incrementar las condiciones que derivan en el cambio climático. Es por ello que el cambio de uso de bosques, es la principal causa de pérdida de los bosques tropicales, representando un aporte neto del 11 por ciento del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a escala global (MINAM 2016b).

Según FAO (2016b) la mayor parte de las emisiones del país proviene del sector “uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura” (USCUSS), por estar vinculado principalmente en los procesos de deforestación extensiva debido a la ampliación de la frontera agrícola y el desarrollo de actividades pecuarias y de colonización en la selva. A nivel nacional, el monto

de las emisiones de GEI al año 2000 se registró en 47,5 por ciento y para el año 2009 se reportó una reducción a 40,9 por ciento (-6,6 por ciento), según el informe presentado por el Plan CC sobre emisiones totales de GEI. Aun así, este valor sólo representa alrededor del 0,01 por ciento de las emisiones globales; sin embargo, cabe destacar que la tasa de deforestación a nivel nacional está considerada como “baja”, ya que se encuentra en el quinto lugar de los nueve países amazónicos, muy por debajo de Ecuador, Venezuela y por debajo de Brasil y Bolivia.

Actualmente, las reservas de carbono en los bosques tropicales alcanzan 471 000 millones de toneladas; ello es más que todo lo emitido por la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento, una de las industrias con mayor huella de carbono. La liberación de estas reservas a la atmósfera produciría un dramático incremento de gases de efecto invernadero (GEI), hasta niveles que harían imposible impedir que la temperatura media de la tierra exceda los 2 °C a fin de siglo (señalados como límite para evitar consecuencias inmanejables). Los bosques son, por esa misma razón, fundamentales para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto a través de reducir el cambio de uso (y por tanto las emisiones), como por su capacidad de capturar carbono de la atmósfera y almacenarlo en la vegetación y en el suelo. Revertir los procesos de deforestación y potenciar la captura de carbono de los bosques nuevos y maduros, permitiría reducir hasta en 31 por ciento las emisiones netas a escala global. Ciertamente, no será posible alcanzar la meta fijada sin asegurar la conservación de los bosques tropicales (MINAM 2016b).

6. FUNDAMENTOS DE LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL

Chuvienco (1990) señala que la teledetección espacial es aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, ya por emisión propia.

Por otro lado, Arozarena y Fernández (1989), sostienen que la teledetección espacial, es el sistema integral de captura de información territorial (a partir de la radiación electromagnética captada por el sensor) que se emplea cada día con mayor frecuencia para la captura tanto de información temática (medioambiental), como de información topográfica (planimetría). Lo cual ha sido posible gracias al desarrollo que han experimentado, por un lado, las técnicas de tratamiento digital de imágenes, y la obtención de datos significativos del territorio; y por otro, el acceso a la exhaustiva información digital proporcionada por sensores, en su aspecto espacial, radiométrico, espectral y temporal.

El uso de la teledetección a través de imágenes de satélite, facilita la elaboración de mapas temáticos que denotan el estado de los recursos agrícolas y forestales. Con el tratamiento informático de las imágenes satélite se pueden discriminar los tipos de vegetación, su estado y el nivel de protección del suelo. A partir de estos datos es posible obtener la superficie cultivada o arbolada e incluso identificar las especies vegetales (Aulló 2013).

En ese sentido, los datos satelitales permiten recopilar una información coherente a nivel mundial que posteriormente puede ser analizada utilizando los mismos criterios para distintos momentos en el tiempo, de manera que puedan realizarse estimaciones más precisas sobre el cambio. La teledetección no sustituye la necesidad de obtener sólidos datos de campo, pero con la combinación de ambos métodos se consiguen mejores resultados que los que pueden obtenerse utilizando cada uno de los métodos por separado (Gerrand *et al.* 2011).

7. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

7.1. TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES

Según Lillesand y Kiefer (1994), el procedimiento digital de imágenes comprende la manipulación y clasificación de imágenes en forma digital, con la ayuda de un computador. Esta forma de teledetección empezó en la década de 1960, pero no fue hasta el lanzamiento del LANDSAT 1 en 1972 que los datos digitales se encuentran ampliamente disponibles para el estudio de recursos naturales. Con el desarrollo tecnológico, hoy se puede contar con sistemas informatizados eficientes y a bajo costo para la elaboración de estas imágenes cuyas fuentes son varias: satélites, de observación de los recursos de la tierra, satélites meteorológicos, sensores y cámaras de video montadas en aviones entre otros.

Las posibles formas de manipulación de imágenes digitales son literalmente infinitas. Sin embargo, todos estos procedimientos pueden ser categorizados dentro de los siguientes tipos de operaciones apoyadas por un computador (Hilborn 1983; Campbell 1987; Chuvieco 1990).

a. Rectificación y Restauración de la imagen

Por medio de estas operaciones se corrige la imagen distorsionada o degradada para crear una representación más fiel de la escena original (Chuvieco 1990).

b. Ortorectificación

Proceso por el cual los datos de las imágenes satelitales deben prepararse de forma que se elimine la distorsión de las imágenes debido a las variaciones espaciales ocurridas en el proceso de captura de la información e inherentes al movimiento del sensor, y por la necesidad de ajustar la información espacial a un sistema de referencia determinado (Chuvieco 1990).

c. Corrección Radiométrica

Las correcciones radiométricas modifican los niveles digitales originales con el objeto de acercarlos a los que tendrían un caso ideal, sin las distorsiones provocadas por la atmósfera y un mal funcionamiento del sensor (Chuvieco 1990).

d. Corrección Geométrica

Las correcciones geométricas están destinadas, bien a conseguir que las posiciones de los píxeles estén referenciadas cartográficamente y puedan superponerse sobre mapas convencionales, o bien, orientadas a ajustar o más imágenes entre sí, para realizar estudios multitemporales (Chuvieco 1990).

e. Realce de la imagen

Estos procedimientos son aplicados en la imagen para mostrarla o grabar los datos de la imagen de la mejor manera para su posterior interpretación visual. Normalmente el realce de la imagen comprende técnicas para incrementar la diferenciación visual entre distintas características o detalles de la escena (Campbell 1987).

f. Clasificación de imágenes

El objetivo de estas operaciones es reemplazar el análisis visual de las imágenes con técnicas cuantitativas para la automatización de la identificación de características en una escena. Comprende el análisis de datos multiespectrales de la imagen y la aplicación de reglas de decisión basadas en técnicas estadísticas para determinar el tipo de cobertura de la tierra para cada pixel en una imagen. Cuando estas reglas de decisión se usan únicamente en las radiancias espectrales observadas en la imagen, nos referimos al proceso de clasificación como reconocimiento de “patrones espectrales” (Campbell 1987).

g. Etapa de salida o de impresión

La utilidad de cualquier clasificación de imágenes es independiente de la producción de productos de salida que realmente convengan a la información que vaya a ser interpretada por el usuario final. Existen tres formas generales que son comúnmente usadas y que pueden producir gráficos como mapas, cuadros estadísticos y archivos digitales (Hilborn 1983).

7.2. INTERPRETACIÓN VISUAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Según Lillesand y Kiefer (1994), las imágenes de satélite pueden interpretarse mediante un análisis visual o en forma digital. De estas, la interpretación visual de imágenes ha sido por mucho tiempo el caballo de batalla de la teledetección. Las técnicas de interpretación visual, sirven para evaluar cualitativamente patrones espectrales en la imagen, diferenciando tonalidades, texturas, formas entre otras características.

De acuerdo a Novo (1998), la interpretación visual, en el contexto de las técnicas de percepción remota, es el conjunto de conocimientos y procedimientos ejecutados por un individuo con el fin de extraer información de una imagen ópticamente procesada, teniendo como instrumento básico de análisis, sus ojos; los cuales les permiten discriminar objetos de interés entre diferentes objetos presentes en la imagen. Esta fase es atendida por un proceso de elaboración mental, en el cual el individuo relaciona el objeto discriminado y desconocido

con un conjunto de informaciones conocidas, otorgándole un significado temático. Los parámetros evaluados dependen de las características de la imagen de satélite.

Asimismo, la interpretación visual viene siendo utilizada ampliamente para las imágenes de satélite puesto que presentan algunas ventajas, ya que el intérprete puede concentrar su atención sobre la información deseada haciendo abstracción de los datos. Así mismo, el intérprete puede analizar la imagen en su integridad tomando en cuenta además de la tonalidad, la forma y la textura y estructura de los diferentes elementos que componen la imagen, así como su disposición en el espacio. Entre sus desventajas se encuentran la imprecisa y tediosa estimación de las áreas ocupadas por los diferentes temas delimitados por el analista, el complejo proceso de restitución y la necesidad de digitación para conectarse a un SIG (Chuvieco 1990).

El análisis visual incorpora criterios que permiten discriminar categorías cuyo comportamiento espectral es similar, aunque con un significado temático diferente. Digitalmente la distinción de estas categorías sería muy compleja pues sus valores numéricos de reflectancia son parecidos (Chuvieco 1990).

7.2.1. CRITERIOS EMPLEADOS EN LA FOTOINTERPRETACIÓN

Los criterios visuales para la interpretación de imágenes permiten discriminar categorías con un comportamiento espectral parejo, aunque con un significado temático distinto. Entre los principales criterios manejados en teledetección espacial, se consideran los siguientes criterios básicos de la interpretación (Chuvieco 1990):

- *Tono*: Hace referencia a la intensidad de energía registrada por el sensor en una determinada banda. Cada cubierta de usos/ocupación de la tierra tiene determinados tonos, según la banda espectral del satélite que se utilice.
- *Textura*: Esta cualidad hace referencia a la aparente suavidad o rugosidad de determinadas áreas de la imagen y es fruto de la relación entre el tamaño de los objetos representados en la imagen y la resolución espacial del sistema sensor.
- *Forma*: La forma es una de las primeras características discriminantes, usadas cuando se interpreta visualmente una imagen. Las características totales del límite de un objeto, junto con el tamaño de éste, permiten que muchos objetos sean reconocidos.

- *Color*: La composición coloreada de distintas bandas espectrales de una misma escena produce un aumento de la información disponible para poder interpretar una determinada imagen.
- *Situación espacial*: Determinadas cubiertas de interés que pueden ser discriminadas con criterios de interpretación basados en el conocimiento del área de estudio por parte del intérprete. El contexto espacial es imposible de abordar por técnicas digitales y permite afinar los resultados de cualquier tipo de interpretación.
- *Otros criterios*: El reconocimiento de patrones espaciales, formas y contornos de elementos presentes en la imagen fruto de la ocupación antrópica del territorio, así como elementos propios de la fecha de adquisición de las imágenes como son el conocimiento de la fenología del área de estudio y las sombras de la imagen.

7.3. EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES

Según Figallo (1997), las imágenes son efectivas en la manipulación de la vegetación porque permiten que un gran volumen de información referente a las características de sitio y fisonomía de la vegetación, sea interpretado en corto tiempo. Así mismo, menciona que debido a que la calidad y accesibilidad de las imágenes están mejorando, pueden esperarse muchos adelantos en el conocimiento de la vegetación, basados tanto en las imágenes como en trabajos de campo.

Las imágenes de satélite tienen la ventaja de que abarcan una zona mucho más amplia que las imágenes aéreas, permitiendo realizar estudios territoriales a bajo coste, siempre y cuando se sometan a tratamiento de corrección procedentes de sensores para la extracción de información específica a los fines requeridos, topográficos y temáticos (Arozarena y Fernández 1989).

Debido a la existencia de múltiples opciones de imágenes, con diferentes resoluciones espaciales, espectrales y temporales es posible realizar análisis multi-temporales que nos permiten detectar cambios entre dos fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el paisaje. Esta evolución del paisaje constituye un sistema dinámico de alta complejidad, por lo cual su estudio ha resultado ser de

mayor importancia para entender los procesos inmersos en estos cambios (Rovira y Lavanderos 2008).

7.3.1. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE CAMBIOS DE COBERTURA DE BOSQUE (DEFORESTACIÓN) EN EL PERÚ UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES

El uso de imágenes de satélite y fotografías aéreas para el análisis de la deforestación por medio de la teledetección, es uno de los métodos de evaluación más precisos, los cuales a nivel nacional han sido aplicados en muchos casos (Dourojeanni 1990).

A nivel nacional, el primer Mapa Forestal del Perú (Malleux 1975) fue un trabajo que presentó información sobre la cubierta forestal del país, incluyendo el cambio de cobertura de bosques. Este mapa estimó que 4 500 000 ha se deforestaron por la agricultura migratoria, en especial en la Ceja de Selva del Perú. En esa ocasión se calculó una tasa de deforestación de 150 000 ha/año.

Dancé (1981), realizó un monitoreo continuo de los procesos de deforestación en la Amazonia peruana en donde estimó una superficie deforestada total de 5 122 200 ha y una tasa de deforestación de 254 000 ha/año para el año 1980 y estimó que para el año 2000, la deforestación alcanzaría 11 000 000 de ha con una tasa de deforestación alrededor de 339 000 ha/año.

En 1995, INRENA elaboró el segundo Mapa Forestal del Perú, en donde se estimó que la superficie deforestada del Perú al año 1990 abarcó un área aproximada de 6 948 237 ha (5,4 por ciento del territorio nacional) ubicadas principalmente en las partes inferiores y medias de los bosques de montañas de los departamentos de Cajamarca, Amazonas, San Martín, Huánuco, Pasco y Junín (Selva Alta) y en las terrazas y colinas bajas de los departamentos de Loreto y Ucayali (Selva Baja). La tasa de deforestación estimada fue de 261 158 ha/año, siendo los departamentos de San Martín, Loreto y Amazonas los de mayor tasa de deforestación con 57 521 ha/año, 54 712 ha/año y 37 812 ha/año respectivamente (INRENA 1996).

Finalmente, de acuerdo con el Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana elaborado en el año 2000, la superficie deforestada en la Amazonía peruana al año 2000 fue de 7 172 554 ha principalmente debido a la agricultura migratoria. Los departamentos que presentaron

mayor superficie deforestada en la región de la Selva fueron: San Martín (1 327 688,52 ha), Amazonas (1 001 467,16 ha) y Loreto (945 590,61 ha) (MINAM 2009).

A nivel local, Rubín de Celis y Barrena (2003) emplearon imágenes satelitales Landsat TM para realizar un análisis temporal del cambio de la actividad antrópica en la Reserva Nacional Pacaya –Samiria. En dicho estudio se determinó que el área antrópica, para el año 1987, fue de 79 130,70 ha y, para el año 2001, fue de 102 513,96 ha, notándose una variación de 23 383,26 ha.

En el año 2003 la Oficina de Programa Perú de la WWF (World Wildlife Fund) determinó que para el núcleo de colonización Tournavista (Puerto Castigo), así como el tramo carretero entre Tournavista y Campo Verde, que aproximadamente 50 000 ha habían sido desboscadas y degradadas hasta el año 2000 (WWF 2003).

Por otro lado, el Centro de Datos para la Conservación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (CDC-UNALM), elaboró el Análisis y modelación espacio-temporal del paisaje en las áreas de intervención del Programa de Desarrollo Alternativo (PDA). Este estudio, realizado mediante clasificaciones supervisadas de imágenes de satélite, encontraron para la cuenca del río Huallaga, 541 661 ha deforestadas al año 1986, 513 220 ha para 1996 y 804 449 ha para el año 2001. Para la cuenca de los ríos Aguaytía- Pachitea encontraron 381 408 ha deforestadas en 1986, 450 706 ha para 1996 y 669 784 ha para el año 2001. Y para la cuenca del río Apurímac encontraron 358 768 ha deforestadas en 1986, 307 115 ha para 1996 y 452 263 ha para el año 2001 (CDC- UNALM 2004).

Posteriormente, Barrena *et al.*, (2014) elaboró un estudio sobre el Monitoreo de la Deforestación por Monocultivos Agroindustriales en la Amazonia Peruana, el cual estimó una superficie deforestada por cultivos agroindustriales de 14 765 ha para el distrito de Nueva Requena (Ucayali) durante el periodo 2010-2013, en cambio para el distrito Fernando de Lores (Loreto) se estimó una superficie deforestada 6 186 ha para el periodo 2006-2013.

En consecuencia, dichos estudios reflejan que, desde los inicios hasta la actualidad, que las evaluaciones de la deforestación, y por consiguiente las tasas de deforestación han sido calculadas siguiendo diversas metodologías (escala, resolución, técnicas de análisis clases temáticas) que hoy por hoy muchas de ellas no pueden ser comparables. A su vez, vale la pena señalar que a nivel continental y global existen diversos estudios que buscan evaluar el cambio

de la cobertura de la tierra y la deforestación mediante el uso de las imágenes de satélite, pero que de igual manera aplican imágenes y metodologías diferentes (Barrena *et al.*2014).

8. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Según Moldes (1995) un SIG es un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permiten la gestión de datos organizados en base de datos, referenciados espacialmente y que pueden ser visualizados mediante mapas.

Cabe aclarar que no se trata sólo de un sistema de software, ya que según la NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) define a un SIG como un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión (NCGIA 1990).

En consecuencia, los SIG son sistemas que permiten la captura, ingreso, almacenamiento y análisis de datos geográficos, así como la presentación de la información resultante. El objetivo central de un SIG es generar información válida para la toma de decisiones. En este sentido, los tomadores de decisiones y los generadores de información deben ser una parte integrante del SIG; de lo contrario, el sistema no cumple con su cometido principal (Rosete y Bocco 2003).

Por otro lado, los SIG son importantes porque integran información espacial y no espacial en un sistema simple, ofreciendo un marco consistente para el análisis de los datos geográficos. El objetivo general de los SIG es generar información válida para la toma de decisiones. Los objetivos específicos son manejar bases de datos grandes y heterogéneas referenciadas geográficamente, interrogar a las bases de datos sobre la existencia de ciertos fenómenos (qué sucede, en dónde y cuándo), permitir la interacción en forma flexible del sistema y el intérprete, incrementar el conocimiento sobre el fenómeno estudiado e implementar modelos sobre su comportamiento (Rosete y Bocco 2003).

8.1. MÓDULOS DE UN SIG

Según Chuvieco (1990), la mayor parte de los SIG incluyen los siguientes módulos:

a. Entrada de Datos:

Para que pueda efectuarse un análisis integrado de variables es preciso que todas ellas sean plenamente compatibles. Esto significa que cuando se alojen en el mismo soporte (digital), con el mismo formato y sujetas a un sistema de referencia común. Por ello, la función más crucial de un SIG se encarga la entrada y transformación de datos, para que todos ellos resulten coherentes con la base de referencia seleccionada para el proyecto.

b. Almacenamiento y Organización de datos:

Una vez convertida a formato digital, se precisa que la información se disponga de una forma coherente, de tal modo que se facilite su almacenamiento, consulta y actualización. La mayor parte de los expertos, distinguen dos tipos de estructuras de almacenamiento:

- Vectorial: Este formato es más conveniente para el almacenamiento, puesto que cada unidad se define por sus límites y no por todas las cuadrículas que engloba.
- Raster: Este formato resulta más conveniente para realizar análisis espaciales: proximidad, rutas óptimas, superposición de mapas, etc; puesto que cada unidad espacial está definida explícitamente.

c. Análisis Espacial de la Información:

Incluye cualquier operación que transforme las variables originales para un objetivo determinado. Las posibilidades son muy amplias: señalar corredores en torno a un polígono o línea; trazar la ruta óptima entre varios puntos; generar modelos digitales del terreno; calcular distancias, áreas, perímetros; superponer de formas diversas dos o más mapas (unión, intersección), etc. Todo este vasto abanico de posibilidades constituye una de las principales novedades de un SIG frente herramientas analíticas convencionales. La capacidad de cálculo de un ordenador permite abordar operaciones muy complejas o inaccesibles manualmente.

d. Representación Visual:

Un SIG permite aprovechar los numerosos periféricos de representación gráfica accesibles a un ordenador, facilitando la obtención de resultados en un formato de considerable calidad.

8.2. PRINCIPALES APLICACIONES DE ANALISIS ESPACIAL

Según Bosque (1992) el módulo de Análisis Espacial es el elemento más característico de un Sistema de Información Geográfica, ya que facilita el procesamiento de los datos integrados

en él, de modo que sea posible obtener mayor información, y con ella mayor conocimiento del que inicialmente se disponía.

El análisis de los datos geográficos es una de las tareas fundamentales, sin las cuales el concepto de SIG no alcanza su verdadero significado. La información que se maneja en un SIG es a su vez una fuente de nueva información, y sólo a través de su análisis se puede obtener esta última y sacar partido de ella. Además, los datos espaciales contienen mucha más información de la que a primera vista nos muestran, debido a que todo dato espacial es el resultado de un proceso localizado espacialmente, el cual podemos conocer en mayor medida si sabemos leer la información subyacente que dicho dato contiene (Olaya 2014).

Las aplicaciones en el medio ambiente representan el conjunto de casos donde el uso de los SIG es más frecuente y se encuentra más extendido. Cuando se plantea un problema en el que se necesita con urgencia información cruzada, o un análisis multivariable, que respalde la toma de decisiones para una correcta gestión ambiental o para evaluar el impacto ambiental; es el momento en el que tomamos conciencia de la real necesidad de tener una visión global o integradora de los factores o elementos intervinientes en un área de interés (FAO 1999).

Según Olaya (2014), los siguientes son algunos de los principales procesos que se pueden realizar mediante un análisis espacial en un SIG:

- Consulta espacial: Es el análisis más simple que contienen los datos espaciales. Es un tipo de análisis básico que se usa con cartografía clásica, y proporciona información inmediata a partir de una simple observación de los datos.
- Análisis topológico: Es un tipo de consulta hecha a las capas de datos espaciales que pueden tener relación no sólo con su posición, sino también con otros elementos de la misma capa.
- Medición: Es la existencia de una referencia espacial para cada uno de los elementos con los que trabajamos en el análisis dentro de un SIG, que hace que podamos cuantificar otra serie de parámetros también espaciales.
- Combinación: Es uno de los procedimientos más habituales y más característicos dentro del uso de un SIG. También conocido como superposición de varias capas de información. La propia estructura de la información geográfica en capas facilita

notablemente este procedimiento y convierte a los SIG en plataformas ideales para llevar a cabo análisis donde se combina información sobre diversas variables.

- Transformaciones: Se puede englobar dentro de este grupo una amplia serie de procedimientos que modifican los elementos de entrada de diversas formas. Por ejemplo, uno de los procedimientos más frecuentes dentro de un SIG es la creación de áreas de influencia. Este tipo de operaciones de análisis convierte los distintos elementos geográficos en áreas que reflejan la influencia de dicho elemento en base a parámetros tales como distancias o costes.
- Análisis de superficies: Es uno de los procesos más potentes de un SIG. Incluyen desde parámetros básicos como la pendiente o la orientación hasta parámetros morfométricos muy específicos, pasando por todas las herramientas del análisis hidrológico.
- Estadística descriptiva: Los elementos de la estadística clásica tienen equivalentes en los datos espaciales, los que permiten calificar cuantitativamente los datos. Aquí se incluyen a los descriptores de centralidad y dispersión, de dependencia espacial o el estudio de patrones espaciales, entre otros muchos.
- Inferencia: Otro análisis estadístico de gran importancia en los SIG, ya que permite inferir comportamientos de las distintas variables y estudiar, por ejemplo, la forma en que estas van a evolucionar a lo largo del tiempo.
- Toma de decisiones y optimización: La realización de actividades en el medio tiene un obvio componente espacial. Son muchos los parámetros que se influyen en ellas, y en función de éstos, dichas actividades se desarrollarán de una forma u otra.
- Modelización: Es la creación de modelos espaciales dentro de un SIG. No obstante, existe un gran número de modelos en los más diversos campos, y la arquitectura de datos y procesos de los SIG que es propicia para la implementación de otros nuevos.

8.3. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS Y LA DETECCIÓN DE CAMBIOS

Para crear una imagen de detección de cambios se aplican algoritmos especiales a dos imágenes de satélite de la misma zona, tomadas en momentos distintos. El ordenador examina todos y cada uno de los píxeles de las dos escenas para determinar qué valores de píxel ha

cambiado. En la mayoría de los casos, el área modificada se muestra en color. Este procedimiento se utiliza habitualmente para cartografiar automáticamente extensas zonas e identificar cambios como nuevos edificios, carreteras, urbanizaciones, también desastres naturales como inundaciones, aluviones, entre otros. De este modo se identifican también cambios radicales, como la transformación de bosques en zonas de cultivo o zonas desertificadas (Eastman 2001).

Según Lu *et al.* (2004), los métodos o técnicas para detectar cambios en la cobertura vegetal que estén ligados a un cambio en la reflectividad o en las texturas de la imagen, se incluyen a: 1) álgebra de mapas; 2) transformaciones matemáticas; 3) post-clasificación; y 4) modelación (evaluación multicriterio).

8.3.1. ÁLGEBRA DE MAPAS

El álgebra de mapas es el conjunto de procedimientos y métodos que permiten analizar y extraer nuevos valores a partir de los contenidos en una o varias capas. La información contenida en las capas es susceptible de ser analizada para la obtención de otras capas referentes al mismo espacio geográfico, pero que contengan distinta información derivada de aquella (Olaya 2014).

Eastman (2001) define al Álgebra de mapas como el segundo conjunto de herramientas que generalmente proporciona un SIG al combinar capas de mapas matemáticamente. Este modelamiento en particular necesita la capacidad de combinar capas de acuerdo a varias ecuaciones matemáticas. Por ejemplo, podríamos tener una ecuación que predice la temperatura media anual como resultado de la altitud; o, como otro ejemplo, considerar la posibilidad de crear un mapa potencial de erosión del suelo basado en factores de erosionabilidad del suelo, gradiente de la pendiente e intensidad de la lluvia.

Claramente este proceso necesita la capacidad de modificar los valores de los datos en las capas de mapas mediante varias operaciones y transformaciones matemáticas para combinar los factores matemáticamente y así producir el resultado final (Eastman 2001).

Las herramientas del Álgebra de Mapas proporcionarán tres tipos diferentes de operaciones (Eastman 2001):

- La capacidad de modificar matemáticamente los valores de datos de atributos por una constante (es decir, aritmética escalar);

- la capacidad de transformar matemáticamente valores de datos de atributos mediante una operación estándar (como la trigonométrica) funciones, transformaciones de registro, etc.);
- la capacidad de combinar matemáticamente (como agregar, restar, multiplicar, dividir) diferentes capas de datos para producir un resultado compuesto. Esta tercera operación es simplemente otra forma de superposición matemática, a diferencia de la superposición lógica de la base de datos consulta.

En términos generales, el álgebra de mapas proporciona las herramientas necesarias para analizar capas ráster y obtener de ellas resultados derivados. Bien sea a partir de una capa, de dos, o de una batería de ellas, las funciones del álgebra de mapas definen un marco formal de procesos dentro del cual se pueden desarrollar los más diversos análisis (Olaya 2014).

En términos generales, el álgebra de mapas proporciona las herramientas necesarias para analizar capas ráster y obtener de ellas resultados derivados. Bien sea a partir de una capa, de dos, o de una batería de ellas, las funciones del álgebra de mapas definen un marco formal de procesos dentro del cual se pueden desarrollar los más diversos análisis (Olaya 2014).

8.4. PRUEBA DE CHI CUADRADO

Según Calzada (1970), la prueba de Chi Cuadrado es una prueba de significación de hipótesis apropiada a estudios relacionados con datos discretos, clasificados en categorías y presentados en forma de frecuencias. Puede usarse la distribución normal para determinar si hay diferencia significativa entre frecuencia observada y frecuencia esperada. Pero en el caso de dos o más acontecimientos, digamos k acontecimientos que pueden ocurrir, entonces la distribución no es posible aplicarla para probar si hay diferencias significativas entre frecuencias observadas y esperadas. Si se considera más de dos acontecimientos debe buscarse una nueva forma de medir la discrepancia entre frecuencias observadas ($o_1, o_2, o_3, \dots, o_k$) y las frecuencias esperadas ($e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$)

La distribución Chi Cuadrado, no solo sirve para establecer límites de confianza, sino que también se utiliza para determinar si la varianza de una población es mayor, menor o igual a un valor dado (Calzada 1970).

Calzada (1970), argumenta que un requisito que debe cumplirse para que Chi Cuadrado sea válido, es que las observaciones individuales que forman la frecuencia de una categoría deben ser independientes unas de otras. Otra limitación es que no debe haber más del 20 por ciento de frecuencias esperadas que tengan menos de 6 datos, la prueba de Chi Cuadrado es más efectiva cuando las frecuencias esperadas son relativamente grandes.

Para determinar la verdadera proporción de una población se debe considerar a la población entera, sin embargo, en la práctica esto es casi imposible, por eso se valen de una muestra “n”, que brinda la proporción de la muestra y con esos datos se puede determinar los límites dentro de los cuales se encuentra la proporción “p” de la población con solo 5 por ciento a 1 por ciento de probabilidades de que no sea así, de acuerdo al nivel elegido. Es decir, la prueba de Chi Cuadrado determina si las frecuencias observadas en un estudio de proporciones, se ajustan a la proporción establecida de acuerdo a una hipótesis (Calzada 1970).

8.4.1. EL ESTADÍSTICO CHI CUADRADO

La fórmula del estadístico de Pearson (1900) es la siguiente:

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

k= Número de proporciones o número de parámetros estimados para la muestra.

O= Número de observaciones en la enésima clase o número de frecuencia observadas.

E= Número de observaciones en la enésima clase o número de frecuencia esperadas.

Según esta fórmula, cuando mayor proximidad hay entre frecuencias observadas y las esperadas, tanto más pequeño será el valor de Chi Cuadrado. Para que $X^2 = 0$, debe haber una concordancia entre frecuencias observadas y esperadas (Calzada 1970).

Es decir, si el valor de Chi Cuadrado da cero, indica que las frecuencias observadas son exactamente iguales a las frecuencias esperadas. Si el valor es diferente de cero, entonces este valor obtenido refleja, que hay diferencia entre los valores observados y los valores esperados. Es importante mencionar que este valor es comparado con otro estadístico de Chi Cuadrado,

que se determina cuando se calculan los grados de libertad y se tiene el nivel de significancia escogido; este valor es buscado en la Tabla de distribución Chi Cuadrado, correspondiente al extremo derecho y así se determina si se rechaza la hipótesis nula o se acepta (Calzada 1970).

8.4.2. PROPIEDADES DE LA CURVA DE DISTRIBUCIÓN CHI CUADRADO

Según Chao (1973) la prueba de Chi Cuadrado, denotada por la letra griega X^2 , es una prueba para probar la hipótesis concerniente a la diferencia entre un conjunto de frecuencias observadas de una muestra y un conjunto correspondientes de las secuencias teóricas o esperadas.

Algunas propiedades importantes de las curvas de la distribución Chi cuadrado ó X^2 , son como siguen (Chao 1973):

- La moda de cada distribución, es igual al grado de libertad menos dos, es decir, moda = $(gl)-2$ en la escala de X^2 , donde el grado de libertad (gl) debe ser igual o mayor que 2. Por ejemplo, el máximo valor de Y, para la curva o distribución de Chi Cuadrado, con un grado de libertad $gl=5$; es donde la moda está en el punto de $X^2=3$, es decir, la moda en la escala de X^2 es igual $(5-2) =3$.
- El área total bajo cada curva es 1 o 100 por ciento. La mediana es una distribución X^2 , divide el área de la curva en dos partes iguales, siendo cada parte 0,5 o 50 por ciento. La media de una distribución X^2 , es igual al número de grados de libertad.
- Las curvas muestran una aproximación bastante rápida hacia la simetría, cuando el número de grados de libertad aumenta.
- El valor del Chi Cuadrado es obtenido de números al cuadrado. Por lo tanto, nunca puede ser negativo. El valor más pequeño posible para Chi Cuadrado es 0, y el mayor valor posible es el infinito.
- Si $X^2=0$, las frecuencias observadas concordarán exactamente con las frecuencias teóricas o esperadas. Mientras mayor es el valor de X^2 , mayor es la diferencia entre las frecuencias teóricas y esperadas. Al probar una hipótesis mediante el uso de la

distribución X^2 , se puede determinar si las diferencias entre los conjuntos de frecuencias son significativas, o si las diferencias son demasiados grandes para ser atribuibles a fluctuaciones de las muestras.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

1.1. UBICACIÓN

El ámbito de estudio abarca el Valle del Pichis, el cual tiene una extensión aproximada de 204 377 ha, y está ubicado en el distrito de Puerto Bermúdez, en la zona oriental de la provincia de Oxapampa, departamento de Pasco (DEVIDA 2003). La zona comprende la parte periférica de la selva central como espacio regional y la cuenca se encuentra situada entre dos áreas protegidas: el Bosque de Protección San Matías-San Carlos, hacia el flanco occidental, y la Reserva Comunal del Sira, hacia el flanco oriental (Santillana 2005).

El valle del río Pichis tiene unos 180 km de largo y unos 60 km de ancho discurriendo de sur a norte; Puerto Bermúdez, la capital del distrito está situada en el centro del valle sobre la margen izquierda (Santillana 2005).

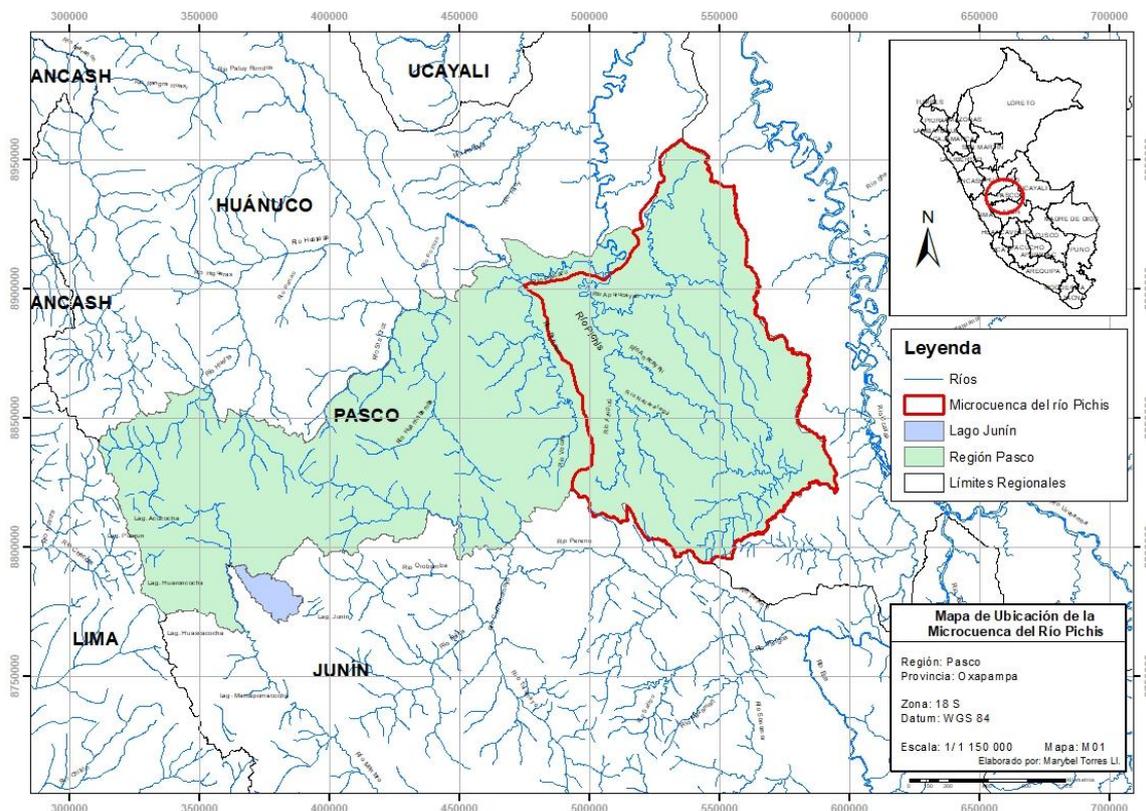


Figura 1: Mapa de Ubicación de la Microcuenca del Río Pichis

FUENTE: Elaborado en base a la información cartográfica del INEI (2003)

1.2. FISIOGRAFIA

El valle del río Pichis presenta una fisiografía poco accidentada. Existen áreas bastante planas con relieve hasta del tipo de colinas moderadas, con pendientes en el terreno que van desde 5° a 25° (CI 2008).

1.3. HIDROGRAFIA

La cuenca del río Pichis tiene un área de drenaje de 10 306 km², y se origina de la confluencia de los ríos Azupizú, Nazarategui y Neguachi. Durante su recorrido, antes de vaciar sus aguas en el río Pachitea, recibe sobre su margen derecha a los ríos Anacayali y Apurucayali. Sus nacientes se ubican en las partes altas de la vertiente oriental de la cordillera San Matías, cuyas aguas forman el río Azupizu, y en la vertiente sur-occidental de la cordillera El Sira, cuyas aguas son drenadas por el río Neguachi (SENAMHI 2014).

La cuenca del Pichis tiene 5 importantes micro-cuencas de ocupación Ashaninka, la cuenca del Apurucayali cuyas aguas desembocan en la parte baja del río Pichis, la micro cuenca del Nazarategui que desemboca en la parte media del río Pichis, la micro cuenca Neguachi, Nazarategui y Azupizu que desemboca en la parte alta del río y dan origen al río Pichis (Santillana 2005). Además, cabe señalar que el río Pichis junto al río Palcazú da origen al río Pachitea, que a su vez desemboca en el río Ucayali (CI 2008).

1.4. CLIMA

El Valle del Pichis se encuentra entre los 320 m.s.n.m. hasta los 800 m.s.n.m., cuya vegetación predominante es arbórea, las que conforman grandes masas boscosas. El clima se caracteriza por presentar precipitaciones totales anuales entre 3 000 y 3 500 mm/año. Las épocas lluviosas con mayor intensidad se presentan en los meses de noviembre hasta abril, presentándose una temporada con lluvias escasas entre los meses de julio a septiembre (estiaje). El rango de temperatura varía entre 23° y 27°C, en donde predomina la formación ecológica de zona de vida bosque húmedo – Tropical (bh-T) (CI 2008).

1.5. BOSQUES Y RECURSOS FORESTALES

La formación forestal predominante en el Valle del Río Pichis es el bosque muy húmedo subtropical, cuyos bosques naturales se caracterizan por presentar una exuberante vegetación con predominancia de especies forestales y otros vegetales del sotobosque, con una alta humedad relativa y una gran biodiversidad de plantas, animales e insectos (CI 2008).

La biodiversidad de la cuenca del río Pichis Palcazú es muy alta tanto en flora como en fauna, de ellos podemos citar las especies más conocidas y las más preciadas. Entre las especies forestales: Cedro (*Cedrela odorata*), Caoba (*Swietenia macrophylla*), Tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), Alcanfor (*Ocotea sp*), Cumala (*Virola surinamensis*), Capirona (*Calycophyllum spruceanum*), Copaiba (*Copaifera officinalis*), Bolaina (*Guazuma spp*), Moena (*Nectandra sp*); diversas especies del género inga (shimbillo, paca, guaba) palo balsa o topa o poroto (*Ochroma sp*), Cetico (*Cecropia sp*), Diablo fuerte (*Prumnopitys harmsiana*), Leche caspi (*Couma macrocarpa*), Lagarto caspi (*Calophyllum brasiliense*), Mashonaste o Tupay (*Clarisia racemosa*), Pashaco (*Schizolobium sp*) y muchas especies de palmeras, como Shapaja (*Scheelea sp*), Pona (*Socratea sp*), Huicungo (*Astrocaryum sp*), Aguaje (*Mauritia flexuosa*), Yarina (*Phytelephas macrocarpa*), Pijuayo (*Bactris gasipaes*), Ungurahui (*Oenocarpus bataua var. bataua*), entre otras (Santillana 2005).

Con respecto a la fauna, el cual es un recurso natural muy escaso que está en vía de extinción debido a la caza excesiva de las comunidades nativas que lo realizan con fines comerciales y autoconsumo, podemos citar los siguientes: Añuje (*Dasyprocta sp*), Majaz (*Agouti paca*), Sajino (*Tayassu tajacu*), Venado (*Mazama americana*), Armadillo (*Dasyopus novemcinctus*), Ronsoco (*Hydrochaeris sp*), Otorongo (*Panthera onca*), Tigrillo (*Felis pardalis*); etc (Santillana 2005).

Entre las aves: Paujil (*Mitu mitu*), Gallito de las Rocas (*Rupicola peruviana*), Halcón (*falco sp*), Puca cunga (*Penélope jacquacu*), Loro (*Brotogeris sp*), Tucán (*Ramphastos sp*) etc. y entre los reptiles: Iguana (*Tupinanbis nigropunctatus*), Taricaya (*Podocnemis unifilis*), Motelo (*Chelonoidis denticulata*), Caimán blanco (*Caiman crocodilus*), Jergón (*Bothrops atrox*), Loro machaco (*Bothrops bilineatus*), Shushupe (*Lachesis muta*) como las más representativas (Santillana 2005).

1.6. ASPECTOS SOCIALES

a. Reseña Histórica

La colonización del valle del Río Pichis, al igual que el resto de la selva central, se realizó en forma desordenada con implicaciones negativas para el desarrollo social, económico y ambiental. En diferentes épocas se llevaron a cabo ocupaciones que incentivaron la explotación intensiva de la tierra y que alentó la explotación de los bosques nativos. La ganadería bovina, por el contrario, es la actividad productiva que registra en la zona un relativo éxito, si no se toma en cuenta los costos externos relacionados a la actividad. (UNODC-MINAM 2011).

Entre 1645 y 1649, se produce la colonización española en esa región ganada ya por los misioneros. A partir del año 1742 se produce el decaimiento de las misiones franciscanas a causa del levantamiento indigenista de Juan Santos Atahualpa, las que sin embargo se reinician en 1881 con nuevas misiones cerca de Chanchamayo y Cerro de la Sal (Valladares 2010).

Entre 1942 y 1946, y como efecto de la segunda guerra mundial, los mercados de caucho se orientaron hacia América Latina, y Puerto Bermúdez era una de las zonas más abundantes en gomas. Desde 1930, aproximadamente ya existían varias familias que se dedicaban a la extracción de látex para producción de caucho de esta zona del Pichis, y cuya comercialización se canalizaba a través del Banco Agrario (Valladares 2010).

Sin embargo, en 1976 se detuvieron las ventas de caucho, porque aparentemente había mucha adulteración en la calidad del producto. Con la crisis del caucho y el levantamiento Asháninkas, la región del Pichis decayó, lo que originó que recién años después, retornaran a las orillas de los grandes ríos y algunos colonos se asentaran, los que terminaron sustituyendo el negocio del caucho por el de la madera, agricultura, pieles y algodón (Valladares 2010). Así en 1980 se crea el Proyecto Especial Pichis Palcazú (PEPP), para impulsar el desarrollo de la selva central con programas multi-sectoriales, con el objetivo de aprovechar los recursos naturales de la zona de manera sostenida y de preservar el ecosistema (UNODC-MINAM 2011).

Por otro lado, el cultivo de coca marcó su presencia en los valles entre los años 1988 y 1989; y en 1991, Pichis-Palcazú se convierte en uno de los principales focos cocaleros articulados al narcotráfico. Sumado a ello, la violencia subversiva en la zona, desatada por el Movimiento Revolucionario Túpac Amaru (MRTA) y Sendero Luminoso (SL), cuyas incursiones propiciaron el abandono de los predios grandes y medianos, generando una crisis social agudizada entre 1987 y 1995; debido a que los pequeños agricultores sólo tenían la capacidad de generar cultivos de subsistencia. Aun así, a raíz del destierro de los grupos terroristas en la zona, la actividad ganadera comenzó a ocupar cada vez más espacios, deforestando bosque primario para la instalación de pasturas poco eficientes que degradaron gran parte del ecosistema y que han contribuido a la emisión de gases de efecto invernadero (UNODC-MINAM 2011).

Años más tarde, en 1999 se desarrolló un Proyecto promovido por UNODC, de caucho silvestre con el que se apoyó técnicamente a diez comunidades indígenas asentadas a lo largo de la carretera, entre Puerto Bermúdez y Constitución. Con la promoción del caucho silvestre se logró la participación financiera de nuevas instituciones como el Programa de Desarrollo Alternativo en las Áreas de Pozuzo y Palcazú (PRODAPP) y a la Unidad Especial PL-480 del Ministerio de Economía y Finanzas. Además, desde el año 2002, PRODAPP implementa proyectos de desarrollo productivo (pecuario y agrícola), ambiental, con apoyo institucional e infraestructura para contribuir a la reducción de la pobreza y prevenir a la población objetivo de actividades relacionadas con los cultivos ilícitos (UNODC-MINAM 2011).

b. Población

El distrito de Puerto Bermúdez, según el INEI (2015) posee una población total de 17 123 de habitantes (ver Tabla 1), en el que se asientan la mayor parte de las comunidades nativas del valle. En este distrito se ubican 110 comunidades nativas de las etnias Asháninka, y en menor proporción Yánesha, la mayoría de ellas con procesos de titulación culminados, las mismas que ocupan aproximadamente el 80 por ciento de la extensión del valle (DEVIDA 2003).

En el Valle del Pichis, los grupos étnicos están constituidos por los grupos denominados Asháninkas, y en menor proporción Yánesha, los que pertenecen a la familia etno-lingüística ARAWAK (CANPRODEM, citado por Valladares 2010).

Tabla 1: Población del Distrito de Puerto Bermúdez en el periodo 2000-2015

Año	Población
2000	18,934
2001	19,516
2002	20,109
2003	20,719
2004	21,334
2005	21,970
2006	22,613
2007	23,269
2008	23,936
2009	24,608
2010	15,105
2011	15,507
2012	15,907
2013	16,305
2014	16,712
2015	17,123

FUENTE: INEI (2015)

Los colonos andinos, que en su mayoría provienen de las zonas altas de la cuenca del Pachitea, así como aquellos que provienen de las cuencas vecinas del Mantaro y el Huallaga, viven dispersos en gran parte de la cuenca (principalmente en la subcuenca del Palcazú), dedicándose al cultivo de rocoto, granadilla, zapallo, la crianza de ganado y a actividades comerciales (SENAMHI 2014).

c. Problemática de la zona de estudio

Uno de los problemas más notorios en el Valle del Pichis es la pobreza extrema en que viven las comunidades nativas y colonas, que realizan actividades productivas- principalmente agricultura y ganadería de autoconsumo. Estas opciones productivas se basan en el uso del suelo con escaso potencial para el desarrollo de actividades, en cambio el recurso forestal y la diversidad biológica presente en los bosques naturales, no ha sido incorporado en la economía regional con la diversidad de usos que esto pueden ofrecer (UNODC-MINAM 2011).

Por otro lado, la migración hacia el bosque de grupos desplazados, la tala indiscriminada, el comercio de madera ilegal, la instalación de cultivos ilícitos, y el comercio ilegal de fauna silvestre siguen avanzando, a pesar de los esfuerzos realizados hasta el momento. La cobertura forestal contenida en el valle del río Pichis no es ajena a este escenario; más aun considerando que la presencia y aumento de cultivos de coca articulados al narcotráfico son una realidad inobjetable, además de la intervención desmedida a causa de la ganadería y la extracción de maderas valiosas (UNODC-MINAM 2011).

1.7. ASPECTOS ECONÓMICOS

a. Actividad cocalera

Entre 1988 y 1995, el cultivo de coca ocupaba un lugar importante dentro de la economía del valle, aunque luego se evidenció un descenso en el área cultivada; pese a ello, las actividades de monitoreo del cultivo llevadas a cabo entre el 2004 y el 2008 por UNODC evidencian su retorno, principalmente en la cuenca del Pichis, lo que se manifiesta con el aumento considerable del cultivo sustituyendo a otros u ocupando nuevas áreas (UNODC-MINAM 2011).

La reaparición del narcotráfico en el valle podría responder al control existente en otras cuencas cocaleras por parte del Estado -a través de las acciones de erradicación lo que hace migrar a la actividad cocalera a otras zonas aptas para su desarrollo con la consecuente participación creciente de campesinos de la zona o provenientes de otras que cultivan coca. Bajo esta premisa existe una verdadera amenaza potencial de que el cultivo vuelva a ocupar un rol económico y territorial en esta zona (UNODC-MINAM 2011).

b. Actividad forestal y deforestación

En el valle del Pichis, los bosques muestran altos niveles de explotación y los residuales al parecer difieren mucho en volumen y calidad que los originales ya que vienen siendo diezmados. Aún con este antecedente, la actividad maderera de extracción no es el único factor ni la causa principal de deforestación, como sí lo son las actividades pecuarias migratorias de bajo impacto económico que contribuyen a la desaparición de grandes extensiones de bosques (UNODC-MINAM 2011).

Al mencionar esto se hace evidente que la actividad ganadera se ha convertido en el principal gestor de la pérdida de bosques y biodiversidad en los valles del Pichis y Palcazú. La proyección para los siguientes años se torna preocupante tomando en cuenta que la presión sobre el bosque por parte de esta actividad es mayor, ya que se necesitarán más áreas de pastos para alimentar a una cabeza de ganado. La situación empeora cuando esta actividad, en opinión de los mismos productores, es la única alternativa legal de desarrollo (UNODC-MINAM 2011).

Sin embargo, si bien la ganadería tiene este efecto devastador, otras actividades como la agricultura migratoria, incluyendo al cultivo de coca y la extracción forestal (flora y fauna), también son responsables del proceso de deforestación y degradación con la consecuente emisión al ambiente de gases de efecto invernadero. La agricultura migratoria de subsistencia en esta zona tiene similar acción que la ganadería, pero en menor proporción, pese a ello, para el caso puntual del cultivo de coca, la actividad cocalera es inducida rápidamente, ya que los beneficios económicos ilícitos para el agricultor son casi inmediatos (UNODC-MINAM 2011).

Según el IV Censo Nacional Agropecuario 2012, elaborado por el INEI, sostiene que el Valle de Palcazú-Pichis-Pachitea al 2012 registra 23 500 productores/as agropecuarios/as que conducen una superficie de 693 581,7 ha, implicando un tamaño promedio de 29,5 ha por unidad agropecuaria. Las unidades agropecuarias donde se siembra coca presentan un promedio de 17 ha; mientras que en las unidades agropecuarias que no cultivan coca, este promedio es de 29,6 ha por unidad agropecuaria (INEI 2012).

Con respecto a los principales cultivos del Valle (considerándose tanto los transitorios como permanentes) son: pasto braquearia (44 por ciento), pasto brizanta (16,5 por ciento), café (5,6 por ciento), maíz amarillo duro (5 por ciento) y achiote (3 por ciento), entre otros. El 32,3 por ciento de los productores/as agropecuarios/as que cultivan coca desarrollan sus labores en superficies entre 4 y 9,9 ha, mientras que el 39,5 por ciento de los productores/as agropecuarios/as que no cultivan coca laboran en superficies de 20 a más ha (UNODC-MINAM 2011).

En la actualidad, en la mayoría de los casos el cultivo de coca viene ocupando espacios anteriormente intervenidos por otros cultivos de subsistencia, pero cabe recordar que, sin el

control debido, la capacidad económica del narcotráfico puede generar deforestación a tasas similares o mayores a las ocasionadas por la ganadería, si se considera a la tala ilegal como una modalidad que con frecuencia es utilizada para blanquear activos ilícitos. Así, la actividad extractiva de madera ilegal preocupa advirtiendo que el bosque residual probablemente ya no contenga, ni las especies necesarias para realizar una extracción rentable, ni el vigor, ni el volumen deseado. En este sentido, los madereros ilegales buscan sólo los recursos forestales valiosos en lugares cada vez más inaccesibles, en algunos casos, ya han incursionado dentro del Bosque de Protección San Matías-San Carlos (UNODC-MINAM 2011).

2. MATERIALES

2.1. CARTOGRAFIA DIGITAL

- Mapa de la Deforestación de la Amazonía Peruana al 2000. MINAM. Escala 1:100 000
- Mapa Hidrográfico. INEI, 2003. Escala 1:100 000
- Mapa de Límites Departamentales. INEI, 2003. Escala 1:100 000
- Mapa de Cuencas Hidrográficas. INRENA, 2005.

2.2. IMAGENES DE SATELITE

En total se trabajó con 10 imágenes de satélite Landsat 7 ETM + y Landsat 5 TM cuyo “path” correspondiente es 006 y “row” 067, según la zona de estudio que abarca al valle Pichis-Palcazú (Pasco). Las imágenes seleccionadas corresponden al periodo de análisis 2000-2010, tal como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2: Imágenes Landsat utilizadas

<i>N°</i>	<i>Path</i>	<i>Row</i>	<i>Tipo de Imagen</i>	<i>Fuente</i>	<i>Fecha</i>	<i>Año</i>
1	006	067	Landsat 7 ETM+	USGS	16/08/2000	2000
2	006	067	Landsat 7 ETM+	USGS	20/09/2001	2001
3	006	067	Landsat 7 ETM+	USGS	19/06/2002	2002
4	006	067	Landsat 5 TM	INPE	03/08/2004	2004
5	006	067	Landsat 5 TM	INPE	21/07/2005	2005
6	006	067	Landsat 5 TM	USGS	13/09/2006	2006
7	006	067	Landsat 5 TM	USGS	29/09/2007	2007
8	006	067	Landsat 5 TM	INPE	14/08/2008	2008

9	006	067	Landsat 7 ETM+	USGS	30/06/2009	2009
10	006	067	Landsat 7 ETM+	USGS	20/08/2010	2010

2.3. EQUIPOS

Para el análisis y procesamiento de la información se trabajó con una computadora portátil marca LENOVO con procesador Intel (R) Core (TM) i7- 5500U de 2,40 GHz; con un sistema operativo de 64 bits.

2.4. PROGRAMAS INFORMATICOS

Para el procesamiento digital de las imágenes de satélite se utilizó el programa ERDAS IMAGINE 9.2; mientras que para la interpretación visual y análisis de cambio de dichas imágenes se usó el programa SIG Arc. GIS 10.1, ambos softwres facilitados por el Laboratorio de Teledetección de la Facultad de Ciencias Forestales.

3. METODOLOGÍA

3.1. FLUJO DE PROCESOS PARA DETERMINAR EL PERIODO OPTIMO PARA EL ANALISIS DE CAMBIOS

En la Figura 2 se presenta de forma esquemática, el flujo de procesos que se siguieron para aplicar la metodología propuesta para determinar el periodo óptimo para el análisis de deforestación en el Valle Pichis.

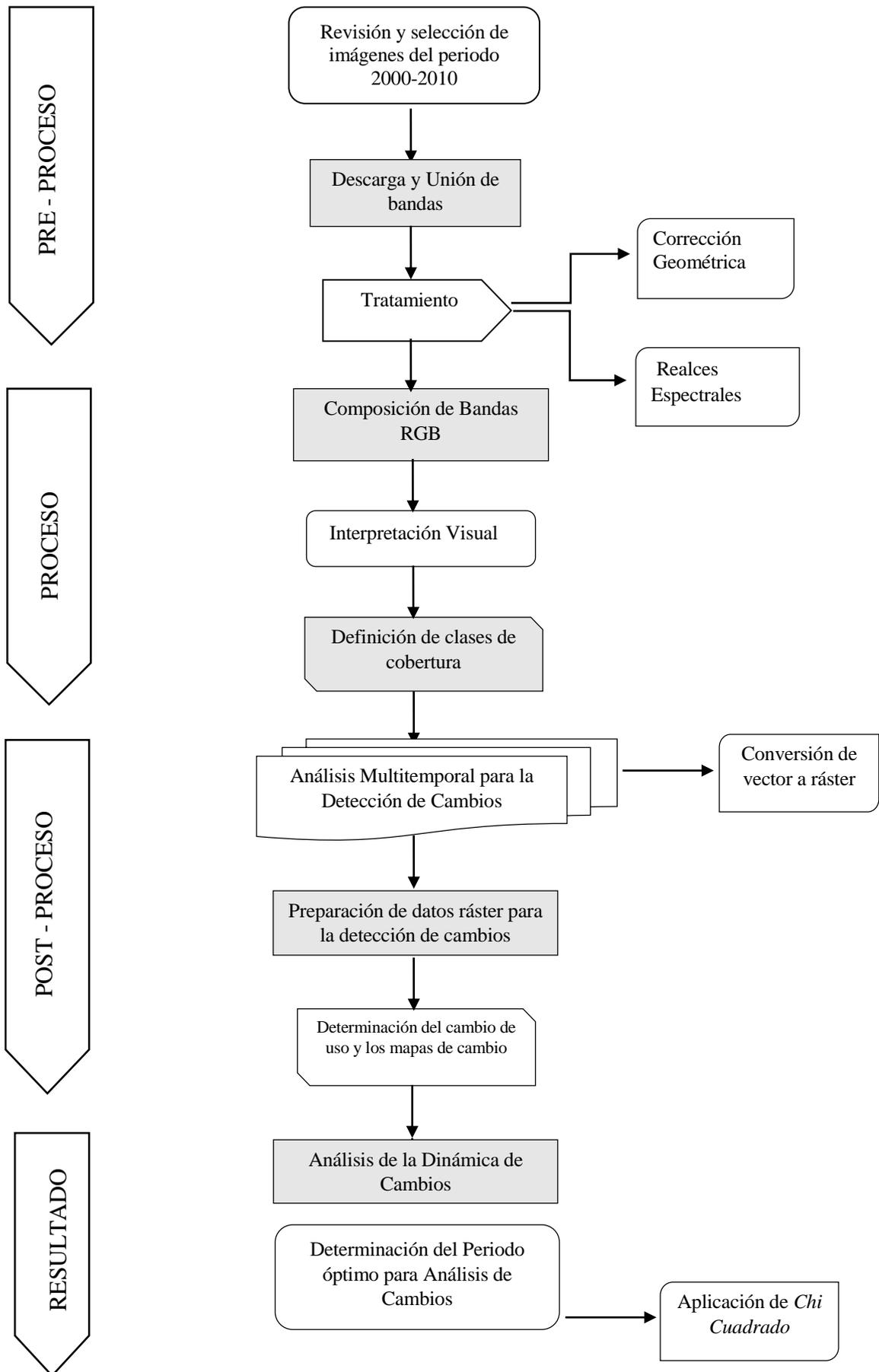


Figura 2: Flujograma de Procesos

3.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE SATELITE

a. Revisión y Selección de Imágenes de Satélite

Para la elaboración del mapa de cambios de cobertura vegetal, se utilizaron 10 imágenes de satélite Landsat 5 (TM) y 7 (ETM+) de dos diferentes fuentes, las que fueron procesadas empleando el software ERDAS Imagine versión 9.2.

Las imágenes de satélite Landsat 5 (TM) correspondientes a los años 2004, 2005 y 2008 fueron descargadas del sitio web del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)¹ del Brasil, y las imágenes para los años 2006 y 2007 del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Por otro lado, las imágenes Landsat 7 (ETM+), todas fueron descargadas del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)² para los años 2000, 2001, 2002, 2009 y 2010. Cabe señalar que para ambas fuentes de adquisición de imágenes de satélite se buscaron aquellas imágenes que no tuvieran más del 30 por ciento de cobertura de nubes. Sin embargo, para el año 2003 no se pudo obtener una imagen con esta restricción, por lo que no se encontró una imagen disponible.

Los años definidos para realizar el presente estudio están comprendidos dentro del periodo 2000 - 2010. Con lo que respecta a la selección de imágenes de satélite, previamente se realizó un análisis general de las imágenes disponibles, para luego seleccionar aquellas que no tuvieran distorsiones de tipo radiométrico (líneas faltantes), considerando también el porcentaje de cobertura y distribución espacial de nubes, sobre todo en las áreas de interés para el estudio.

Como se señaló anteriormente, debido a factores como la presencia de nubes en las imágenes y a su limitada disponibilidad en los servidores del INPE y USGS; se trabajó con imágenes de satélite tomadas entre junio y setiembre; con la excepción del año 2005, cuyo mes seleccionado fue abril, debido a que tenía una cobertura de nubes de al menos un 30 por ciento.

b. Corrección Geométrica

Para la corrección geométrica, se utilizó como referencia la imagen Landsat 7 TM descargada del GEOCOVER, para que luego sea *reproyectada* a UTM, con datum WGS84 y zona 18 sur. A su vez, se tomarán puntos de control con una precisión considerada (Error Medio Cuadrático o RMS) de 2 píxeles en la imagen. Con respecto al método a aplicar para el

¹ <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

² <https://earthexplorer.usgs.gov/>

remuestreo de las imágenes, fue el del vecino más cercano (*Nearest Neighbor*), debido a que transfiere los valores originales sin promediarlos, conservando así la radiometría original.

c. Realces

Se trabajaron las imágenes aplicando realces radiométricos: realce lineal y un realce de ecualización del histograma, con el fin de distribuir uniformemente los niveles de gris y mejorar el contraste de la imagen. Es decir, los realces se emplearon para aumentar la diferencia entre los rasgos de una escena, para apoyar la interpretación visual.

d. Composición de Bandas

La composición de bandas que se empleó para la interpretación de las clases fue una composición en falso color en RGB para cada imagen, banda 5 (infrarrojo cercano) en el cañón rojo, banda 4 (infrarrojo cercano) en el cañón verde y banda 3 (rojo) en el cañón azul.

3.3. INTERPRETACION VISUAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

Para la interpretación de las imágenes de satélite, se realizaron los siguientes pasos:

a. Interpretación Visual

Para obtener el resultado propuesto, se interpretó visualmente las imágenes de satélite Landsat desde el monitor de la computadora, mediante la delimitación de las áreas y elementos de interés a través de la digitalización en pantalla, en donde se crearon los polígonos que representen los estratos de bosque y no - bosque que dieron origen al mapa de cambios. De esta forma, se obtuvieron información en formato *shape*, a través del uso de la herramienta que el software SIG ArcGIS 10.1 ofrece.

La interpretación de las imágenes se realizó analizando las características de los detalles presentes en las imágenes como: tono y/o color, textura, forma, tamaño, sitio, entre otros, con una combinación de bandas RGB 543, la cual según Pérez y Muñoz (2006), da como resultado una imagen muy similar a la tradicional fotografía aérea infrarrojo color, la cual es útil para estudios de vegetación, patrones de suelos, crecimiento de cultivos y monitoreo de drenajes.

Además, para este proceso se utilizó como base el *shape file* del Mapa de Deforestación del año 2000, el cual fue usado para generar el primer *shape* base de deforestación para el año 2000 del valle del Rio Pichis, y que para los años sucesivos de análisis se procedió a modificarlo directamente sobre la pantalla. Para ayudar a la interpretación visual de las

imágenes de satélite, se empleó la herramienta de Google Earth, lo que permitió levantar dudas en áreas de confusión y para mejorar los resultados de la interpretación.

Con respecto a la escala de trabajo, ésta fue de 1: 75 000, considerando una unidad mínima de interpretación de 1 ha, es decir, que detalles menores a esta superficie, no fueron interpretados ni representados.

b. Determinación de clases de cobertura vegetal

Para definir las clases de usos de la tierra a interpretar, se tomó en cuenta las clases empleadas en el Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana 2000 (MINAM 2009), las que fueron definidas bajo un criterio de ocupación de la tierra, es decir, identificando qué actividades humanas se desarrollan en el área de estudio, dónde existe intervención humana, como áreas de cultivo, pastizales, etc. Además, se tomó en cuenta el nivel de referencia del intérprete.

Por ello, en función a los diferentes tipos de vegetación y usos del suelo identificados mediante de la interpretación visual de las imágenes satelitales, se determinaron 6 clases o unidades de análisis de cubierta vegetal, las cuales serán mapeadas y digitalización en pantalla.

3.4. ANALISIS MULTI-TEMPORAL PARA LA DETECCION DE CAMBIOS

a. Preparación de datos ráster para la detección de cambios

Después de interpretar visualmente las imágenes de satélite con el software Arc Gis 10.2 para cada año de estudio, dentro del periodo 2000-2010, se generaron como resultado 10 mapas de deforestación anual en formato *shapefile* (polígonos), los que fueron codificados desde un modelo de datos *vectorial* a un modelo *raster* para iniciar con el análisis de cambio respectivo, empleando siempre los mismos parámetros de tamaño de píxel para el resto de mapas a analizar.

El siguiente paso fue realizar un proceso de reclasificación para poder aplicar el operador matemático a través del álgebra de mapas. Para ello, se realizó de forma manual, la asignación de un nuevo valor numérico a cada clase de uso de la tierra.

b. Obtención de los Mapas de cambios

Para generar los mapas de cambios, se compararon dos mapas de deforestación anual mediante un proceso denominado *álgebra de mapas*, en el que se utilizó la herramienta “calculadora ráster”, la permitió aplicar un operador aritmético sobre las dos capas ráster de entrada para producir una capa ráster de salida.

En primer lugar, se realizó una superposición de dos mapas de deforestación anual generados a partir de dos años de estudio diferentes, tales como: 2000-2001, 2000-2002, 2000-2004, y así de manera sucesiva hasta el 2010, obteniendo como resultado 10 mapas de cambio (Map c_1 , Map c_2 , Map c_3 ... Map c_9 , Map c_{10}) para su posterior análisis.

En la Figura 3 se describe de forma esquemática el proceso para obtener un mapa de cambios:

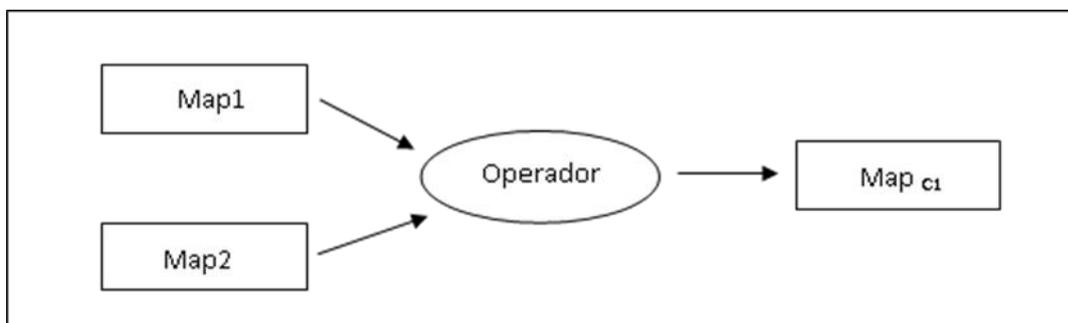


Figura 3: Esquema del proceso para obtener un mapa de cambios mediante el operador de un álgebra de Mapas

Cabe señalar, que cada mapa de deforestación fue obtenido mediante interpretación visual y de forma independiente, considerando las mismas clases temáticas con el propósito de que dichos mapas sean realmente comparables. (expr. 1)

$$(1) \quad \begin{aligned} \text{Map}_1 \text{ vs } \text{Map}_2 &= \text{Map}_{c1} \\ \text{Map}_1 \text{ vs } \text{Map}_4 &= \text{Map}_{c3} \\ &\vdots \\ \text{Map}_1 \text{ vs } \text{Map}_9 &= \text{Map}_{c8} \\ \text{Map}_1 \text{ vs } \text{Map}_{10} &= \text{Map}_{c9} \end{aligned}$$

Dónde:

- Map₁= Mapa generado en base a la imagen del año 2000
- Map₂= Mapa generado en base a la imagen del año 2001
- Map₃= Mapa generado en base a la imagen del año 2002
- Map₄= Mapa generado en base a la imagen del año 2004
- Map₅= Mapa generado en base a la imagen del año 2005
- Map₆= Mapa generado en base a la imagen del año 2006
- Map₇= Mapa generado en base a la imagen del año 2007
- Map₈= Mapa generado en base a la imagen del año 2008
- Map₉= Mapa generado en base a la imagen del año 2009
- Map₁₀= Mapa generado en base a la imagen del año 2010

Posteriormente, se realizó una interpretación de los nuevos valores obtenidos en base a los valores asignados a cada clase de uso de la tierra, de esta forma se analizó la dinámica de los cambios en cada periodo de análisis.

c. Análisis de la dinámica de cambios

Para el análisis de la dinámica de cambios se definieron 5 clases de cambio, en donde se considera dentro de la clase “no bosque” a las clases de uso de la tierra que no son bosque, como actividad agropecuaria, agricultura; además, en esta clase también están considerados a los bosques secundarios jóvenes.

Tabla 3: Clases de cambio asignadas

<i>Clases de Cambio</i>	<i>Símbolo</i>
Bosque- Bosque	Bq- Bq
Bosque – No Bosque	Bq – No Bq
No Bosque – No Bosque	No Bq - No Bq
Río - Río	R - R
Centro Poblado-Centro Poblado	CP - CP

Por otro lado, para conocer la tendencia de cambios en los bosques del Valle del Pichis en estos 10 años de estudio, se analizaron las superficies de Bosque y no Bosque obtenidos, con el objetivo de conocer las Pérdidas y Ganancias. Para ello, se generó una matriz de cambio la que contenía en uno de los ejes las clases de cambio del primer año y en el otro eje, las clases

de cambio del segundo año. De esta forma, los datos por encima y por debajo de la diagonal principal, determinaron si hubo pérdida o ganancia por clase de cambio.

Posteriormente, se calcularon las superficies de cambio en hectáreas y en porcentajes, además de calcular la tasa de cambio (%) y tasa de deforestación anual (ha/año) por cada periodo en evaluación, lo cual fue usado como sustento para validar el cálculo del periodo óptimo para el análisis de deforestación en el valle del Río Pichis.

d. Determinación del Periodo óptimo de cambios

Para analizar si los cambios en la cobertura vegetal en un determinado periodo (1 año o más) fueron significativos o no, se aplicó la prueba *chi cuadrado*, mediante la “prueba de independencia”, la que consiste en comprobar si dos características cualitativas están relacionadas entre sí. Para ello, se empleó la siguiente fórmula estadística:

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Donde:

k= Número de proporciones o número de parámetros estimados para la muestra.

O_i= Número de observaciones o número de frecuencia observadas en la clase i

E_i= Número de observaciones o número de frecuencia esperadas en la clase i

Cabe señalar que se consideró un nivel de alpha de 0.05, suficiente para rechazar una hipótesis nula y considerar que una diferencia observada entre dos medidas es significativa.

Es decir, se analizó la distribución de frecuencias, basadas en el número de los píxeles de cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo, para cada mapa de cambio generado por periodo en evaluación (Map c1, Map c2, Map c3, Map c4... Map c10), comparándolos entre sí mediante la prueba estadística *chi-cuadrado*, para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas del cambio de cobertura vegetal, de tal manera que se determinará si existe o no cambios en dicho periodo de análisis.

En primer lugar, se compararon los resultados correspondientes al número de píxeles obtenidos a cada clase de uso de la tierra del mapa de cambio Map_{c1} (periodo de 1 año de análisis) con el Map_{c10} (periodo de 10 años de análisis); posteriormente, el Map_{c1} con el Map_{c9} y así sucesivamente, hasta observar cambios estadísticamente significativos entre los números de píxeles las imágenes resultantes. Si a partir de determinado periodo, observamos que existen diferencias ($X^2_{\text{calculado}} > X^2_{\text{tabulado}}$), dicho resultado indicará que es posible encontrar cambios en la cobertura vegetal y por ende estaríamos próximos a determinar el “periodo óptimo”. (expr. 2)

- (1) Map_{c10} vs $\text{Map}_{c1} \rightarrow$ no existe cambio significativo ($X^2_{\text{calc}} < X^2_{\text{tab}}$)
 Map_{c10} vs $\text{Map}_{c2} \rightarrow$ no existe cambio significativo ($X^2_{\text{calc}} < X^2_{\text{tab}}$)
 Map_{c10} vs $\text{Map}_{c3} \rightarrow$ no existe cambio significativo ($X^2_{\text{calc}} < X^2_{\text{tab}}$)
 \cdot
 \cdot
 \cdot
 Map_{c10} vs $\text{Map}_{cn} \rightarrow$ existe cambio significativo ($X^2_{\text{calc}} > X^2_{\text{tab}}$)

Dónde:

n: corresponde al “periodo de años” en donde se observará cambios significativos en un periodo de tiempo entre 1 y 10 años.

Finalmente, con los resultados que arrojen las pruebas estadísticas del análisis de cambio de cobertura en la zona de estudio, se procederá a definir el “*periodo óptimo*” para el análisis de cambios en la cobertura vegetal para el Valle Pichis, y además se elaborará un mapa donde se representen dichos cambios en el periodo asignado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende toda el área de drenaje de la micro cuenca del río Pichis, la que pertenece a la cuenca andino-amazónica del río Pachitea. Cabe señalar que para delimitar el área de estudio se utilizó como insumo la información del límite de las cuencas hidrográficas nacionales, obteniendo un área total de 1 034 856,96 ha.

2. PROCESAMIENTO

Después de seleccionar y descargar las 10 imágenes de satélite Landsat 5 (TM) y Landsat 7 (ETM+) del portar web del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) del Brasil y del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), de acuerdo a los parámetros señalados en la metodología, éstas fueron procesadas en el software ERDAS imagine 9.2.

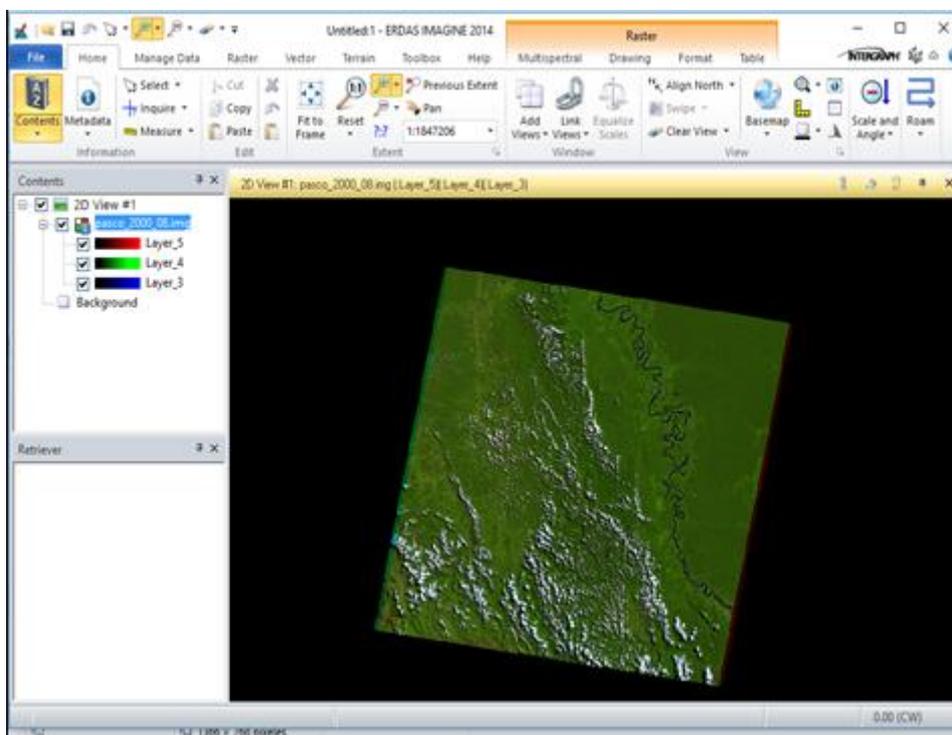


Figura 4: Procesamiento de una imagen en ERDAS Imagine 9.2

Es necesario precisar que para la selección de las imágenes satelitales de cada año correspondiente dentro del periodo 2000 al 2010, se consideró que éstas no poseen más del 10 por ciento de cobertura de nubes, sin embargo, para el año 2003 no se pudo obtener una imagen disponible con esta restricción, por lo que este año no fue considerado dentro del análisis del presente estudio.

3. INTERPRETACIÓN VISUAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

Para realizar el análisis visual de las imágenes satelitales se trabajó con una combinación de bandas RGB 543, la cual facilitó a discriminar los elementos del paisaje de acuerdo a sus características que se observaron, debido a que dicha combinación puso especial énfasis en las características espectrales que ayudaron el análisis del cambio de cobertura vegetal a otro tipo de uso; es decir, la deforestación.

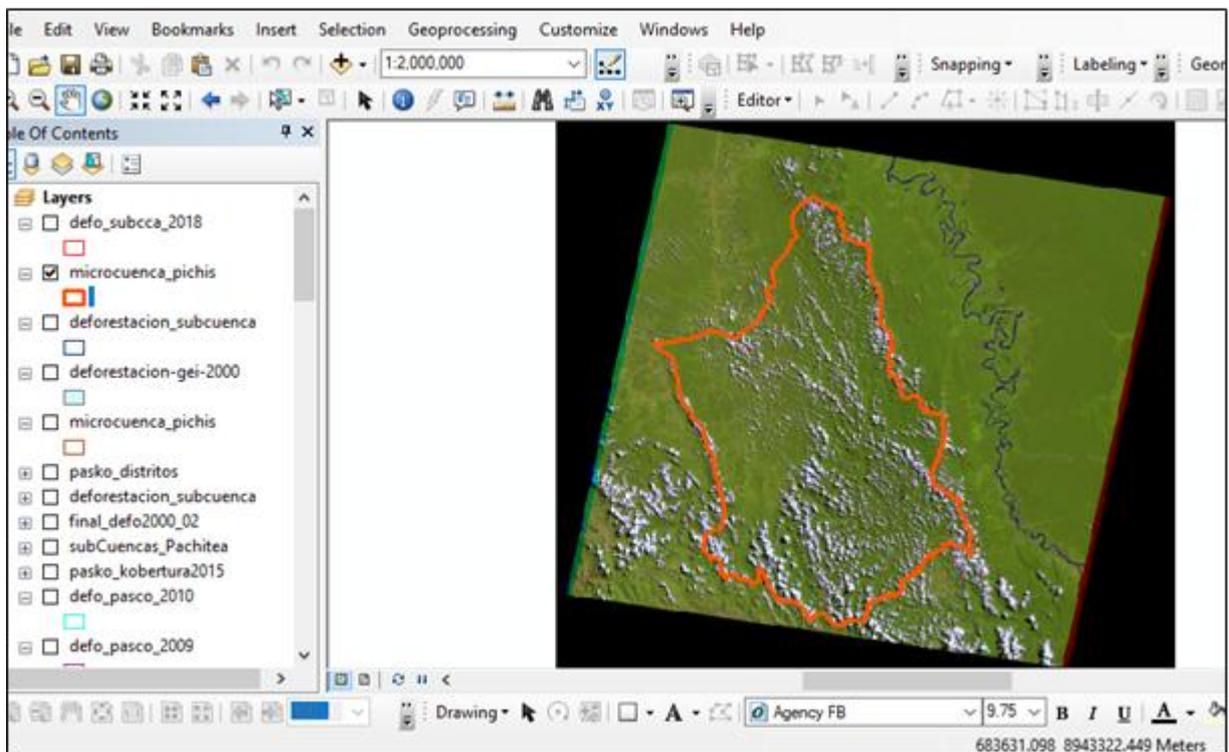


Figura 5: Interpretación visual mediante Arc Gis 10.1

Para el área de estudio se determinaron 5 clases de cobertura diferentes y una clase compuesta o mixta dentro de una misma unidad. Todas estas fueron determinadas de acuerdo a los diferentes tipos de vegetación y usos del suelo identificados mediante la interpretación

visual de las imágenes satelitales, teniendo en cuenta criterios de fotointerpretación y ocupación de la tierra; es decir, qué actividades humanas se desarrollan en el área de estudio, dónde existe intervención humana (áreas de cultivo, pastizales).

Tabla 4: Clases de Uso de la Tierra

<i>Clases</i>	<i>Símbolo</i>
Bosque Alto	BA
Bosque Secundario Joven	Bs J
Bosque Secundario Joven/ Agricultura	Bs J/ Ag
Actividad Agropecuaria	AA
Centro Poblado	CP
Ríos	R

Es preciso indicar que las clases de uso de la tierra fueron definidas teniendo como referencia el Mapa de Deforestación del año 2000 del MINAM, considerando una escala de trabajo de 1/75 000. Se determinaron como clases de uso de la tierra a los estratos de: bosque secundario /agricultura, actividad agropecuaria y centro poblados. Cabe señalar que para la clase de bosque secundario joven/agricultura, se consideró juntarlos en una sola clase porque presentaba una distribución espacial muy estrecha, lo que dificultaba su delimitación individual.

A nivel de análisis de clases de uso de la tierra, el mapa de deforestación presenta las siguientes características:

- **Bosque alto (BA):** Esta clase está constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbóreos, los cuales forman un estrato de copas continuo, cuya área arbórea representa más del 70 por ciento del total de la unidad.



Figura 6: Representación de bosque alto

- **Bosque Secundario Joven (Bs J):** Los bosques secundarios están conformados por individuos de diámetros pequeños y de poca altura y de una estructura muy simple. En las imágenes se observan con color verde, de tonos mucho más claros que el bosque secundario adulto, de texturas más finas y formas más o menos regulares.

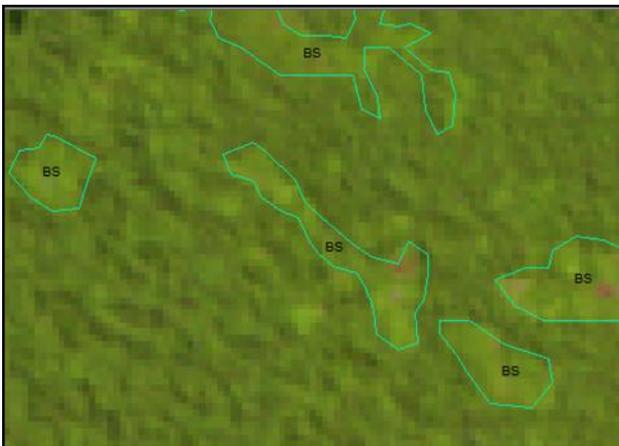


Figura 7: Representación de Bosque Secundario Joven

- **Bosque Secundario Joven/ Agricultura (Bs J/ Ag):** Esta categoría se interpreta como una unidad mixta, ya que integra parcelas agrícolas al interior de un bosque secundario joven generalmente. En esta clase predomina el bosque secundario sobre la agricultura

en un 50 por ciento, sin llegar al 80 por ciento dominancia. Esta clase en particular se presenta en áreas con mucha actividad antrópica (Barrena y Vargas, 2003).



Figura 8: Representación de Bosque Secundario Joven/ Agricultura

- **Actividad Agropecuaria (AA):** De manera general esta unidad reúne dos o más clases de coberturas agrícolas y pastizales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra.

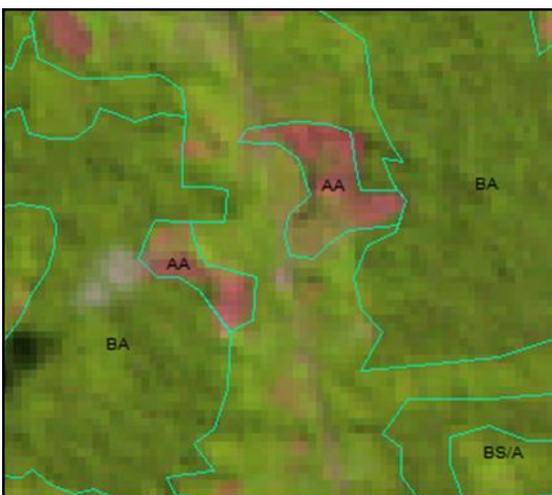


Figura 9: Representación de actividad Agropecuaria

- **Centro Poblado (CP):** Esta clase es fácilmente reconocida debido a su forma geométrica y al patrón de distribución de calles, además por presentar coloración fucsia debido a la reflectancia de los techos de las viviendas, a áreas sin cobertura vegetal.

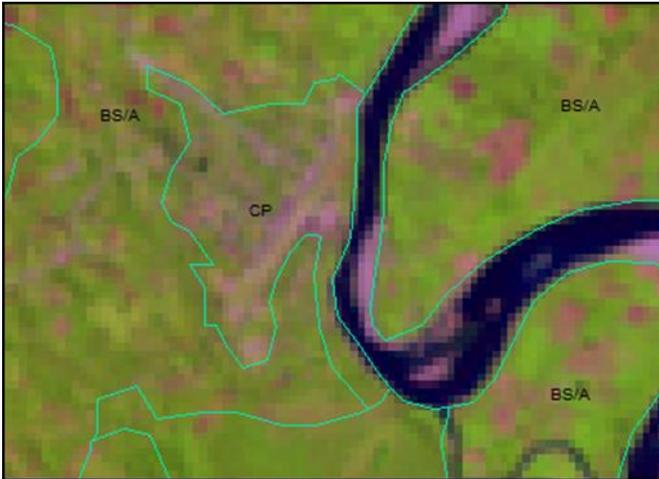


Figura 10: Representación de Centro Poblado

En función a las clases de cobertura vegetal definidas, se elaboró el mapa base de deforestación mediante la interpretación visual de imágenes satelitales en pantalla de la computadora, mediante el programa ArcGIS 10.1. El proceso de interpretación visual implicó el uso de patrones de forma, textura, tamaño, color, tono y otros, complementándose con información digital topográfica, con información de zonas de vida, entre otros.

Cabe señalar que el mapa base de deforestación se realizó para el año 2000, el cual fue utilizado como patrón para elaborar los mapas de deforestación de los años siguientes.

3.1. ANALISIS MULTITEMPORAL PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS

3.1.1. PREPARACIÓN DE DATOS RASTER PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS

En la Tabla 5 y Tabla 6 se presentan los nuevos valores numéricos a ser asignados, de forma manual, a cada clase de uso de la tierra para poder aplicar el operador matemático a través del

álgebra de mapas. Cabe señalar que para realizar este proceso fue necesario transformar la información vectorial a formato ráster, mediante el uso del software ArcGIS 10.1.

Tabla 5: Modelo de Reclasificación de datos ráster para la imagen del año 2000

<i>Clases de Uso de la Tierra</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor numérico asignado</i>
Bosque Secundario Joven	Bs J	2
Actividad Agropecuaria	AA	4
Bosque secundario Joven /Agricultura	Bs J/ Ag	8
Bosque Alto	BA	1
Rios	R	16
Centros poblados	CP	18

Tabla 6: Modelo de reclasificación de datos ráster para las imágenes entre los años del periodo 2001-2010

<i>Clases de Uso de la Tierra</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor numérico asignado</i>
Bosque Secundario Joven	Bs J	3
Actividad Agropecuaria	AA	5
Bosque secundario Joven /Agricultura	Bs J/ Ag	7
Bosque Alto	BA	9
Rios	R	11
Centros poblados	CP	17

Asimismo, de acuerdo a los valores asignados según las Tablas 5 y 6, el proceso de reclasificación fue aplicado en todos los mapas de deforestación anual generados entre el periodo 2000 al 2010, los cuales fueron comparados en función al mapa base de deforestación correspondiente al año 2000.

Por lo tanto, cabe resaltar la importancia de este proceso, debido a que los operadores requieren de representaciones simbólicas (valores numéricos) de las variables para trabajar la información en un lenguaje adecuado, que permita realizar las operaciones matemáticas, y así cada pixel pueda recibir un valor calculado en función a los valores iniciales de ese mismo pixel en las demás capas, para luego determinar las transiciones de cambios para cada clase de uso de la tierra.

<i>Clases de Cambio</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Código</i>
Actividad Agropecuaria - Bosque Secundario Joven/ Agricultura	AA - BsJ/Ag	28
Bosque Secundario Joven/ Agricultura - Actividad Agropecuaria	BsJ/Ag - AA	40
Bosque Secundario Joven/ Agricultura - Bosque Secundario Joven/ Agricultura	BsJ/Ag - BsJ/Ag	56
Ríos- Ríos	R-R	176
Centro Poblado- Centro Poblado	CP - CP	306

Cabe señalar, que los nuevos códigos presentados en la Tabla 7, permiten determinar el número total de píxeles obtenidos por clase temática, los que a su vez son necesarios para aplicar la prueba estadística.

3.1.3. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE CAMBIOS

Antes de presentar el análisis de resultados para la dinámica de cambios, se detalla en la Tabla 8 los resultados obtenidos de la interpretación visual de las imágenes Landsat, en donde se determinaron las superficies para cada una de las clases de cobertura vegetal definidas para el ámbito de estudio, donde la escala de trabajo utilizada fue de 1:75 000 y la unidad mínima de interpretación considerada fue de 1 ha.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 8, se observa que para todos los años en estudio se cumple que la clase con mayor extensión es el bosque alto, la cual representa en promedio el 91 por ciento de la superficie total del área de estudio; sin embargo, ésta presenta una tendencia decreciente, lo cual indica altos niveles de explotación en los bosques primarios durante los 10 años de análisis.

Asimismo, la clase mixta de Bosque secundario/Agricultura representa en promedio el 6 por ciento de la superficie total, la cual presenta una tendencia creciente, al igual que la clase de Actividad agropecuaria. Al mencionar ello, se hace evidente que existe un incremento de la agricultura migratoria y actividad agropecuaria, las que provocan la pérdida de bosques y biodiversidad en el valle del Río Pichis, ocasionando así una mayor presión sobre los bosques, las que podría hacerse aún mayores en los próximos años.

Tabla 8: Superficie de bosque y actividad antrópica para cada año del periodo 2000-2010

Clases de cobertura	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	(ha)									
Bosques										
Bosque Alto	956 938,05	952 816,77	947 132,19	940 218,03	938 738,16	935 341,83	935 341,83	926 934,84	925 571,61	920 167,29
Área Antrópica										
Bosque secundario Joven	22 613,58	21 176,64	21 840,03	20 105,82	19 894,41	18 961,29	18 961,29	17 273,25	17 310,51	16 669,8
Actividad Agropecuaria	3 531,6	4 778,19	5 499,09	7 501,41	8 031,96	9 753,21	9 753,21	11 715,03	12 166,2	14 191,2
Bosque secundario/ Agricultura	45 777,96	50 089,59	54 389,88	61 035,93	62 196,66	64 804,86	64 804,86	72 938,07	73 812,87	77 832,9
Centro Poblado	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8	64,8
Otros										
Rio	5 928,39	5 928,39	5 928,39	5 928,39	5 928,39	5 928,39	5 928,39	5 928,39	5 928,39	5 928,39
SUPERFICIE TOTAL (ha)	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38	103 4854,38

Finalmente, según el estudio del Análisis económico de las actividades causantes de la deforestación en Pichis-Palcazú, realizado por UNODC en el 2011, sostiene que entre 1988 y 1995, el cultivo de coca ocupaba un lugar importante dentro de la economía del valle, aunque luego se evidenció un descenso en el área cultivada; pese a ello, las actividades de monitoreo del cultivo llevadas a cabo entre el 2004 y el 2008 evidenciaron su retorno en la cuenca del Pichis, lo que se manifiesta con el aumento considerable del cultivo sustituyendo a otros u ocupando nuevas áreas (UNODC, 2011).

Por otro lado, en relación a los resultados obtenidos del análisis de cambios, se muestra en la Tabla 9 las clases de cambio utilizadas para dicho proceso.

Tabla 9: Clases de cambio

<i>Clases de Cambio</i> <i>Año 1- Año 2</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Código</i>
Bosque- Bosque	Bq- Bq	11
Bosque – No Bosque	Bq – No Bq	12
No Bosque – No Bosque	No Bq - No Bq	22
Rio - Rio	R - R	33
Centro Poblado-Centro Poblado	CP - CP	44

Cabe precisar que se considera dentro de la clase “no bosque” a las clases de uso de la tierra que no son bosque, como agricultura, actividad agropecuaria y a los bosques secundarios jóvenes debido a que presentan una estructura diferente a la de un bosque alto o adulto.

Con respecto al análisis de cambios para el periodo 2000-2001, se presenta en las siguientes Tablas los resultados obtenidos:

Tabla 10: Resultado de los cambios 2000-2001

<i>Año 2000 - 2001</i>			
<i>Clases de Cambio</i>	<i>Código</i>	<i>ha</i>	<i>%</i>
Bosque- Bosque	11	95 2816,77	92,07
Bosque – No Bosque	12	4 116,42	0,40
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que el 92 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 4 116,42 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 0,4 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2001.

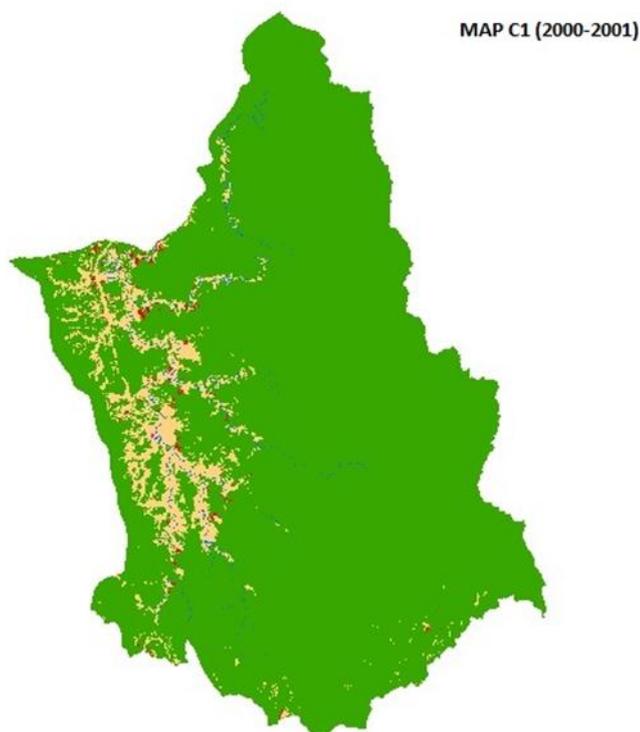


Figura 12: Resultado de la clasificación de cambios 2000-2001

En la Tabla 11 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2002:

Tabla 11: Resultados de los cambios 2000-2002

Año 2000 - 2002			
Clases de Cambio	Código	ha	%
Bosque- Bosque	11	947 132,19	91,52
Bosque – No Bosque	12	9 801	0,95
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De los resultados se aprecia que casi el 92 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 9 801 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 0,95 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2002.

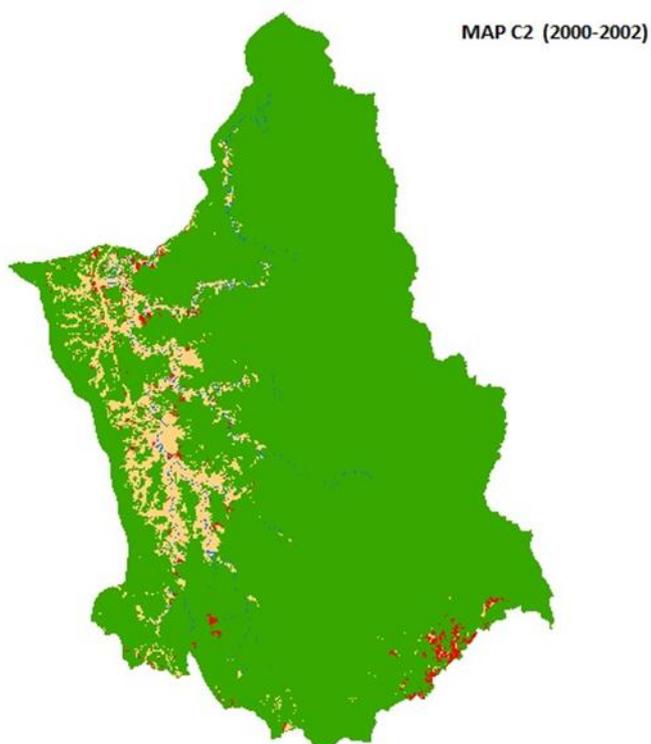


Figura 13: Resultado de la clasificación de cambios 2000-2002

En la Tabla 12 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2004:

Tabla 12: Resultados de las clases de cambio 2000-2004

Año 2000 - 2004			
Clases de Cambio	Código	ha	%
Bosque- Bosque	11	940 218,03	90,86
Bosque – No Bosque	12	16 715,16	1,62
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que casi el 91 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 16 715,16 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1,62 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2004.

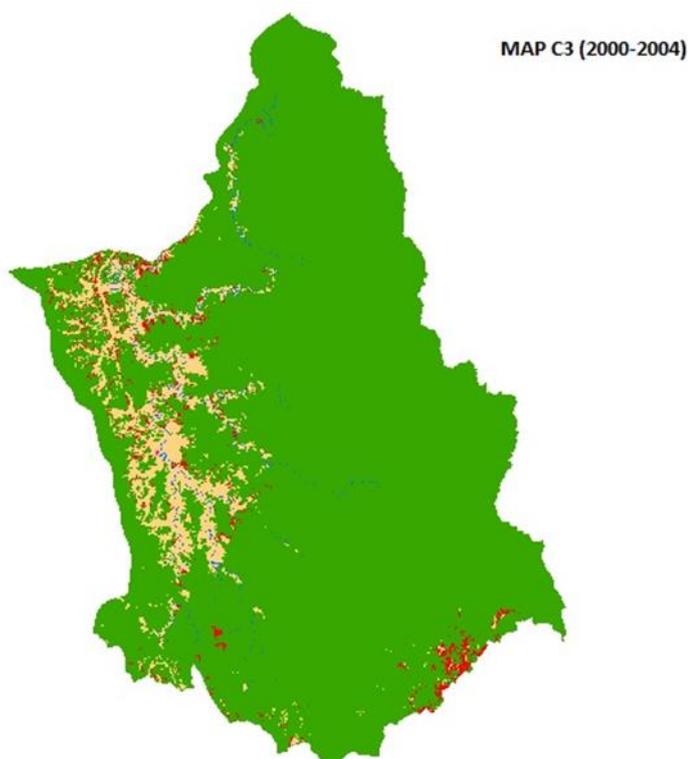


Figura 14: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2004

En la Tabla 13 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2005:

Tabla 13: Resultado de los cambios 2000-2005

Año 2000 - 2005			
Clases de Cambio	Código	ha	%
Bosque- Bosque	11	938 738,16	90,71
Bosque – No Bosque	12	18 195,03	1,76
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que casi el 91 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 18 195,03 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1,76 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2005.

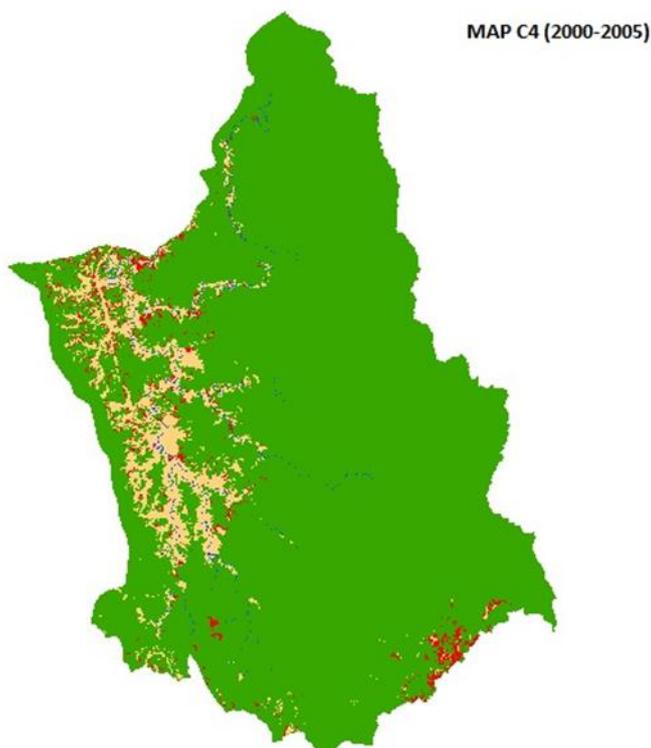


Figura 15: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2005

En la Tabla 14 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2006:

Tabla 14: Resultado de los cambios 2000-2006

Año 2000 - 2006			
Clases de Cambio	Código	ha	%
Bosque- Bosque	11	935 341,83	90,38
Bosque – No Bosque	12	22 113,81	2,14
No Bosque – No Bosque	22	71 405,55	6,90
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que el 90 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 22 113,81 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 2,14 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2006.

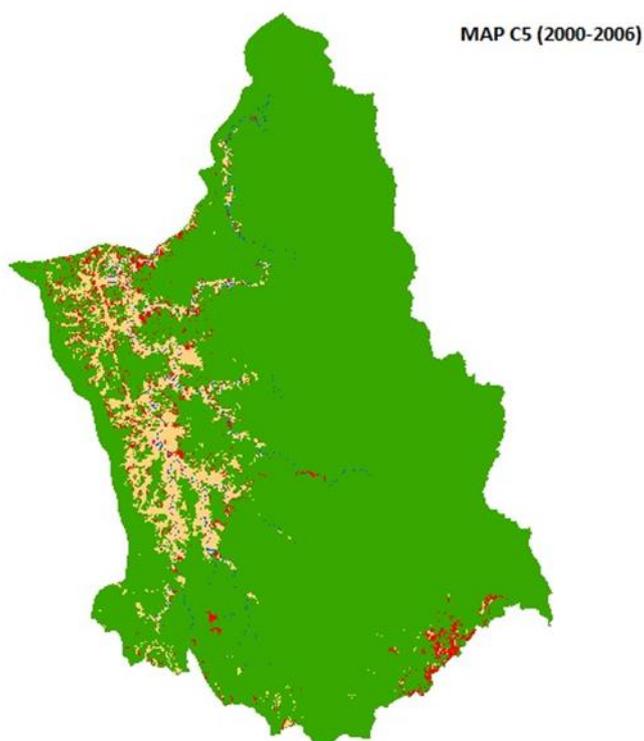


Figura 16: Resultado de la Clasificación de los cambios 2000-2006

En la Tabla 15 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2007:

Tabla 15: Resultados de los cambios 2000-2007

<i>Año 2000 - 2007</i>			
<i>Clases de Cambio</i>	<i>Código</i>	<i>ha</i>	<i>%</i>
Bosque- Bosque	11	929 377,8	89,81
Bosque – No Bosque	12	27 555,39	2,66
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que casi el 90 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 27 555,39 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 2,66 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2007.

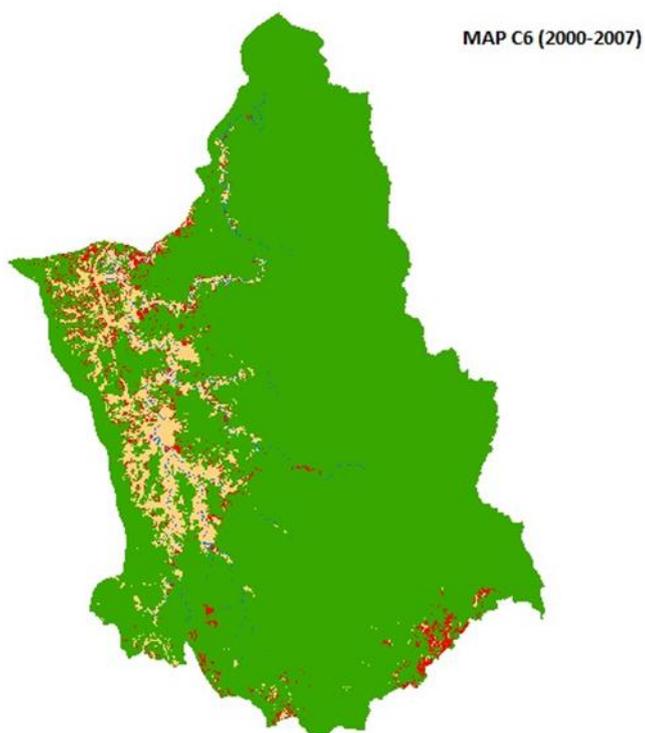


Figura 17: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2007

En la Tabla 16 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2008:

Tabla 16: Resultado de los cambios 2000-2008

<i>Año 2000 - 2008</i>			
<i>Clases de Cambio</i>	<i>Código</i>	<i>ha</i>	<i>%</i>
Bosque- Bosque	11	926 934,84	89,57
Bosque – No Bosque	12	29 998,35	2,90
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que casi el 90 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 29 998,35 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 2,90 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2008.

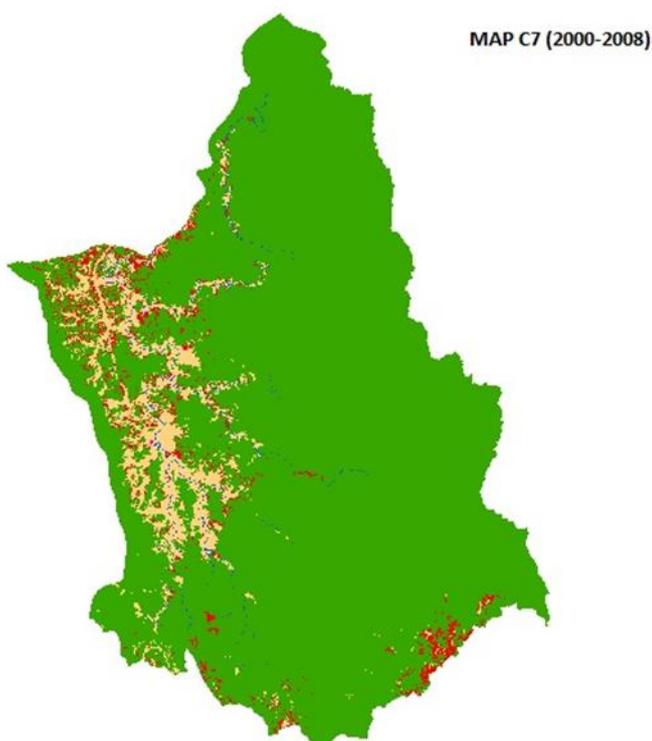


Figura 18: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2008

En la Tabla 17 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2009:

Tabla 17: Resultado de los cambios 2000-2009

Año 2000 - 2009			
Clases de Cambio	Código	ha	%
Bosque- Bosque	11	925 571,61	89,44
Bosque – No Bosque	12	31 361,58	3,03
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que el 89 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 31 361,58 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 3,03 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2009.

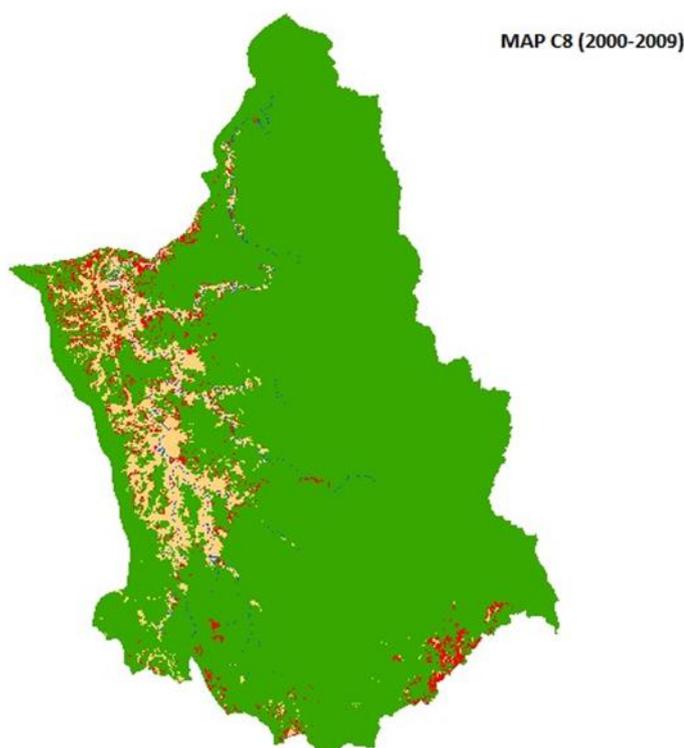


Figura 19: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2009

En la Tabla 18 se muestran los resultados del análisis de cambios en el periodo 2000-2010:

Tabla 18: Resultado de los cambios 2000-2010

<i>Año 2000 - 2010</i>			
<i>Clases de Cambio</i>	<i>Código</i>	<i>ha</i>	<i>%</i>
Bosque- Bosque	11	920 167,29	88,92
Bosque – No Bosque	12	36 765,9	3,55
No Bosque – No Bosque	22	71 928	6,95
Rio - Rio	33	5 928,39	0,57
Centro Poblado-Centro Poblado	44	64,8	0,01
TOTAL		1 034 854,38	

De acuerdo a los resultados se aprecia que el 89 por ciento del área de estudio ha permanecido como bosque, mientras casi el 7 por ciento del mismo se ha mantenido como “no bosque – no bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque - no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 36 765,9 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 3,55 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2010.

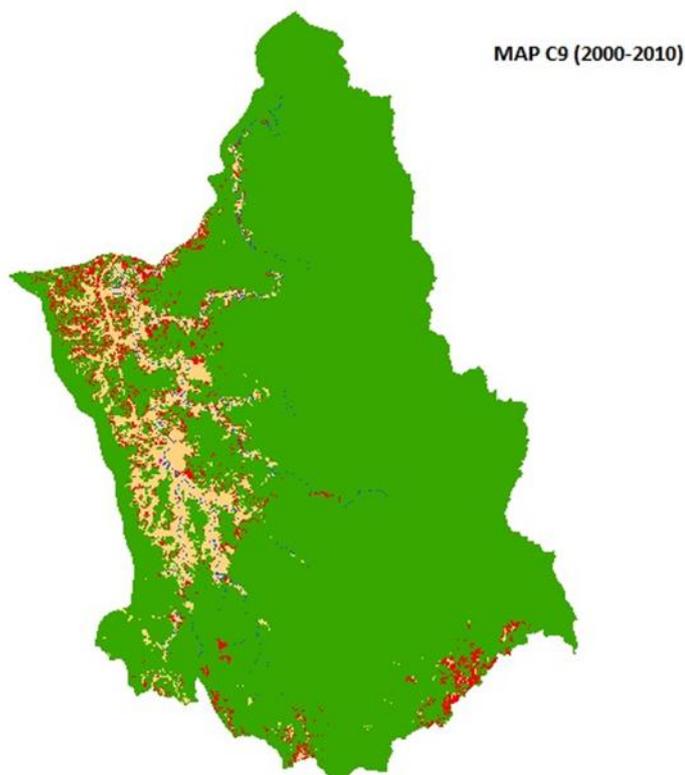


Figura 20: Resultado de la Clasificación de cambios 2000-2010

En la Tabla 19 se presenta el cálculo de la tasa anual de deforestación, en base a las superficies de deforestación acumulada obtenida para cada año dentro del periodo 2000 al 2010.

Tabla 19: Tasa de Deforestación correspondiente a cada año del periodo 2000-2010

<i>Periodo</i>	<i>Df-Di (ha)</i>	<i>n</i>	<i>TD (ha/año)</i>
2000-2001	4 116,42	1	4 116,42
2000-2002	9 801,00	2	4 900,50
2000-2004	16 715,16	4	4 178,79
2000-2005	18 195,03	5	3 639,01
2000-2006	22 113,81	6	3 685,64
2000-2007	27 555,39	7	3 936,48
2000-2008	29 998,35	8	3 749,79
2000-2009	31 361,58	9	3 484,62
2000-2010	36 765,90	10	3 676,59

Donde:

Df: Superficie deforestada final

Di: Superficie deforestada inicial

n: número de años transcurridos dentro del periodo de análisis

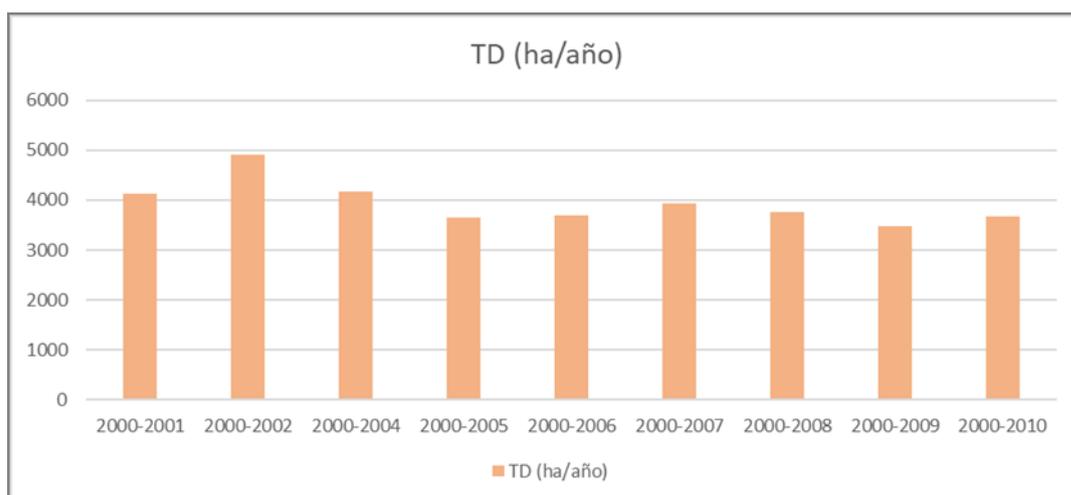


Figura 21: Tasa de deforestación anual

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 19 y Figura 21, se observa que los cambios de cobertura vegetal han sido muy dinámicos en cada periodo, con una tendencia creciente, presentando las tasas de deforestación más altas para los periodos 2000- 2002 (4 900.50 ha/año), periodo 2000-2007 (3 936,48 ha/año) y el periodo 2000-2008 (3 749,79 ha/año). Ello se debe a factores principalmente antrópicos, de acuerdo al antecedente histórico de degradación por ganadería y agricultura migratoria (incluyendo cultivos ilícitos) presentes en el área de estudio. A su vez, dichos cambios se incrementan por la intensa actividad del hombre en las cuencas hidrográficas, principalmente en áreas aledañas a las quebradas y ríos, lo que genera la pérdida de la cobertura boscosa y disminución en cantidad y calidad del recurso hídrico y suelo; afectando de esta manera a las comunidades que viven en las cuencas.

Tabla 20: Tasa de cambios para la clase “bosque” correspondiente a cada año dentro del periodo 2000 al 2010

<i>Periodo</i>	<i>n</i>	<i>Si</i>	<i>Sf</i>	<i>Sf/Si</i>	<i>1/n</i>	<i>TC (%)</i>
2000-2001	1	956 938,05	952 816,77	0,996	1,00	-0,43
2000-2002	2	956 938,05	947 132,19	0,990	0,50	-0,51
2000-2004	4	956 938,05	940 218,03	0,983	0,25	-0,44
2000-2005	5	956 938,05	938 738,16	0,981	0,20	-0,38
2000-2006	6	956 938,05	935 341,83	0,977	0,17	-0,38
2000-2007	7	956 938,05	935 341,83	0,977	0,14	-0,33
2000-2008	8	956 938,05	926 934,84	0,969	0,13	-0,40
2000-2009	9	956 938,05	925 571,61	0,967	0,11	-0,37
2000-2010	10	956 938,05	920 167,29	0,962	0,10	-0,39

Donde:

Sf: superficie de bosque final

Si: superficie de bosque inicial

n: número de años transcurridos dentro del periodo de análisis

Con respecto al análisis de la tasa de cambios para la clase de cambio “bosque”, se observa en la Tabla 20 que todos los resultados obtenidos son negativos, los cuales representan la pérdida de bosque natural causada por la deforestación. Además, se infiere que los periodos de estudio que más sufrieron pérdidas en la categoría “bosque” fueron los periodos

correspondientes a: 2000-2007 (-0,33 por ciento) con un área de pérdida total de 27 555,39 ha; 2000-2009 (-0,37 por ciento) con un área de pérdida total de 31 361,58 ha y 2000-2010 (-0,39 por ciento) con un área de pérdida total de 36 765,90 ha.

Los resultados analizados anteriormente confirman que las áreas de bosque, en el valle del Río Pichis, se vean amenazadas por la expansión de la agricultura y la ganadería de poco impacto económico, las cuales son las principales causas de deforestación en la zona. Además, se debe considerar dentro de estos impactos la acción directa del ganado relacionado a la compactación y la pérdida de fertilidad del suelo, así como al cambio climático debido por emisión de metano. De esta manera los servicios ambientales generados por el bosque en pie se van reduciendo a áreas protegidas, a zonas de difícil acceso o de pendientes demasiado pronunciadas (UNODC 2011).

3.1.4. DETERMINACIÓN DEL PERIODO ÓPTIMO DE CAMBIOS

Para determinar el “periodo óptimo de cambios” se aplicó la prueba de Chi-cuadrado, considerando al número de píxeles de cada clase de cambio obtenida mediante la superposición de mapas de deforestación, como distribución de frecuencias (Ver Anexo 1) para comparar los mapas de cambios obtenidos y analizar cuál es el periodo de estudio que muestre cambios significativos en la cobertura vegetal para la zona del valle del Río Pichis.

Tabla 21: Tabla formato para la aplicación de la Prueba Chi-cuadrado de acuerdo a las clases de cambio obtenidas

<i>Clases de cambio</i>	<i>E→f (número de píxeles de Img_{ci})</i>	<i>O→f (número de píxeles de Img_{cii})</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven		
Bosque Alto- Act. Agropecuaria		
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven		
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop		
Bosque Alto- Bosque Alto		
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria		
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven		
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop		
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria		
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven		
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop		

<i>Clases de cambio</i>	<i>E→f (número de pixeles de Img_{ci})</i>	<i>O→f (número de pixeles de Img_{cii})</i>
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria		
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop		
Rios- Rios		
Centro Poblado- Centro Poblado		
TOTAL		

Para obtener los resultados que se detallan a la Tabla 21, se consideró lo siguiente:

Nivel de significancia de 0,05= 95 por ciento

GL=15-1= 14

Tabla 22: Resultados del análisis estadístico

<i>Mapas de cambio</i>	<i>χ^2 calculado</i>	<i>χ^2 tabular</i>	<i>Decisión</i>
MAP C9 - MAP C8	0,1267	23,685	No se rechaza Ho
MAP C9 - MAP C7	0,1955	23,685	No se rechaza Ho
MAP C9 - MAP C6	0,3779	23,685	No se rechaza Ho
MAP C9 - MAP C5	1,4326	23,685	No se rechaza Ho
MAP C9 - MAP C4	2,6590	23,685	No se rechaza Ho
MAP C9 - MAP C3	3,3894	23,685	No se rechaza Ho
MAP C9 - MAP C2	11,0620	23,685	No se rechaza Ho
MAP C9 - MAP C1	29,9725	23,685	Se rechaza Ho

Donde:

Ho: No existe diferencia significativa entre los mapas de cambio

H1: Existe diferencia significativa entre los mapas de cambio

De los valores observados en la Tabla 22, se deduce que al comparar el mapa de cambios MAP C9 y el MAP C1 (periodo de 10 años) las tasas de cambio tienen diferencias significativas, por lo que se rechaza la hipótesis nula. En cambio, las tasas de cambio correspondientes a periodos de estudio de cambio de 1 a 9 años, son similares y por ende referenciales entre ellas.

Por otro lado, algunos autores consideran que para realizar un análisis multitemporal de la cobertura de la tierra, un intervalo de tres a cinco años es representativo para evidenciar cambios en la cobertura; sin embargo, las investigaciones deben ajustarse a las características del crecimiento de la cobertura vegetal propio del área de estudio (Chuvieco 2002, Sánchez 2009).

Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se deduce que es válido poder usar como referencia aquella tasa de cambio producto de estudios que se basan en intervalos de análisis multitemporal de 1 a 9 años; en cambio, la tasa de cambio obtenida para un periodo o intervalo de análisis de 10 años, presenta diferencias significativas validadas estadísticamente, infiriendo así que un periodo de 10 años es el óptimo o adecuado para reportar cambios significativos en la cobertura vegetal.

V. CONCLUSIONES

- 1) El periodo óptimo para el análisis de la deforestación para el Valle del río Pichis es 10 años.
- 2) La superficie deforestada acumulada para el periodo 2000 – 2010, para el valle del Río Pichis, es de 36 765,9 ha, la cual representa el 3,55 por ciento de la superficie total.
- 3) De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la interpretación visual de imágenes de satélite para el periodo de estudio, se deduce que el valle del Río Pichis ha sufrido alta degradación de los bosques durante los 10 años de evaluación y que los cambios en la cobertura del bosque están asociados a una conversión por agricultura migratoria y actividad ganadera, siendo estos los principales drivers de deforestación.
- 4) La tasa promedio anual de deforestación para el valle del Río Pichis durante el periodo 2000 – 2010 es de 3 929,76 ha.
- 5) La tasa de cambio obtenida para la clase de bosque es -0,4; la cual demuestra la pérdida de cobertura vegetal en esta categoría. Además, los resultados reflejan una tendencia creciente en procesos de deforestación y cambios de uso del suelo, por lo que es fundamental tomar medidas preventivas de manejo y conservación de la cobertura forestal y de la biodiversidad en el área de estudio.
- 6) La metodología empleada, la que se basa en el uso de la teledetección y SIG, se ha mostrado satisfactoria para analizar la deforestación en el valle del Pichis.
- 7) La prueba de X² demostró ser eficaz para ayudar a determinar las diferencias entre dos distribuciones de frecuencias correspondientes a las clases de cobertura vegetal estudiadas.

VI. RECOMENDACIONES

- La zona del valle del Pichis no cuenta con información actualizada sobre el estado del patrimonio natural, por lo que es importante profundizar el estudio de los principales servicios ecosistémicos de la zona.
- Para realizar futuros estudios de este tipo, se debe tener en cuenta otras variables como, tipo de imagen a utilizar, habilidades del analista sobre los métodos de detección de cambios, extensión a evaluar, costos de implementación, entre otros.
- Es importante considerar que el intérprete tenga conocimiento del área de estudio y esté familiarizado con la interpretación visual de imágenes satelitales.
- Si bien se ha realizado una adecuada interpretación según la resolución espacial de las imágenes utilizadas, escala y unidad mínima de interpretación, es recomendable verificar y validar la interpretación mediante salidas al campo que permitan actualizar la información.
- Para poder hacer frente a las causas de deforestación en el valle del Rio Pichis, se deberán cambiar las propuestas de los proyectos que promueven a la expansión de la frontera agrícola y deforestación, sustituyéndolos por mejores ideas como tecnificación y manejos de cultivos, huertos familiares, cultivos alternativos, preparación de sustratos de buena calidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arozarena, V.I.; Fernández, A. 1989. Teledetección y planificación integrada del territorio, MOPU. En Aplicaciones de las imágenes espaciales a la cartografía de base. Madrid. p. 215-223.
- Aulló M. 2013. La teledetección como herramienta para la evaluación de la vulnerabilidad de ecosistemas forestales latinoamericanos frente al cambio climático: fragmentación y conectividad. Estado Del Arte. Tesis Mag. Sc. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 30 p.
- Barrena, V; Rubín De Celis, E; Guillén, R; Ponce, B; O'Brien, E; Huamaní, J; Fernández, J. 2014. Monitoreo de la deforestación por monocultivos agroindustriales en la Amazonía peruana. Sociedad Peruana de Ecodesarrollo (en línea). Laboratorio de Teledetección Aplicada y SIG (FCF-UNALM). Parte I. 78 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://www.biofuelobservatory.org/Documentos/Informes-de-la-SPDE/Monitoreo-Deforestacion-por-Palma-I.pdf>
- Bocco G.; Mendoza, M. E. & Masera, O. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletín N° 44. Instituto de Geografía – UNAM. México. p. 18-38.
- Bosque, J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Rialp, 452p.
- Calzada, J. 1970. Métodos estadísticos para la investigación. Editorial Jurídica. Lima, Perú. 643 p.
- Campbell, J. B. 1987. Introduction to Remote Sensing, New York, The Guilford Press. 551 p.
- Cárdenas, O. 2005. Ordenamiento ecológico e impacto ambiental: tendencias globales en el cambio de uso del suelo. Universidad de Guadalajara. México. 70 p.

- Chao, L. 1973. Estadísticas para Economistas y Administradores de Empresas. Quinta Edición. Herrero Hermanos, Sucs., S.A. México.
- Chuvieco E. 1990. Fundamentos de la Teledetección Espacial (en línea). Madrid. 2 ed. 224 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200001110-8750e88486/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- Chuvieco E. 2006. Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel. 586 p.
- CMNUCC (Convención Marco de Naciones Unidas ante el Cambio Climático). 2002. Informe de la Conferencia de las Partes sobre su Séptimo Período de Sesiones, celebrado en Marrakech del 29 de octubre al 10 de noviembre de 2001. Segunda parte. Medidas adoptadas por la conferencia de las partes (en línea). Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop7/cp713a01s.pdf>
- CI (Conservación Internacional). 2008. Estudio de Línea Base del Proyecto Manejo Integral de Bosques Comunitarios en el Valle del Pichis – Selva Central, Perú.
- CDC - UNALM (Centro de Datos para la Conservación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, PE). 2004. Análisis y modelación espacio-temporal del paisaje en las áreas de intervención del Programa de Desarrollo Alternativo (PDA) (en línea). Consultado 11 en. 2017. Disponible en: http://cdc.lamolina.edu.pe/Descargas/EcologiaPaisaje/PDA_ResumenEjecutivo.htm
- 1
- Dancé J. 1982. Tendencias de la Deforestación con Fines Agropecuarios en la Amazonía Peruana. Revista Forestal del Perú. 10:1-8
- Doujoreanni, M. 1990. Amazonía ¿Qué hacer? Centro de Estudios Teológicos de la Amazonía. Iquitos, Perú. 444 p.
- DEVIDA (Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas, PE). 2003. Gerencia de Conservación del Medio Ambiente y Recuperación de Ecosistemas Degradados. Manejo Integral de Bosques Comunitarios en el Valle del Pichis- Selva Central. Lima, Perú.

- Eastman, R.J. 2001. Guide to GIS an imagen processing. Volume 1.Ed. Clark Labs. Worcester, M.A. 172 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2001. Causas y Tendencias de la Deforestación en América Latina. Documento de Trabajo 52. Programa de Evaluación de los Recursos Naturales (en línea). Roma, Italia. 91 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/ad680s/ad680s00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2005. Global Forest Resource Assessment, 15 Key findings (en línea). Roma, Italia. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: http://www.unep.org/training/programmes/Instructor%20Version/Part_2/Activities/Ecosystems/Forests/Supplemental/Key_Findings.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2010. Global Forest Resource Assesmen 2010, Main Report (en línea). Roma, Italia. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2012. Estado de los Bosques del mundo 2012 (en línea). Roma, Italia. 64 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/i3010s/i3010s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2015. FRA. Términos y Definiciones. Documento de Trabajo (en línea). Consultado 11 en. 2017. Disponible en: www.fao.org/forestry/fra
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2016a. Los Bosques y Cambio Climático en el Perú. Documento de Trabajo 14 (en línea). Roma, Italia. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5184s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2016b. El Estado de los Bosques del Mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra (en línea). Roma. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5588s.pdf>

- Figallo C. 1997. Análisis Digital de Imágenes de Satélite para la clasificación del Bosque Seco del Nor- Oeste Peruano. Tesis Ing. Forestal. UNALM. Lima, Perú.
- FONAM (Fondo Nacional del Ambiente, PE). 2006. Propuesta Final para una Definición Peruana de Bosques a ser utilizada en Proyectos de Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra bajo el Protocolo de Kyoto durante el primer periodo de Compromiso. Lima, Perú.
- GGGI (Global Green Growth Institute), GDI (German Development Institute) y SERFOR (Servicio Nacional Forestal). 2015. Interpretación de la Dinámica de Deforestación en el Perú y Lecciones Aprendidas para Reducirla. Documento de trabajo (en línea). Perú. 42 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/Interpretacion-de-la-dinamica-de-la-deforestacion-en-el-Peru-y-lecciones-aprendidas-para-reducirla-1.pdf>
- Geist, H. J. & Lambin, E. F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience* (en línea). 52 (2): 143. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <https://academic.oup.com/bioscience/article/52/2/143/341135>
- Gerrand A., Lindquist E., D'Annunzio R. 2011. Un estudio por teledetección permite actualizar los cálculos de pérdidas de superficies forestales. *Unasylva* 62 (238): 3-11.
- Guariguata, M.R., Masera, O.R., Johnson, F.X., von Maltitz, G., Bird, N., Tella, P., Martínez- Bravo, R. 2011. A review of environmental issues in the context of biofuel sustainability frameworks. Occasional Paper 69. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Henderson-Sellers, A. 1990. Modelling and Monitoring 'Greenhouse' Warming. *Trends in Ecology and Evolution* 5: 270-275.
- Henderson-Sellers, A.1991. Developing an Interactive Biosphere for Global Climate Models. *Vegetatio* 91: 149-166.
- Henderson-Sellers, A.1993. Continental Vegetation as a Dynamic Component of a Global Climate Model: A Preliminary Assessment. *Climatic Change* 23: 337-377.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales).1996. Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995. Lima, Perú. 129 p.

- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2012. Resultado definitivos del IV Censo Nacional Agropecuario 2012 (en línea). Lima, Perú. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENA GRO.pdf>
- Lambin E. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 21(3): 375-393.
- Lambin E., Turner B. L., Geist H., Agbola S., Angelsen A., Bruce J., Coomes O., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E., Mortimore M., Ramakrishnan P., Xu J. 2001. The causes of land- use and land- cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.
- Lambin, E. F., Geist, H. J. y Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources* 28: 205-241.
- Laurance W.; Ferreira L.; Rankin-De Merona J.; Laurance S. 1998. Rain Forest Fragmentation and the Dynamics of Amazonian Tree Communities, *Ecological Society of America* 79(6): 2032–2040.
- Lillo, J., 2006. Impactos de la minería en el medio natural. Grupo de Geología. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España 35 p.
- Lillesand, T. M.; Kiefer R. W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons Inc. (en línea). 3d ed., New York, U. S. A., 750 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/233973017/Remote-Sensing-and-Image-Interpret-T-M-Lillesand>.
- Lu, D., Mausel P., Brondizio, E., Moran, E. 2004. Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing* 25(12):2365-2407.
- Malleux, J. 1975. Mapa Forestal del Perú. Memoria Explicativa. Universidad Nacional Agraria. Lima, Perú. 161 p.
- Marrubio, P. M. 2004. La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje. *GeoFocus* no 4: 1-24.
- Martin. R. M. 2008. Deforestación y Uso de la Tierra y REDD. *Unasylva* 59(230): 3-11.

- Martino, D. 2007. Deforestación en la Amazonía: principales factores de presión y perspectivas. Revista del Sur N° 169. p. 3-22.
- Mas JF, Sorani V, Alvarez R. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. Investigaciones Geográficas 5: 43-57.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2009a. Causas y Medidas de Mitigación a la Deforestación en Áreas Críticas de la Amazonía Peruana y a la Emisión de Gases de Efecto Invernadero. Lima, Perú. 350 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2009b. Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana, año base 2000. Memoria Descriptiva. Lima, Perú. 103 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2010. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático. Lima. 206 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2012. Memoria Técnica de la Cuantificación de Cobertura de Bosque y Cambio de Bosque a no Bosque de la Amazonía Peruana: Periodo 2000-2005-2009. Lima, Perú. 37 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2013. Diálogos Ambientales con la Prensa. Minería Ilegal (en línea). Documento de Trabajo. Lima. 206 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/informessectoriales/wpcontent/uploads/sites/112/2016/02/12-La-lucha-por-la-legalidad-en-la-actividad-minera.pdf>
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2016a. Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático. Decreto Supremo N° 007-2016-MINAM. Lima, Perú. 206 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2016b. La Conservación de Los Bosques en el Perú (2011-2016). Conservando los Bosques en un contexto de Cambio Climático como aporte al Crecimiento verde. Informes sectoriales. Lima, Perú. 180 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente) y MINAGRI (Ministerio de Agricultura) (s.f). Mapa de Bosque/No Bosque 2001 – 2016 (en línea). Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php>

- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE), MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2016. Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – Perú (en línea). Lima, Perú. 42 p. Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2017/02/MARCO%20METODOLOGICO%20DEL%20INFFS.pdf>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE), MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2017. Datos Oficiales de Bosques y Pérdida de la Cobertura de Bosques Amazónicos-2016 (en línea). Consultado 11 en. 2017. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/358714812/datos-de-perdida-de-cobertura-de-los-bosques-humedos-amazonicos-en-el-2016>
- Moldes, F. J. 1995. Tecnología de los sistemas de información geográfica. Ed. RAMA.
- Monge, J., Perez, A. (s.f). Estadística No Paramétrica: Prueba de Chi Cuadrado X2 (en línea) UOC. Consultado 10 jul. 2017. Disponible en: http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Chi_cuadrado.pdf
- Moreno, R. 2013. Cálculo de la tasa de deforestación anual en el Periodo 2001-2011 en la Provincia de Tambopata con imágenes de NDVI (MOD 13) de MODIS, mediante relación de ajuste de recta. En Anais XVI-Simposio Brasileiro de Sensoramiento Remoto-SBSR, Foz do Iguazu. INPE. Brazil. p. 1346-1354.
- Novo, E. M. 1998. Sensoramiento Remoto, Principios y Aplicaciones. Brasil. Editorial Blucher.
- Ojima, D.S.; K.A. Galvin and B.L. Turner II. 1994. The global impact of land-use change. *BioScience* 44 (5): 300-305.
- Olaya V. 2014. Sistemas de Información Geográfica (en línea). 854p. Consultado 10 jul. 2017. Disponible en: https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- OIM (Organización Internacional para las Migraciones, PE). 2015. Migraciones Internas en el Perú. Lima, Perú. 180 p.
- Pérez-Carrera, A.; Moscuza, C.H.; Fernández-Cirelli, A. 2008. Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. *Rev. Ecosistemas* 17 (1): 5-15.

- Pérez C. y Muñoz A. 2006. Teledetección Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca. España. 378 p.
- Reátegui F. 1996. Monitoreo Continuo de los Procesos de Deforestación en la Amazonia Peruana. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú, UNALM.
- Rodríguez M. V, Báez G. A., Ramos G. L y Gonzales G. M. 2007. Marco de áreas para caracterizar áreas agrícolas con imágenes de satélite. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. p. 12-13.
- Rosete, F y Bocco, G. 2003. Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. Instituto Nacional de Ecología Consultado.
- Saldaña M.K. 2010. Determinación del Cambio de Cobertura Vegetal en el área de Conservación Municipal “Bosques de Huamantanga”, utilizando imágenes de Satélite. Tesis Ing. Forestal. Cajamarca, Perú. UNC. 77 p.
- Santillana R. 2005. Manejo del Caucho Silvestre en Bosques Comunales. Tesis Mag. Sc. (en línea). Lima, PE, PUCP. 62 p. Consultado 10 jul. 2017. Disponible en: <http://191.98.188.189/Fulltext/6901.pdf>
- Saunders, D., R. Hobbs & C. Margules, 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review, *Conservation Biology* (5) 1: 18-27 p.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2014. Informe de Trabajo. Lima, Perú. 33 p.
- Singh, P. y Khanduri, K. 2010. Land use and Land cover change detection through Remote Sensing & GIS Technology: Case study of Pathankot and Dhar Kalan Tehsils, Punjab. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1:839-846.
- UNODC (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, PE), MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2011. Análisis Económico de Las Actividades Causantes de la Deforestación Pichis- Palcazú (en línea). Consultado 10 jul. 2017. Disponible en: http://www.unodc.org/documents/peruandecuador/Informes/analisis_economico_pichis_palcazu1.pdf

- Valladares, M. 2010. Evaluación del Potencial Ecoturístico de Seis Comunidades Nativas del Valle del Pichis. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú, UNALM.
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. & Palacio, J. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*. p. 21-37.
- Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J. & Melillo, J. M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*. 277: 494-499.
- Von Thaden J. 2012. Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en el municipio de Guelatao de Juárez. Tesis. Lic. Biología. Universidad de la Sierra de Juárez. Oaxaca. México. 68 p.
- Turner II, B. L. 2001. "Land-use and land-cover change: advances in 1.5 decades of sustained international research", *GAIA* 10(4): 269-272.
- WWF (World Wildlife Fund). 2003. Informe Técnico: Análisis de Cambios de Paisaje: Tournavista – Campo Verde y su Área de Influencia. Pérdida y Fragmentación de Bosques: (1963 – 2000). Lima- Perú. 31 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

a. MAP C9 vs MAP C1

<i>Clases de cambio</i>	ESPERADO		OBSERVADO		<i>TOTAL</i>
	<i>f (número de píxeles de Map c1)</i>	<i>%</i>	<i>f (número de píxeles de Map c9)</i>	<i>%</i>	
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	760	0.05949	4505	0.35261	5265.059487
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	759	0.05941	10088	0.78961	10847.05941
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	25181	1.97096	15804	1.23701	40986.97096
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	3567	0.27920	30797	2.41054	34364.2792
Bosque Alto- Bosque Alto	1176317	92.07255	1136009	88.91756	2312418.073
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	693	0.05424	2624	0.20539	3317.054242
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	65	0.00509	118	0.00924	183.0050877
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	2044	0.15999	9490	0.74280	11534.15999
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	4186	0.32765	3697	0.28937	7883.327646
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	134	0.01049	153	0.01198	287.0104884
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	111	0.00869	551	0.04313	662.0086882
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	265	0.02074	1111	0.08696	1376.020742

Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	56117	4.39238	55252	4.32468	111373.3924
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

<i>Clases de cambio</i>	<i>O-E</i>	<i>(O-E)²</i>	<i>((O-E)²/E</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	0.29313	0.0859	1.444
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.73020	0.5332	8.975
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.73396	0.5387	0.273
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	2.13134	4.5426	16.270
Bosque Alto- Bosque Alto	-3.15498	9.9539	0.108
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.15114	0.0228	0.421
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00415	0.0000	0.003
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.58281	0.3397	2.123
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.03827	0.0015	0.004
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	0.00149	0.0000	0.000
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.03444	0.0012	0.137
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.06622	0.0044	0.211
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.06771	0.0046	0.001
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		X2 calculado	29.973
		X2 tabulado	23.685

b. MAP C9 vs MAP C2

<i>Clases de cambio</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c2)</i>	<i>%</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c9)</i>	<i>%</i>	<i>TOTAL</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	2467	0.19310	4505	0.35261	6972.193097
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	1476	0.11553	10088	0.78961	11564.11553
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	24259	1.89880	15804	1.23701	40064.8988
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	8158	0.63854	30797	2.41054	38955.63854
Bosque Alto- Bosque Alto	1169299	91.52323	1136009	88.91756	2305399.523
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	843	0.06598	2624	0.20539	3467.065983
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	57	0.00446	118	0.00924	175.0044615
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	2816	0.22041	9490	0.74280	12306.22041
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	4152	0.32498	3697	0.28937	7849.324985
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	179	0.01401	153	0.01198	332.0140107
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	156	0.01221	551	0.04313	707.0122104
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	319	0.02497	1111	0.08696	1430.024969
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	56018	4.38463	55252	4.32468	111274.3846
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

<i>Clases de cambio</i>	O-E	(O-E)2	((O-E)2)/E
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	0.15952	0.0254	0.132
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.67408	0.4544	3.933
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.66179	0.4380	0.231
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	1.77200	3.1400	4.917
Bosque Alto- Bosque Alto	-2.60567	6.7895	0.074
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.13940	0.0194	0.295
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00477	0.0000	0.005
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.52239	0.2729	1.238
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.03561	0.0013	0.004
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	-0.00204	0.0000	0.000
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.03092	0.0010	0.078
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.06199	0.0038	0.154
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.05996	0.0036	0.001
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		11.062	X2 calculado
		23.685	X2 tabulado

c. **MAP C9 vs MAP C3**

Clases de cambio	f (número de píxeles de lmg c3)	%	f (número de píxeles de lmg c9)	%	TOTAL
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	3484	0.27270	4505	0.35261	7989.272699
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	3194	0.25000	10088	0.78961	13282.25
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	21147	1.65522	15804	1.23701	36952.65522
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	13958	1.09252	30797	2.41054	44756.09252
Bosque Alto- Bosque Alto	1160763	90.85510	1136009	88.91756	2296862.855
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	1481	0.11592	2624	0.20539	4105.115921
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	27	0.00211	118	0.00924	145.0021133
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	5290	0.41406	9490	0.74280	14780.41406
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	4116	0.32217	3697	0.28937	7813.322167
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	164	0.01284	153	0.01198	317.0128366
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	223	0.01745	551	0.04313	774.0174546
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	470	0.03679	1111	0.08696	1581.036788
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	55882	4.37399	55252	4.32468	111138.374
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Clases de cambio	O-E	(O-E) ²	((O-E) ²)/E
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	0.07992	0.0064	0.023
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.53961	0.2912	1.165
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.41821	0.1749	0.106
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	1.31802	1.7372	1.590
Bosque Alto- Bosque Alto	-1.93754	3.7541	0.041
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.08946	0.0080	0.069
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00712	0.0001	0.024
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.32874	0.1081	0.261
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.03280	0.0011	0.003
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	-0.00086	0.0000	0.000
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.02567	0.0007	0.038
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.05017	0.0025	0.068
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.04931	0.0024	0.001
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		3.389	X2 calculado
		23.685	X2 tabulado

d. MAP C9 vs MAP C4

<i>Clases de cambio</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c4)</i>	<i>%</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c9)</i>	<i>%</i>	<i>TOTAL</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	3752	0.29368	4505	0.35261	8257.293676
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	3782	0.29602	10088	0.78961	13870.29602
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	20618	1.61381	15804	1.23701	36423.61381
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	14929	1.16852	30797	2.41054	45727.16852
Bosque Alto- Bosque Alto	1158936	90.71210	1136009	88.91756	2295035.712
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	1546	0.12101	2624	0.20539	4170.121008
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	27	0.00211	118	0.00924	145.0021133
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	5754	0.45038	9490	0.74280	15244.45038
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	4114	0.32201	3697	0.28937	7811.322011
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	164	0.01284	153	0.01198	317.0128366
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	225	0.01761	551	0.04313	776.0176112
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	474	0.03710	1111	0.08696	1585.037101
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	55878	4.37368	55252	4.32468	111134.3737
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

<i>Clases de cambio</i>	<i>O-E</i>	<i>(O-E)²</i>	<i>((O-E)²)/E</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	0.05894	0.0035	0.012
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.49358	0.2436	0.823
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.37680	0.1420	0.088
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	1.24202	1.5426	1.320
Bosque Alto- Bosque Alto	-1.79454	3.2204	0.036
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.08438	0.0071	0.059
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00712	0.0001	0.024
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.29242	0.0855	0.190
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.03264	0.0011	0.003
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	-0.00086	0.0000	0.000
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.02552	0.0007	0.037
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.04986	0.0025	0.067
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.04900	0.0024	0.001
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		2.659	X2 calculado
		23.685	X2 tabulado

e. **MAP C9 vs MAP C5**

<i>Clases de cambio</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c5)</i>	<i>%</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c9)</i>	<i>%</i>	<i>TOTAL</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	4010	0.31387	4505	0.35261	8515.31387
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	5345	0.41836	10088	0.78961	15433.41836
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	19268	1.50814	15804	1.23701	35073.50814
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	17301	1.35418	30797	2.41054	48099.35418
Bosque Alto- Bosque Alto	1154743	90.38391	1136009	88.91756	2290842.384
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	1937	0.15161	2624	0.20539	4561.151613
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	27	0.00211	118	0.00924	145.0021133
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	6713	0.52544	9490	0.74280	16203.52544
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	4114	0.32201	3697	0.28937	7811.322011
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	104	0.00814	153	0.01198	257.0081403
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	225	0.01761	551	0.04313	776.0176112
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	645	0.05049	1111	0.08696	1756.050485
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	55767	4.36499	55252	4.32468	111023.365
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

<i>Clases de cambio</i>	<i>O-E</i>	<i>(O-E)2</i>	<i>((O-E)2)/E</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	0.03874	0.0015	0.005
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.37124	0.1378	0.329
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.27113	0.0735	0.049
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	1.05636	1.1159	0.824
Bosque Alto- Bosque Alto	-1.46635	2.1502	0.024
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.05377	0.0029	0.019
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00712	0.0001	0.024
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.21736	0.0472	0.090
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.03264	0.0011	0.003
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	0.00384	0.0000	0.002
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.02552	0.0007	0.037
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.03647	0.0013	0.026
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.04031	0.0016	0.000
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		1.433	X2 calculado
		23.685	X2 tabulado

f. MAP C9 vs MAP C6

<i>Clases de cambio</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c6)</i>	<i>%</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c9)</i>	<i>%</i>	<i>TOTAL</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	3592	0.28115	4505	0.35261	8097.281153
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	6989	0.54704	10088	0.78961	17077.54704
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	17148	1.34221	15804	1.23701	32953.34221
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	23438	1.83454	30797	2.41054	54236.83454
Bosque Alto- Bosque Alto	1147380	89.80759	1136009	88.91756	2283478.808
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	2355	0.18433	2624	0.20539	4979.18433
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	26	0.00204	118	0.00924	144.0020351
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	8415	0.65866	9490	0.74280	17905.65866
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	3844	0.30088	3697	0.28937	7541.300877
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	81	0.00634	153	0.01198	234.00634
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	496	0.03882	551	0.04313	1047.038823
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	800	0.06262	1111	0.08696	1911.062618
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	55635	4.35466	55252	4.32468	110891.3547
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

<i>Clases de cambio</i>	<i>O-E</i>	<i>(O-E)2</i>	<i>((O-E)2)/E</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	0.07146	0.0051	0.018
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.24256	0.0588	0.108
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.10520	0.0111	0.008
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.57600	0.3318	0.181
Bosque Alto- Bosque Alto	-0.89003	0.7922	0.009
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.02106	0.0004	0.002
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00720	0.0001	0.025
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.08414	0.0071	0.011
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.01151	0.0001	0.000
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	0.00564	0.0000	0.005
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.00430	0.0000	0.000
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.02434	0.0006	0.009
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.02998	0.0009	0.000
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		0.378	X2 calculado
		23.685	X2 tabulado

g. MAP C9 vs MAP C7

<i>Clases de cambio</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c7)</i>	<i>%</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c9)</i>	<i>%</i>	<i>TOTAL</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	4322	0.33829	4505	0.35261	8827.338291
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	7458	0.58375	10088	0.78961	17546.58375
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	16749	1.31098	15804	1.23701	32554.31098
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	25255	1.97676	30797	2.41054	56053.97676
Bosque Alto- Bosque Alto	1144364	89.57152	1136009	88.91756	2280462.572
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	2453	0.19200	2624	0.20539	5077.192001
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	100	0.00783	118	0.00924	218.0078272
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	8716	0.68222	9490	0.74280	18206.68222
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	3770	0.29508	3697	0.28937	7467.295085
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	154	0.01205	153	0.01198	307.0120539
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	496	0.03882	551	0.04313	1047.038823
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	782	0.06121	1111	0.08696	1893.061209
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	55580	4.35035	55252	4.32468	110836.3504
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Clases de cambio	O-E	(O-E) ²	((O-E) ²)/E
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	0.01432	0.0002	0.001
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.20586	0.0424	0.073
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.07397	0.0055	0.004
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.43378	0.1882	0.095
Bosque Alto- Bosque Alto	-0.65396	0.4277	0.005
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.01338	0.0002	0.001
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00141	0.0000	0.000
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.06058	0.0037	0.005
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.00571	0.0000	0.000
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	-0.00008	0.0000	0.000
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.00430	0.0000	0.000
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.02575	0.0007	0.011
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.02567	0.0007	0.000
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		0.195	X2 calculado
		23.685	X2 tabulado

h. MAP C9 vs MAP C8

<i>Clases de cambio</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c8)</i>	<i>%</i>	<i>f (número de píxeles de lmg c9)</i>	<i>%</i>	<i>TOTAL</i>
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	4506	0.35269	4505	0.35261	9011.352693
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	7977	0.62437	10088	0.78961	18065.62437
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	16616	1.30057	15804	1.23701	32421.30057
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	26235	2.05346	30797	2.41054	57034.05346
Bosque Alto- Bosque Alto	1142681	89.43979	1136009	88.91756	2278779.44
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	2468	0.19318	2624	0.20539	5092.193175
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	95	0.00744	118	0.00924	213.0074358
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	8834	0.69145	9490	0.74280	18324.69145
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	3770	0.29508	3697	0.28937	7467.295085
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	154	0.01205	153	0.01198	307.0120539
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	501	0.03921	551	0.04313	1052.039214
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	805	0.06301	1111	0.08696	1916.063009
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	55557	4.34855	55252	4.32468	110813.3486
Rios- Rios	7319	0.57287	7319	0.57287	14638.57287
Centro Poblado- Centro Poblado	80	0.00626	80	0.00626	160.0062618
TOTAL	1277598	100.000	1277598	100.000	2555296

Prueba Chi Cuadrado

$$X^2 = \sum_{k=1}^i \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Clases de cambio	O-E	(O-E) ²	((O-E) ² /E
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven	-0.00008	0.0000	0.000
Bosque Alto- Act. Agropecuaria	0.16523	0.0273	0.044
Bosque Secundario Joven -Bosque Secundario Joven	-0.06356	0.0040	0.003
Bosque Alto- Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.35708	0.1275	0.062
Bosque Alto- Bosque Alto	-0.52223	0.2727	0.003
Bosque Secundario Joven -Act. Agropecuaria	0.01221	0.0001	0.001
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven	0.00180	0.0000	0.000
Bosque Secundario Joven - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.05135	0.0026	0.004
Act. Agropecuaria - Act. Agropecuaria	-0.00571	0.0000	0.000
Bosque Secundario Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven	-0.00008	0.0000	0.000
Act. Agropecuaria - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	0.00391	0.0000	0.000
Bosque secundario Joven/ Act. Agrop - Act. Agropecuaria	0.02395	0.0006	0.009
Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop - Bosque 2rio Joven/ Act. Agrop	-0.02387	0.0006	0.000
Rios- Rios	0.00000	0.0000	0.000
Centro Poblado- Centro Poblado	0.00000	0.0000	0.000
		0.127	X2 calculado
		23.685	X2 tabulado

ANEXO 2

MAPAS DE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIOS POR PERIODO

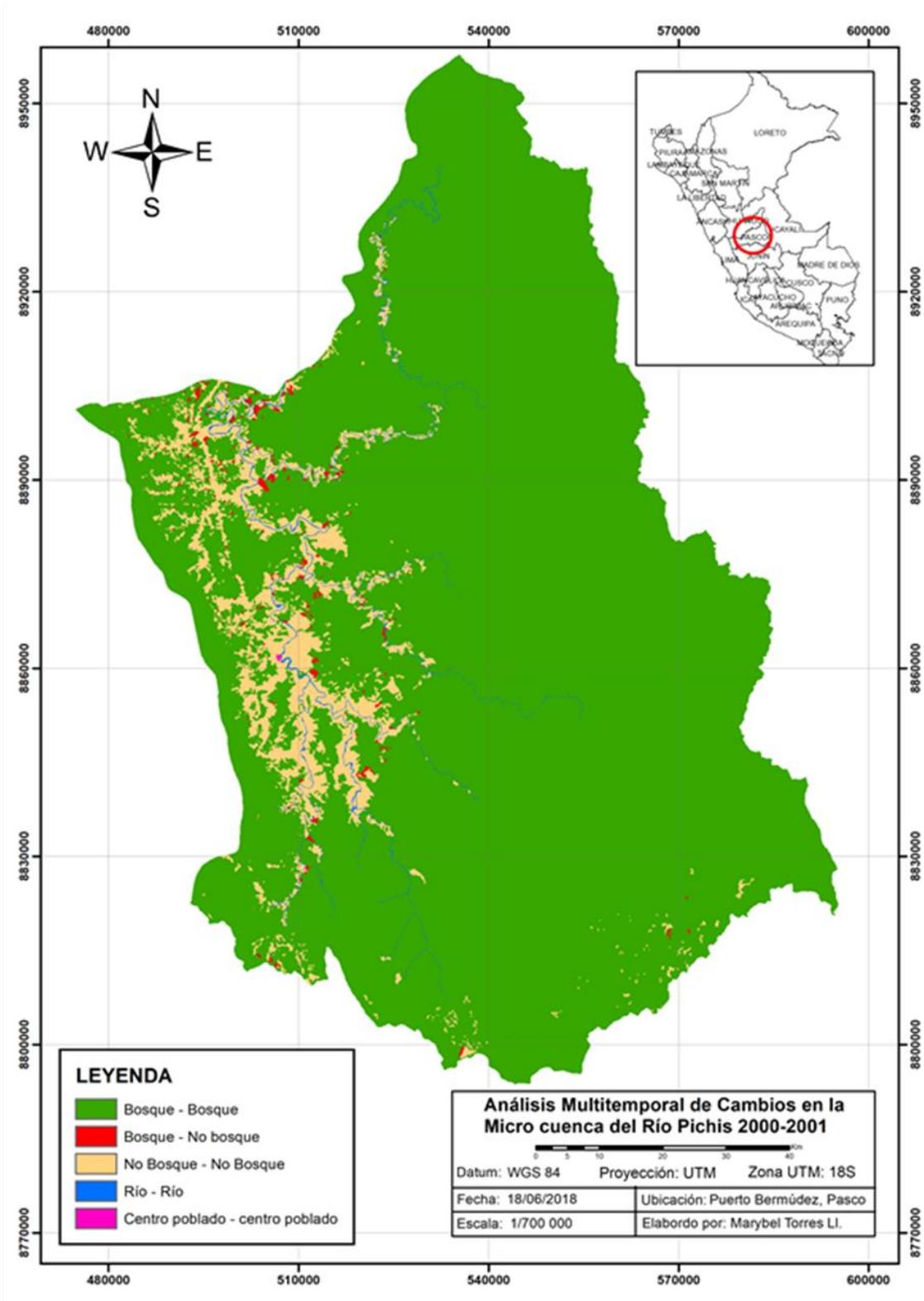


Figura 22: Mapa de cambios para el periodo 2000-2001

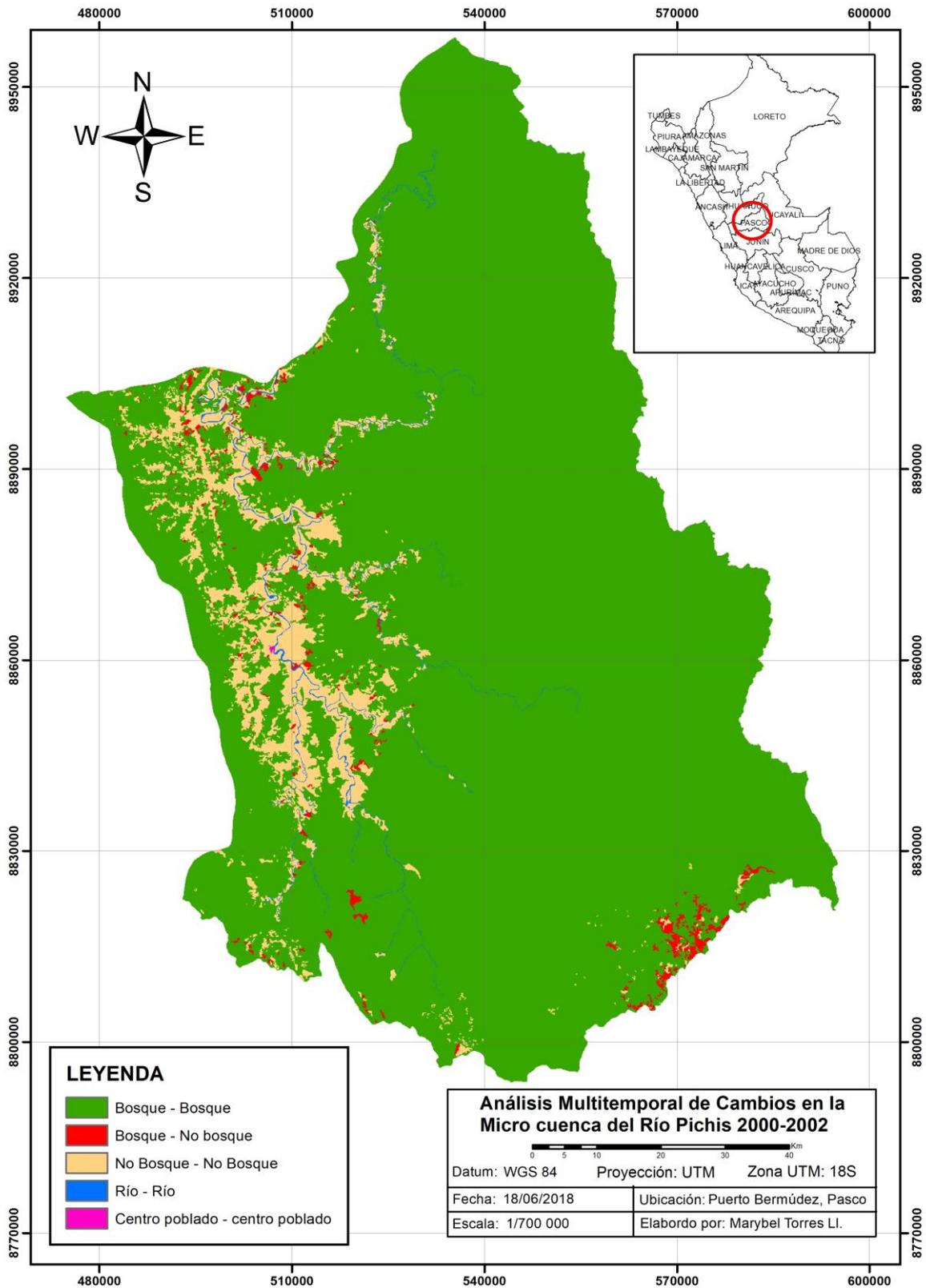


Figura 23: Mapa de cambios para el periodo 2000-2002

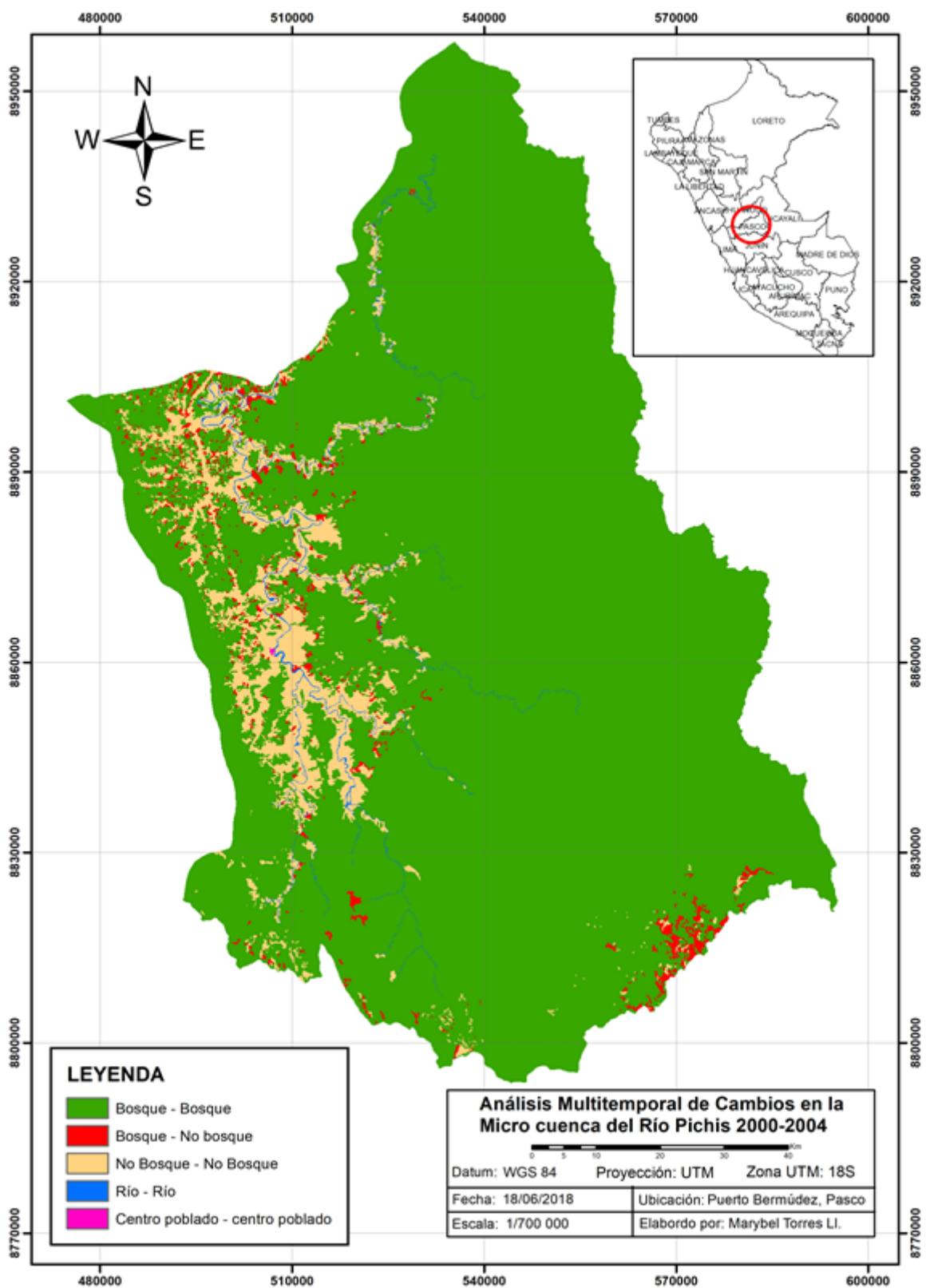


Figura 24: Mapa de cambios para el periodo 2000-2004

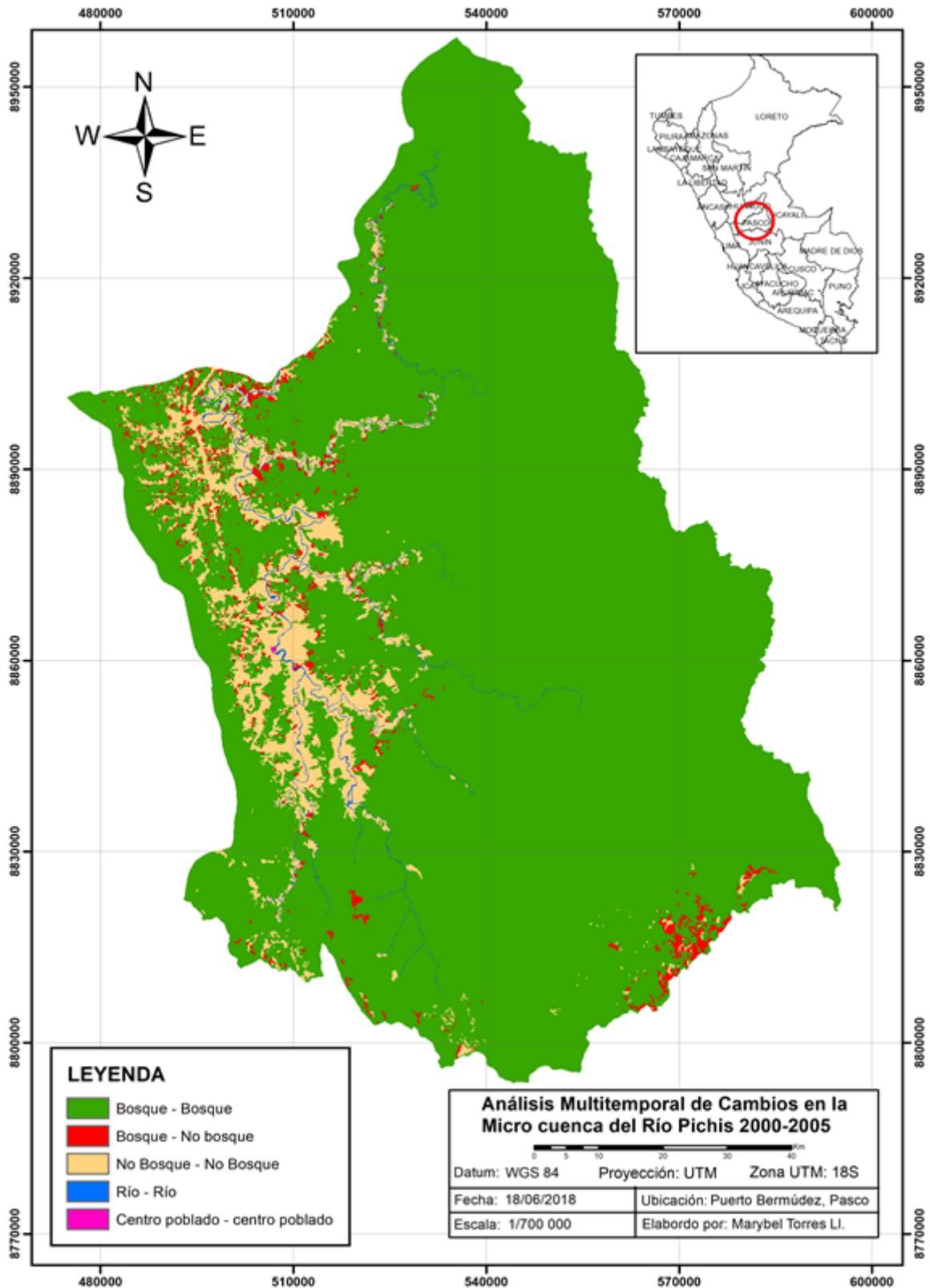


Figura 25: Mapa de cambios para el periodo 2000-2005

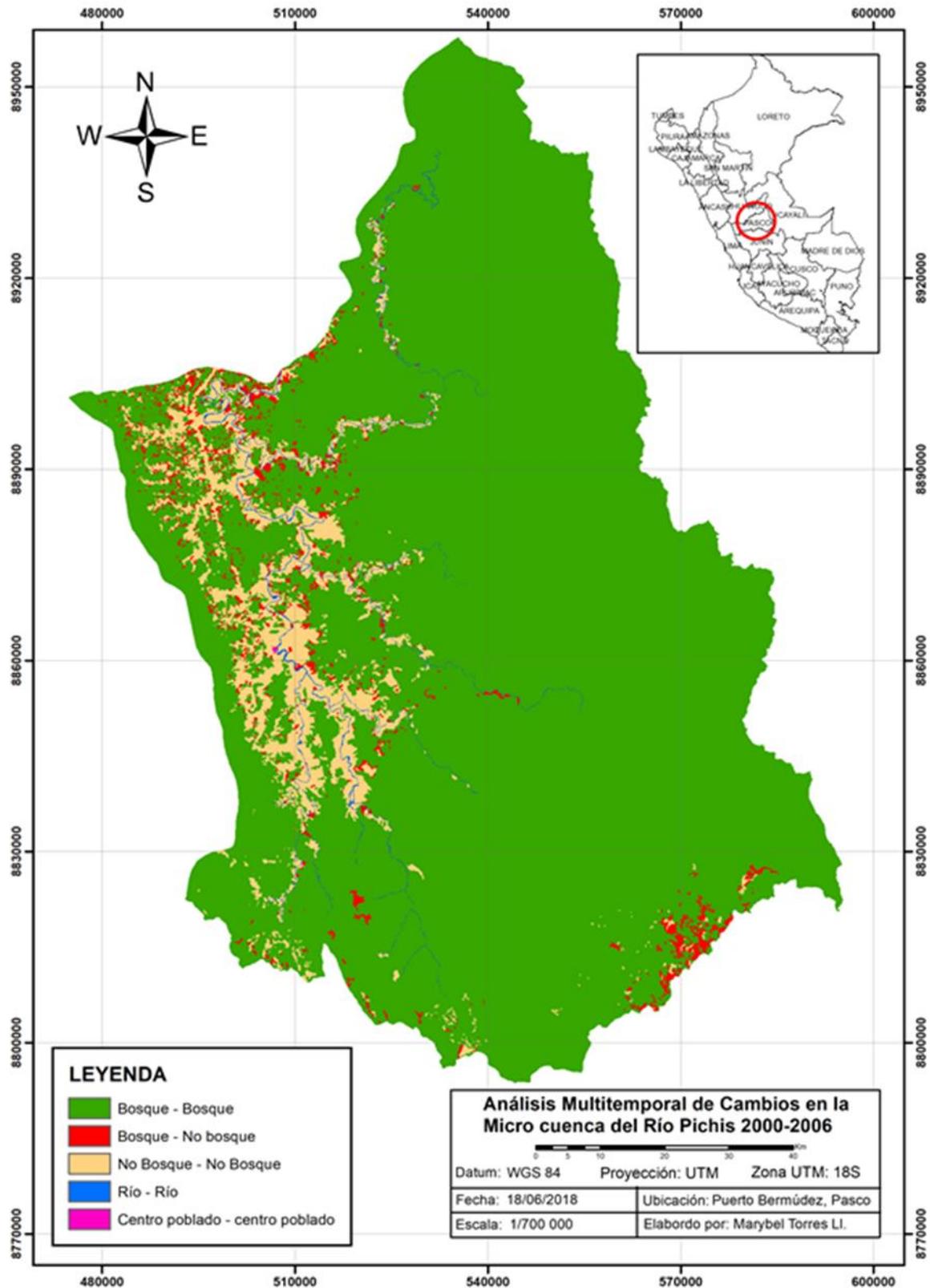


Figura 26: Mapa de cambios para el periodo 2000-2006

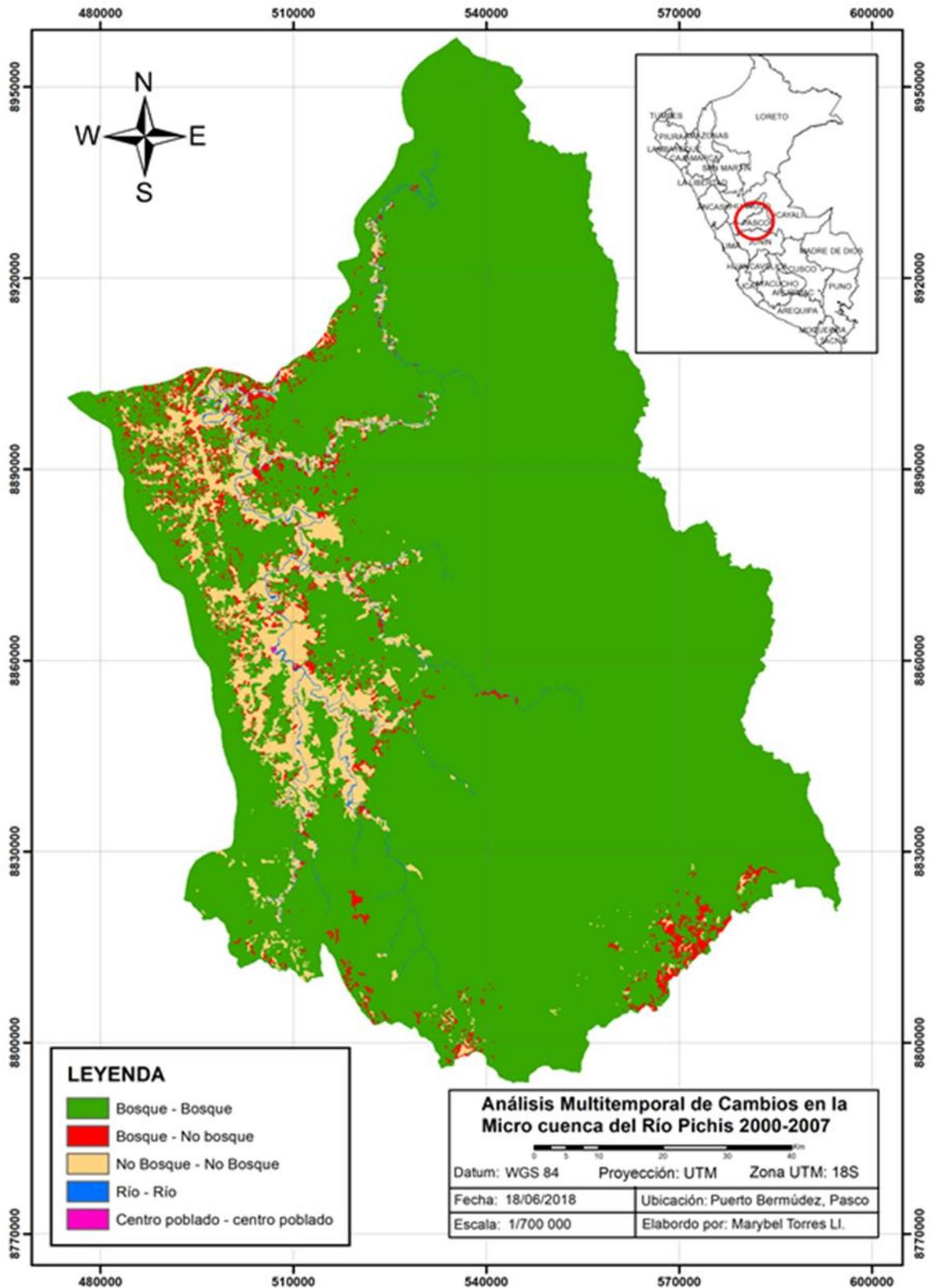


Figura 27: Mapa de cambios para el periodo 2000-2007

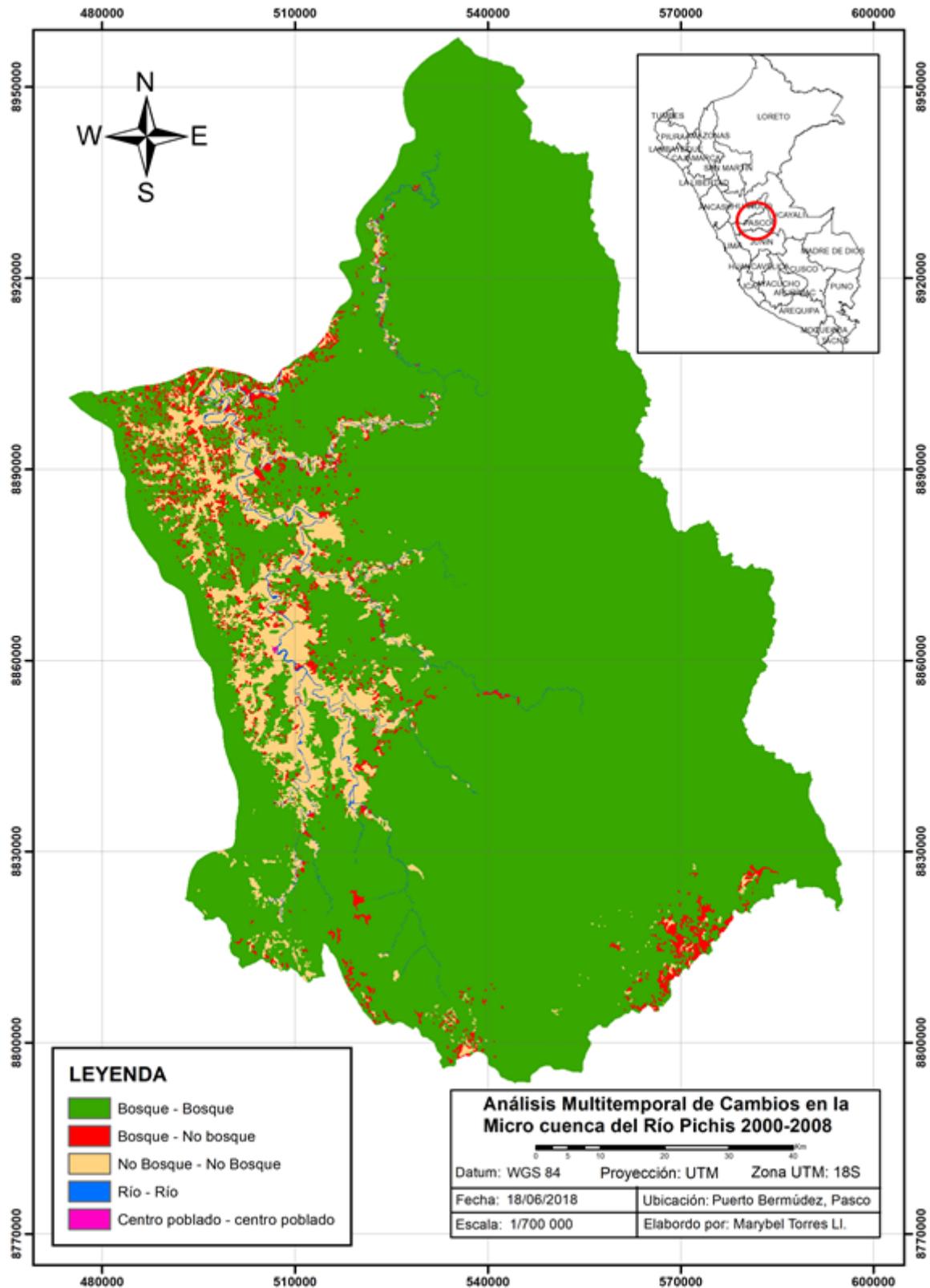


Figura 28: Mapa de cambio para el periodo 2000-2008

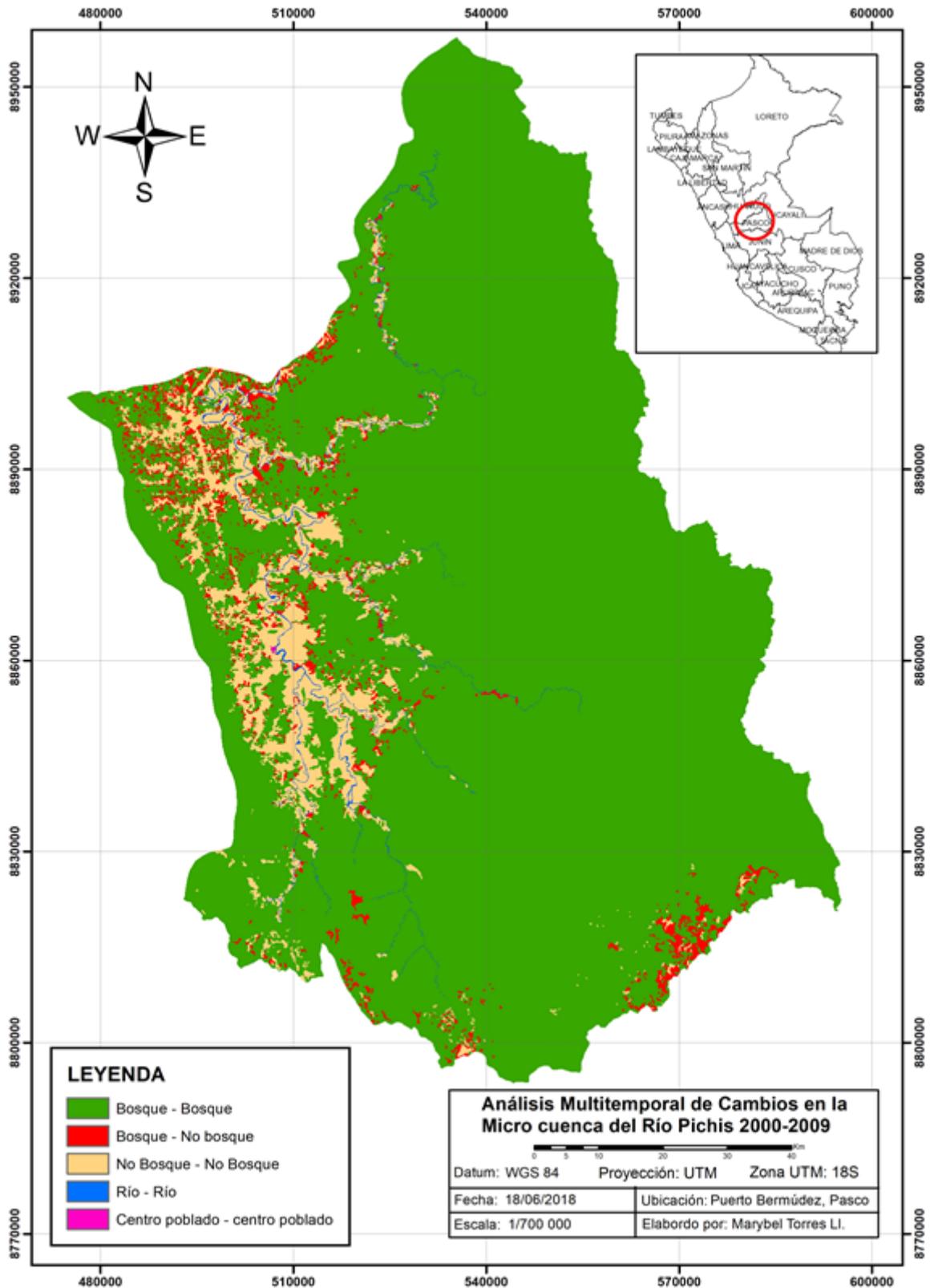


Figura 29: Mapa de cambio para el periodo 2000-2009

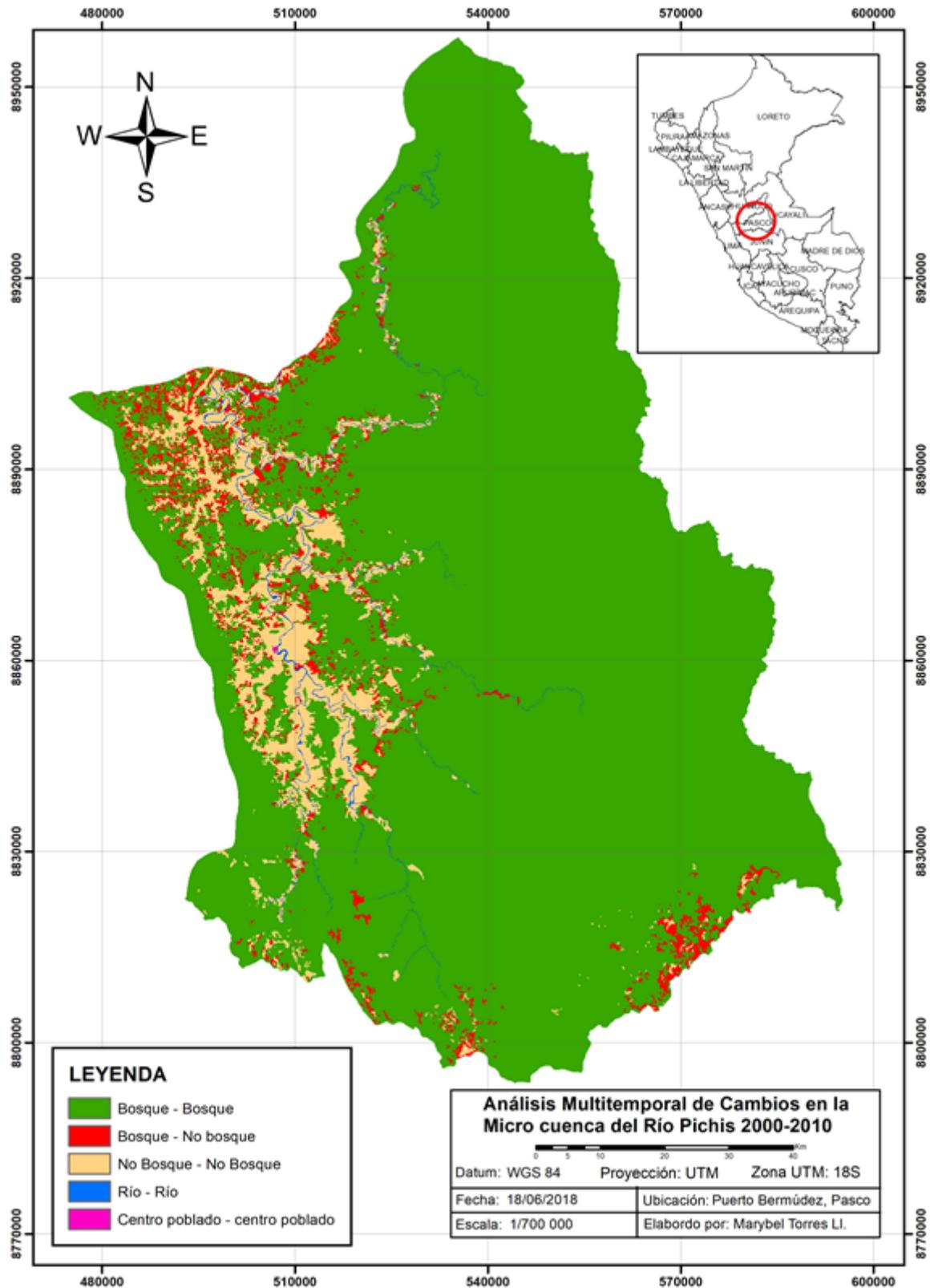


Figura 30: Mapa de cambio para el periodo 2000-2010