

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA MULTITEMPORAL
DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA VEGETAL Y USOS
DEL SUELO EN LA MICROCUENCA EL TINGO,
PROVINCIA LUYA, AMAZONAS, 1987 – 2018**

**Autor: Albaro David Urquía Cruz
Asesor: Ing. Elgar Barboza Castillo**

Registro:

CHACHAPOYAS - PERÚ

2019

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

A mi tío Rubén Urquía Sánchez, por su apoyo incondicional, a mi madre Santos Ysabel Cruz Chávez y hermanas, que gracias a su sacrificio, comprensión y consejos han hecho posible mi formación y realización profesional.

A MIS AMIGOS

A todas las personas, compañeros y docentes, que en el transcurso de mi carrera han aportado de diferentes maneras.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque día tras día me concede la vida, me da fuerzas para seguir adelante y con su inmensa sabiduría ha puesto las personas e instrucciones apropiadas en mi arduo camino para lograr mis metas. Y por darme una madre y un padre que, con su apoyo incondicional, llenos de principios y valores, han sabido guiarme por el buen sendero.

Al asesor, el Ing. Elgar Barboza Castillo, porque me brindó las facilidades para ejecutar esta tesis, su amistad, confianza, paciencia y tiempo para dotar del conocimiento práctico y científico en este asombroso tema de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección aplicada a la gestión y manejo de cuenca hidrográficas.

A los docentes miembros del jurado, la Dra. Cástula Alvarado Chuqui, el M. Sc. Gino Alfredo Vergara Medina y el M. Sc. Eli Pariente Mondragón, por sus aportes y recomendaciones al manuscrito inicial, dando la oportunidad de aclarar las ideas y presentarlas en un lenguaje fácil de comprensión para cualquier lector.

A mis amigos, la Ing. Deiry Yurita Silva Flores y el Ing. Nilton Beltrán Rojas Briceño, quienes coadyuvaron en la elaboración y ejecución de esta tesis, por su apoyo en los trabajos de campo y orientación en la elaboración del informe.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui

RECTOR

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. Flor Teresa García Huamán

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

M. Sc. Edwin Adolfo Díaz Ortiz

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

JURADO CALIFICADOR

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas quien suscribe, hace constar que ha asesorado la tesis titulada **“Evaluación de la dinámica multitemporal de los cambios de cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca El Tingo, provincia Luya, Amazonas, 1987 – 2018”**, del tesista egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

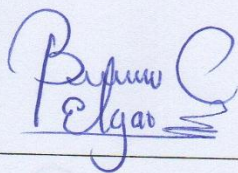
Bach. Albaro David Urquía Cruz

El suscrito da el visto bueno de la mencionada tesis dándole pase para que sea sometida a la revisión por el jurado evaluador comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones que formulen para su posterior sustentación.

Chachapoyas, abril de 2019.

M. Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

SECRETARIO



Ing. Elgar Barboza Castillo

Asesor

M. Sc. El Pariente Mondragón

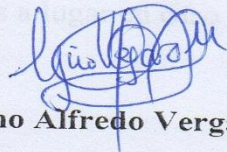
VOCAL

JURADO CALIFICADOR PLAGIO



Dra. Cástula Alvarado Chuqui

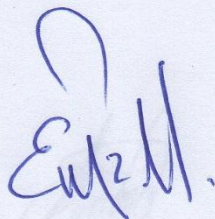
PRESIDENTE



M. Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

SECRETARIO

Chachapoyas, abril de 2019.



M. Sc. Eli Pariente Mondragón

VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

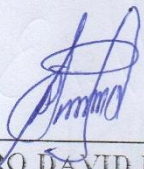
Yo **ALBARO DAVID URQUÍA CRUZ**, en mi condición de bachiller en la carrera profesional de Ingeniería ambiental, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza – Amazonas, con documento de identidad N° 47640725, con domicilio en el Jirón Triunfo N° 1280 en la ciudad de Chachapoyas.

Declaro bajo juramento que:

He realizado mi informe de tesis “**EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO EN LA MICROCUENCA EL TINGO, PROVINCIA LUYA, AMAZONAS, 1987 – 2018**”; por lo cual certifico haberla realizado mediante la observación y revisión bibliográfica y sin lugar a plagio alguno.

En tal sentido, suscribo la presente Declaración, acogéndome a los principios de veracidad y me someto a las sanciones a lugar en caso de falsedad.

Chachapoyas, abril de 2019.



ALBARO DAVID URQUÍA CRUZ
DNI: 47640725



ANEXO 2-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 21 de Marzo del año 2019, siendo las 11:30 horas, el aspirante: Urguía Cruz, Albano David defiende públicamente la Tesis titulada: "Evaluación de la Dinámica Multitemporal de los cambios de Cobertura Vegetal y usos del suelo en la microcuenca el Tingo, Provincia Luya, Amazonas 1987 - 2018" para optar el Título Profesional en Ingeniería Ambiental otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por:
 Presidente: Dra. Cistula Alvarado Chuqui
 Secretario: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina
 Vocal: M.Sc. Eli Panente Mondragón



Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).

Tras la intervención de los miembros del jurado y las oportunas contestaciones del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los miembros del jurado presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente () Aprobado (X) No apto ()

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las horas 12:30 hrs del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

OBSERVACIONES:

CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	¡Error! Marcador no definido.
JURADO CALIFICADOR.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	¡Error! Marcador no definido.
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	¡Error! Marcador no definido.
CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
2.1. Área de estudio.....	3
2.2. Población, muestra y muestreo.....	3
2.3. Materiales, equipos y software	5
2.4. Diseño metodológico	6
2.5. Preprocesamiento del material satelital.....	6
2.6. Clasificación de la Cobertura y Uso del Suelo (CUS)	8
2.6.1. Identificación de las clases de CUS.....	8
2.6.2. Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad y evaluación espectral.....	8
2.6.3. Interpretación visual	9
2.6.4. Limpieza, suavizado y corrección topológica	9
2.7. Evaluación de exactitud temática.....	10
2.8. Evaluación espacio-temporal de cambios, deforestación y matrices de transición.	11
2.9. Determinación de la concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural	12
III. RESULTADOS.....	13
3.1. Evaluación espectral y exactitud temática de la clasificación.....	13
3.2. Mapas y área de Cobertura y Usos del Suelo (CUS) en la microcuenca El Tingo .	14

3.3. Mapas de Cambios de Cobertura y Usos del Suelo (CCUS) en la microcuenca El Tingo...	18
3.4. Matrices y tasas de cambios de CUS en la microcuenca El Tingo	21
3.5. Concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural en la microcuenca El Tingo	24
IV. DISCUSIÓN.....	27
V. CONCLUSIONES	30
VI. RECOMENDACIONES	31
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXOS.....	36
Anexo 1. Áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada de imágenes de satélite	36
Anexo 2. Sitios de verificación para determinar la exactitud temática	38
Anexo 3. Puntos de Control Terrestre (GCP) para georreferenciar las imágenes de satélite	39
Anexo 4. Panel fotográfico	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales, equipos y software.	5
Tabla 2. Serie de imágenes de satélite empleadas.....	5
Tabla 3. Clases de CUS identificadas para el área de estudio.....	8
Tabla 4. Matriz de confusión basada en Chuvieco (2002) y MINAM (2014).	11
Tabla 5. Matriz de tabulación cruzada basada en FAO (1996) y Pontius <i>et al.</i> (2004).	11
Tabla 6. Matriz de confusión para la clasificación de la imagen Sentinel 2 del año 2018.....	13
Tabla 7. Bosque - no bosque y pérdida de bosque 2000 - 2017 por distritos.	18
Tabla 8. Matriz de tabulación cruzada, tasas e índices de cambios entre 1987 y 2001.	21
Tabla 9. Matriz de tabulación cruzada, tasas e índices de cambios entre 2001 y 2018.	21
Tabla 10. Superficie por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 1987 – 2001.....	24
Tabla 11. Superficie por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 2001 - 2018.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la microcuenca El Tingo en la provincia de Luya.....	4
Figura 2. Diseño metodológico para analizar la dinámica multitemporal de los CCUS.....	6
Figura 3. Izquierda. Banda espectral sin calibrar. Derecha. Banda espectral calibrada (Sentinel 2A).....	7
Figura 4. Puntos de Control Terrestre (GCP) fotoidentificables a escala 1:25 000.....	7
Figura 5. Izquierda. Clasificación sin limpieza. Derecha. Clasificación con limpieza.....	10
Figura 6. Cobertura y uso del suelo de la microcuenca El Tingo en 1987.....	15
Figura 7. Cobertura y uso del suelo de la microcuenca El Tingo en 2001.....	16
Figura 8. Cobertura y uso del suelo de la microcuenca El Tingo en 2018.....	17
Figura 9. Dinámica espaciotemporal de las clases de cobertura y uso del suelo en hectáreas para 1987, 2001 y 2018 en la microcuenca El Tingo.....	18
Figura 10. Tendencia de pérdida de bosque 2001 – 2017 en los distritos de estudio.....	18
Figura 11. Cambios de cobertura vegetal y usos del suelo de la microcuenca El Tingo en el período 1987 - 2001.....	19
Figura 12. Cambios de cobertura vegetal y usos del suelo de la microcuenca El Tingo en el período 2001 - 2018.....	20
Figura 13. Ganancias y pérdidas de las clases de CUS para cada período de análisis.....	22
Figura 14. Intensidad de cambio a nivel de transición para el período 1987 – 2001.....	23
Figura 15. Intensidad de cambio a nivel de transición para el período 2001 - 2018.....	23
Figura 16. Concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 1987 - 2001.....	25
Figura 17. Concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 2001 - 2018.....	26

RESUMEN

Los bosques de la Amazonia peruana han experimentado importantes transformaciones desde mediados del siglo pasado y la región de Amazonas ha reportado una de las tasas más altas de este fenómeno acumulado y creciente. Este trabajo evaluó los cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS) y la consecuente deforestación en la microcuenca El Tingo (Luya, Amazonas), mediante la aplicación de métodos de clasificación supervisada de máxima probabilidad e interpretación visual interdependiente de imágenes de los satélites Landsat y Sentinel 2A de 1987, 2001 y 2018. Se construyeron matrices de tabulación cruzada y se calcularon tasas e índices anuales de cambio y deforestación. Los resultados muestran que la microcuenca de El Tingo perdió el 8,39% (-343,48 ha) de su cubierta de bosques en 31 años (1987 – 2018). Durante el primer período (1987 – 2001), se determinó una pérdida del 5,90% de la superficie de bosque y una tasa de deforestación anual de 0,43%. En el último período (2001 – 2018) la pérdida de cubierta de bosque se pasó al 2,65% y presentó una tasa anual de deforestación de 0,16%. La principal causa de la pérdida de bosques fue la expansión agropecuaria migratoria a pequeña escala, favorecida por la accesibilidad de infraestructuras de transporte, el asentamiento de poblaciones y el desarrollo de la actividad turística.

Palabras clave: Cambios de cobertura y uso del suelo, Índices de cambio, Mapas Kernel, Tabulación cruzada.

ABSTRACT

The forests of the Peruvian Amazon have undergone important transformations since the middle of the last century and the Amazon region has suffered one of the highest rates of this accumulated and growing phenomenon. This work evaluated the changes in coverage and land use (CCUS) and the consequent deforestation in the El Tingo micro-watershed (Luya, Amazonas), through the methods of supervised classification of maximum probability and interdependent visual interpretation of images from the Landsat and Sentinel 2A satellites of the years 1987, 2001 and 2018. Cross-tabulation matrices were constructed and rates and annual rates of change and deforestation were calculated. The Tingo micro-watershed lost 8.39% (-343.48 ha) of its forest cover in 31 years (1987 - 2018). During the first period (1987 - 2001), a loss of 5.90% of the forest area and an annual deforestation rate of 0.43% was determined. In the last period (2001 - 2018) the loss of forest cover went to 2.65% and presented an annual deforestation rate of 0.16%. The main cause of the loss of forests was small-scale agricultural expansion, favored by the accessibility of transport infrastructures, the settlement of populations and the development of tourist activity.

Key words: Changes in coverage and land use, Change indices, Kernel Maps, Cross tabulation.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú, cuenta con aproximadamente 78.8 millones de hectáreas de bosques naturales (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2015), es el segundo en extensión forestal en Sudamérica, cuarto en área de bosques tropicales y está entre los 10 países del mundo con mayor extensión de masas arboladas (Llerena, Yalle y Silvestre, 2014). A esta riqueza se suman los 20 millones de hectáreas de praderas alto andinas (puna, páramo o jalca y bofedales), en sus bosques habita una gran diversidad biológica (Llerena *et al.*, 2014) y su territorio es origen y fuente de enormes cantidades de agua dulce proveniente de la gran cuenca amazónica (FAO y SERFOR, 2017). Los bosques generan beneficios en términos de biodiversidad y servicios ecosistémicos como protección de suelos, agua, reciclaje de nutrientes y almacenamiento de carbono. Estos son la base productiva y el medio de vida de la población, además de tener un gran potencial para el desarrollo sostenible del país (FAO, 2016).

Sin embargo, estos bosques, además de ser subvalorados, se talan anualmente a una tasa que supera las 120 mil hectáreas (MINAM, 2016a). Las acciones que contribuyeron fueron la agricultura migratoria (41,9%) y la ganadería (19,9%), que indujeron la emisión de 170 Tg C entre 1990 y 2005 (De Sy *et al.*, 2015). Además, de las iniciativas privadas empresariales y actividades mineras. Asimismo, el Primer Informe Bienal de actualización del Perú a la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MINAM, 2014a), determinó que la fuente de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) más importante a nivel nacional es el sector uso de suelos, cambio de uso de suelo y silvicultura, es responsable del 35 % de las emisiones de GEI del Perú. De esta categoría, la principal fuente de emisión es la conversión de bosques al uso agrícola o pasturas.

En muchas cuencas hidrográficas, la tasa de cambios socioeconómicos y la acumulación de problemas ambientales han sido mayores que las respuestas institucionales (FAO, 2011). Debido a que, el Cambio de Cobertura y Uso de Suelo (CCUS) es uno de los principales problemas del país que provoca la alteración de los hábitats y pérdida de especies (MINAM, 2016a). Por lo que es necesario analizar la dinámica multitemporal de estos cambios, de tal modo que permita plantear acciones de restauración y conservación, con la finalidad de salvaguardar el rol clave que cumplen los bosques en la mitigación y adaptación al cambio climático; al proveer bienes y servicios ambientales de importancia local, regional, nacional e internacional (FAO, 2016).

En el ámbito regional, en el departamento de Amazonas, donde la actividad agropecuaria a pequeña escala es el principal factor de la dinámica de CCUS (GRA, 2016), cubre el 24,9% del territorio y

genera el 51,22% del PBI regional (GRA e IIAP, 2013), el análisis de la dinámica de CCUS a nivel local asume más importancia. La provincia de Luya, se caracteriza por tener un frente productivo de predominio de cultivos andinos como principal fuente de ingresos (GRA y GIZ, 2012). Esta se desarrolla a lo largo y ancho de los afluentes (quebradas) del río Utcubamba como son El Tingo, Santo Tomás, Nogalcucho, Colcamar, Tincas, Jucusbamba y el Magunchal (Maco, 2010). Carente de infraestructura de riego y con cultivos en secano, obliga a los productores a encauzar las vertientes naturales que bajan de las alturas mediante pequeñas acequias (GRA y ARA, 2014). Sumado a la crianza extensiva de ganado, que aprovecha los pastos naturales manejados mediante quemas antrópicas (Ramírez, 2010), la infraestructura vial y urbanización asentada sobre sus márgenes, la microcuenca El Tingo ha sufrido cambios e impactos a lo largo de los años.

En la microcuenca El Tingo, durante las últimas décadas se ha reconocido la necesidad de cuantificar y entender los factores asociados a la dinámica de CCUS, con un especial énfasis en la deforestación (De Sy *et al.*, 2012), ello, debido a las implicaciones ambientales como el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad, la degradación de suelos, los cambios en la hidrología de cuencas y sobre el bienestar humano (Lambin *et al.*, 2001; Geist y Lambin, 2002). Este entender debe ser multitemporal, debido a que los procesos de CCUS involucran aspectos cambiantes, biofísicos (condiciones ambientales que propician un cambio de uso), y socioeconómicos (aspectos demográficos y económicos) (Lambin *et al.*, 2001).

En ese sentido, se ha demostrado que un método poderoso y rentable para el monitoreo y análisis del CCUS es el uso integrado de la Teledetección (RS) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Hathout, 2002, Serra *et al.*, 2008, Phukan *et al.*, 2013). Sin embargo, a diferencia del análisis de la dinámica de CCUS a nivel global, macro regional o nacional, mediante este método, el nivel local ha sido menos estudiado, y sobre todo en el sentido de entender las causas directas e indirectas que determinan la deforestación (Rudel *et al.*, 2009, Boucher *et al.*, 2011).

Esta investigación tuvo por objetivo analizar la dinámica multitemporal de los cambios de cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca El Tingo, Luya, Amazonas, entre los años 1987 a 2018, que permita proponer acciones de restauración y conservación. Más detalladamente se identificaron: a) las clases de cobertura vegetal y usos del suelo de 1987, 2001 y 2018 en la microcuenca El Tingo; b) la tasa de variación interanual de cambios de cobertura vegetal y usos del suelo; y c) las zonas que presentan mayor concentración de pérdida de cobertura vegetal natural en la microcuenca El Tingo. Finalmente, se trata de brindar insumos de información para el desarrollo de instrumentos técnicos de planificación territorial.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La microcuenca El Tingo abarca el 99,37%, 12,09% y 40,18% de la superficie de los distritos de Longuita, María y Tingo, respectivamente, en la provincia de Luya, al sur del departamento de Amazonas, cubriendo una superficie aproximada de 11 353,10 hectáreas. Está situada entre los paralelos 06°20'55" y 06°27'45" de latitud Sur y los meridianos 77°54'20" y 78°02'40" de longitud Oeste, con un gradiente altitudinal que oscila entre los 1 795 m.s.n.m. y 3 919 m.s.n.m. (Figura 1). La microcuenca presenta las formaciones vegetales de bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT), bosque muy húmedo Montano Bajo Tropical (bmh-MBT), bosque muy húmedo Montano Tropical (bmh-MT), bosque pluvial Montano Tropical (bp-MT) y bosque seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT) (Holdridge, 1987).

El valle de Tingo se encuentra irrigado por el río Utcubamba, superficie cubierta con matorrales y algún afloramiento rocoso. La zona el clima es templado con temperaturas que oscilan entre 18°C y 24°C. La humedad relativa varía entre 72% y 92% y se presentan lluvias generalmente entre los meses de diciembre a abril con una precipitación pluvial promedio de 1198 mm. Así también, dentro de las vías de acceso es común encontrarse con tramos interrumpidos por deslizamientos de tierra, sobre todo en épocas de lluvias intensas (Vega Tafur, 2014).

Dentro de la microcuenca se sitúa la Zona Arqueológica Monumental Kuélap, que se levanta sobre un promontorio natural de roca caliza a 3000 m.s.n.m., a la margen izquierda del río Utcubamba. Resalta la ciudadela fortificada, orientada de Norte a Sur.

2.2. Población, muestra y muestreo

La población está representada por 11 353,10 hectáreas de superficie que drena la microcuenca de El Tingo. La muestra está representada por 109 Áreas de Entrenamiento (Anexo 1) de las principales clases de cobertura y uso del suelo, identificadas en campo en la microcuenca El Tingo, mediante un receptor GPS y muestreo por conveniencia (de fácil acceso y favorecidas por redes viales, Osorio *et al.*, 2015; Peralta-Rivero *et al.*, 2015). Estas áreas de entrenamiento tienen un área mínima de 30x30 metros (área del pixel de imagen satelital). La muestra también está representada por 196 sitios de verificación (Chuvieco, 2002) (Anexo 2), los cuales fueron establecidos a través de un muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado (MINAMB, 2014) sobre el mapa de CUS del año 2018 y verificados en campo con un receptor GPS.

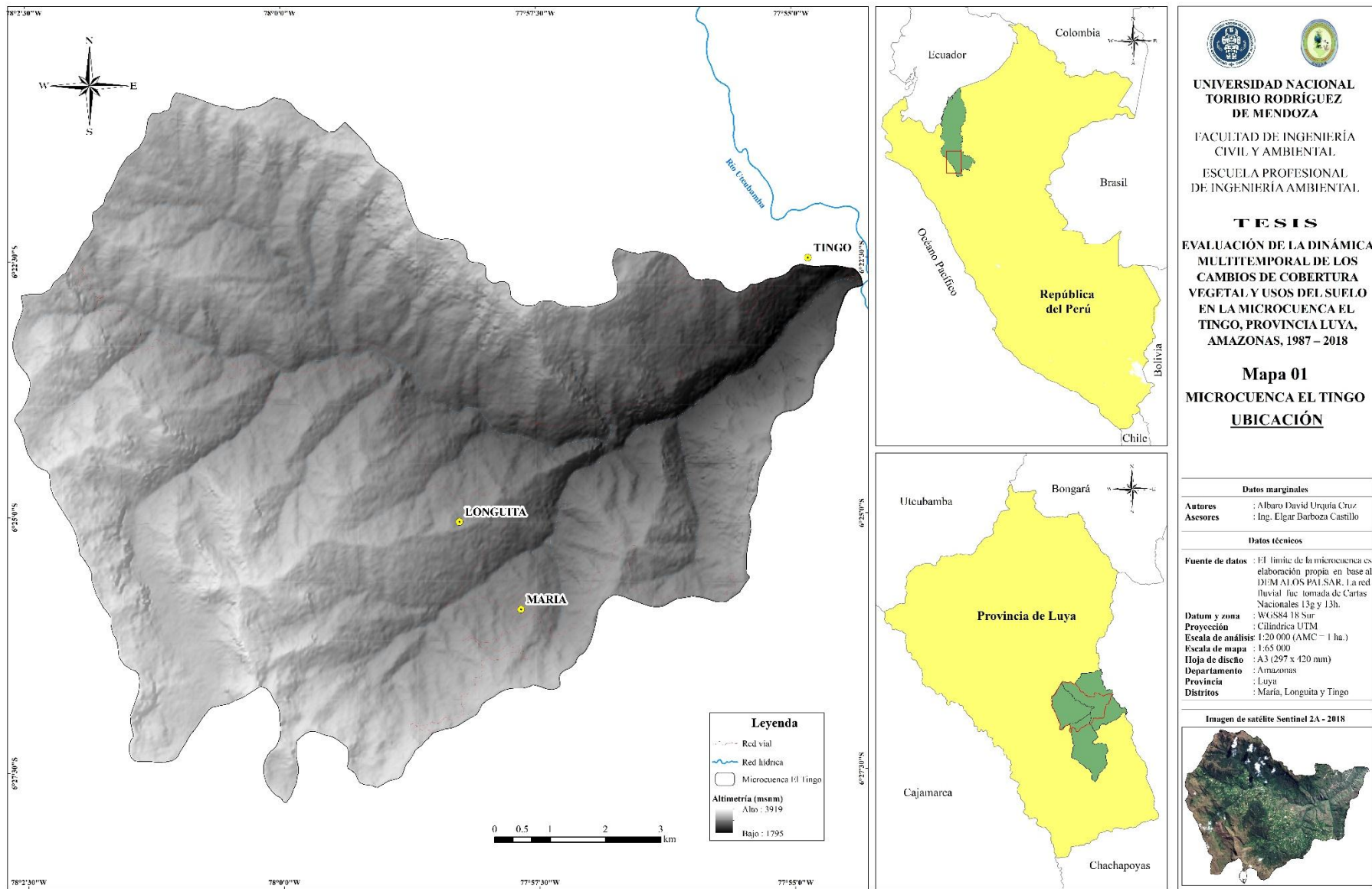


Figura 1. Ubicación de la microcuenca El Tingo en la provincia de Luya.

2.3. Materiales, equipos y software

La Tabla 1 indica los materiales, equipos y software utilizados para la presente investigación.

Tabla 1. Materiales, equipos y software.

Categoría	Descripción
Data cartográfica y satelital	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas 13g y 13h de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000 (hidrografía e hipsografía), en formato digital. • Red vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). • División política departamental, regional, provincial y distrital del Perú elaborada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). • Modelo de Elevación Digital del Terreno (MED) elaborado con imágenes ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolución espacial, de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (AJAX). • Imágenes de satélite (Tabla 2).
Software	<ul style="list-style-type: none"> • Software libre QGIS (<i>ver.</i> 3.0.0) • Software ArcGIS (<i>ver.</i> 10.4.1) • Google Earth Pro (<i>ver.</i> 7.3.0.3832) • SAS Planet (<i>ver.</i> 160707). • Windows de Microsoft Office 2016
Equipos y materiales adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Laptops HP Core i5 - 12GB RAM • GPS Garmin Montana 650 • Cámara digital • USB de 16 GB de capacidad de almacenamiento • Libretas de campo • Papel bond

Para elaborar los mapas de cobertura y uso del suelo (CUS) se utilizaron dos imágenes del satélite Landsat y una imagen del satélite Sentinel, obtenidas del portal de Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) y de la plataforma Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA) (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), respectivamente (Tabla 2). Los criterios de selección de imágenes fueron: a) no presentar errores ni distorsiones; b) tener un máximo de 10 % de nubes y sombras en el área de estudio y c) haber sido tomadas en la misma época del año, para que las condiciones de vegetación y climáticas fueran homogéneas y permitieran obtener mejores resultados en la investigación (Chuvieco, 1998).

Tabla 2. Serie de imágenes de satélite empleadas.

Fecha de adquisición	Satélite/Sensor	Path Row	Resolución espacial	Bandas espectrales utilizadas
23 de junio de 1987	Landsat 5 TM	009/064	30 metros	1, 2, 3, 4, 5 y 7
24 de agosto de 2001	Landsat 7 ETM+			
08 de junio de 2018	Sentinel 2A	17MRN	10 metros	2, 3, 4, 5, 6 y 7

2.4. Diseño metodológico

Para analizar la dinámica multitemporal de los cambios de cobertura y uso del suelo en la microcuenca El Tingo mediante técnicas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), se siguió el diseño metodológico diagramado en la Figura 2.

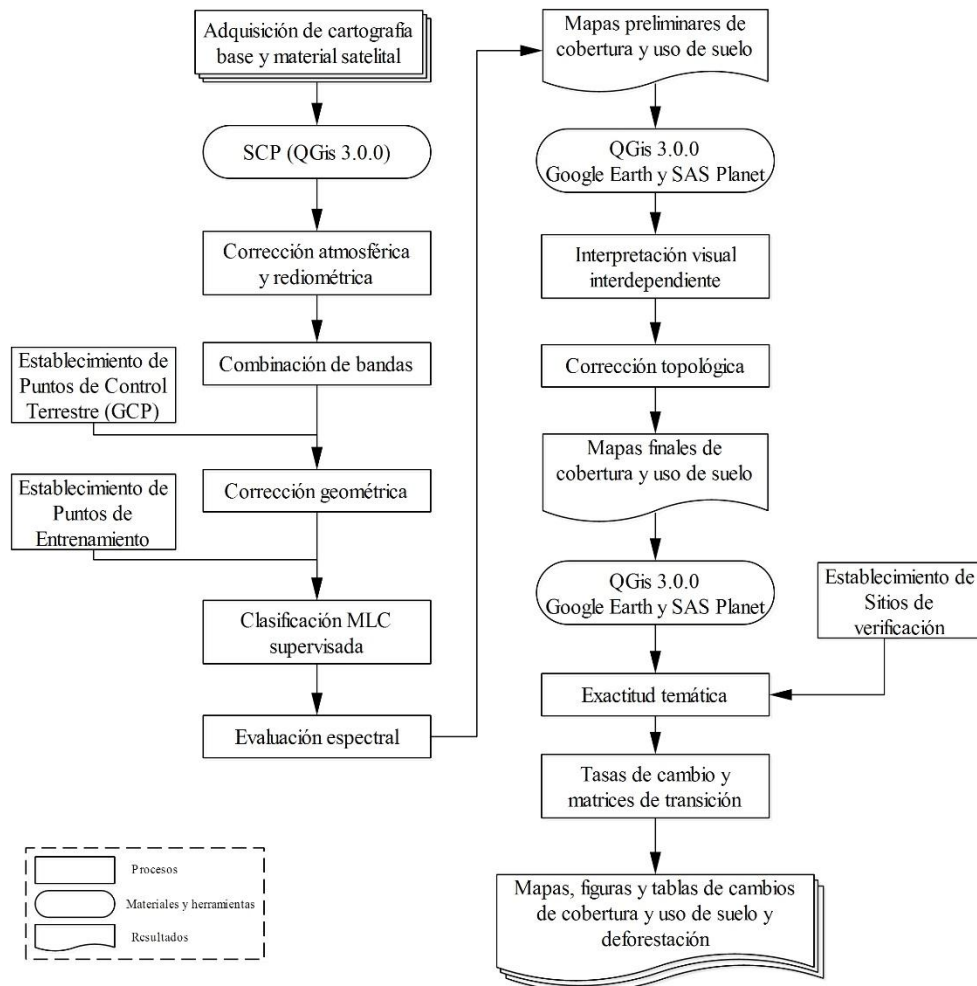


Figura 2. Diseño metodológico para analizar la dinámica multitemporal de los CCUS.

2.5. Preprocesamiento del material satelital

La energía capturada por los sensores de teledetección atraviesa una profundidad considerable de la atmósfera, en este proceso la energía recibida es alterada en intensidad y longitud de onda por las partículas y gases presentes en la atmósfera, estos cambios degradan la calidad de la imagen satelital e influyen en la exactitud de las interpretaciones (Campbell y Wynne, 2011), por tanto, de modo automático, se corrigieron atmosféricamente todas las bandas espectrales de las imágenes de satélite por separado, aplicando la corrección de Substracción de Objetos Oscuros (DOS1, Chávez, 1988), en el Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) de QGIS, con los valores de radiancia espectral especificados en los respectivos metadatos de descarga (Figura 3).

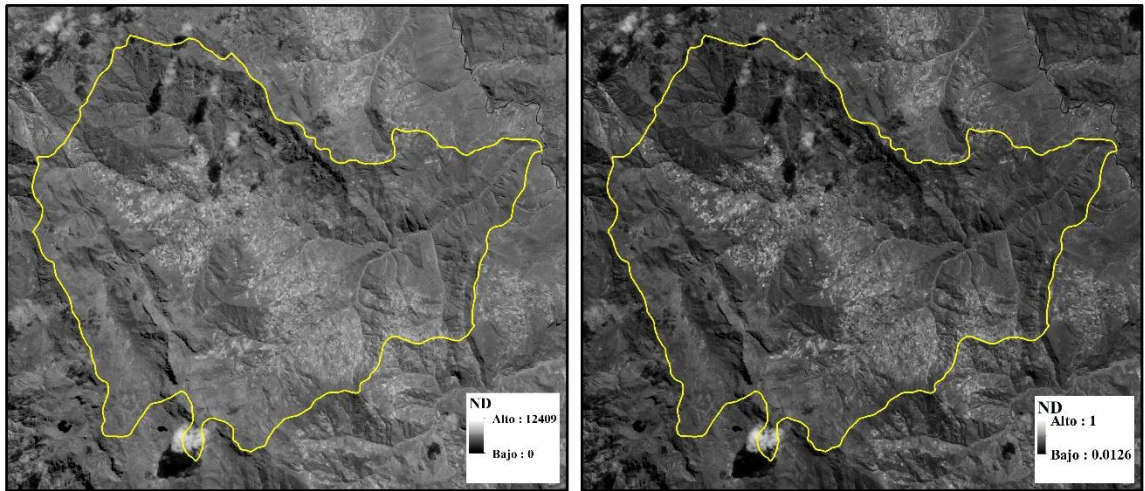


Figura 3. Izquierda. Banda espectral sin calibrar. Derecha. Banda espectral calibrada (Sentinel 2A).

Las bandas calibradas para cada año de estudio, que corresponden al espectro visible e infrarrojo (Tabla 2), fueron combinadas para construir imágenes multiespectrales para el año 1987, 2001 y 2018, y sobre estas se establecieron 12 Puntos de Control Terrestre (GCP, por sus siglas en inglés) fotoidentificables a la escala de trabajo (1:25 000) (Figura 4 y Anexo 3). Estos puntos corresponden a puentes, cruces y curvas pronunciadas (en U) de carreteras, las cuales tienen una ubicación fija a través del tiempo.

Estos puntos fueron verificados en salidas al campo vía terrestre mediante un receptor GPS. Con estos puntos, en un Sistema de Coordenadas de Datum y Zona WGS 1984 18 Sur y Proyección Cilíndrica UTM, se realizó la corrección geométrica utilizando una transformación polinomial de segundo orden; donde se remuestrearon los Niveles Digitales (ND) (i. e. pixel) de las imágenes a una nueva posición mediante la interpolación del vecino más cercano. Se llevaron a un error cuadrático medio permisible $< 0,15$ (Chuvieco, 2002).



Figura 4. Puntos de Control Terrestre (GCP) fotoidentificables a escala 1:25 000.

2.6. Clasificación de la Cobertura y Uso del Suelo (CUS)

2.6.1. Identificación de las clases de CUS

Con base a la metodología de CORINE Land Cover adaptada para Perú (MINAM, 2014b), leyenda que cuenta con una estructura base de 5 macro clases y 106 clases de CUS en su nivel más detallado (Nivel IV), y recorridos rigurosos de campo vía terrestre, se identificaron seis clases de CUS características del área de estudio en 109 Áreas de Entrenamiento mediante un receptor GPS: Área artificializada (AA), Pastos y cultivos (PC), Bosques (BO), Herbazal/Pajonal (HP), Vegetación arbustiva/herbácea (AH) y la clase K (superficie del centro arqueológico Kuélap) (Tabla 3).

Tabla 3. Clases de CUS identificadas para el área de estudio.

Nivel I	Nivel II	Nivel III	CUS
1. Área artificializada	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	AA
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Área industriales e infraestructura	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	
2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	PC
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo	BO
		3.1.2. Bosque abierto bajo	
		3.1.3. Bosque denso alto	
	3.1.4. Bosque abierto alto		
	3.1.5. Bosque fragmentado		
3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.3.1 Herbazal/Pajonal	HP	
	3.3.4 Vegetación arbustiva/herbácea	AH	

2.6.2. Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad y evaluación espectral

Se realizó una Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad, ampliamente utilizada en todo el mundo (Rawat y Kumar, 2015), con base a las firmas espectrales de las 109 Áreas de Entrenamiento recolectadas durante la etapa de campo. En este algoritmo, incorporado en el SCP, se calcula las distribuciones de probabilidad para las clases, relacionado al teorema de Bayes, estimando si un pixel pertenece a una clase de cobertura. En particular, las probabilidades de distribución de las clases son asumidas de la forma de modelos normales multivariados (Richards y Jia, 2006).

Luego, se valoró la distancia entre firmas espectrales mediante la Distancia Jeffries-Matusita (DJM), para evaluar si dos o más clases que son muy similares entre sí podrían

haber causado errores de clasificación. La DJM calcula la separabilidad de un par de distribuciones de probabilidad y es asintótica a dos cuando las firmas son completamente diferentes, y tiende a cero cuando las firmas son idénticas (Richards y Jia, 2006).

2.6.3. Interpretación visual

Con el propósito de reducir al mínimo errores de posición y de clasificación las imágenes fueron interpretadas visualmente utilizando el método de interpretación interdependiente de la FAO (2001). En este método los polígonos de la fecha base de cada período de análisis sirvió de referencia para interpretar la imagen de la siguiente fecha. En estos últimos, se modificaron sólo los polígonos donde se produjeron cambios de uso o errores de clasificación debido a la similitud espectral de las clases. Es un método confiable debido a que reduce al mínimo errores de posición y de clasificación (Ramírez y Zubieta, 2005). Se generaron compuestos en falso color, a fin de resaltar las clases de CUS, y se tomaron en cuenta características pictórico morfológicas como forma, tamaño, tono y color, patrones, textura, posición geográfica y asociación (Vargas, 1992) para la identificación y diferenciación visual de las diferentes clases de CUS.

2.6.4. Limpieza, suavizado y corrección topológica

En la presente investigación, todos los mapas de CUS y deforestación fueron generados y se trabajaron a una escala de análisis de 1:20 000 (se eliminaron polígonos con áreas menores a una hectárea), según la tabla del Área Mínima Cartografiable (AMC) para diferentes escalas desarrollada por Vargas (1992). Sin embargo, no se aplicó el AMC para todas las áreas, puesto que a complejidad y los objetivos de trabajo, coadyuvaban a omitir esta regla para pequeñas zonas urbanas y cultivos aislados de menor superficie. Por tanto, la limpieza de polígonos con área inferior a 1 ha, permitió eliminar pequeños polígonos que fueron generados como resultado de diferentes procesos (conversión de formato ráster a vector, por ejemplo), así como eliminar las pequeñas diferencias de digitalización entre capas. En el proceso de limpieza, se eliminan los polígonos al fusionarlos con los polígonos adyacentes que tenían el área más grande o el borde compartido más largo (Figura 5).

Para mejorar el aspecto visual de la información obtenida mediante la clasificación basada en píxeles e interpretación visual se “suavizaron” automáticamente los polígonos (MINAM, 2014b). Así, se suavizaron ángulos

cerrados en contornos de polígonos para mejorar la calidad estética y cartográfica. El suavizado produce errores topológicos como cruces de contorno de polígonos (superposición) y aparición de “huecos” (gaps) entre polígonos; cómo se puede apreciar en la Figura 5. Para resolver este problema, se aplicó una corrección topológica, donde los “huecos” fueron rellenados con polígonos que adquirieron una clase temporal, que posteriormente fueron fusionados con los polígonos adyacentes que tenía el área más grande. Este último proceso se aplicó a los polígonos resultado de la superposición.

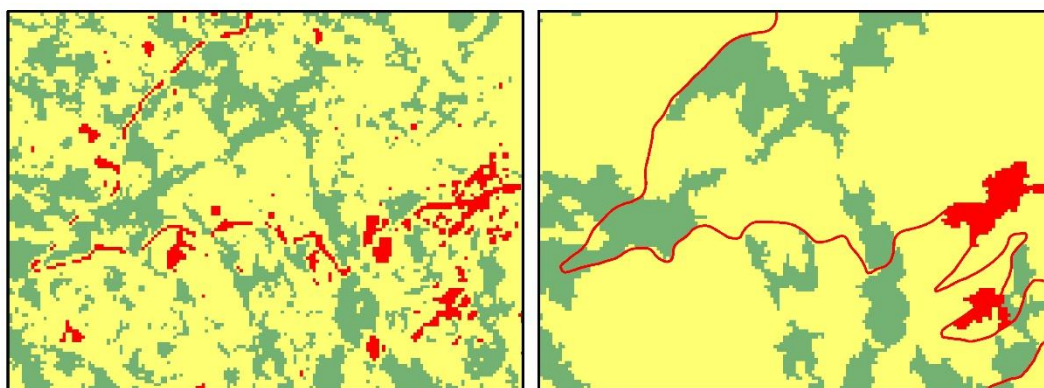


Figura 5. Izquierda. Clasificación sin limpieza. **Derecha.** Clasificación con limpieza.

2.7. Evaluación de exactitud temática

Según Stehman y Czaplewski (1998) la evaluación de la exactitud temática a través del cual se validan los resultados de mapas de CCUS se basan en tres aspectos: selección del área de referencia, diseño del muestreo, análisis de datos. En este estudio, se evaluó la precisión de la clasificación de CUS con base a 196 puntos de verificación (Anexo 2), obtenidos de por Chuvieco (2002) (Ecuación 10), y establecidos sobre el mapa de CUS del 2018 a través de un muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado (MINAM, 2014c).

La verificación de estos puntos se realizó mediante salidas al campo y con imágenes de alta resolución como RapidEye del año 2011 y 2012 (Nivel 3A) e imágenes de Google Earth y SAS Planet (Osorio *et al.*, 2015; Peralta-Rivero *et al.*, 2015). Se elaboró una matriz de confusión (Tabla 4) (Chuvieco, 2002), sobre el que se calcularon métricas de precisión (error de omisión y comisión), métricas para evaluar la exactitud a nivel de clases (exactitud del usuario y del productor) (Story y Congalton, 1986; MINAM, 2014c), y la exactitud total observada dividiendo la cantidad de puntos ubicados correctamente entre el total de puntos muestreados. También se calculó el Índice Kappa (k), medida de la concordancia basada en las diferencias entre los datos de la clasificación y los de referencia (Congalton, 1982).

Tabla 4. Matriz de confusión basada en Chuvieco (2002) y MINAM (2014).

Resultados de clasificación	Resultados de referencia					Exactitud usuario	Error comisión
	Referencia 1	Referencia 2	.....	Referencia n	Total		
Clase 1	a ₁₁	a ₁₂	.....	a _{1n}	a ₁₊	a ₁₁ / a ₁₊	1 - a ₁₁ / a ₁₊
Clase 2	a ₂₁	a ₂₂	.....	a _{2n}	a ₂₊	a ₂₂ / a ₂₊	1 - a ₂₂ / a ₂₊
.....
Clase n	a _{n1}	a _{n2}	.....	a _{nn}	a _{n+}	a _{nn} / a _{n+}	1 - a _{nn} / a _{n+}
Total	a ₊₁	a ₊₂	.....	a _{+n}	m		
Exactitud productor	a ₁₁ / a ₊₁	a ₂₂ / a ₊₂	.....	a _{nn} / a _{+n}			
Error omisión	1 - a ₁₁ / a ₊₁	1 - a ₂₂ / a ₊₂	.....	1 - a _{nn} / a _{+n}			

2.8. Evaluación espacio-temporal de cambios, deforestación y matrices de transición

Se calculó la tasa anual de cambios y deforestación (*s*) con la ecuación utilizada por la FAO (1996):

$$s = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/t_2 - t_1} - 1 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: S_1 y S_2 son las superficies de CUS en la fecha t_1 y t_2 . Un valor negativo de *s* indica una disminución de la cobertura y, si *s* es mayor que cero, hay un aumento de la misma.

Con base en la sobreposición cartográfica de las clasificaciones de CUS de cada año de estudio, se cuantificaron y elaboraron mapas de cambios, deforestación y matrices de tabulación cruzada. Estas matrices permitieron distinguir las transiciones de las diferentes clases evaluadas, detectar los cambios y hacer un análisis de los patrones reales que conllevan estos cambios (Pontius *et al.*, 2004). Se obtuvieron matrices que contienen en el eje horizontal y vertical las clases de CUS para la fecha 1 y fecha 2, respectivamente (Tabla 5). Las celdas en la diagonal representan el área de cada clase que no sufrió cambios durante el periodo evaluado, mientras que las restantes muestran el área que experimentó un cambio hacia otra clase. Las matrices de transición terminan con una columna y fila final que son la suma de las superficies de todas las clases en la fecha 1 (P_{i+}) y fecha 2 (P_{+j}), respectivamente.

Tabla 5. Matriz de tabulación cruzada basada en FAO (1996) y Pontius *et al.* (2004).

Fecha 1	Fecha 2				Total fecha 1 (P_{i+})	Pérdida (L_i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn) (%)	Intercambio (Int)
	Clase 1	Clase 2	....	Clase j					
Clase 1	P ₁₁	P ₁₂	.....	P _{1j}	P ₁₊	P ₁₊ - P ₁₁	L + G	Ct - Int	2*min(L,G)
Clase 2	P ₂₁	P ₂₂	.....	P _{2j}	P ₂₊	P ₂₊ - P ₂₂			
.....			
Clase i	P _{i1}	P _{i2}	.....	P _{ij}	P _{i+}	P _{i+} - P _{ij}			
Total fecha 2 (P_{+j})	P ₊₁	P ₊₂	.....	P _{+j}	I				
Ganancia (G_j)	P ₊₁ - P ₁₁	P ₊₂ - P ₂₂	.....	P _{+j} - P _{ij}					

Pontius *et al.* (2004), completaron este análisis con columnas y filas que representan Índices de Cambio (Tabla 5). Así tenemos: el intercambio (*Int*) entre clases, proceso en que la pérdida de una clase en un lugar está acompañada por su ganancia simultánea en otra ubicación, y se calcula como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas; donde la ganancia (G_{ij}), que indica la proporción del paisaje que experimenta un aumento entre la fecha 1 y la fecha 2, se estima como la diferencia del área total de la clase *j* en la fecha 2 (P_{+j}) y la persistencia expresada en la diagonal de la matriz (P_{ij}), y la pérdida (L_{ij}), proporción del paisaje que decrece entre ambas fechas, es la diferencia entre el área total de una clase *i* en la fecha 1 (P_{i+}) y la persistencia. La persistencia (P_{ij}), es la cantidad de superficie de las diferentes clases que se mantuvieron estables durante los diferentes tiempos estudiados (esta es importante en el análisis de cambios de usos, en el sentido de que diversos estudios demuestran que lo estable es lo que predomina en la naturaleza, aun en zonas muy dinámicas), y que puede ser obtenida a partir de la diagonal principal de la matriz.

Para calcular el cambio total a nivel de clase (C_t) se suman las ganancias (G_{ij}) y las pérdidas (L_{ij}); mientras que, para el cambio neto (C_n), el cual indica un cambio definitivo, se representa como la diferencia entre el cambio total (C_t) y el intercambio (*Int*).

2.9. Determinación de la concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural

Se analizó la información de pérdida de cobertura vegetal natural, para los períodos 1987-2001 y 2001-2018, con la finalidad de determinar si la pérdida estaba concentrada en ciertas áreas dentro de ámbito de la microcuenca y cuánto representa esta concentración con respecto a la superficie total, para ello se utilizó la metodología de análisis de Densidad Kernel, tomando como referencia un análisis similar del MINAM (2016b).

III. RESULTADOS

3.1. Evaluación espectral y exactitud temática de la clasificación

La Distancia Jeffries-Matusita, usada para evaluar similaridad entre clases espectrales, fluctuó entre 0,97 y 1,93. Los pastos y pajonales, propios de las áreas de estudio, presentaron valores muy altos de similaridad espectral y generaron errores de clasificación, por lo que se recalca la importancia del haber integrado la interpretación visual interdependiente de la FAO (2001) y pictórico morfológicas (Vargas, 1992) como corrección posterior a la Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad (Thakkar *et al.*, 2017).

Los resultados de la exactitud temática del mapa de CUS para el año 2018 arrojaron una precisión global de 89%, cuyo resultado muestra un alto nivel de concordancia de acuerdo a Foody (2002), y se encuentra dentro del rango Aceptable, empleado en diversos estudios que utilizan métodos espectrales y visuales para la interpretación de imágenes de satélites (Osorio *et al.*, 2014). Por otro lado, el índice Kappa (k) mostró un valor de 0,85 lo que significa que el mapa de CUS para el año 2018 podría considerar un nivel de concordancia Casi Perfecta según los parámetros propuestos por Landis y Koch (1977).

La exactitud respecto a la categoría AA muestra un resultado indiscutible puesto que ofrecen un nivel óptimo de 1,0 (Tabla 6), esto debido a que, por la reducida área relativa que representa en comparación a las demás clases, se minimizó la cantidad de sitios de verificación. Según la Tabla 6, el productor afirma que el 92%, 92%, 94% y 78% de las clases de BO, HP, AH y PC, respectivamente, fueron correctamente identificadas como tal en el mapa. Ahora bien, un usuario en este mismo mapa encontrará que las clases BO, HP, AH y PC corresponden en campo a un 92%, 90%, 89% y 83%, respectivamente.

Tabla 6. Matriz de confusión para la clasificación de la imagen Sentinel 2 del año 2018.

Resultados de clasificación	Resultados de referencia						Exactitud usuario	Error comisión
	BO	HP	AH	PC	AA	Total		
BO	60	0	1	4	0	65	0,92	0,08
HP	0	44	0	5	0	49	0,90	0,10
AH	2	0	31	2	0	35	0,89	0,11
PC	3	1	4	38	0	46	0,83	0,17
AA	0	0	0	0	1	1	1,00	0,00
Total	65	45	36	49	1	196		
Exactitud productor	0,92	0,92	0,94	0,78	1,00		Exactitud Global = 89%	
Error omisión	0,08	0,02	0,14	0,22	0,00		Índice Kappa = 0,85	

La importancia de la matriz de confusión implica su capacidad para plasmar conflictos entre clases (Chuvienco, 2002). Las principales dificultades de exactitud surgen entre las clases de BO y PC, donde el 6,15% (4/65) de sitios de verificación de la clase BO correspondieron en superficie a la clase PC y el 6,52% (3/46) de sitios de verificación de la clase PC correspondieron a la clase de BO; estos errores fueron debido al desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles en el área de estudio. También se encontró errores en la clase de AH, donde el 10,20% (5/49) de sus sitios de verificación correspondieron a la clase PC y 8,70% (4/46) de manera viceversa, esto debido a que estas clases presentan una frecuente transición de AH hacia PC y viceversa, además, en las alturas de la microcuenca, los pajonales son frecuentemente manejados en base a quemas como pastos para ganadería extensiva.

3.2. Mapas y área de Cobertura y Usos del Suelo (CUS) en la microcuenca El Tingo

El patrón de distribución espacial de CUS en la microcuenca El Tingo para 1987, 2001 y 2018 se modelan en las Figuras 6, 7 y 8, respectivamente. De las cinco clases definidas, visualmente, se detecta la prevalencia de las coberturas boscosas (BO), herbazales y arbustales (HP y AH) en las tres décadas de análisis, sin embargo, estas disminuyeron gradualmente a medida que se dio la expansión de las fronteras del mosaico de pastos y cultivos (PC) y la apertura de nuevas infraestructuras viales y centros urbanos (AA).

La Figura 9 revela que, en el P1 la superficie boscosa se redujo en 241,33 ha (5,90% de la extensión en 1987, a 17,24 ha/año), para el P2, la reducción pasó a 102,15 ha (2,65 % de la extensión en 2001, a 6,01 ha/año). Similar dinámica de reducción, mostraron las clases HP, con 66,99 ha y 34,23 ha, y AH, con 2,62 ha y 37,84 ha, en el primer y segundo período, respectivamente. Esta reducción se ve corroborada con el aumento de la extensión de las clases PC, en 294,80 ha (13,30% de la extensión en 1987, a 21,06 ha/año) y 160,96 ha (6,41% de la extensión en 2001, a 9,47 ha/año), y AA, en 16,14 ha (43,04% de la extensión en 1987, a 1,15 ha/año) y 13,25 ha (24,70% de la extensión en 2001, a 0,78 ha/año) en cada período, respectivamente. Se demuestra que la pérdida de cobertura vegetal natural fue consecuencia directa del desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas y expansión urbana.

La dinámica espaciotemporal de CUS en la microcuenca El Tingo, muestra una desaceleración en el proceso general de transformación de la cobertura vegetal natural a los usos del suelo antrópico. En la Figura 9 se observa de manera clara la relación inversa que siguen las clases de CUS de BO, AH y PH frente a los PC y AA, estos últimos tuvieron un aumento considerable en extensión, por lo tanto, reducción de la cobertura natural del suelo o deforestación.

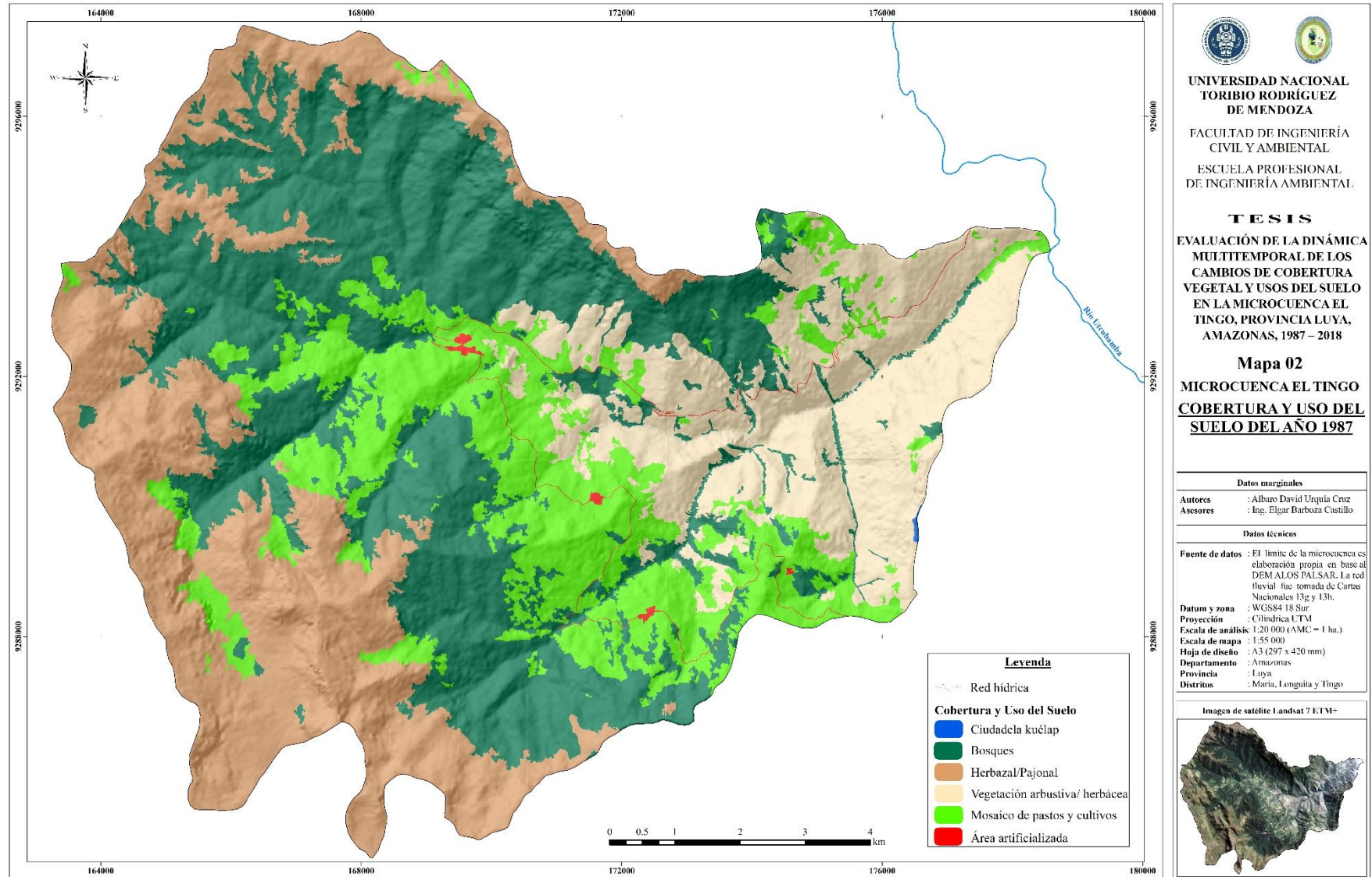


Figura 6. Cobertura y uso del suelo de la microcuenca El Tingo en 1987.

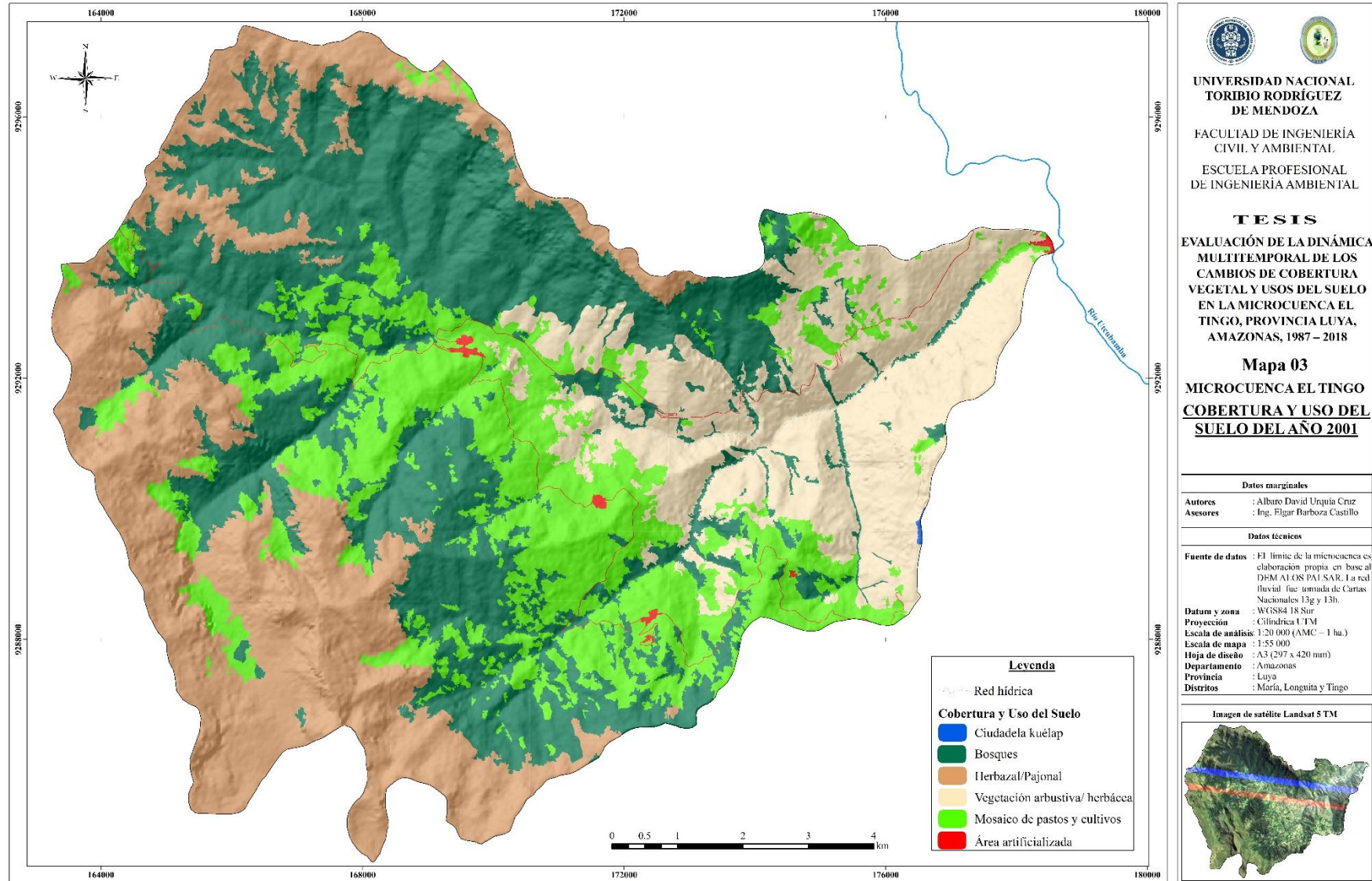
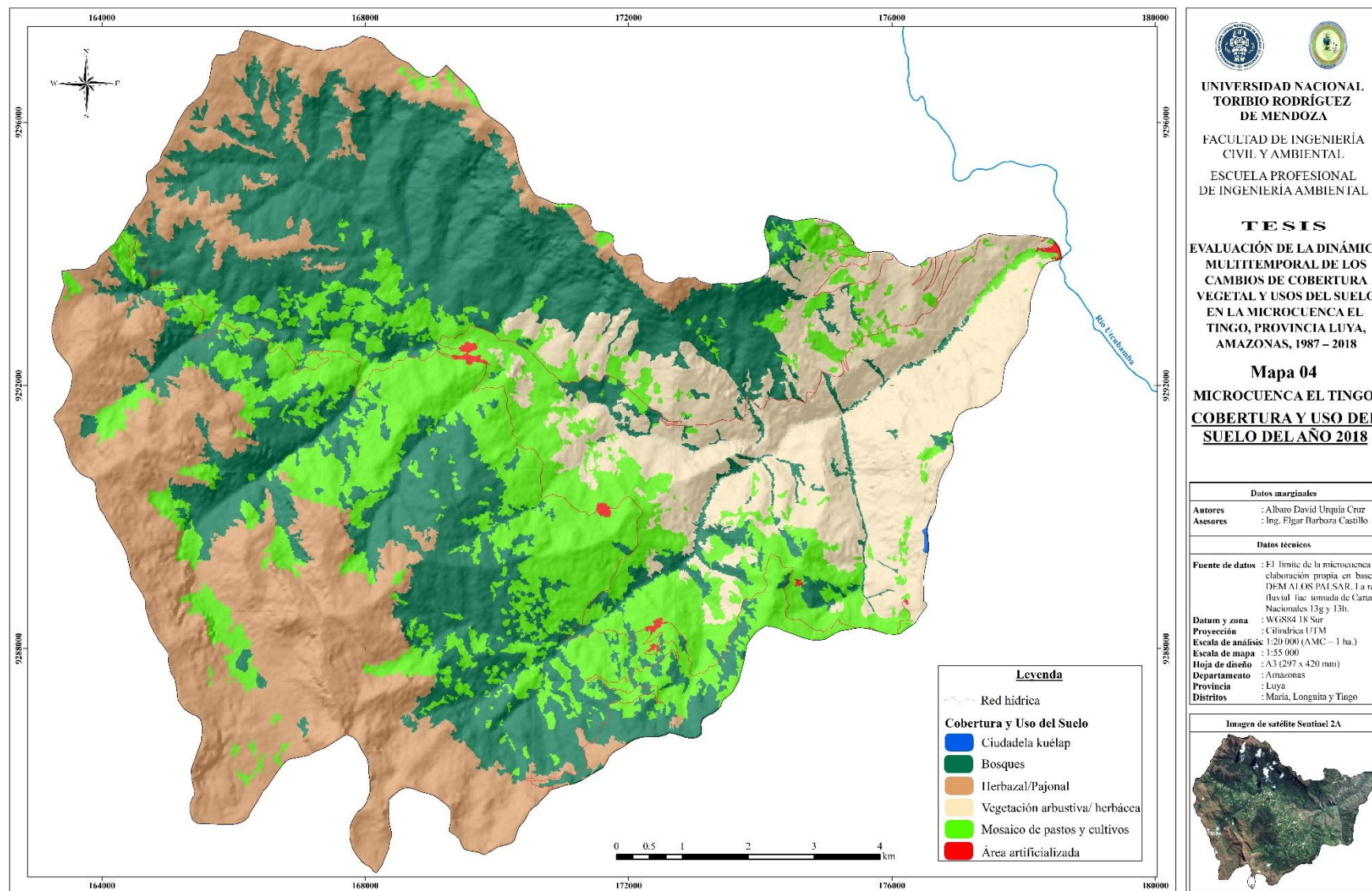



Figura 7. Cobertura y uso del suelo de la microcuenca El Tingo en 2001.




UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL.
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS
EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO EN LA MICROCUENCA EL TINGO, PROVINCIA LUYA, AMAZONAS, 1987 – 2018

Mapa 04
MICROCUENCA EL TINGO
COBERTURA Y USO DEL SUELO DEL AÑO 2018

Datos marginales	
Autores	: Alvaro David Urquía Cruz
Asesores	: Ing. Elgar Barboza Castillo
Datos técnicos	
Fuente de datos	: El límite de la microcuenca es elaboración propia en base al DEMATOS PAI SAR. La red fluvial fue tomada de Cartas Nacionales 13g y 13h.
Datum y zona	: WGS84 18 Sur
Proyección	: Cilíndrica UTM
Escala de análisis	: 1:20 000 (AMC – 1 ha.)
Escala de mapa	: 1:55 000
Hoja de diseño	: A3 (297 x 420 mm)
Departamento	: Amazonas
Provincia	: Luya
Distritos	: María, Longueta y Tingo


Imagen de satélite Sentinel 2A


Figura 8. Cobertura y uso del suelo de la microcuenca El Tingo en 2018.

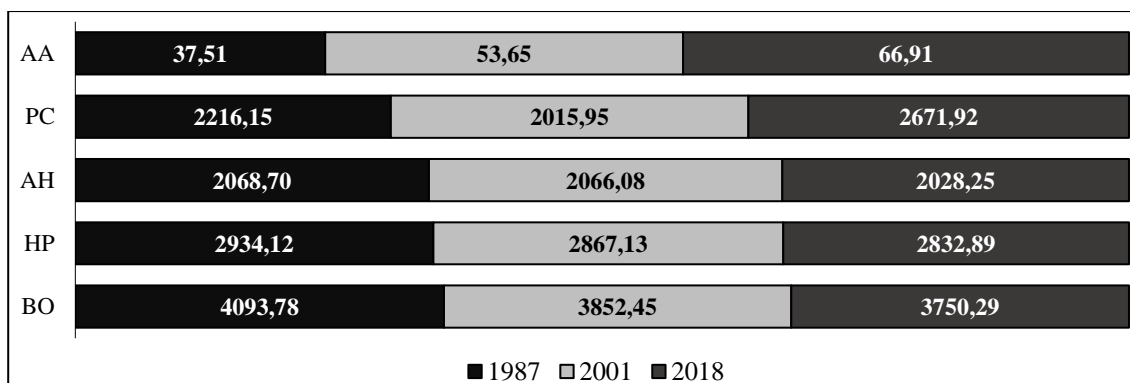


Figura 9. Dinámica espaciotemporal de las clases de cobertura y uso del suelo en hectáreas para 1987, 2001 y 2018 en la microcuenca El Tingo.

Los resultados concuerdan con la tendencia de pérdida de bosque húmedo amazónico obtenida por el Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (Programa Bosques) del MINAM en base a imágenes del satélite Landsat (Tabla 7 y Figura 10).

Tabla 7. Bosque - no bosque y pérdida de bosque 2000 - 2017 por distritos.

Distrito	No Bosque Al 2000	Año 2000 +																	Total 2001-2017	Bosque Al 2017
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17		
Longuita	2327	11	6	13	6	8	9	6	15	8	7	4	1	2	3	3	4	19	124	933
María	2265	15	7	23	8	9	17	7	12	8	4	11	0	1	2	2	10	34	170	3033
Tingo	8592	0	1	2	1	0	2	1	1	1	0	2	0	0	1	1	2	2	16	1318
Total	13184	26	14	37	15	18	27	14	28	17	11	17	1	3	6	6	16	56	310	5284

Fuente: Mapa de Bosque/No Bosque año 2000 y Mapa de pérdida de los Bosques Húmedos Amazónicos del Perú 2001 - 2013, MINAM (PROGRAMA BOSQUES) - MINAGRI (SERFOR), 2014, actualizado al 2017. Información generada de manera conjunta, por el MINAM a través del PNCBMCC, el MINAGRI a través de SERFOR. Recuperado de <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php>.

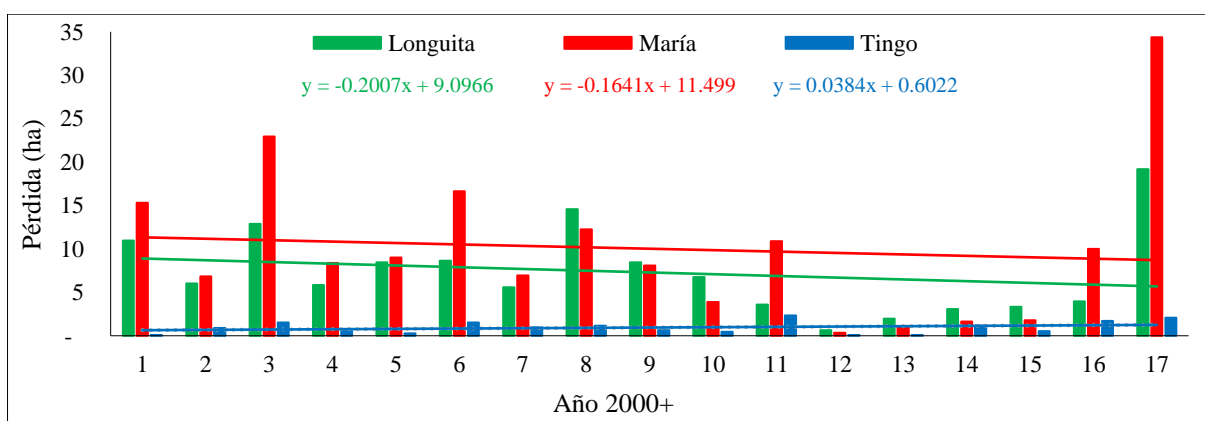


Figura 10. Tendencia de pérdida de bosque 2001 – 2017 en los distritos de estudio.

3.3. Mapas de cambios de Cobertura y Usos del Suelo (CUS) en la microcuenca El Tingo

Las Figuras 11 y 12 indican la dinámica de transición que siguieron las clases de CUS en los dos períodos de análisis, a la par, se indica sucintamente las áreas deforestadas en cada período.

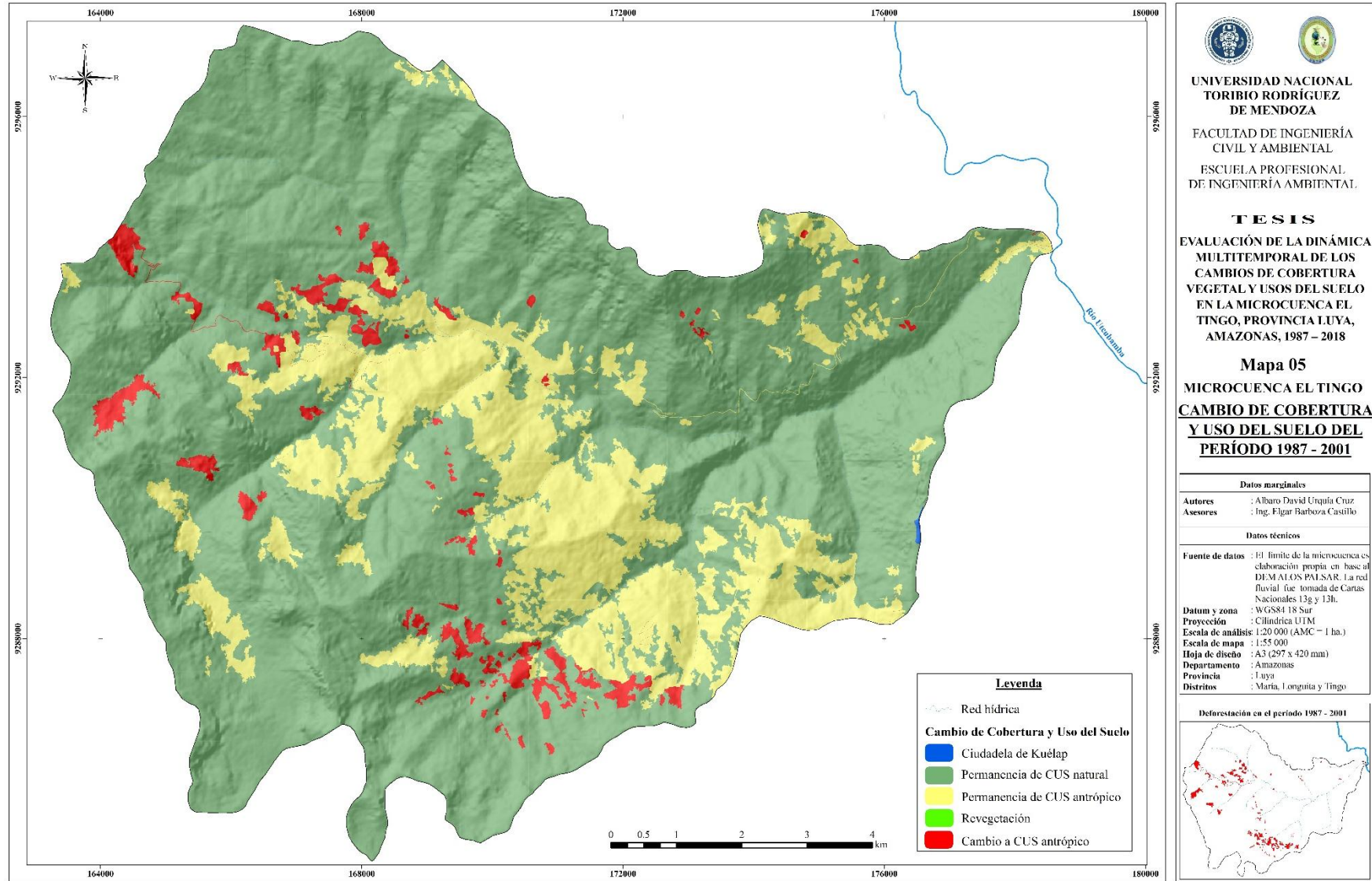


Figura 11. Cambios de cobertura vegetal y usos del suelo de la microcuenca El Tingo en el período 1987 - 2001.

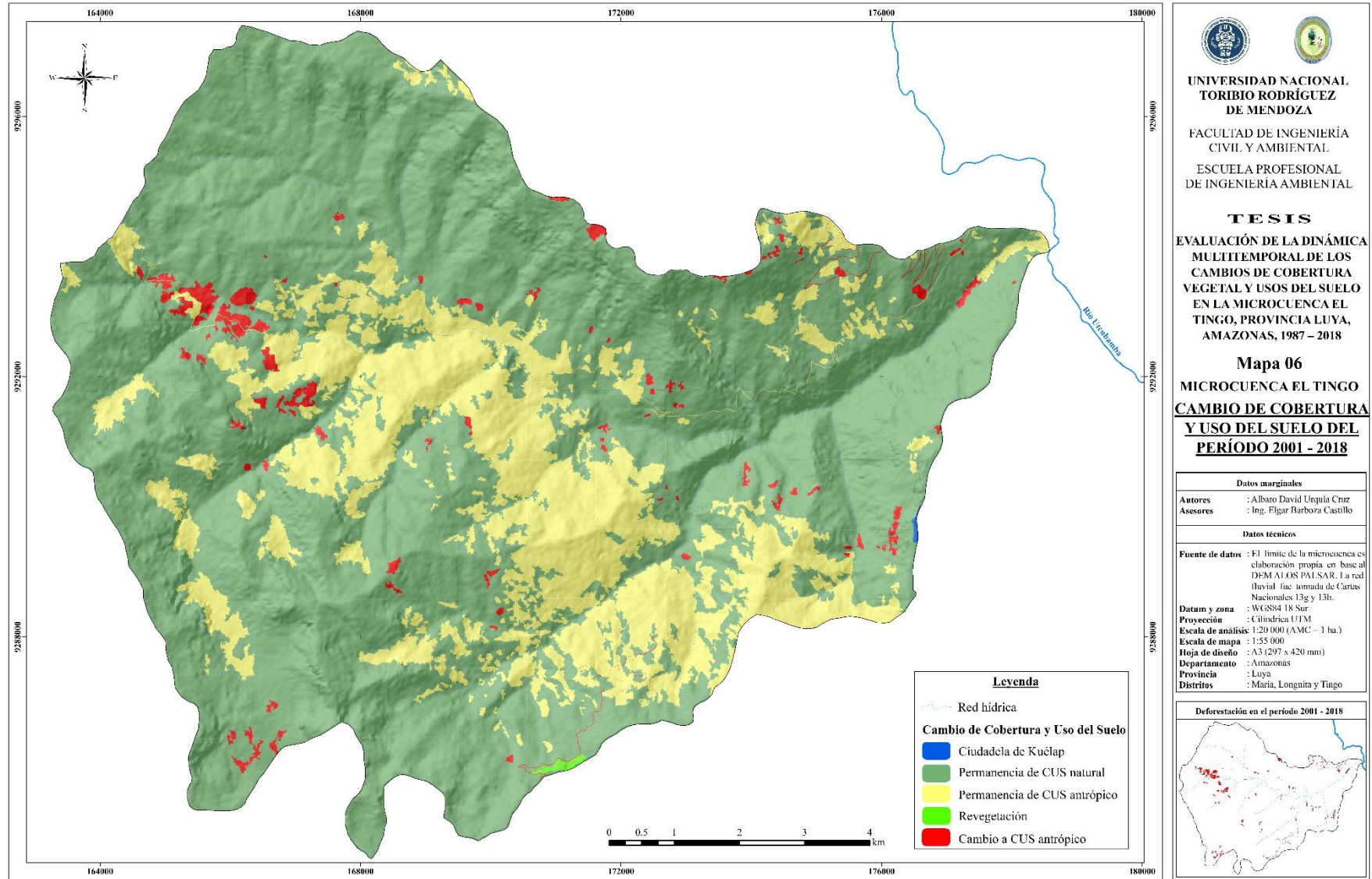


Figura 12. Cambios de cobertura vegetal y usos del suelo de la microcuenca El Tingo en el período 2001 - 2018.

3.4. Matrices y tasas de cambios de CUS en la microcuenca El Tingo

Las tasas de cambios estimadas para los períodos P1 (1987 – 2001) y P2 (2001 – 2018) muestran una marcada dinámica de los cambios de CUS. Los principales cambios que se produjeron en el P1 fueron el incremento de los usos AA (2,59%) y PC (0,90%); debido a la pérdida de otras coberturas naturales como los AH (-0,01%), HP (-0,16) y la reducción de la clase BO con una tasa mayor de cambio anual negativa de -0,43% (Tabla 8).

En el P2 (Tabla 9) se siguió el mismo patrón del P1, incrementándose la clase AA en 1,31% y los PC en 0,37%, con pérdidas de AH (-0,11%), HP (-0,07%) y BO (-0,16%), este último disminuyó notoriamente. En términos espaciales las ciudades asentadas en el área de estudio, no han dejado de anexar espacios, consumir recursos y transformar el medio ambiente a su alrededor, que se ve reflejado en el incremento de vías de comunicación y pastos y cultivos, y la reducción de los bosques y coberturas vegetales naturales.

Tabla 8. Matriz de tabulación cruzada, tasas e índices de cambios entre 1987 y 2001 de las CUS en la microcuenca El Tingo (datos en hectáreas y %).

1987	2001					Total 1987	Tasa de cambio	Pérdida (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	BO	HP	AH	PC	AA						
									%		
BO	3852,45	0,00	0,00	236,84	4,49	4093,78	-0,43	5,90	5,90	-5,90	0,00
HP	0,00	2867,13	0,00	66,48	0,51	2934,12	-0,16	2,28	2,28	-2,28	0,00
AH	0,00	0,00	2066,08	2,46	0,15	2068,70	-0,01	0,13	0,13	-0,13	0,00
PC	0,00	0,00	0,00	2205,17	10,98	2216,15	0,90	0,50	12,67	11,68	0,99
AA	0,00	0,00	0,00	0,00	37,51	37,51	2,59	0,00	30,09	30,09	0,00
Total 2001	3852,45	2867,13	2066,08	2510,95	53,65	11350,26					
Ganancia (G_j) (%)	0,00	0,00	0,00	12,18	30,09						

Tabla 9. Matriz de tabulación cruzada, tasas e índices de cambios entre 2001 y 2018 de las CUS en la microcuenca El Tingo (datos en hectáreas y %).

2001	2018					Total 2001	Tasa de cambio	Pérdida (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	BO	HP	AH	PC	AA						
									%		
BO	3741,68	0,00	0,00	109,38	1,39	3852,45	-0,16	2,88	3,10	-2,65	0,45
HP	8,61	2832,89	0,00	23,81	1,81	2867,13	-0,07	1,19	1,19	-1,19	0,00
AH	0,00	0,00	2028,25	32,45	5,39	2066,08	-0,11	1,83	1,83	-1,83	0,00
PC	0,00	0,00	0,00	2506,29	4,67	2510,95	0,37	0,19	6,38	6,01	0,37
AA	0,00	0,00	0,00	0,00	53,65	53,65	1,31	0,00	19,81	19,81	0,00
Total 2018	3750,29	2832,89	2028,25	2671,92	66,91	11350,26					
Ganancia (G_j) (%)	0,22	0,00	0,00	6,20	19,81						

La clase AA mantuvo el mayor cambio de superficie en la microcuenca de El Tingo (cambio neto) (30,09% y 19,81% para el P1 y P2, respectivamente) (Tabla 8 y 9), con ganancias de 11,29 ha y 10,63 ha en relación a los años base de cada período (1987 y 2001) (Figura 13). El segundo mayor cambio neto se dio en la clase PC (11,68% y 6,01% para el P1 y P2, respectivamente), que presentó ganancias significativas pero que también tuvo pérdidas discutibles hacia la clase AA, esto significa un cambio hacia la apertura de infraestructura vial y centros urbanos. Asimismo, la clase BO, presentó cambios netos negativos de -5,90% y -2,65% en el primer y segundo período, respectivamente, con pérdidas 241,33 ha y 110,76 ha de su área en relación a los años base de cada período, resultando en una eminente deforestación; seguido de las clases HP y AH con pérdidas muy consistentes.

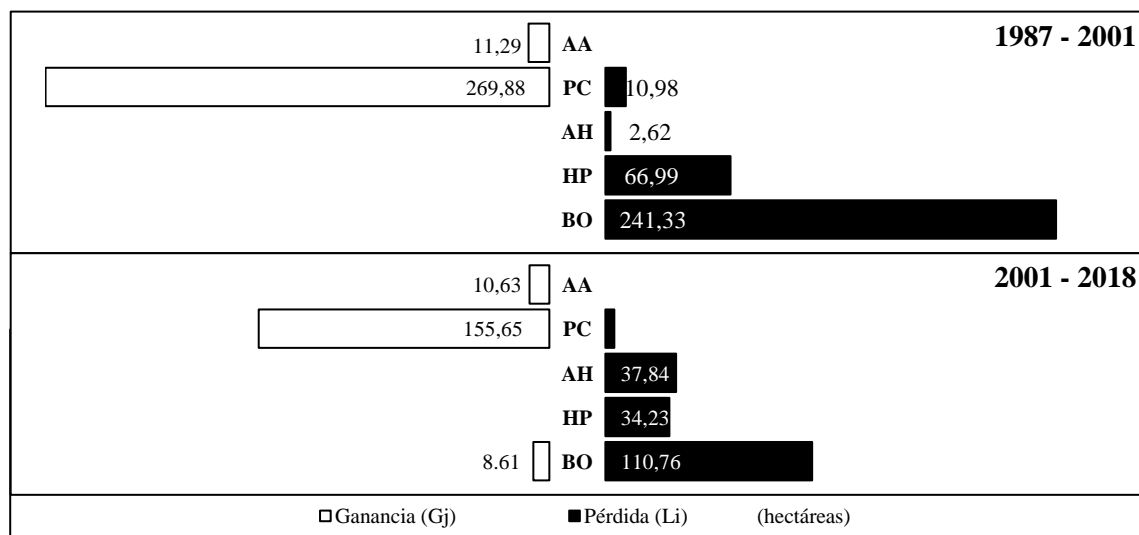


Figura 13. Ganancias y pérdidas de las clases de CUS para cada período de análisis.

Un análisis de intensidad de cambios nos indica que para el P2 se redujo esta, la escala de intensidad de 0 a 0,06 pasó a una escala de 0 a 0,3, alrededor del 50% (Figura 14 y 15). A través del análisis de las matrices se estableció que la transformación de los bosques fue principalmente hacia un proceso de expansión de la frontera agrícola y los pastizales (5,79% y 2,84% para el P1 y P2, respectivamente) (Tabla 8 y 9, Figura 14 y 15); y de estos últimos al asentamiento de caseríos y la construcción de infraestructuras viales, que finalmente terminan acentuando la deforestación en el área geográfica en la que se establecieron.

Los pajonales y herbazales fueron transformados en menor intensidad hacia cultivos y pastizales inducidos; 0,12% y 1,57% de la clase AH y 2,27% y 0,83% de la clase HP fueron transformados a PC en el P1 y P2, respectivamente (Tabla 8 y 9, Figura 14 y 15); sin embargo, sobre HP, Ramírez (2010) indica que en la región Amazonas, se aprovechan

estos pastos naturales, ubicados en las jalcas, sobre laderas y cimas de montañas, en altitudes que sobrepasan los 2000 m.s.n.m. hasta los aproximadamente los 4000 m.s.n.m., y a su vez son manejadas mediante quemas antrópicas, existiendo así un proceso latente de degradación de estos ecosistemas en la microcuenca. Lo que llaman la atención puesto que estas praderas naturales alto andinas, han sido consideradas el segundo ecosistema en importancia ecológica después de los bosques tropicales (Barrantes y Flores, 2013).

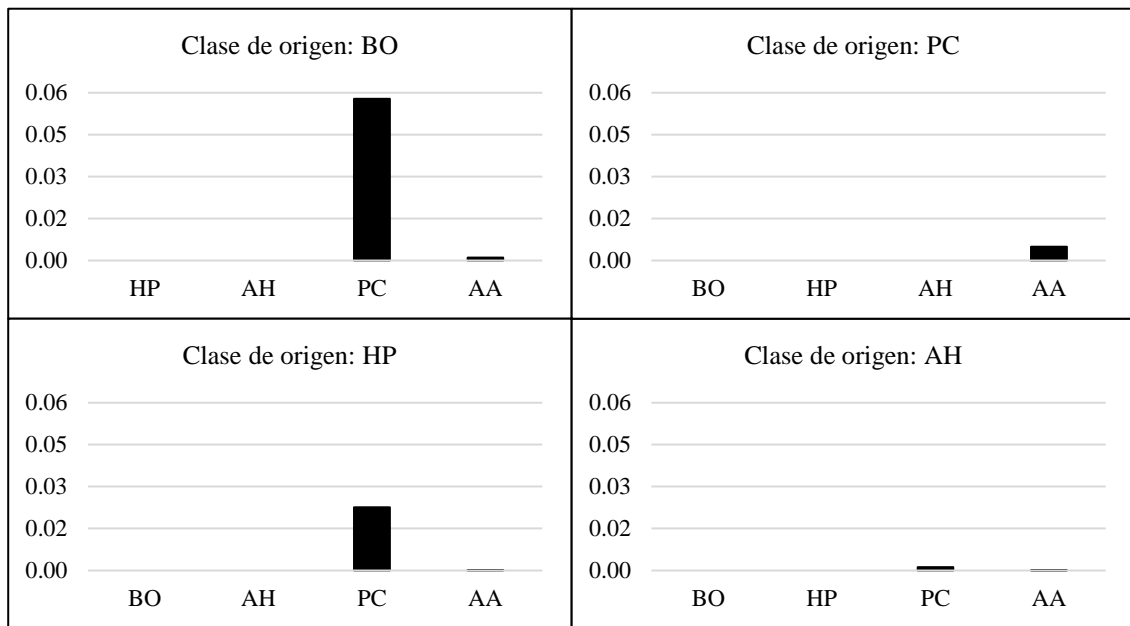


Figura 14. Intensidad de cambio a nivel de transición para el período 1987 – 2001. Las barras indican cuáles fueron las clases de destino.

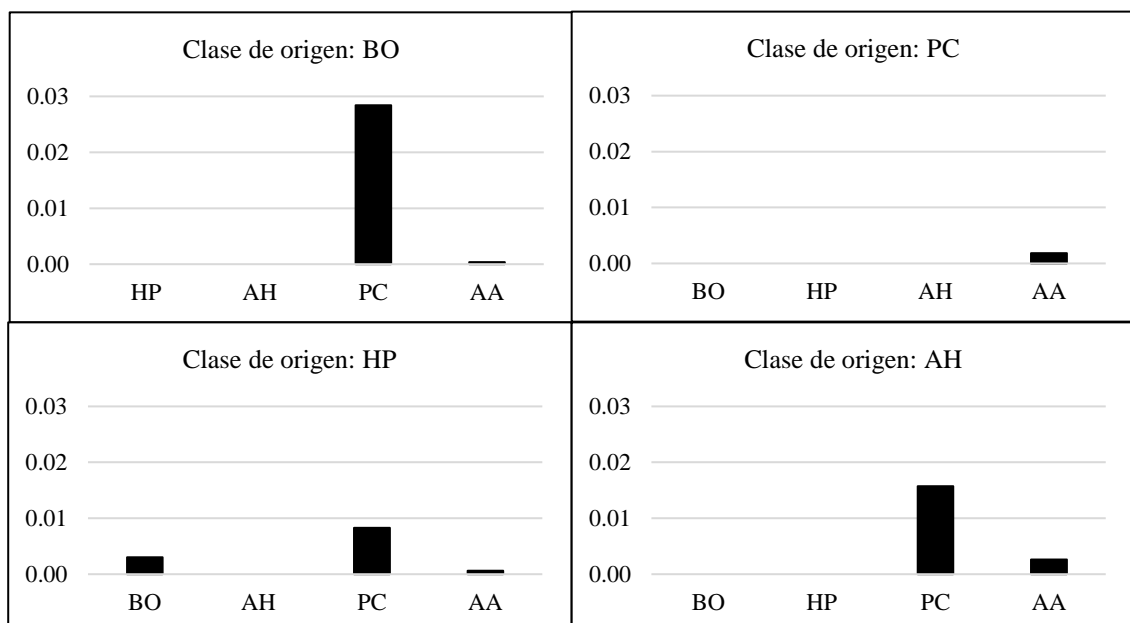


Figura 15. Intensidad de cambio a nivel de transición para el período 2001 - 2018. Las barras indican cuáles fueron las clases de destino.

3.5. Concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural en la microcuenca El Tingo

Las Figuras 16 y 17 representan la concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural para los períodos P1 y P2, respectivamente. Las áreas de color verde oscuro indican una concentración de pérdida baja, así como polígonos más pequeños de pérdida de vegetación, por lo tanto, para el P1 y P2 tenemos densidades de 0 – 0,0176 ha y 0 – 0,0100 ha, respectivamente. Asimismo, las áreas de color rojo, indican áreas donde la concentración de la pérdida de cobertura vegetal es extremadamente alta, y donde encontramos los polígonos más grandes de pérdida, de este modo, para el P1 y P2 tenemos densidades de 0,1389 – 0,2142 ha y 0,1234 – 0,1975 ha, respectivamente (Tabla 10 y 11).

Tabla 10. Superficie por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 1987 – 2001.

Densidad de la pérdida de cobertura	Concentración de la pérdida de cobertura	Superficie (ha)	Superficie (%)
0 - 0,0176	Baja	7498,40	66,05
0,0176 - 0,0494	Media	1615,68	14,23
0,0494 - 0,0879	Alta	1104,66	9,73
0,0879 - 0,1389	Muy alta	754,20	6,64
0,1389 - 0,2142	Extremadamente alta	380,16	3,35
Total		11353,10	100,00

Tabla 11. Superficie por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 2001 - 2018.

Densidad de la pérdida de cobertura	Concentración de la pérdida de cobertura	Superficie (ha)	Superficie (%)
0 - 0,0100	Baja	7345,76	64,70
0,0100 - 0,0285	Media	2765,88	24,36
0,0285 - 0,0648	Alta	726,93	6,40
0,0648 - 0,1234	Muy alta	318,96	2,81
0,1234 - 0,1975	Extremadamente alta	195,57	1,72
Total		11353,10	100,00

Los mapas de densidad (Figura 16 y 17) y las estadísticas que se desprenden (Tabla 10 y 11), destacan la necesidad de que los recursos logísticos para las intervenciones de las instituciones encargadas de vigilar, controlar y fiscalizar los bosques, deben concentrarse en áreas equivalentes a la catorceava parte del bosque húmedo del área de estudio, y con ello se estaría frenando la mitad de los procesos de pérdida de bosque que ocurren en la microcuenca El Tingo, cuyo mayor valor se encuentra en el ACP Huiquilla.

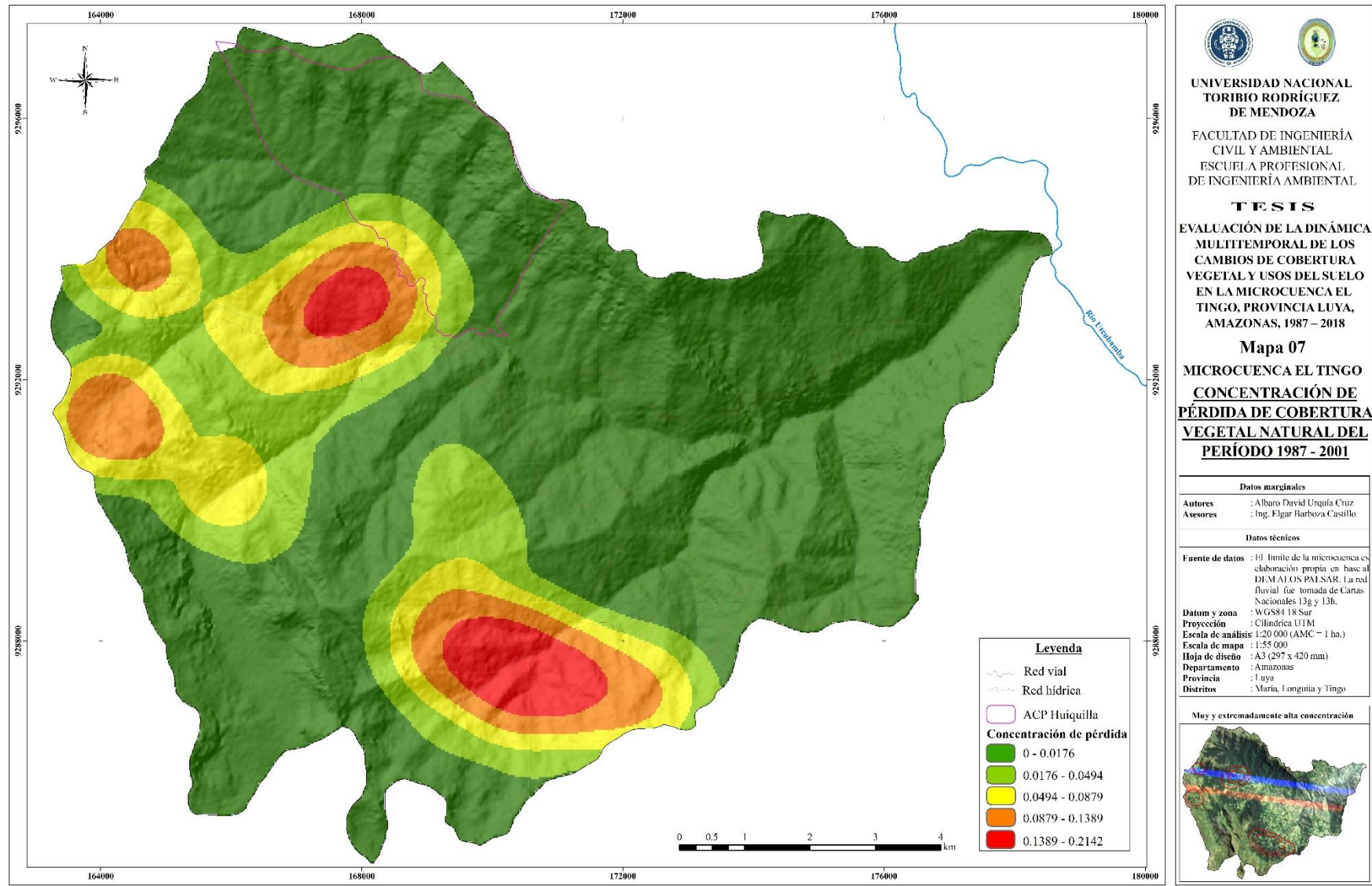


Figura 16. Concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 1987 - 2001.

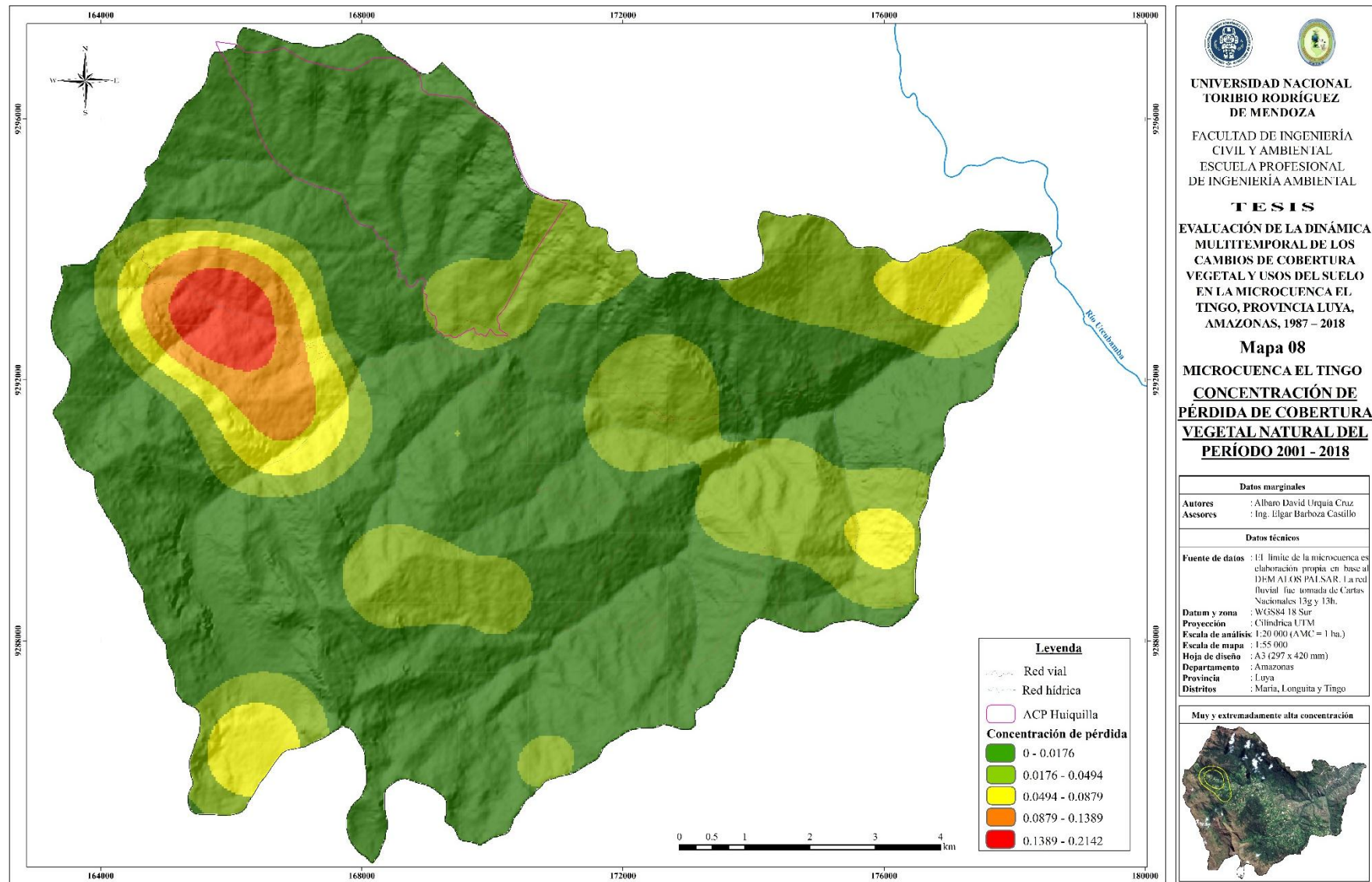


Figura 17. Concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural para el período 2001 - 2018.

IV. DISCUSIÓN

La pérdida de cobertura vegetal es un problema que ha ostentado severamente el equilibrio de los bosques y en los últimos años se ha agudizado a nivel mundial y nacional (Schmink, 1995). En Amazonas, un ejemplo es el caso de la microcuenca el Tingo, que en el periodo de estudio 1987 - 2001 las tasas anuales de cambios de coberturas naturales de bosques fueron negativas de (-0,43%), vegetación arbustiva/herbácea (-0,01%) y herbazal/pajonal (-0,16 %) debido al aumento de otras coberturas como el área artificializada en (2,59%) y pastos/cultivos en (0,90%), en el segundo periodo 2001-2018 se continuó con el mismo patrón, incrementándose la clase área artificializada en 1,31% y los pastos/cultivos en 0,37%, con pérdidas de vegetación arbustiva/herbácea (-0,11%), herbazal/pajonal (-0,07%) y bosques (-0,16%), este último disminuyó notoriamente. En términos espaciales las ciudades asentadas en el área de estudio, no han dejado de incorporar espacios, consumir recursos y transformar el medio ambiente a su alrededor, que se ve reflejado en el incremento de vías de transporte, pastos y cultivos, y la reducción de los bosques y coberturas vegetales naturales, todo impulsado por factores de deforestación directos como factor social de la migración y el crecimiento poblacional, iniciación de carreteras con el propósito de interconectar los distintos núcleos poblacionales (GRA, 2016) e indirectos, por la interacción plena de factores económicos, institucionales, tecnológicos, culturales y demográficos (Geist y Lambin, 2002).

El principal factor que ha aumentado la reducción de la cobertura vegetal de la microcuenca El Tingo es la expansión de los usos antropogénicos del suelo (la construcción de centros poblados e infraestructura); generado por la migración hacia la zona y la deficiente claridad en la tenencia de la tierra (Messina *et al.*, 2006, Amacher *et al.*, 2009), últimamente se ha incrementado potencialmente el desarrollo turístico y urbano por la existencia de la Fortaleza de Kuélap (conjunto arqueológico más importante de la selva montañosa peruana construida en la cima de una alta montaña) a esto suma el crecimiento de la población del Tingo por el funcionamiento de las telecabinas Kuélap que recibe más de 300 visitantes diarios (Álvarez, 2017) y la expectativa del desarrollo local llevó a un aumento en la inmigración de personas, lo cual trajo consigo la necesidad de edificar construcciones para viviendas y para dar servicios a los inmigrantes y turistas (Hirales-Cota *et al.*, 2010), afectando a los ecosistemas naturales como los bosques, herbazales, pajonales, vegetación arbustiva y herbácea, beneficios y servicios ambientales que estos proveen, entre otros factores de deforestación incluyen la agricultura y ganadería como actividades económicas significativas, sin embargo en este mismo panorama se suma la influencia del Área de Conservación Privada (ACP) Huiquilla, en el mantenimiento de las áreas naturales de la zona.

Esto se corrobora con los datos obtenidos en el estudio ya que la clase de área artificializada influenciada por el desarrollo del turismo conservó el mayor cambio de superficie en la microcuenca El Tingo en 30,09% y 19,81% para el periodo 1 y periodo 2, respectivamente, con ganancias de 11,29 ha y 10,63 ha en correlación a los años base de cada período 1987 y 2001. El segundo mayor cambio fue en la clase de pastos y cultivos 11,68% y 6,01% para el periodo 1 y periodo 2, respectivamente, que presentó ganancias significativas pero que también tuvo pérdidas debatibles hacia la clase área artificializada, esto significa un cambio hacia la apertura de infraestructura vial y centros urbanos. Por otro lado, datos de aumento de cobertura de uso de suelo para agricultura y ganadería son coincidentes con los datos de pérdida de cobertura de bosque en -5,90% y -2,65% en el primer y segundo período, respectivamente, con pérdidas de 241,33 ha y 110,76 ha de su área en relación a los años base de cada período, resultando en una eminente deforestación; seguido de las clases herbazal/pajonal y vegetación arbustiva/ herbácea con pérdidas muy alarmantes.

Desde el punto de vista productivo, mayormente los suelos de la microcuenca El Tingo están destinados a Grupo 1 (A 1): Tierras aptas para cultivo en limpio (A), Grupo 2 (A2): Tierras aptas para cultivo permanente (C), Grupo 3 (A3): Tierras aptas para pastos (P), y Grupo 4 (CA4): Tierras aptas para producción forestal (FI) (Vega Tafur, 2014), es por ello que gran parte de la población del Tingo, dedicada a la agricultura, como actividad económica importante está relacionada básicamente a una agricultura de subsistencia; productos como la papa y el maíz, son cultivados con fines de comercialización y siendo la principal fuente de ingresos de la población, sobre todo en la cuenca del Utcubamba (Vega Tafur, 2014). Si a cantidades nos referimos, la provincia de Luya tiene un área de papa cultivada de 2 223 ha, una producción de 31 446,50 toneladas; área sembrada 2 208 ha, con una producción de 1 923,50 toneladas de maíz amiláceo; maíz amarillo duro con una capacidad instalada de 1 065 ha con un rendimiento de 2 484,20 toneladas; (DGIA, ORA-Amazonas. Campaña agrícola 2009-2010). La agricultura migratoria como factor directo de deforestación se basa en pensamientos erróneos de agricultores sin ningún conocimiento forestal, con la visión de que el bosque es un impedimento, que nunca se acabará y que hay que se debe desbaratar y quemar para hacer agricultura y pastizales (MINAM, 2009), provocaron un efecto negativo en la cobertura boscosa. Consecuentemente, esta población migrante no puede mantener una agricultura rentable y, a menudo, volvían a emigrar (Bebbington, 1990).

La ganadería es la segunda actividad económica de la Provincia de Luya, según el estudio de la ZEE de Amazonas, que ha determinado que existen aproximadamente 45 370 hectáreas de

tierras, aptas para la implementación de pastos cultivados (Municipalidad Provincial de Luya y APECO, 2009; Vega Tafur, 2014), en el territorio se desarrolla una ganadería extensiva, de pastoreo en algunos casos, lo cual influye enormemente en la producción (carne o leche) y por ende predomina la crianza de ganado vacuno, ovino, porcino y animales menores, con presencia de ganado criollo de baja productividad, el campesino se dedica a la crianza de ganado mejorado (Holstein, Brown Swiss, etc.). La crianza de animales menores, es básicamente para autoconsumo, según la Dirección General de Información Agraria, la población de ganado vacuno en la Provincia de Luya asciende a 41 550 individuos; de los cuales 10 770 son de ganado ovino y 9 310 de ganado porcino.

La producción forestal en la zona, en su mayoría se realiza con fines de abastecimiento propio, ya sea para construcción de viviendas y/o utilitarios, en algunos casos se comercializa en el ámbito local de forma ilegal, lo cual hace difícil, tener información precisa sobre los volúmenes extraídos al igual que las especies comercializadas. Las especies forestales utilizadas varían según la cuenca hidrográfica, en la cuenca del Utcubamba y partes altas se utilizan especies como el cedro de altura, aliso, siegue, lanche, eucalipto, etc.

El modelo de turismo comunitario se caracteriza porque las comunidades rurales se encargan de al menos una parte del control de esta actividad y reciben también una parte de sus beneficios económicos. (Ruiz et al., 2008), sin embargo, el modelo turístico desarrollado en el Tingo es “convencional” en el sentido de que sus programas y actividades están diseñados, operados y promocionados por empresas privadas de turismo, sin embargo, de debe incentivar a las comunidades empiecen a incursionar en la actividad turística desarrollando una nueva propuesta: el turismo comunitario. El turismo comunitario ha sido visto como una panacea del desarrollo y tiene el apoyo de estados, ONGs, agencias de cooperación y organizaciones internacionales. Sin embargo, este modelo de operación turística tiene algunos problemas (De La Torre, 2010).

El establecimiento de áreas de conservación (ACP) consiste en uno de los principales mecanismos de política ambiental para proteger y mantener la existencia de diversos tipos de diversidad natural y evitar la extinción de especies de flora, fauna y diversidad biológica (Díaz y Miranda, 2014). Pero, por otro lado, el efecto negativo sobre el bienestar de la población que habita en las zonas aledañas puede constituir un factor de presión sobre el bosque paralelo, por lo que es necesario diseñar mecanismos, que mejoren sus ingresos.

V. CONCLUSIONES

- Se identificaron seis clases de cobertura y uso del suelo para 1987, 2001 y 2018 en la microcuenca El Tingo: Área artificializada (AA), Pastos y cultivos (PC), Bosques (BO), Herbazal/Pajonal (HP), Vegetación arbustiva/ herbácea (AH) y la clase K (superficie del centro arqueológico Kuélap).
- La exactitud global y el Índice Kappa (k) del mapa de cobertura y uso del suelo del año 2018 es 89% y 0,85, respectivamente. Esto significa que el mapa tiene una concordancia casi perfecta con lo que se puede encontrar en campo.
- Se determinó que el principal cambio de uso del suelo para el periodo de estudio 1987 - 2001 fue el incremento de los usos para área artificializada 2.59 % y uso para pastos y cultivos 0,90 %; debido a la pérdida de otras coberturas naturales como los arbustales -0,01 %, pajonales -0,16 y la reducción de la clase bosques con una tasa de cambio anual negativa de -0,43%. En el periodo 2001 - 2018 siguió incrementándose la clase área artificializada en 1.31 % y el área de los pastos y cultivos en 0,37 %, con pérdidas de herbazales (-0,11 %, pajonales -0,07% y bosques 0,16 %).
- Los mapas de densidad Kernel evidencian que las más altas concentraciones de pérdida de cobertura boscosa en la microcuenca El Tingo están próximas a las redes viales construidas en cada período de análisis.
- Los factores directos que incrementan la dinámica multitemporal de cambios de cobertura y uso del suelo en la microcuenca El Tingo es el desarrollo de la actividad agrícola y ganadera. Asimismo, los factores indirectos que intensifican en la pérdida de la cobertura forestal son: el aumento de vías de acceso, la agricultura migratoria, malas prácticas agrícolas, el crecimiento poblacional e incremento de la actividad turística.

VI. RECOMENDACIONES

- El monitoreo de la deforestación debe ser realizado en periodos más cortos de tiempo, que permitirá detectar mejor las variaciones anuales del proceso de la deforestación. De esta manera se tendrá mayor información de la dinámica de los cambios de uso de la tierra y así se podrán realizar proyecciones más precisas, considerando también factores socioeconómicos, accesibilidad, procesos migratorios, entre otros.
- Es necesario emplear métodos modernos de mapeo semiautomático para la deforestación, que demande menor tiempo y similar precisión, como, por ejemplo, métodos de clasificación digital de imágenes de satélite orientada a objetos, que utilizan los criterios de los intérpretes para identificar las áreas deforestadas. Esto indudablemente obliga a contar con mejores y modernos equipos, tanto de hardware como de software.
- Aprovechar las imágenes del reciente enviado y puesto en funcionamiento satélite peruano PeruSat-1, para realizar el monitoreo actual y a futuro de la dinámica de cambios de cobertura y uso del suelo y la consecuente deforestación, puesto que tiene mejor resolución espacial que las imágenes Landsat y Sentinel utilizadas en este estudio.
- Al gobierno regional y a los locales se les recomienda continuar con el monitoreo de la deforestación, el cual debe constituir una herramienta importante para el desarrollo de proyectos de zonificación ecológica económica, así como de ordenamiento del territorio en la microcuenca de El Tingo, con la coordinación de los municipios, las asociaciones agropecuarias y empresas turísticas.
- Los gobiernos locales, a través de su área de medioambiente, deben realizar un análisis profundo de las causas de la deforestación a nivel municipal, así como su dinámica a través del tiempo, de tal forma que permita tomar conciencia del problema y adoptar medidas para frenar y regular este proceso.
- Las municipalidades distritales deben realizar programas de reforestación con especies nativas para contrarrestar la pérdida de bosque. De la misma forma, implementar planes de ecoturismo, turismo vivencial y de aventura para aprovechar las costumbres y paisajes que tiene la microcuenca para tener otra fuente de ingresos.
- La universidad, a través de sus carreras profesionales de Ingeniería, Forestal, Ambiental y Agrónoma, debe impulsar en sus alumnos, conocimientos sobre metodologías y herramientas tecnológicas de evaluación de cambios de cobertura vegetal y usos del suelo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J. L. (7 de julio de 2017). *Andina, agencia peruana de noticias*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-amazonas-kuelap-recibio-mas-2000-visitantes-durante-feriado-largo-673639.aspx>.
- Amacher, G. S., Koskela, E., & Ollikainen, M. (2009). Deforestation and land use under insecure property rights. *Environment and Development Economics*, 14(3), 281-303.
- Barrantes, C. A., & Flores, E. R. (2013). Estimando la disposición a pagar por la conservación de los pastizales alto andinos. *Ecología aplicada*, 12(2), 91-97.
- Bebbington, A. (1990). Farmer knowledge, institutional resources and sustainable agricultural strategies: a case study from the eastern slopes of the Peruvian Andes. *Bulletin of Latin American Research*, 9(2), 203-228.
- Boucher, D., Elias, P., Lininger, K., May-Tobin, C., Roquemore, S. y Saxon, E. (2011). *The root of the problem: what's driving tropical deforestation today?* Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists.
- Chávez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24 (3), 459-479.
- Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de teledetección*, 10, 1-9.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio*. Ariel, España.
- De La Torre, S. (2010). Turismo comunitario, ¿otro sueño inalcanzable? *Polémika*, 5(1).
- De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Asner, G. P., Held, A., Kellndorfer, J. y Verbesselt, J. (2012). Synergies of multiple remote sensing data sources for REDD+ monitoring. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(6), 696-706.
- De Sy, V., Herold, M., Achard, F., Beuchle, R., Clevers, J. G. P. W., Lindquist, E. y Verchot, L. (2015). Land use patterns and related carbon losses following deforestation in South America. *Environmental Research Letters*, 10(12), 124004.
- Díaz, R. y Miranda, J. J. (2014). Áreas naturales protegidas en el Perú: efectos sobre la deforestación y su relación con el bienestar de la población amazónica. *Amazonía peruana y desarrollo económico*, 209-239.
- FAO y SERFOR. (2017). *Nuestros bosques en números. Primer reporte del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. Lima: MINAGRI.

- FAO. (1996). *Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Forestry Paper 130. FAO: Roma, Italia.
- FAO. (2001). *Global Forest Resources Assessment 2000 Main Report*. Roma, Italia: FAO.
- FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. FAO, Roma y Mundi-Prensa, Madrid.
- FAO. (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?* FAO: Roma, Italia.
- FAO. (2016). *El estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*. FAO: Roma.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, 80(1), 185-201.
- Geist, H. J. y Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*, 52(2), 143-150.
- GRA e IIAP. (2013). *Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) de la Región de Amazonas*. Iquitos, Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
- GRA y ARA. (2014). *Plan Regional de Acción Ambiental Actualizado. Periodo 2014-2021*. Amazonas, Perú: Gobierno Regional de Amazonas.
- GRA y GIZ. (2012). *Diagnóstico Ambiental Local de la Provincia de Luya – Lámud*. Luya, GRA.
- GRA. (2016). *Informe del Estado del Ambiente Región Amazonas-2016*. Chachapoyas, Perú: GRA.
- Hathout, S. (2002). The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental management*, 66(3), 229-238.
- Hirales-Cota, M., Espinoza, J., Schmook, B., Ruiz, A. y Ramos-Reyes, R. (2010). Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México. *Ciencias marinas*, 36(2), 147-159.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., ... y George, P. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.
- Landis, J. R. y Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics* (33), 2, 363-374.

- Llerena P., C. A., Yalle P., S. R. y Silvestre E., E. (2014). *Los bosques y el cambio climático en el Perú: situación y perspectivas*. FAO: Lima, Perú.
- Maco, J. (2010). *Hidrografía, informe temático*. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el GRA. Iquitos, Perú.
- Messina, J., Walsh, S., Mena, C. y Delamater, P. (2006). Land tenure and deforestation patterns in the Ecuadorian Amazon: Conflicts land conservation in frontier settings. *Applied Geography*, 26(2), 113-128.
- MINAM. (2009). Mapa de deforestación de la Amazonía Peruana 2000. Memoria Descriptiva. Lima.
- MINAM. (2014a). *Primer Informe Bienal de Actualización del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima: MINAM.
- MINAM. (2014b). *Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la tierra en la Comunidad Andina*. Lima, Perú: MINAM.
- MINAM. (2014c). *Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación*. Lima, Perú: Dirección General de Ordenamiento Territorial.
- MINAM. (2016a). *Ambiente en acción*. Lima, Perú: MINAM.
- MINAM. (2016b). *Mapas kernel como indicador de la concentración de la pérdida de bosques húmedos amazónicos del Perú*. Lima, Perú: MINAM.
- Municipalidad Provincial de Luya y APECO. (2009). Planes Integrales de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos – PIGARS – Luya. Documento de trabajo. Luya.
- Osorio, L., Mas, J., Guerra, F. y Mas, M. (2015). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca Cuyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones geográficas*, (88), 60-74.
- Peralta-Rivero, C., Torrico-Albino, J. C., Vos, V. A., Galindo-Mendoza, M. G., & Contreras-Servín, C. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología en Bolivia*, 50(2), 91-114.
- Pérez Villegas, G., & Carrascal, E. (2000). El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal. *Investigaciones geográficas*, (43), 145-166.
- Phukan, P., Thakuria, G. y Saikia, R. (2013). Land use land cover change detection using remote sensing and GIS techniques: a case study of Golaghat district of Assam, India. *International Research Journal of Earth Sciences*, 1(1), 11-15.

- Pontius, R. G., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2), 251-268.
- Ramírez, J. (2010). *Uso actual de la tierra*. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el GRA. Iquitos, Perú.
- Ramírez, J.S. y Zubieta, R. (2005). *Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca*. Instituto de Geografía, UNAM, 52.
- Rawat, J. S. y Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77-84.
- Richards, J. A. y Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Berlin: Springer.
- Rudel, T. K., Defries, R., Asner, G. P. y Laurance, W. F. (2009). Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. *Conservation Biology*, 23(6), 1396-1405.
- Ruiz, E., Hernández, M., Cantero, P. y Campo, A. (2008). Turismo comunitario en Ecuador. Comprendiendo el community-based tourism desde la comunidad. *Revista de turismo y patrimonio cultural*, 6(3).
- Schmink, M. (1995). *La matriz socioeconómica de la deforestación. De bosques y gente. Aspectos sociales de la deforestación en América Latina*. CRIM/UNAM. Cuernavaca, México. p, 17-51.
- Serra, P., Pons, X. y Saurí, D. (2008). Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*, 28(3), 189-209.
- Story, M. y Congalton, R. G. (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3), 397-399.
- Thakkar, A. K., Desai, V. R., Patel, A. y Potdar, M. B. (2017). Post-classification corrections in improving the classification of Land Use/Land Cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20, 1, 79-89.
- Vargas G., E. (1992). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. Colombia: IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi).
- Vega Tafur, R. F. (2014). *Estudio de impacto socio ambiental del proyecto: Construcción de trocha carrozable a nivel de afirmado, Nogalcucho, Granero, Kuelap, distrito de Tingo-Luya*.

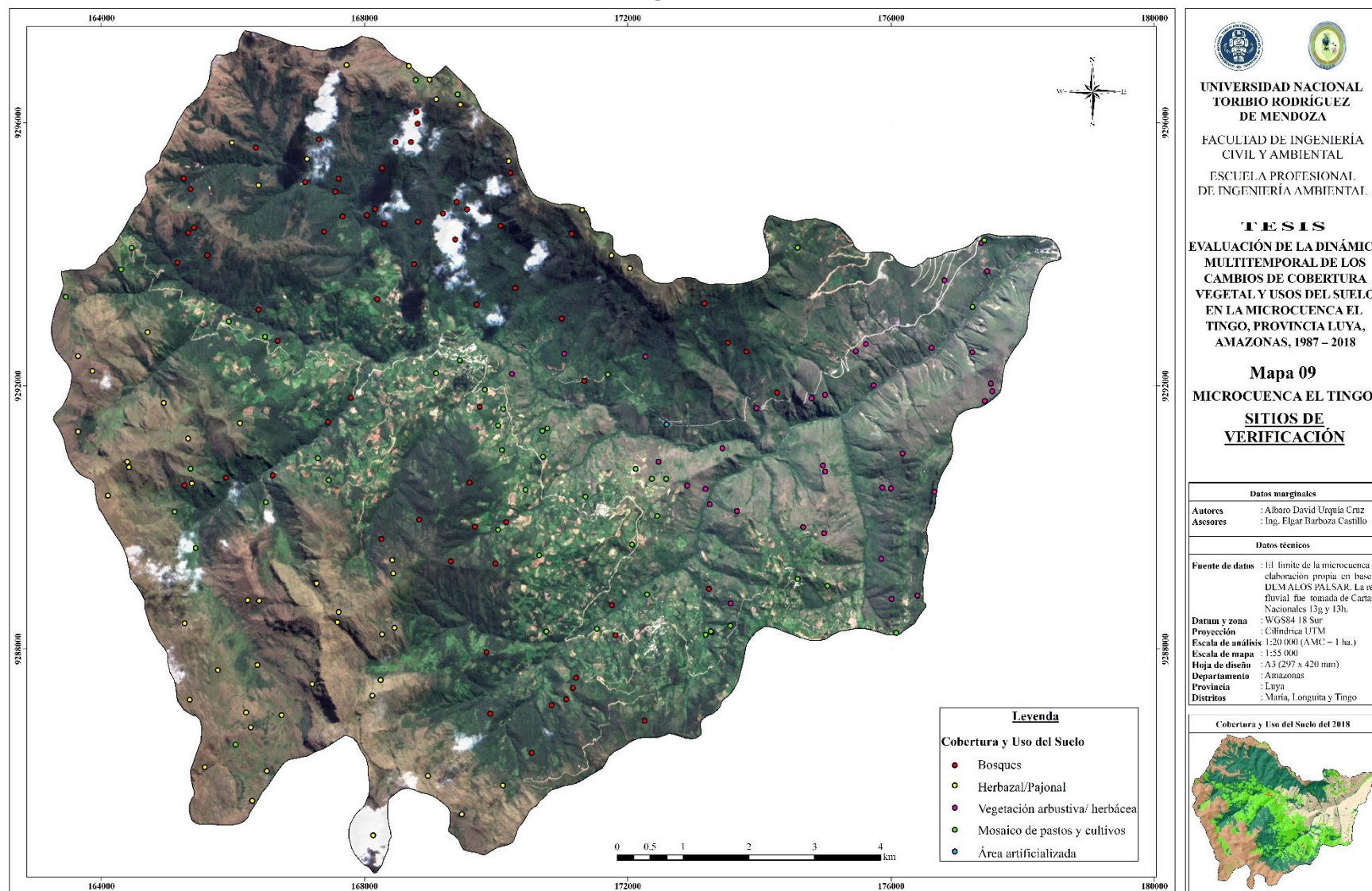
ANEXOS

Anexo 1. Áreas de entrenamiento para la clasificación supervisada de imágenes de satélite

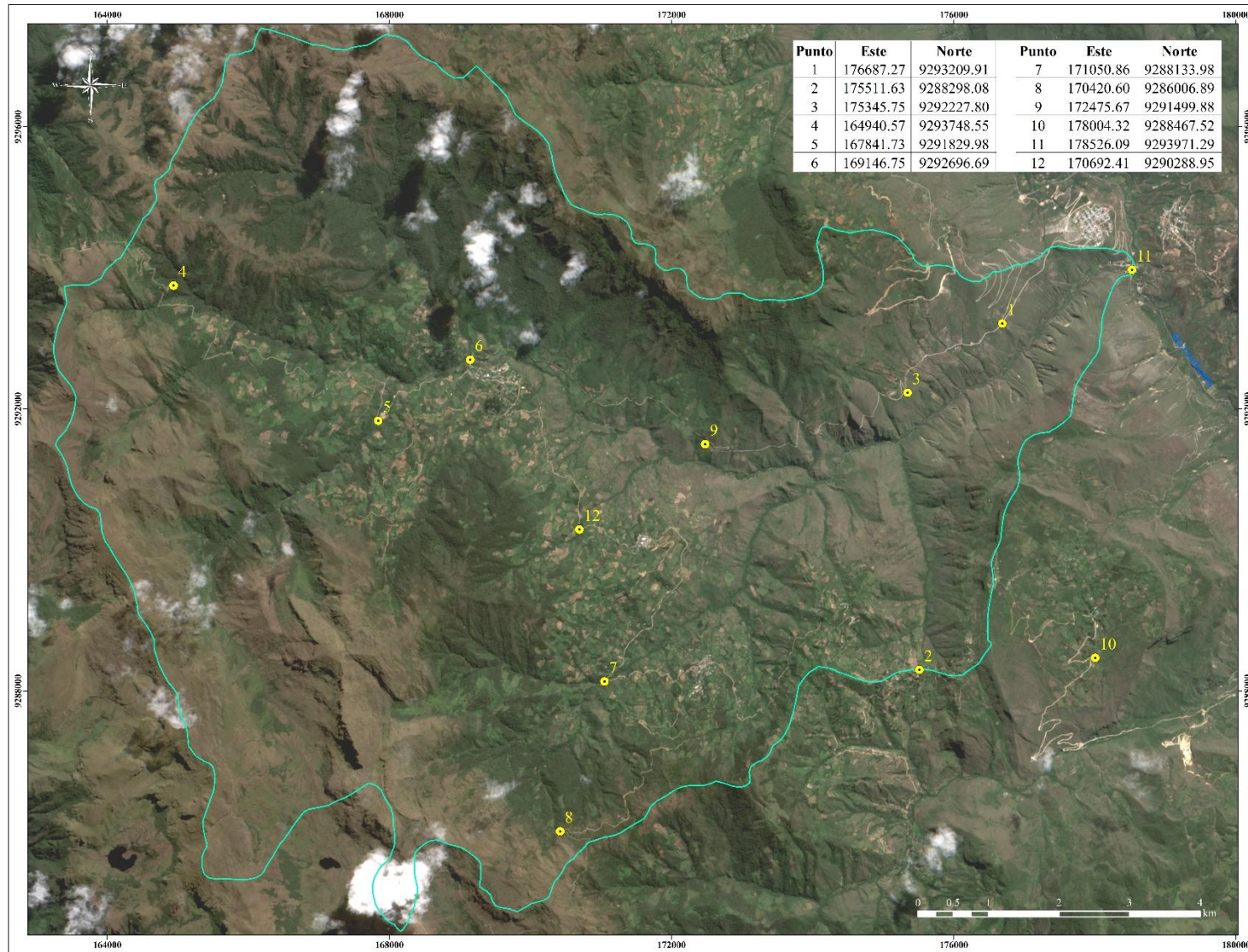
ID	CUS	Este	Norte	Altitud
1	Bosque	166774	9291130	3084
2	Bosque	166730	9291289	3099
3	Bosque	166647	9291416	3151
4	Bosque	168984	9290718	3154
5	Bosque	169924	9288508	3095
6	Bosque	168959	9288603	3299
7	Bosque	168283	9295233	3072
8	Bosque	168738	9294868	2972
9	Bosque	168606	9295312	3063
10	Bosque	169098	9295402	3199
11	Bosque	167426	9294328	3062
12	Bosque	170013	9293629	2885
13	Bosque	169749	9293920	2978
14	Bosque	169929	9294174	3114
15	Bosque	170251	9294090	3028
16	Bosque	171072	9293291	2920
17	Bosque	171040	9293719	3085
18	Bosque	173830	9292687	2874
19	Bosque	173512	9293143	3062
20	Bosque	173041	9293079	3089
21	Bosque	172608	9292873	3127
22	Bosque	171359	9293349	2989
23	Bosque	171840	9293227	3087
24	Bosque	172322	9292777	2943
25	Bosque	165978	9293422	3075
26	Bosque	164852	9293908	3171
27	Herbazal/Pajonal	167642	9287927	3593
28	Herbazal/Pajonal	167611	9287583	3706
29	Herbazal/Pajonal	167367	9287673	3804
30	Herbazal/Pajonal	167029	9287477	3543
31	Herbazal/Pajonal	167362	9286800	3630
32	Herbazal/Pajonal	167553	9286731	3790
33	Herbazal/Pajonal	168150	9286493	3648
34	Herbazal/Pajonal	168262	9286223	3670
35	Herbazal/Pajonal	165727	9285736	3750
36	Herbazal/Pajonal	165563	9286117	3720
37	Herbazal/Pajonal	165727	9286583	3798
38	Herbazal/Pajonal	163477	9291283	3673
39	Herbazal/Pajonal	163805	9291950	3634
40	Herbazal/Pajonal	164027	9293855	3554
41	Herbazal/Pajonal	164250	9292617	3569
42	Herbazal/Pajonal	164419	9292247	3470
43	Herbazal/Pajonal	164755	9295025	3424
44	Herbazal/Pajonal	165022	9294485	3356
45	Herbazal/Pajonal	165175	9294524	3367
46	Herbazal/Pajonal	165822	9294127	3342
47	Herbazal/Pajonal	165114	9295308	3358
48	Herbazal/Pajonal	165611	9295773	3311
49	Herbazal/Pajonal	165754	9296266	3379
50	Herbazal/Pajonal	165780	9296710	3405
51	Herbazal/Pajonal	167160	9296955	3550

52	Herbazal/Pajonal	167952	9296841	3505
53	Vegetación arbustiva/ herbácea	177563	9292227	2561
54	Vegetación arbustiva/ herbácea	177558	9292021	2613
55	Vegetación arbustiva/ herbácea	177224	9291894	2573
56	Vegetación arbustiva/ herbácea	174104	9290311	2493
57	Vegetación arbustiva/ herbácea	174364	9290317	2549
58	Vegetación arbustiva/ herbácea	174787	9290100	2625
59	Vegetación arbustiva/ herbácea	175036	9290571	2531
60	Vegetación arbustiva/ herbácea	174909	9290920	2427
61	Vegetación arbustiva/ herbácea	174806	9292215	2471
62	Vegetación arbustiva/ herbácea	174647	9291903	2440
63	Vegetación arbustiva/ herbácea	175859	9293030	2331
64	Vegetación arbustiva/ herbácea	176796	9291728	2566
65	Vegetación arbustiva/ herbácea	177071	9292464	2127
66	Vegetación arbustiva/ herbácea	174319	9290607	2362
67	Vegetación arbustiva/ herbácea	175351	9289718	2662
68	Vegetación arbustiva/ herbácea	175800	9288748	2756
69	Vegetación arbustiva/ herbácea	177676	9293998	1939
70	Vegetación arbustiva/ herbácea	177627	9294152	2001
71	Vegetación arbustiva/ herbácea	177036	9293573	2062
72	Mosaico de pastos y cultivos	165380	9293185	3131
73	Mosaico de pastos y cultivos	165554	9293188	3070
74	Mosaico de pastos y cultivos	165528	9293243	3061
75	Mosaico de pastos y cultivos	165636	9293086	3047
76	Mosaico de pastos y cultivos	165994	9292823	3059
77	Mosaico de pastos y cultivos	166227	9292826	3010
78	Mosaico de pastos y cultivos	166083	9292773	3054
79	Mosaico de pastos y cultivos	167190	9292313	2889
80	Mosaico de pastos y cultivos	167158	9292377	2877
81	Mosaico de pastos y cultivos	167315	9292350	2895
82	Mosaico de pastos y cultivos	167524	9292277	2921
83	Mosaico de pastos y cultivos	167427	9292204	2953
84	Mosaico de pastos y cultivos	168399	9292186	2780
85	Mosaico de pastos y cultivos	167712	9292600	2745
86	Mosaico de pastos y cultivos	167647	9292573	2775
87	Mosaico de pastos y cultivos	167877	9290818	3087
88	Mosaico de pastos y cultivos	169758	9291447	2878
89	Mosaico de pastos y cultivos	169626	9291679	2789
90	Mosaico de pastos y cultivos	169917	9291927	2719
91	Mosaico de pastos y cultivos	169760	9288099	3070
92	Mosaico de pastos y cultivos	169689	9288012	3118
93	Mosaico de pastos y cultivos	168388	9287728	3385
94	Mosaico de pastos y cultivos	167977	9293344	3007
95	Mosaico de pastos y cultivos	168202	9293434	2923
96	Mosaico de pastos y cultivos	168289	9293469	2887
97	Mosaico de pastos y cultivos	168405	9293604	2816
98	Mosaico de pastos y cultivos	168300	9293728	2833
99	Mosaico de pastos y cultivos	169324	9292942	2674
100	Mosaico de pastos y cultivos	169601	9292802	2598
101	Mosaico de pastos y cultivos	169054	9292942	2661
102	Mosaico de pastos y cultivos	170056	9292516	2578
103	Mosaico de pastos y cultivos	170178	9292627	2574
104	Mosaico de pastos y cultivos	170086	9292741	2592
105	Área artificializada	177339	9294219	2076
106	Área artificializada	175830	9293764	2599
107	Área artificializada	174831	9293373	2678
108	Área artificializada	172434	9288340	2774
109	Área artificializada	171605	9290156	2798

Anexo 2. Sitios de verificación para determinar la exactitud temática



Anexo 3. Puntos de Control Terrestre (GCP) para georreferenciar las imágenes de satélite



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA**

FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA
MULTITEMPORAL DE LOS
CAMBIOS DE COBERTURA
VEGETAL Y USOS DEL SUELO
EN LA MICROCUENCA EL
TINGO, PROVINCIA LUYA,
AMAZONAS, 1987 – 2018**

Mapa 10

MICROCUENCA EL TINGO

**PUNTOS DE
CONTROL TERRESTRE**

Datos marginales	
Autores	: Albaro David Urquía Cruz
Asesores	: Ing. Elgar Barboza Castillo
Datos técnicos	
Fuente de datos	: El límite de la microcuenca es elaboración propia en base al DEM ALOS PAL SAR, la red fluvial fue tomada de Cartas Nacionales 1:50 y 1:30.
Datum y zona	: WGS84 18 Sur
Proyección	: Cilíndrica UTM
Escala de análisis	: 1:20 000 (AMC = 1 ha.)
Escala de mapa	: 1:55 000
Hoja de diseño	: A3 (297 x 420 mm)
Departamento	: Amazonas
Provincia	: Luya
Distritos	: María, Longuita y Tingo

Puntos de Control Terrestre

Anexo 4. Panel fotográfico

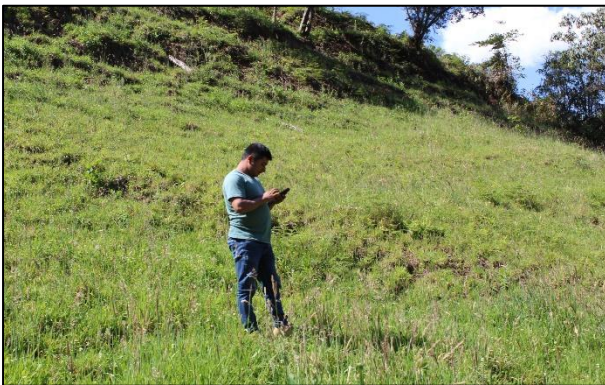
Áreas de entrenamiento de las clases de CUS para la clasificación supervisada de imágenes de satélite



Fotografía 1. Cultivo de papa (PC)



Fotografía 2. Cultivo de tara (PC)



Fotografía 3. Pasto (PC)



Fotografía 4. Cultivo de papa (PC)



Fotografía 5. Pasto (PC)



Fotografía 6. Pasto (PC)



Fotografía 7 y 8. Vegetación arbustiva/ herbácea (AH)





Fotografía 9. Cultivo de alverja (PC)



Fotografía 10. Centro poblado María (AA)



Fotografía 11 y 12. Herbazal/Pajonal (HP)



Fotografía 13 y 14. Plantación de pino (de HP a BO en el período 2001 - 2018)



Fotografía 15 y 16. Proceso de tumba y quema de cobertura vegetal natural (PC y BO)



Fotografía 17, 18, 19, 20, 21 y 22. Microcuenca alta (Herbazal/Pajonal - HP) y microcuenca media con actividad antrópica intensiva (Áreas artificializadas – AA y Pastos y cultivos – PC y relictos de bosque - BO).



Fotografía 23 y 24. Microcuenca baja, alta pendiente e inaccesibilidad (Vegetación arbustiva/ herbácea - AH).

Puntos de Control Terrestre (GCP) para georreferenciar las imágenes de satélite



Fotografía 25. Punto de control terrestre en curva cerrada en la carretera Choctamal - Yumal.



Fotografía 26. Punto de control terrestre en el cruce de carretera Choctamal a Yumal (derecha) o María (izquierda).



Fotografía 27. Punto de control terrestre en curva cerrada en la carretera María - Cocabamba.



Fotografía 28. Punto de control terrestre en el cruce de carretera Quisango, María y La Malca.



Fotografía 29. Punto de control terrestre en el cruce de carretera Choctamal a Longuita, María (izquierda) o Laguna (derecha).



Fotografía 30. Punto de control terrestre en el puente de Choctamal.



Fotografía 31. Punto de control terrestre en el puente de Tingo Viejo.