



**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**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y PREDICTIVO DEL
CAMBIO DE USO DEL SUELO Y PÉRDIDA DE
COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA
YUYAC, AMAZONAS, 2018**

Autor: Bach. Dante Leonardo Zumaeta Lozano

Asesor: M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019



**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**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y PREDICTIVO DEL
CAMBIO DE USO DEL SUELO Y PÉRDIDA DE
COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA
YUYAC, AMAZONAS, 2018**

Autor: Bach. Dante Leonardo Zumaeta Lozano

Asesor: M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Oswaldo Zumaeta Fernández y Aida Lozano Heredia por ser el motor y motivo para seguir adelante, y darme su mejor esfuerzo para lograr uno de mis objetivos a pesar de las circunstancias. Papá, Mamá gracias por darme las fuerzas y ser siempre pacientes conmigo, los amo.

A MIS HERMANOS

Lenin, Sandro, Violeta, Henry, Haydée, Edwin, Edson y Alessandro (Pipo); gracias por compartir alegrías, brindarme la confianza y por permitirme estar en sus vidas.

A MIS FAMILIARES

En primer lugar, a mi abuelo Gerardo Lozano Mesías, ya que desde el cielo me guía, protege y encamina siempre para seguir adelante. A mi abuela, tíos(as), primos(as), sobrinos(as) por ser parte de mi vida y brindarme el cariño y afecto hacia mi persona.

A MIS AMIGOS

A todas las personas que en el transcurso de mi carrera me han apoyado de diferente manera.

Zumaeta Lozano D. Leonardo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme salud, por haber estado conmigo en los momentos que más lo necesitaba, por guiarme por el camino de la felicidad a lo largo de mi vida y por haberme permitido culminar una de mis metas y llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi asesor de tesis, el M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis; por su apoyo, amistad y tiempo que me ha permitido el desarrollo de esta investigación

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas por haberme brindado la oportunidad de ser parte de ella para realizar mis estudios universitarios; así como también, agradecer a los diferentes docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental que me brindaron sus conocimientos para formarme profesionalmente.

También mi profundo agradecimiento a la Ing. Jhesibel Chávez Ortiz por su tiempo, consejos y apoyo en la realización del presente trabajo de investigación; te agradezco por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de mi tesis, sino también para mi vida.

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

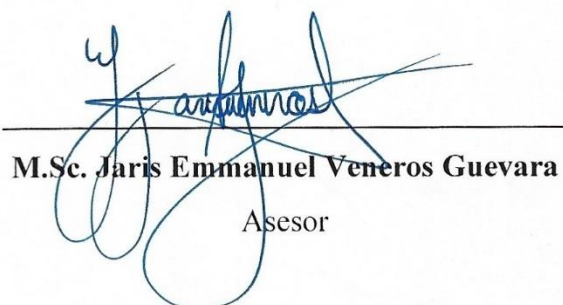
VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “ANÁLISIS MULTITEMPORAL Y PREDICTIVO DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y PÉRDIDA DE COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA YUYAC, AMAZONAS, 2018”, del tesista egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

Bach. DANTE LEONARDO ZUMAETA LOZANO

El suscrito da el VISTO BUENO al Informe Final 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, diciembre de 2019




M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara
Asesor

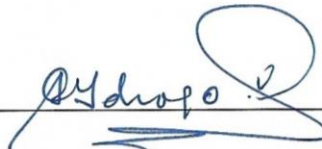
JURADO EVALUADOR



Ing. Elí Pariente Mondragón
Presidente



Ing. Rolando Salas López
Secretario



Ing. Guillermo Idrogo Vásquez
Vocal



ANEXO 3-K

**DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL**

Yo Dante Leonardo Zumaeta Lozano
identificado con DNI N° 70564148 Estudiante()/Egresado (X) de la Escuela Profesional de
Ingeniería Ambiental de la Facultad de:
Ingeniería Civil y Ambiental
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: " Análisis multitemporal y predictivo
del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura
vegetal en la microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018"
que presento para
obtener el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental

2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 10 de diciembre de 2019

Dante Lozano

Firma del(a) tesista

ANEXO 3-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la Ciudad de Chachapoyas, el día 10 de Diciembre del año 2019, siendo las 11 am horas, el aspirante Dante Leonardo Zumaota Lozano

defiende en sesión pública la Tesis titulada: Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Mesoregión Yulac, Amazonas, 2018

para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental
a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ing. Eli Pariente Mondragón

Secretario: Ing. Rolando Sales Lopez

Vocal: Ing. Guillermo Idrogo Vásquez

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

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

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

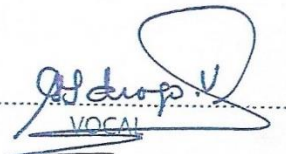
Aprobado (X)

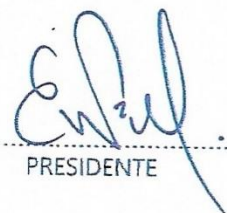
Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:30 pm horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

CERTIFICO que esta copia revalidada es
identica a su original

CHACHAPOYAS

12 DIC. 2019

DRA. CARMEN ROSA LUAMAN MENDOZA
FELICIANA



ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	viii
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	ix
ÍNDICE.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.2. Objetivos.....	20
1.2.1. Objetivo general.....	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1. Área de estudio	21
2.2. Materiales, equipos y programas	23
2.3. Diseño metodológico.....	24
2.3.1. Procedimiento o metodología	26
2.3.1.1. Caracterización del uso del suelo	26
2.3.1.2. Cuantificación del porcentaje de cambio de cobertura vegetal y determinación del grado de deforestación	28
2.3.1.3. Estimación de escenario futuro al año 2030	34
2.3.1.4. Identificación de variables relacionadas con los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal.....	35
III. RESULTADOS.....	36
3.1. Caracterización, cuantificación del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal.....	36
3.1.1. Caracterización del uso del suelo	36
3.1.1.1. Áreas y mapas de cobertura y uso del suelo en la Microcuenca Yuyac ...	37
3.1.1.2. Evaluación de la exactitud temática.....	41

3.1.2. Cuantificación de los cambios de uso del suelo y deforestación.....	42
3.1.2.1. Matrices y tasas de cambio de CUS en la Microcuenca Yuyac	42
3.1.2.2. Mapa de cambio o transición de cobertura y uso del suelo (CUS) en la Microcuenca Yuyac	46
3.1.2.3. Mapa de deforestación acumulada en la Microcuenca Yuyac, periodo 1998 – 2018	49
3.1.3. Concentración de pérdida de cobertura vegetal natural en la Microcuenca Yuyac	51
3.2. Escenario de la Microcuenca Yuyac al 2030	54
3.3. Variable del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal.....	59
IV. DISCUSIÓN.....	60
V. CONCLUSIONES.....	64
VI. RECOMENDACIONES.....	65
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS.....	76
Anexo 1. Variables de predicción usadas para la simulación del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, para el año 2030. Distancia a Ríos (A), Distancia a Centros Poblados (B), Distancia a Carreteras (C) y Altitud (D).....	76
Anexo 2. Procesamiento de las variables de predicción y las coberturas de uso del suelo en el complemento Molusce del programa QGIS 2.18.27 para la simulación y validación de los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, al año 2030.	77
Anexo 3. Imágenes satelitales utilizadas en el análisis cartográfico, adquiridas del Satélite LandSat 5TM (A) para el año 1998, LandSat 5TM (B) para el año 2008, Landsat 8OLI (C) para el año 2018.	79
Anexo 4. Tratamiento de las imágenes satelitales en el programa QGIS 3.4.	80
Anexo 5. Combinación de bandas a las imágenes satelitales en el programa QGIS 3.4. (Juego de bandas).	80
Anexo 6. Áreas de entrenamiento de la Cobertura y Uso del Suelo (CUS) para la clasificación supervisada de máxima probabilidad de las imágenes satelitales.	81
Anexo 7. Sitios de verificación para determinar la exactitud temática.	83
Anexo 8. Puntos de Control Terrestre para georreferenciar las imágenes satelitales. ..	83
Anexo 9. Mapa de pendiente de la Microcuenca Yuyac.....	84
Anexo 10. Panel fotográfico.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Centros poblados dentro de la Microcuenca Yuyac	21
Tabla 2. Imágenes satelitales empleadas	24
Tabla 3. Clases de Cobertura y Uso del Suelo identificadas para el área de estudio.....	28
Tabla 4. Matriz de confusión.	31
Tabla 5. Valoración del Índice de Kappa (k).....	32
Tabla 6. Matriz de tabulación cruzada (Transición)	33
Tabla 7. Geometría de la Microcuenca Yuyac (Área y perímetro).....	36
Tabla 8. Áreas de los usos del suelo en la Microcuenca Yuyac (1998, 2008 y 2018)...	37
Tabla 9. Matriz de confusión para evaluación de la exactitud temática	41
Tabla 10. Matriz de tabulación cruzada (Transición), tasa e índice de cambios entre los años 1998 - 2008 de las CUS en la Microcuenca Yuyac.....	42
Tabla 11. Matriz de tabulación cruzada (Transición), tasa e índice de cambios entre los años 2008 - 2018 de las CUS en la Microcuenca Yuyac.....	43
Tabla 12. Áreas de cambio de cobertura y uso del suelo (CUS) por cada periodo (1998 - 2008 y 2008 - 2018).....	46
Tabla 13. Áreas de deforestación acumulada y permanencia de la cobertura y uso del suelo, periodo 1998 - 2018.	49
Tabla 14. Áreas por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, periodo 1998 - 2008.	51
Tabla 15. Áreas por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, periodo 2008 - 2018.	51
Tabla 16. Matriz de tabulación cruzada (Transición), tasa e índice de cambios entre los años 2018 - 2030 de las CUS en la Microcuenca Yuyac.....	54
Tabla 17. Áreas por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, periodo 2018 - 2030.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio (Microcuenca Yuyac).....	22
Figura 2. Diseño metodológico para el análisis multitemporal y predictivo de los CCUS.....	25
Figura 3. Limpieza de polígonos (Sin limpieza).....	30
Figura 4. Limpieza de polígonos (Con limpieza).....	30
Figura 5. Corrección topológica (Sin corrección).....	30
Figura 6. Corrección topológica (Con corrección).....	30
Figura 7. Geometría de la Microcuenca Yuyac (Largo y ancho).....	36
Figura 8. Comparación de las clases de cobertura y uso del suelo en hectáreas para cada periodo de análisis en la Microcuenca Yuyac.....	37
Figura 9. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac en el año 1998.....	38
Figura 10. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac en el año 2008.....	39
Figura 11. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac en el año 2018.....	40
Figura 12. Comparación de las tasas de cambio en la Microcuenca Yuyac para cada periodo de análisis.....	43
Figura 13. Pérdida y ganancia de las clases de CUS para cada periodo de análisis.....	44
Figura 14. Intensidad de cambio a nivel de transición en hectáreas para el periodo 1998 – 2008	45
Figura 15. Intensidad de cambio a nivel de transición en hectáreas para el periodo 2008 - 2018	46
Figura 16. Mapa de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) de la Microcuenca Yuyac en el periodo 1998 - 2008.....	47
Figura 17. Mapa de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) de la Microcuenca Yuyac en el periodo 2008 - 2018.....	48
Figura 18. Mapa de deforestación acumulada de la Microcuenca Yuyac en el periodo 1998 - 2018.....	50
Figura 19. Mapa de concentración de la pérdida de cobertura vegetal de la Microcuenca Yuyac en el periodo 1998 - 2008.....	52

Figura 20. Mapa de concentración de la pérdida de cobertura vegetal de la Microcuenca Yuyac en el periodo 2008 - 2018.....	53
Figura 21. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac al año 2030.....	55
Figura 22. Mapa de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) de la Microcuenca Yuyac, periodo 2018 - 2030.....	56
Figura 23. Intensidad de cambio a nivel de transición en hectáreas para el periodo 2018 - 2030. Las barras indican cuales fueron las clases de destino.....	57
Figura 24. Mapa de concentración de la pérdida de cobertura vegetal de la Microcuenca Yuyac en el periodo 2018 - 2030.....	58

RESUMEN

A nivel mundial, la causa directa de la deforestación que genera el mayor daño a los bosques es la expansión de tierras agrícolas y urbanas de pequeña y gran escala. En este sentido, el objetivo principal propuesto en este estudio fue; realizar un análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal, utilizando técnicas de teledetección mediante un análisis geoespacial, aplicadas a imágenes satelitales LandSat. El estudio se realizó en la Microcuenca Yuyac, provincia de San Isidro de Maino y Magdalena, Chachapoyas, Amazonas; donde se evaluó el Cambio de uso del suelo y la pérdida de cobertura vegetal durante el periodo de 1998 al 2018, asimismo se realizó una simulación del escenario futuro al año 2030. En la microcuenca Yuyac se caracterizó seis clases de cobertura y usos del suelo (CUS), lo cual muestra que la cobertura boscosa (BO) sufrió una pérdida de 592.40 hectáreas durante el periodo de 20 años (1998 - 2018). De tal manera, en la simulación hacia el año 2030 se registró una pérdida de 129.40 hectáreas con una concentración extremadamente alta de 0.53%. Las variables que influyeron en el cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal están relacionadas principalmente con las actividades de ganadería y agricultura, teniendo como resultado mayores espacios ocupados por pastos y cultivos que fueron incrementando con el paso del tiempo. Los principales resultados mostraron que los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal están determinados por la degradación antrópica.

Palabras claves: Cambios de uso del suelo, pérdida de cobertura vegetal, microcuenca, deforestación, multitemporal, SIG.

ABSTRACT

Globally, the direct cause of deforestation that causes the greatest damage to forests is the expansion of small and large-scale agricultural and urban land. In this sense, the main objective proposed in this study was; perform a multitemporal and predictive analysis of the change in land use and loss of vegetation cover, using remote sensing techniques through a geospatial analysis, applied to LandSat satellite images. The study was conducted in the Yuyac Microbasin, province of San Isidro de Maino and Magdalena, Chachapoyas, Amazonas; where the Change of land use and the loss of vegetation cover were evaluated during the period from 1998 to 2018, a simulation of the future scenario was made to the year 2030. In the Yuyac microbasin, six classes of land cover and uses were characterized (CUS), which shows that the forest cover (BO) suffered a loss of 592.40 hectares during the 20-year period (1998 - 2018). Thus, in the simulation towards the year 2030 there was a loss of 129.40 hectares with an extremely high concentration of 0.53%. The variables that influenced the change in land use and loss of vegetation cover are mainly related to livestock and agriculture activities, resulting in greater spaces occupied by pastures and crops that increased over time. The main results showed that changes in land use and loss of vegetation cover are determined by anthropic degradation

Key words: Changes in land use, loss of vegetation cover, microbasin, deforestation, multitemporary, SIG.

I. INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica es un espacio de territorio delimitado por la línea de las cumbres (divisoria de las aguas), conformado por un sistema de drenaje natural que conduce sus aguas a un río principal, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Villón, 2011).

Los estudios sobre el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de un determinado espacio (García *et al.*, 2012). Los modelos de cambio de uso de suelo y vegetación han sido desarrollados para determinar dónde, cómo y por qué ocurren estos cambios (Oliva, 2011) siendo importante dentro del estudio del Ordenamiento Ecológico Territorial, ya que permite visualizar los impactos pasados y presentes de los distintas actividades humanas en los usos del suelo y realizar una prospección tendencial que permita orientar en la búsqueda de estrategias para regular dichos impactos y tener un manejo más adecuado del territorio y de sus recursos naturales (Lambin *et al.*, 2001). Cuando hablamos de uso del suelo nos referimos a aquel uso del territorio que es designado por las actividades humanas e influenciado por factores económicos, culturales, políticos, históricos, ambientales, entre otros (Brown *et al.*, 2000).

El cambio de uso del suelo constituye uno de los factores fuertemente impactados en el cambio global. Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes cambios, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno a la degradación e intensificación del uso del suelo (Bocco *et al.*, 2001). Es preciso señalar que la pérdida de bosques, es considerada actualmente el principal problema ambiental y es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero en los procesos de cambio climático del Perú (Reátegui y Acre, 2016 y Lambin *et al.*, 2001). Son los cambios de uso y cobertura del suelo los que representan las evidencias más claras de intervención humana sobre el medio ambiente y las modificaciones sobre el ecosistema terrestre (Britos y Barchuk, 2008 y Falcón, 2014). Esos cambios son los que inciden en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, afectándolos y modificando los ciclos hidrológicos, regímenes climáticos, del mismo modo acelera la pérdida de la diversidad biológica, favorecen la degradación de los suelos y consecuentemente ponen en riesgo la sostenibilidad de las generaciones futuras (Reyes

et al., 2003, Mas *et al.*, 2009 y Pinos, 2016). De este modo los cambios históricos en la cobertura y el uso de la tierra, en conjunto, ayudan a explicar la dinámica territorial; los cuales están asociados a factores biofísicos (suelo, vegetación, clima, topografía) y a factores humanos, cuyo estudio, constituye un insumo para diseñar acciones inherentes al Ordenamiento Territorial (Falcón, 2014).

Numerosos estudios señalan que el monitoreo y análisis de procesos como la deforestación, expansión urbana y sus consecuentes conversiones de cobertura naturales y seminaturales se realiza mediante el estudio de los cambios de uso y cobertura del suelo (López *et al.*, 2001; Azócar *et al.*, 2006 y Mahesh *et al.*, 2008). Sin embargo, la literatura revisada indica, que no basta el monitoreo y análisis retrospectivo de los cambios de uso y cobertura del suelo, sino que es también necesaria la predicción a mediano y largo plazo de la transformación del territorio y sus efectos mediante la aplicación de modelos de simulación de cambios de uso y cobertura del suelo (Henríque *et al.*, 2006; Sudhira *et al.*, 2006 y Mahesh *et al.*, 2008). Estos modelos juegan un papel importante al momento de explorar posibles desarrollos futuros, se podría explorar la incógnita de “qué pasaría si”, a través de diferentes escenarios (Henríque *et al.*, 2006; Verburg *et al.*, 2006). La simulación de escenario de uso del suelo puede entonces ser tomada como una herramienta o un instrumento importante sobre el cual apoyarse para diseñar ordenaciones futuras del territorio (Gallardo, 2013).

Los procesos relacionados con el cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal han llamado la atención de un amplio grupo de investigadores, que ha impulsado al desarrollado estudios relacionados con modelos para evaluar los cambios de uso del terreno como las realizadas por Forester y Machlis (1996) que incluyen diversos aspectos relacionados con los procesos y patrones de cambio en el terreno, como estrategia para entender lo que pasa y prevenir y/o mitigar los impactos negativos derivados de las transformaciones humanas y alcanzar así los objetivos de la conservación de especies. Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos en este campo, persistía una carencia de datos cuantitativos que no permitían determinar a detalle los procesos, la ubicación y la magnitud de los cambios en el uso de suelo en muchas de las regiones alrededor del mundo (Meyer y Turner, 1994).

Dada la magnitud y el impacto que estos cambios representan, y la manera como afectan la estructura y función de los ecosistemas, supone grandes retos en la ciencia ambiental.

Existen diversas investigaciones sobre cambio de uso del suelo realizados para periodos de análisis que abarcan los últimos 30 años con imágenes de satélite y también para periodos mayores, las cuales no solo han identificado los cambios comunes en la vegetación y el uso del suelo, sino que también han estudiado las causas de dichos cambios (Chowdhury, 2006; Echevarria *et al.*, 2008; Bhattarai *et al.*, 2009 y Deng *et al.*, 2010). En cuanto a investigaciones sobre los modelos de cambios de usos del suelo y de simulaciones de escenarios, son muy numerosos, abarcando temas de deforestación en relación con la expansión de la agricultura o de los pastizales (Kok *et al.*, 2001; Sangermano *et al.*, 2012), el abandono de las tierras agrícolas (Rounsevell *et al.*, 2003) así como el crecimiento y la dispersión urbana (Conway, 2009; Plata Rocha *et al.*, 2010; Jokar *et al.*, 2013).

A nivel nacional, Zorogastúa *et al.*, (2011) a través de una clasificación supervisada, evaluaron el cambio de la cobertura y el uso de la tierra del bosque seco localizado en la región Piura, indicando que el procesamiento digital e interpretación visual de imágenes de satélite permiten agilizar este proceso y ser más precisos. Ibañez y Damman (2014), con el fin de determinar los cambios de cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios en la subcuenca del río Vilcabamba, elaboraron matrices de cambio de cobertura y proyectaron tendencias de cambio en la zona baja, media y la parte alta de la subcuenca al año 2016. Identificaron cuales fueron los impulsores de cambio mediante la revisión bibliográfica, entrevistas y encuestas, asimismo analizaron tres escenarios y su probabilidad de ocurrencia. Los resultados mostraron el incremento de las áreas agrícolas en la parte baja y media de la subcuenca mientras que en la parte alta una tendencia a la reducción drástica de los nevados. De la misma forma, Alcántara (2014) determinó los cambios en la cobertura y uso de la tierra en el departamento de Cajamarca para el periodo 2001 – 2013 con la metodología dispuesta por el Ministerio del Ambiente (R.M. N° 135-2013-MINAM) la cual está basada en el procesamiento digital de imágenes satelitales utilizando los programas ENVI y ArcGIS, donde la cartografía temática de cobertura y uso de la tierra fue clasificada de acuerdo a la metodología CORINE Land Cover–CLC.

En un estudio desarrollado por Reátegui y Arce (2016) en la Amazonía Peruana, registra que el cambio de uso de la tierra ha generado 177.585 hectáreas deforestadas para la implementación de actividades agrícolas durante el año 2014. En la Región Amazonas también se ha desarrollado este tipo de estudios como el de Delgado (2017), quien evaluó

los procesos de cambio en el uso de suelo y cobertura vegetal (CUSV) en el Área de Conservación Privada (ACP) Comunal Hierba Buena-Allpayaku y su área circundante. Identificando que los CUSV se encuentran asociados a actividades agropecuarias impulsadas por fuertes procesos migratorios. Es de importancia mencionar que a este grupo de investigaciones a nivel regional se suma la investigación realizada por Barboza *et al.*, (2017) sobre calidad hidrogeomorfológica en la cuenca del Río Utcubamba, y la desarrollada en las Microcuencas ganaderas de los Ríos Atuén, Timbambo, Pomacochas y Cabildo en el distrito de Leymebamba y de los Ríos Ventilla y San Antonio en el distrito de Molinopampa por Rojas (2018) en la que se aplicó el Índice Hidrogeomorfológico (IHG), y se elaboraron además de manera complementaria mapas de cobertura y uso de suelo mediante el uso de material cartográfico y satelital, con imágenes satelitales Landsat y Sentinel 2A.

Los antecedentes mencionados sobre cambios de cobertura y uso de suelo y la importancia de la simulación de escenarios futuros, han permitido sentar las bases para el desarrollo de esta investigación, teniendo en cuenta de las implicancias que representa sobre el medio ambiente y la sostenibilidad de las generaciones futuras.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar un análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, Amazonas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los usos de suelo y cuantificar la pérdida de cobertura vegetal para los años 1998, 2008 y 2018.
- Proyectar un escenario de la Microcuenca Yuyac al año 2030.
- Identificar las variables de mayor importancia relacionadas con los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La Microcuenca Yuyac está ubicada en el distrito San Isidro de Maino y Magdalena, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas. Abarca un área de 8034.1 hectáreas y un perímetro de 48.7 kilómetros; de los cuales 3669.3 ha (46%), pertenecen al distrito de San Isidro de Maino y 4364.8 ha (54%), al distrito de Magdalena (Figura 1). Ésta Microcuenca se encuentra ubicada a 1865 y 2786 m.s.n.m y su posición geográfica está determinada por las coordenadas 6°23'33.121"S 77°49'2.812"W.

Considerando la división política de los distritos y los datos descargados en formato Shapefile (shp) del Pre-Censo realizado por el INEI 2017, la Microcuenca Yuyac comprende 37 Centros Poblados (CP); los cuales 18 CP, pertenecen al distrito de San Isidro de Maino y 19 CP, al distrito de Magdalena (Tabla 1)

Tabla 1. Centros poblados dentro de la Microcuenca Yuyac

Distritos	Centros Poblados
San Isidro de Maino	Gajimal, Jumbasa, Maripampa, Las palmas, Shacshe, Tolpin, Maripata, Chishcopampa, Cullen Yacu, Santa Margarita, Achopuro, Panlaya, Pauja, Despoblado, Abusque, Venceremos, Corral y Yerbabuena.
Magdalena	Gupis, Paguana, Alanya, Yuya, Alonso de Orellana, Chuchipia, Cuyapina, Alonso de Alvarado, Lluycona, Bacopata, Llaomote, Gacay, Luin, Chillca, Cercopata, Shigual, Buenos Aires, Chupampa y Pachaj.

Fuente: PRECENSO 2017 (INEI)

Para poder acceder a la Microcuenca Yuyac, desde la ciudad de Chachapoyas, se hace un recorrido aproximado de 51.7 km, equivalente un tiempo aproximado de 2 horas en automóvil.

Es importante mencionar que la Microcuenca Yuyac se encuentra inmersa en la unidad hidrográfica del Utcubamba, siendo sus corrientes hídricas un tributario significativo para la formación del río Utcubamba.

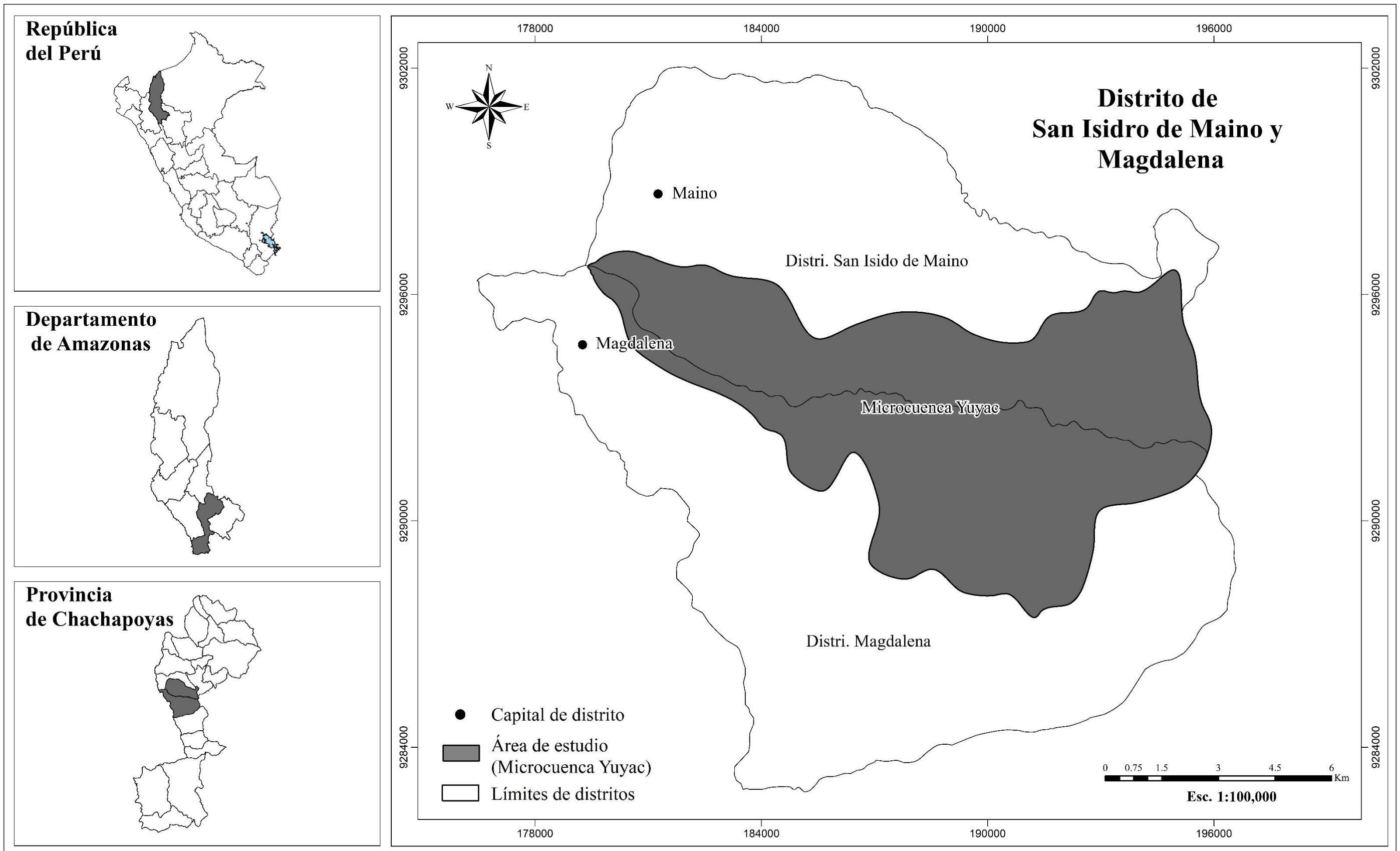


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio (Microcuenca Yuyac)

2.2. Materiales, equipos y programas

Se utilizó una laptop HP Core i5 - 8GB RAM, un GPS Garmin Montana 680, una cámara digital Sony 20 Mpx, un USB de 16 GB de capacidad de almacenamiento, una impresora láser HP Laserjet y libretas de campo.

Para delimitar la Microcuenca y realizar el proceso de clasificación supervisada de los tipos de uso del suelo y cobertura vegetal se utilizó el programa ArcGis (v.10.5.0.6491) por lo creciente demanda que presenta y ser un programa con garantía de reproducibilidad, fiabilidad, seguridad y rápido despliegue (Bhatt *et al.*, 2014; Fan *et al.*, 2015; Dile *et al.*, 2016). Para el manejo, gestión y procesamiento de las imágenes satelitales LandSat, este proyecto priorizó el uso del complemento Semi-Automatic Classification (Congedo, 2017) incorporados en el programa libre QGIS (v. 3.4.4). Además de los portales Google Earth Pro (v. 7.1.1.1888) para la visualización de imágenes de satélite; y el complemento MOLUSCE del programa QGIS (v. 2.18.27) para realizar la predicción del uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal al año 2030.

Cartografía base y material satelital

Se utilizó la hoja 13h de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000 (hidrografía e hipsografía), la red vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la información de la división política del Perú elaborada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (GRA e IIAP, 2013).

Para elaborar los mapas de cobertura y uso del suelo (CUS) se utilizaron tres imágenes del satélite LandSat y una del satélite Sentinel 2A, con resolución espacial de 30 m y 10 m, respectivamente (Tabla 2). Éstas fueron obtenidas vía Internet y 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 (Chuvienco, 1998). Posteriormente se consultó el catálogo del Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil, el portal de Servicio Geológico de los

Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) y finalmente el portal Remote Pixel, del cual se descargaron las imágenes satelitales LandSat y Sentinel a través de Amazon Web Services Free.

Tabla 2. Imágenes satelitales empleadas

Fecha	Satélite / Sensor	Path / Row	Bandas espectrales empleadas
28 noviembre 1998	Landsat 5 TM	009/0064	1, 2, 3, 4, 5 y 7
01 agosto 2008	Landsat 5 TM	009/0064	
05 diciembre 2018	Landsat 8 OLI Sentinel 2A	009/0064 17 MRN	2, 3, 4, 5, 6 y 7

2.3. Diseño metodológico

Implicó dos fases que se fue trabajando conforme el desarrollo de la investigación.

✓ Fase de gabinete

La fase de gabinete consistió en la búsqueda de información y datos existentes sobre el área de estudio mediante fuentes bibliográficas. Parte de esta fase también comprendió el procesamiento y análisis de datos, donde se tuvo que organizar y analizar toda la data obtenida en fase de campo y gabinete.

Finalmente se realizó la redacción del informe, lo cual constó de una estructura que involucra una serie de aspectos, desde bases teóricas, materiales, metodología empleada, resultados obtenidos y conclusiones a las que hayamos llegado previo análisis de toda la información obtenida.

✓ Fase de campo

En la fase de campo se desarrolló salidas al área de estudio con la finalidad de recolectar información primaria, verificar la exactitud de los mapas y generar puntos de control terrestre (GPS) para la validación de estos.

Para el análisis multitemporal y predictivo de los Cambios de Uso del Suelo y Pérdida de Cobertura Vegetal en la Microcuenca Yuyac, se siguió el diseño metodológico de la Figura 2

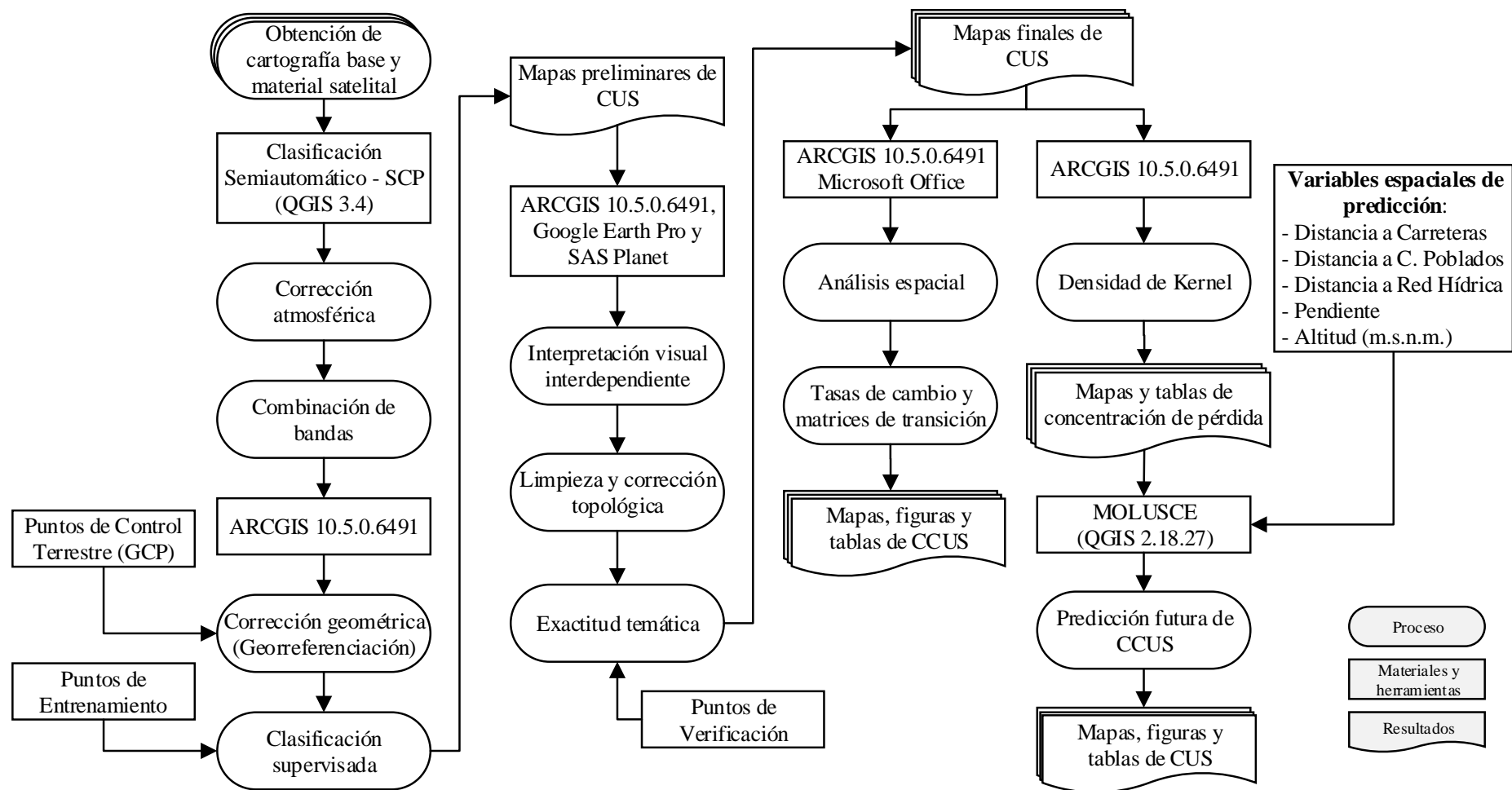


Figura 2. Diseño metodológico para el análisis multitemporal y predictivo de los CCUS.

Fuente: Rojas *et al.*, (2019).

2.3.1. Procedimiento o metodología

Se aplicó la herramienta CLC (Corine Land Cover) adaptada para Perú, con la finalidad de clasificar y analizar los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal (cobertura de bosque, cambios por pérdida natural, deforestación y degradación de bosques) de la Microcuenca Yuyac (MINAM, 2016a).

2.3.1.1. Caracterización del uso del suelo

a. Procesamiento y análisis de material satelital

✓ Delimitación del Área de estudio

Para la delimitación del área de estudio (Microcuenca Yuyac), se utilizó las curvas de nivel de la hoja 13h de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000, donde se manejó el programa ArcGis (v. 10.5.0.6491).

✓ Selección y adquisición de material satelital

Las imágenes de satélites fueron seleccionadas, tomando en cuenta criterios de calidad en el sentido de que las coberturas de nubes de las mismas no cubran la superficie del área de estudio y no tenga mayor al 10% de nubosidad, que las imágenes fueran aproximadamente tomadas en la misma época del año y que no presenten errores ni distorsiones. Un criterio importante fue el sensor a utilizar, se eligió LandSat 5 y LandSat 8, que es un sensor multiespectral y posee bandas ubicadas estratégicamente en el espectro electromagnético para el estudio de la vegetación.

Para la adquisición de las imágenes satelitales se consultó y descargó mediante el catálogo del Instituto Nacional de Investigación Espacial (INPE) de Brasil y el portal de Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Finalmente, para hacer la comparación y verificación de la clasificación supervisada de máxima

probabilidad se descargó la imagen satelital Sentinel 2A del portal Remote Pixel a través de Amazon Web Services Free

✓ **Tratamiento digital previo de las imágenes satelitales**

Dado que una imagen de satélite está sometida a una serie de interferencias que hacen que la información que quiere obtenerse aparezca perturbada por una serie de errores (Cabrera *et al.*, 2011). Se aplicó las diferentes correcciones a las imágenes satelitales usando el programa QGIS 3.4 mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP); y para realizar la georreferenciación de las imágenes satelitales se hizo mediante el programa ArcGis (v. 10.5.0.6491).

– **Corrección atmosférica**

Implicó en restaurar las líneas o píxeles perdidos, la corrección del bandeo de la imagen, correcciones atmosféricas y de reflectividad con el objetivo de evaluar, corregir y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre. (Cabrera *et al.*, 2011).

– **Corrección geométrica (Georreferenciación)**

Consistió en corregir los desplazamientos y distorsiones geométricas presentes en una imagen, causados por la inclinación del sensor (posición del sensor en el momento de la toma), la influencia del relieve y los errores sistemáticos asociados con la imagen.

Donde se realizó una georreferenciación, que es el procedimiento mediante el cual se dota de validez cartográfica a una imagen digital corrigiendo geométricamente la posición de las celdas y atribuyéndoles coordenadas en algún sistema de referencia.

Se georreferenció las imágenes satelitales para garantizar una precisa comparación y evaluación temporal. Para realizar la georreferenciación se realizó recortes de las imágenes desde el año 1998, hasta el año 2018, utilizando como referencia puntos de control terrestre (GPS) distribuidos de manera homogénea en la imagen (recorte) (Anexo 8). Finalmente, la imagen satelital de diferentes años se proyectó al sistema de coordenadas UTM y Zona 18S.

2.3.1.2. Cuantificación del porcentaje de cambio de cobertura vegetal y determinación del grado de deforestación

Para realizar el análisis y cuantificación de los cambios en el uso del suelo, se identificaron Clases de Uso del Suelo (CUS) mediante salidas al campo y se tomó en cuenta además la leyenda Corine Land Cover adaptada para Perú (MINAM, 2016a) con el propósito de mejorar la clasificación de CUS.

Tabla 3. Clases de Cobertura y Uso del Suelo identificadas para el área de estudio.

Nivel I	Nivel II	Nivel III	CUS
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	AA
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Áreas 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	MPC
3. Bosque y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque densos 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
		3.3.2. Arbustal	AR
3.3.4. Vegetación arbustiva / Herbácea		VAH	

Fuente: MINAM, 2016a

a. Clasificación supervisada de máxima probabilidad

Esta técnica de procesamiento de imágenes permite la identificación de materiales en una imagen a partir de firmas espectrales. Mediante este proceso se realizó la Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad, que es ampliamente utilizada en todo el mundo (Rawat y Kumar, 2015), en base a la librería de signos espectrales que se produjo durante la etapa de campo.

En base a la leyenda Corine Land Cover adaptada para Perú y con las imágenes ya corregidas, se realizó la clasificación supervisada de cada imagen (1998, 2008 y 2018), para atribuir categorías predeterminadas de los tipos de cobertura (uso de suelo) del área de estudio. Se combinaron las bandas visibles (rojo, verde y azul) para identificar la vegetación y suelos; mediante el programa ArcGis (v. 10.5.0.6491).

En esta etapa se obtuvo mapas preliminares de cobertura y uso de suelo.

b. Interpretación visual interdependiente

Las imágenes fueron interpretadas visualmente utilizando el método de interpretación interdependiente de la FAO (2001). Esto indica que se interpretó completamente los polígonos de la primera fecha y que fueron empleados los mismos polígonos para interpretar las imágenes de las demás fechas, sólo modificando los segmentos en donde se haya visualizado cambios. Éste método es confiable y efectivo porque ayuda a reducir el mínimo de errores de posición y de clasificación (Ramírez y Zubieta, 2005). Además, en nuestro caso, al considerar imágenes de la misma resolución, también evitamos errores por diferencia de escala.

En este método los polígonos de la fecha base sirvieron para no tener error de clasificación en las fechas siguientes, ya que se utilizó como referencia para interpretar y clasificar de manera correcta las imágenes de las siguientes fechas (1998; 2008 y 2018).

c. Limpieza y corrección topológica

Para realizar el proceso de limpieza y la corrección topológicas se tuvo en cuenta la escala de trabajo. En ésta investigación todos los mapas de CUS fueron analizados a una escala 1:35 000, donde se eliminaron polígonos con áreas menores a 1.5 hectáreas, según la tabla de Área Mínima Cartografiable (AMC) para diferenciar escalas establecidas por Vargas (1992).

Por tanto, en el proceso de limpieza, se eliminaron y fusionaron los polígonos con los polígonos adyacentes que tengan el área más grande. (Figura 4).

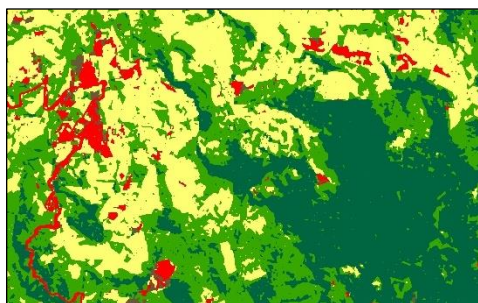


Figura 3. Sin limpieza.



Figura 4. Con limpieza.

Los falsos polígonos o espacios entre polígonos se producen cuando se crean polígonos nuevos sin utilizar alineación o al editar límites compartidos sin una topología. Es por eso que durante la clasificación supervisada se originó 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 (Figura 6).

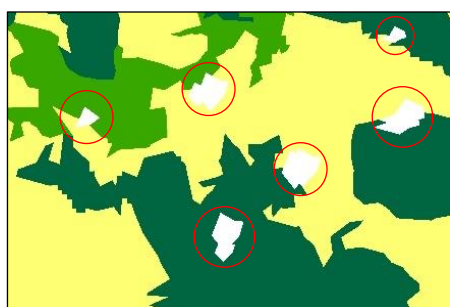


Figura 5. Sin corrección.

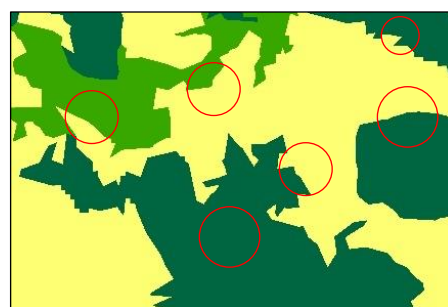


Figura 6. Con corrección.

d. Evaluación de exactitud temática

Para validar la precisión de la clasificación de CUS se tuvo en cuenta los sitios de verificación (Anexo 7), obtenidos de acuerdo con la fórmula señalada por Chuvieco (1998), y establecidos sobre el mapa CUS 2018 a través de un muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado (MINAM, 2014). La verificación de los puntos se realizó mediante imágenes satelitales de alta resolución como RapidEye e imágenes de Google Earth y SAS Planet.

Posterior a ello se elaboró matrices de confusión (Chuvieco, 2002), sobre las que se hizo el cálculo de métricas de precisión (error de omisión y comisión), con la finalidad de evaluar la exactitud a nivel de clases (exactitud del usuario y del productor) (Story y Congalton, 1986; MINAM, 2014).

Tabla 4. Matriz de confusión.

		Resultados de Referencia					Total	Exactitud usuario	Error comisión
		Referencia 1	Referencia 2	...	Referencia n				
Resultados de clasificación	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}	n		
	Exactitud Productor	a_{11}/a_{+1}	a_{22}/a_{+2}	...	a_{nn}/a_{+n}				
	Error Omisión	$1 - a_{11}/a_{+1}$	$1 - a_{22}/a_{+2}$	...	$1 - a_{nn}/a_{+n}$			

Fuente: Chuvieco (2002) y MINAM (2014).

También, para validar la clasificación se calculó el Índice Kappa (k) (Ecuación 1), medida de la concordancia basada en las diferencias entre los datos de la clasificación y los de referencia; (Congalton y Green, 2009).

$$k = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde K es el índice de Kappa; P_o la proporción de área correctamente clasificada (confiabilidad global) y P_c la confiabilidad resultante del azar.

A la hora de interpretar el valor de “k”, se tomó en cuenta la valoración del índice de Kappa (k) (Tabla 5), donde permitió medir la fuerza de concordancia de la clasificación para poder saber si se encuentra en un rango óptimo.

Tabla 5. Valoración del Índice de Kappa (k)

Valor de “k”	Fuerza de concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.0	Muy buena

Fuente: López y Fernández (1999)

e. Tasa de cambio y matrices de transición

La matriz de transición de uso de los suelos (MTUS) es la representación del cambio de una categoría de uso de suelos entre una fecha inicial y una fecha final (Briceño, 2005; Ramírez y Zubieta, 2005; Pérez y Valenzuela, 2007; Rosete *et al.*, 2008; Salmerón *et al.*, 2009).

El cálculo de la tasa de cambio se realizó con la ecuación planteada por la FAO (1996).

$$S = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{(t_2 - t_1)}} - 1 \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde, S₁ y S₂ son las superficies de CUS en la fecha t₁ y t₂. 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 sobre posición cartográfica de las clasificaciones de CUS de cada año de estudio, se cuantificó y elaboró mapas de cambios (Figura 16 y 17), mapa de deforestación acumulada (Figura 18) y matrices de tabulación cruzada (Tabla 6). Estas matrices se usaron para distinguir las transiciones

de las diferentes clases evaluadas, detectar los cambios y hacer un análisis de los patrones reales que conllevan a 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. 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 6. Matriz de tabulación cruzada (Transición)

Fecha 1	Fecha 2				Total fecha 1 (P_{i+})	Pérdida (L_{ij})
	Clase 1	Clase 2	....	Clase j		
Clase 1	P11	P12	....	P1j	P1+	P1+ - P11
Clase 2	P21	P22	....	P2j	P2+	P2+ - P22
....
Clase i	Pi1	Pi2	....	Pij	Pi+	Pi+ - Pij
Total fecha 2 (P_{+j})	P+1	P+2	....	P+j	1	
Ganancia (G_{ij})	P+1 - P11	P+2 - P22	....	P+j - Pij		

Fuente: FAO (1996) y Pontius *et al.* (2004).

Pontius *et al.* (2004) completaron este análisis con columnas y filas que representan Índices de Cambio. Así tenemos: 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.

Cabe mencionar que en esta etapa se obtuvieron finalmente los mapas, gráficos y tablas sobre dinámica de cambios de cobertura y uso de suelo.

✓ **Determinación de la concentración de la pérdida de cobertura vegetal natural**

Se analizó la información de pérdida de cobertura vegetal natural (cobertura boscosa), para los períodos 1998 - 2008 y 2008 - 2018, con la finalidad de determinar si la pérdida está concentrada en ciertas áreas dentro de ámbito de la Microcuenca y cuánto representa esta concentración con respecto al área total, para ello se utilizó la metodología de análisis de Densidad Kernel, tomando como referencia un análisis similar del MINAM (2016b).

2.3.1.3. Estimación de escenario futuro al año 2030

Con la finalidad de facilitar el procesamiento de predicción y validación del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal al 2030, se utilizó el complemento MOLUSCE (Módulos para simulaciones de cambio de uso del suelo), un complemento del programa QGIS (v. 2.18.27), que también ofrece múltiples técnicas de evaluación, análisis y simulación de cambios de usos de la tierra, tal cual como su nombre lo indica (Methods Of Land Use Change Evaluation) Métodos de Evaluación del Cambio en el uso de la tierra; éste complemento es útil para análisis tanto urbanos como rurales (Gómez, 2017).

La simulación de escenario se realizó a partir de la matriz de transición de usos de suelos y su aplicación a través del modelo de Autómatas Celulares, que es un método que permite realizar proyecciones territoriales (Ibañez y Damman, 2014). Para la aplicación de este modelo se utilizó la herramienta MOLUSCE del programa QGIS (v. 2.18.27), donde se aplicó el módulo de Célula Automata, para proyecciones, a partir de la cobertura de los suelos en la Microcuenca Yuyac del 1998, 2008 y 2018 (Soares-Filho *et al.*, 2002).

El módulo se trabajó sobre 2 mapas de CUS y variables espaciales de predicción (distancia a carreteras, centros poblados, red hídrica, pendiente y altitud) correspondientes al tiempo inicial T_1 y tiempo final T_2 . Luego se generó 3 productos: una matriz de probabilidad de transición, donde las probabilidades de transición expresan la probabilidad de que un pixel de cierta clase cambie a

cualquier otra clase (o permanezca en la misma) en el próximo período de tiempo; una matriz de áreas de transición, que expresa el área total (en celdas) que se espera cambie en el próximo período de tiempo; un grupo de imágenes de probabilidad condicional del cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) (Ibañez y Damman, 2014). El estimador de la matriz de transición tomó como base el año 2008 y año final el 2018.

Para la proyección del área estimada se aplicó el procedimiento de Célula Automata (CA), con un número de iteraciones de CA de 1. Para validar los resultados se tomó como base la CUS del 1998 y 2008 y se proyectó hacia el 2018, luego se hizo la comparación con la clasificación supervisada de máxima probabilidad y posterior a ello se aplicó el cálculo del Índice de Kappa mediante un filtro de 15 iteraciones de CA para determinar el grado de exactitud de la simulación mediante el programa. Éste mide el nivel de consistencia entre una población de datos de referencia y otra proyectada a partir de la primera (Ibañez y Damman, 2014). Luego se corrió el modelo para el año 2030, tomando como base la matriz de transición de uso de los suelos del período 2008 al 2018.

2.3.1.4. Identificación de variables relacionadas con los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal

Para determinar las variables de mayor importancia que tuvieron influencia sobre los cambios ocurridos de un periodo a otro en el área de estudio, se tomó en cuenta la clasificación de uso de suelo determinado, y como estos usos fueron variando y transformándose a lo largo del tiempo (UNIBA, 2018) haciendo un contraste con las principales actividades que desarrolla la población, para lo cual se realizó la visita a campo y la consulta a la base de datos de fuentes como el INEI para obtener información que se correlacione con dichos cambios (SEMARNAT, 2002), asimismo se revisó diferentes investigaciones relacionadas con la temática para extraer las principales variables que estos consideraron como impulsores del cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal en función de las características similares al área de estudio (Ibañez y Damman, 2014).

III.RESULTADOS

3.1. Caracterización, cuantificación del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal

3.1.1. Caracterización del uso del suelo

Como se puede visualizar en la tabla 7 y figura 7, los resultados geométricos arrojaron que la Microcuenca Yuyac presenta un área de 8034.1 ha, 16.6 km de largo, 9.7 km de ancho y un perímetro de 48.7 km.

Tabla 7. Geometría de la Microcuenca Yuyac (Área y perímetro)

Microcuenca Yuyac			
Área	Km ²	m ²	ha
	80.34131765	80341317.6500	8034.131765
Perímetro	km	m	
	48.663592	48663.592	

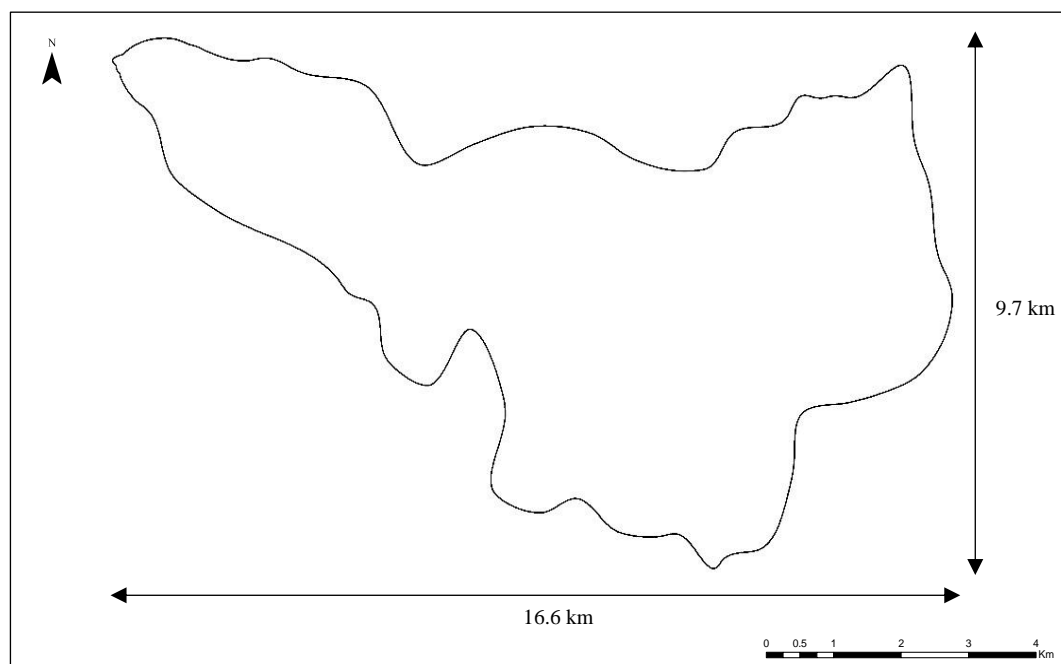


Figura 7. Geometría de la Microcuenca Yuyac (Largo y ancho).

La Microcuenca Yuyac, representa 3669.3 ha (46%) al distrito de San Isidro de Maino y 4364.8 ha (54%) al distrito de Magdalena. De acuerdo al mapa de pendientes (Anexo 9) el área de estudio presenta una fisiografía bastante homogénea, ya que cuenta con pendientes planas y no muy accidentadas.

3.1.1.1. Áreas y mapas de cobertura y uso del suelo en la Microcuenca Yuyac

La Microcuenca Yuyac cuenta con seis clases de cobertura y uso del suelo (CUS) definidas (Bosques - BO, Mosaico de pastos y cultivos - MPC, Herbazal / Pajonal - HP, Áreas artificializadas - AA, y Vegetación arbustiva / Herbácea - VAH). En la tabla 8 y figura 8 se puede visualizar que la CUS de mayor predominancia es la cobertura BO con 3974.4 ha (1998) y 3381.9 ha (2018), sin embargo, la de menor predominancia son las AA ya que cuenta con un área de 3.2 ha (1998) y 32.3 ha (2018) respectivamente.

Tabla 8. Áreas de los usos del suelo en la Microcuenca Yuyac (1998, 2008 y 2018)

USOS DEL SUELO							
Clasificación	Símbolo	1998		2008		2018	
		Área		Área		Área	
		ha	%	ha	%	ha	%
BO		3974.3	49.47	3500.1	43.57	3381.9	42.09
MPC		1352.1	16.83	1681.3	20.93	1775.6	22.10
HP		952.7	11.86	939.7	11.69	905.1	11.27
AA		3.2	0.04	6.3	0.08	32.3	0.40
AR		1243.4	15.47	1411.6	17.57	1451.0	18.06
VAH		508.4	6.33	495.1	6.16	488.2	6.08
TOTAL		8034.1	100.00	8034.1	100.00	8034.1	100.00

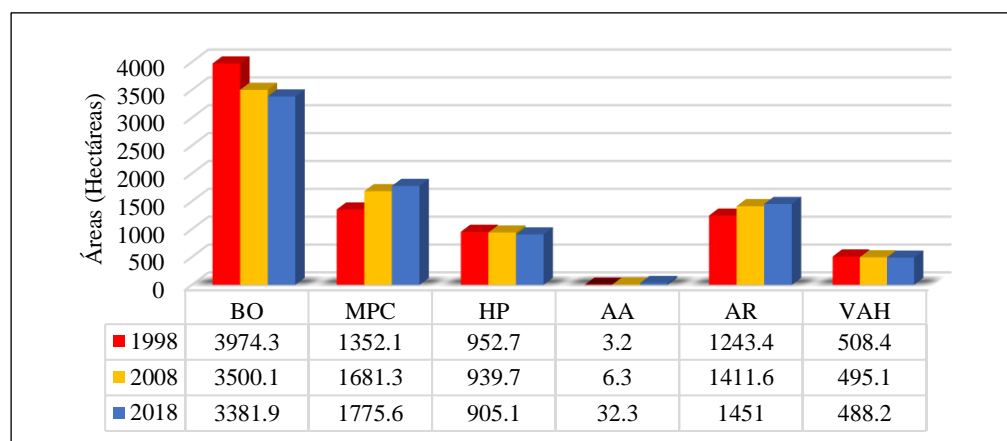


Figura 8. Comparación de las clases de cobertura y uso del suelo en hectáreas para cada periodo de análisis en la Microcuenca Yuyac.

El patrón de distribución espacial de la cobertura y uso del suelo (CUS) para los años 1998, 2008 y 2018 se modelan en la figura 9, 10 y 11 respectivamente, donde cada CUS está representada de acuerdo a la simbología de la tabla 8.

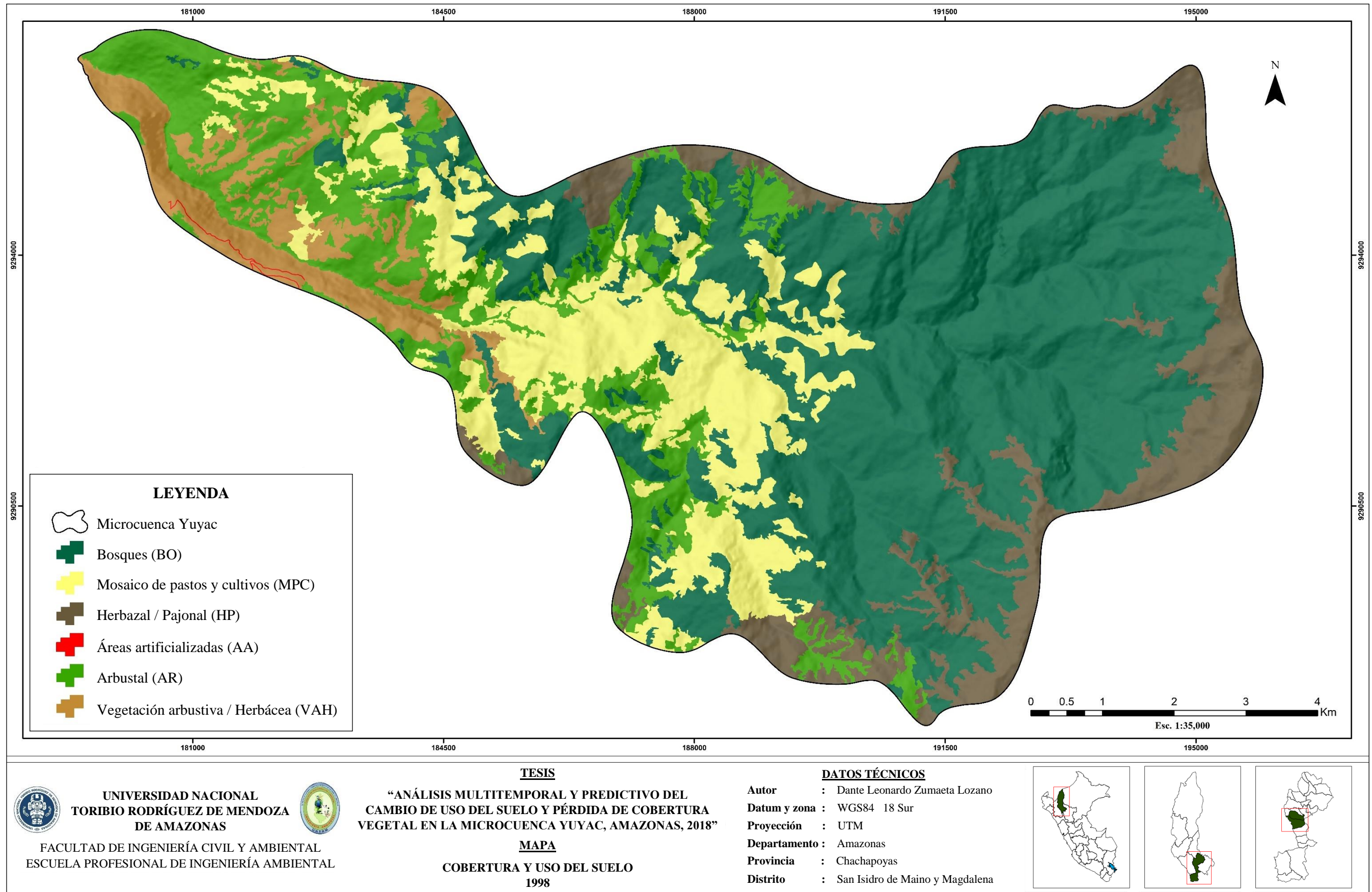


Figura 9. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac - 1998.

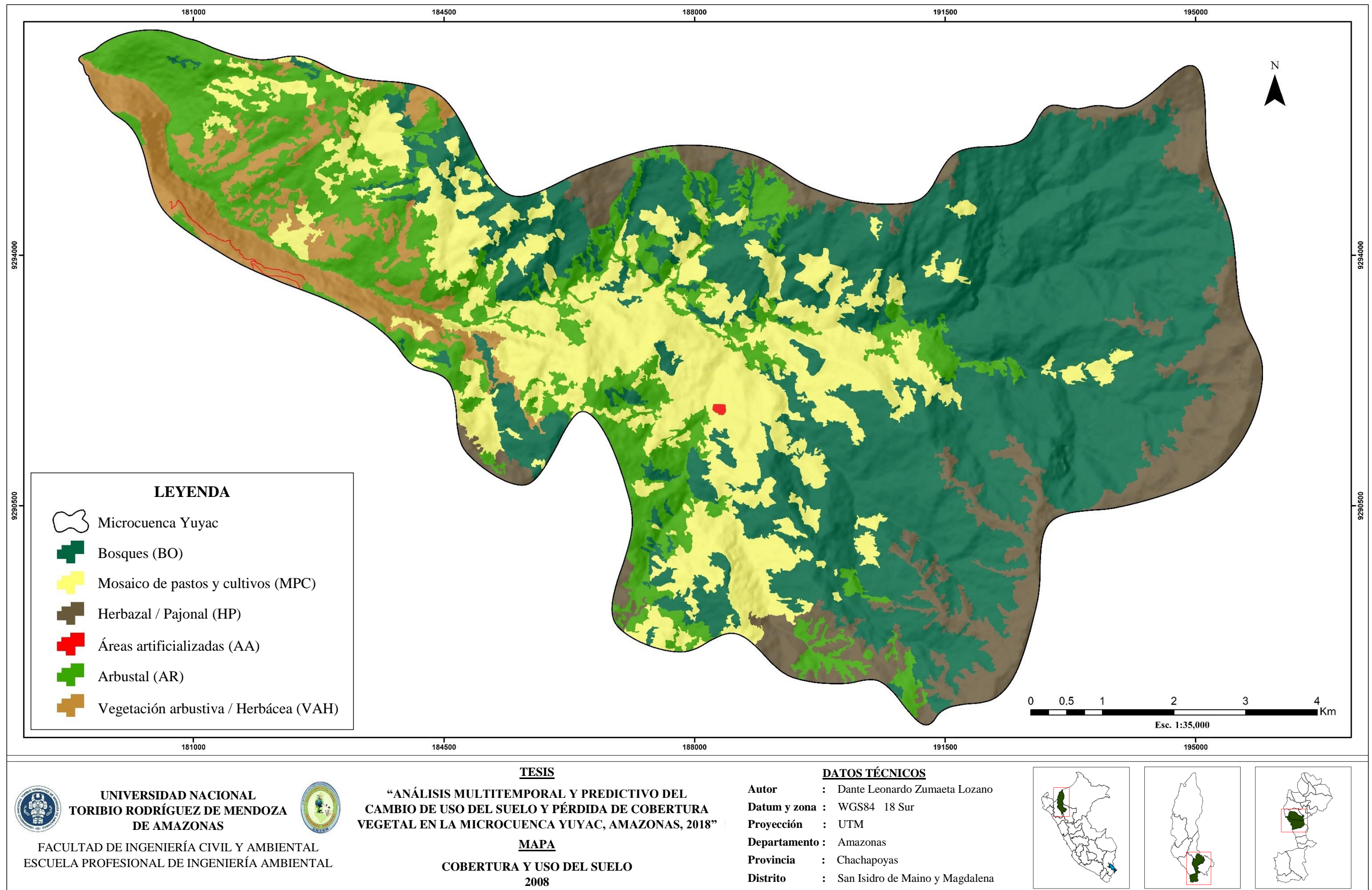


Figura 10. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac - 2008.

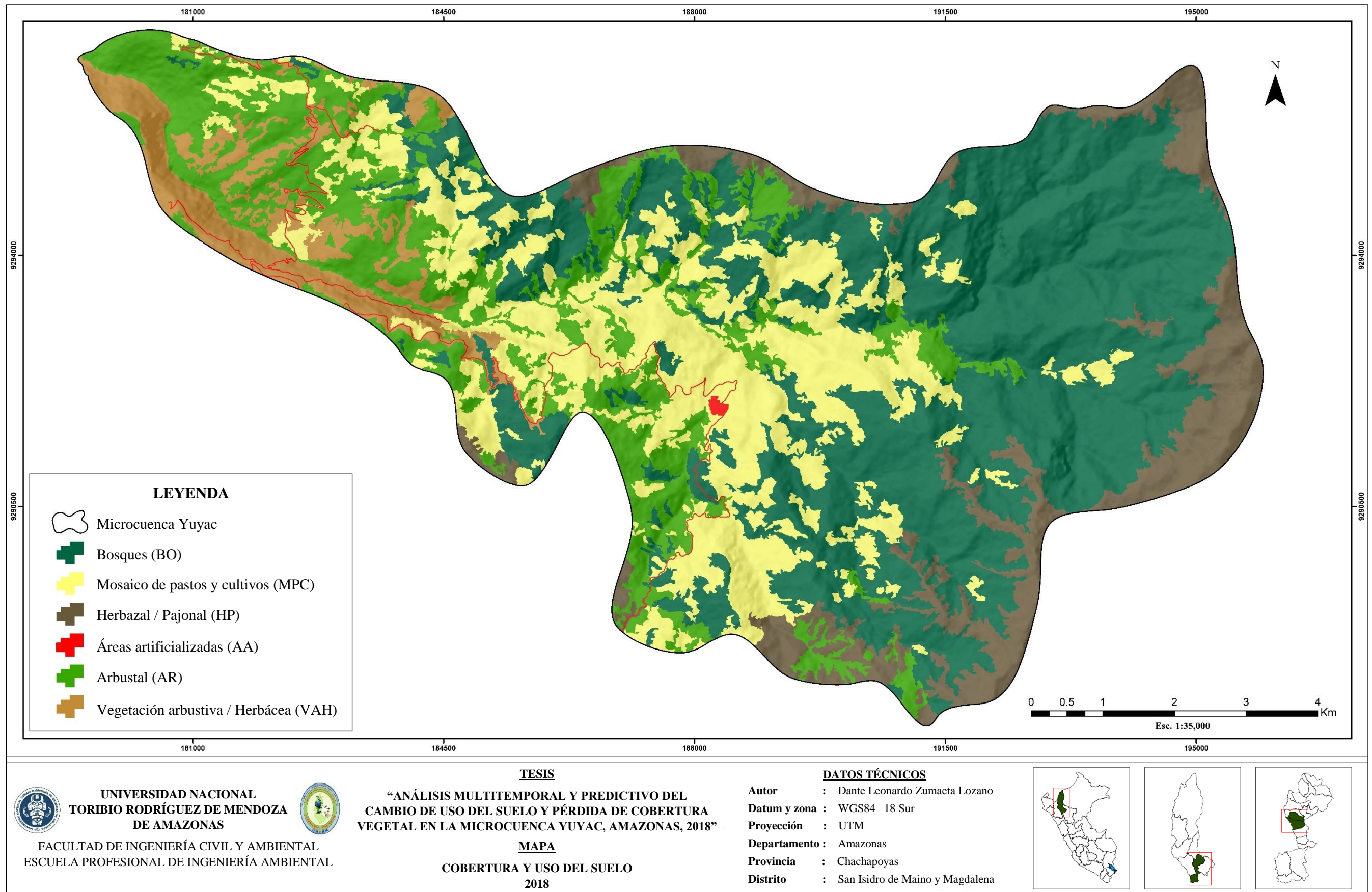


Figura 11. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac - 2018.

3.1.1.2. Evaluación de la exactitud temática

La tabla 9 nos muestra la matriz de confusión (error) para determinar la exactitud temática y describir el grado de fidelidad de la clasificación de la CUS del área de estudio. Para realizar la validación de la cobertura y uso del suelo nos validamos en la matriz propuesta por MINAM 2014. Como se puede visualizar en la tabla 9 y anexo 7, de los 196 puntos de verificación, 178 concordaron con las categorías del mapa clasificado (diagonal expresa el número de puntos verificados mediante imágenes satelitales de alta resolución para ver la coincidencia con la información del mapa).

Tabla 9. Matriz de confusión para evaluación de la exactitud temática

		Resultados de referencia							Exactitud usuario	Error comisión
		AA	MPC	BO	HP	AR	VAH	Total		
Resultados de clasificación	AA	1	0	0	0	0	0	1	1.00	0.00
	MPC	0	38	1	1	2	1	43	0.88	0.12
	BO	0	1	78	1	3	0	83	0.94	0.06
	HP	0	0	0	20	2	0	22	0.91	0.09
	AR	0	0	1	2	31	1	35	0.89	0.11
	VAH	0	0	0	0	2	10	12	0.83	0.17
	Total	1	39	80	24	40	12	196		
Exactitud productor	1.00	0.97	0.98	0.83	0.78	0.83	Exactitud Global = 0.91			
Error omisión	0.00	0.03	0.03	0.17	0.23	0.17	Índice de Kappa = 0.87			

Como se puede apreciar en la tabla 9, según los puntos de verificación asignados por cada uso del suelo, los que no coincidieron con el mapa fueron las coberturas de Mosaico de pastos y cultivos (MPC) y Bosque (BO), ya que de los 43 puntos de verificación, 38 concordaron con el mapa y de los 83 puntos de verificación de la cobertura BO, 5 no concordaron en el mapa.

Por otro lado, para dar mayor validez la exactitud temática se hizo el cálculo de la exactitud del usuario (exactitud del mapa) y del productor (datos de campo) para tener un resultado de exactitud global de 91 % y un índice de Kappa de 0.87, según López y Fernández (1999) una valoración del índice de Kappa de 0.87 es clasificado como muy bueno según la fuerza de concordancia establecida en la tabla 5.

3.1.2. Cuantificación de los cambios de uso del suelo y deforestación

3.1.2.1. Matrices y tasas de cambio de CUS en la Microcuenca Yuyac

La figura 16 y 17 indica la dinámica y distribución de los cambios que siguieron las clases de cobertura y usos del suelo (CUS) durante el periodo 1 (1998 - 2008) y periodo 2 (2008 - 2018), de igual manera las áreas de cambio y permanencia están representadas en la tabla 12. Durante estos dos periodos se puede visualizar que los cambios generados se dieron mayormente a uso antrópico, generando un cambio de 351.0 ha y 170.2 ha para el primer y segundo periodo respectivamente (tabla 12), así como también, se puede observar una permanencia de cobertura y uso de suelo (CUS) natural de 6351.8 ha para el periodo 1 y 6181.6 ha para el periodo 2, por otro lado, hubo una permanencia CUS antrópico de 1331.3 ha y 1682.3 ha para ambos periodos analizados.

Los procesos de cambio en el uso del suelo de la Microcuenca Yuyac han significado una pérdida total de 592.4 ha de cobertura boscosa (BO) durante el periodo de 20 años, donde se puede visualizar que las áreas perdidas fueron para establecer zonas urbanas (AA) y agrícolas (MPC). Tomando como base el año 1998, se puede observar la cobertura BO presenta un área de 3974.3 ha (49.5 % del área total), lo cual hubo una pérdida de 474.20 ha para el año 2008, de igual manera, las coberturas de HP, AR y VAH también sufrieron una pérdida de 13.00 ha, 7.80 ha y 13.30 ha durante el periodo de 10 años (1998 - 2008) respectivamente.

Tabla 10. Matriz de tabulación cruzada (Transición), tasa e índice de cambios entre los años 1998 - 2008 de las CUS en la Microcuenca Yuyac.

1998	2008						Total 1998	Pérdida	Tasa de cambio
	AA	MPC	BO	HP	AR	VAH	ha	ha	%
AA	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.00	7.01
MPC	3.1	1333.4	0.0	0.0	15.6	0.0	1352.1	18.70	2.20
BO	0.0	313.8	3500.1	0.0	160.4	0.0	3974.3	474.20	-1.26
HP	0.0	13.0	0.0	939.7	0.0	0.0	952.7	13.00	-0.14
AR	0.0	7.8	0.0	0.0	1235.6	0.0	1243.4	7.80	1.28
VAH	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	495.1	508.4	13.30	-0.26
Total 2008	6.3	1681.3	3500.1	939.7	1411.6	495.1	8034.1		
Ganancia	3.10	347.90	0.00	0.00	176.00	0.00			

En la tabla 11 se muestra los cambios realizados durante el segundo periodo (2008 - 2018), donde los principales cambios que se produjeron en este periodo fue el incremento de las áreas artificializadas (AA) con 26 hectáreas (6.3 ha en el 2008 y 32.3 ha en el 2018), de igual manera la cobertura de MPC generó un incremento extremadamente alto de 144.20 ha. Durante este periodo, la cobertura boscosa (BO) sufrió una menor pérdida referente al periodo anterior ya que en el periodo 2 hubo una pérdida de 118.20 hectáreas.

Tabla 11. Matriz de tabulación cruzada (Transición), tasa e índice de cambios entre los años 2008 - 2018 de las CUS en la Microcuenca Yuyac.

2008	2018						Total 2008 ha	Pérdida ha	Tasa de cambio %
	AA	MPC	BO	HP	AR	VAH			
AA	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.00	17.76
MPC	11.1	1631.4	0.0	0.0	36.5	2.3	1681.3	49.90	0.55
BO	0.8	117.4	3381.9	0.0	0.0	0.0	3500.1	118.20	-0.34
HP	0.6	5.2	0.0	905.1	28.8	0.0	939.7	34.60	-0.37
AR	4.2	21.6	0.0	0.0	1385.7	0.1	1411.6	25.90	0.28
VAH	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	485.8	495.1	9.30	-0.14
Total 2018	32.3	1775.6	3381.9	905.1	1451.0	488.2	8034.1		
Ganancia	26.00	144.20	0.00	0.00	65.30	2.40			

En la figura 12 se muestra de manera más representativa la tasa de cambio ocurrido durante los dos periodos de análisis de acuerdo a cada CUS. Se puede apreciar que las áreas artificializadas (AA) tuvo una tasa de cambio positivo (7.01 y 17.76 %) para ambos periodos, de igual la cobertura de MPC (2.20 y 0.55 %) y AR (1.28 y 0.28 %). Por otro las coberturas que sufrieron un cambio negativo fueron: BO, HP y VAH.

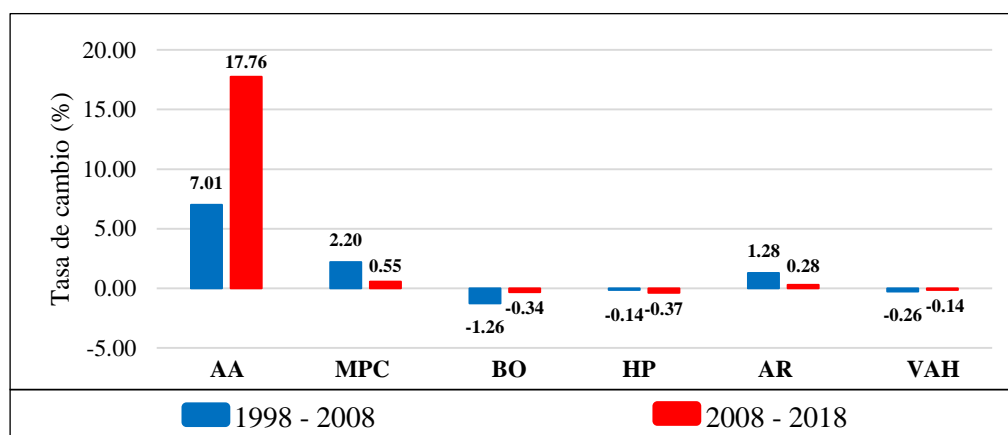


Figura 12. Comparación de las tasas de cambio en la Microcuenca Yuyac para cada periodo de análisis.

En la figura 13 se muestran las pérdidas y ganancias ocurridas en el periodo 1 (1998 - 2008) y periodo 2 (2008 - 2018). Como se puede observar, la Microcuenca Yuyac ha generado una mayor pérdida de cobertura BO durante el periodo 1 y 2, lo cual estas pérdidas están representadas por 474.2 y 118.2 hectáreas en cada periodo respectivamente. La cobertura de MPC generó una mayor ganancia en ambos periodos (347.9 ha y 144.2 ha para el periodo 1 y 2, respectivamente).

Las coberturas que tan solo generaron ganancia en ambos periodos, es la cobertura de áreas artificializadas (AA), ya que en ambos periodos se dio los asentamientos de zonas urbanas y construcciones de redes viales. La cobertura de HP tan solo sufrió una pérdida de 13.0 ha y 34.6 ha para el periodo 1 y 2, respectivamente.

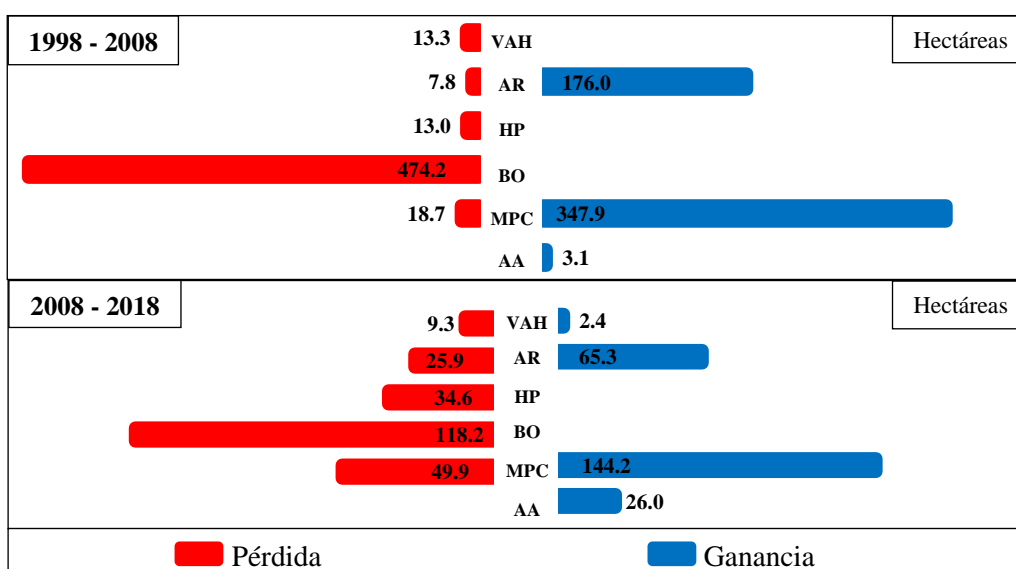


Figura 13. Pérdida y ganancia de las clases CUS para cada periodo de análisis.

Durante el proceso de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) se ha generado la distribución de intensidad de cambio, estas representan cuales fueron las clases de destino de cada uso del suelo. Para ello, en la figura 14 se muestra la distribución y transformación de las CUS del primer periodo, donde la cobertura BO, HP, VAH y AR fueron transformadas mayormente a MPC con un 313.8 ha, 13.0 ha, 13.3 ha y 7.8 ha respectivamente. Esto quiere decir que los cambios ocurridos durante el primer periodo mayormente se han destinado para la transformación antrópica, crecimiento urbano, aperturas de redes viables y agricultura.

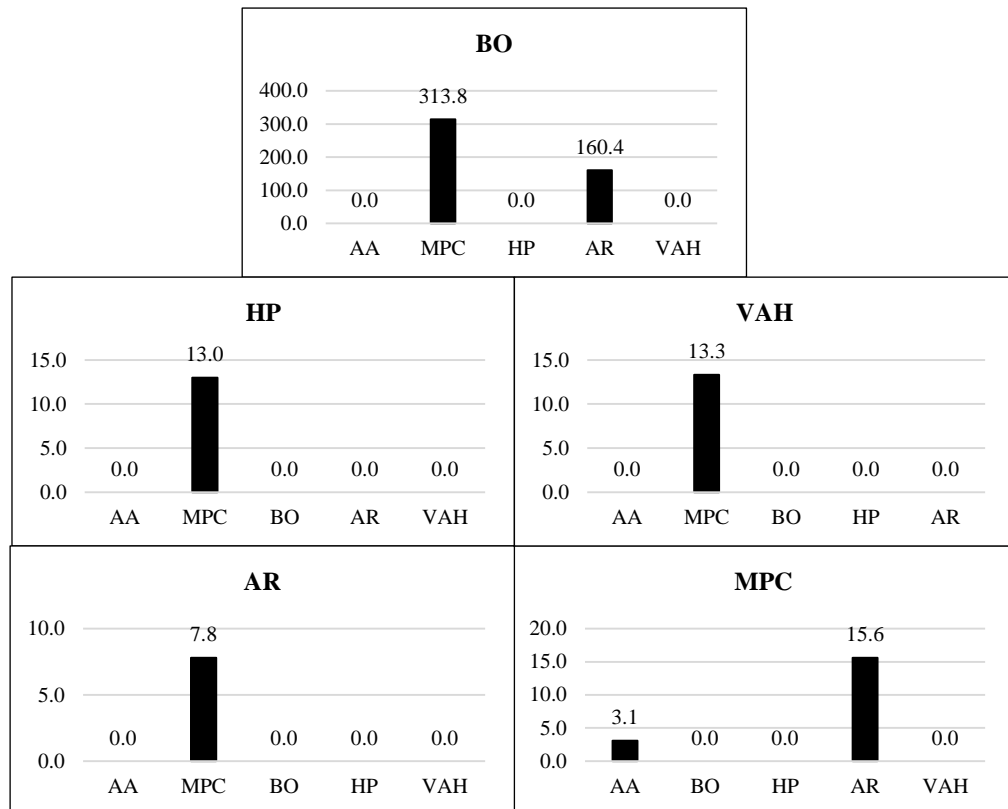


Figura 14. Intensidad de cambio a nivel de transición en hectáreas para el periodo 1998 - 2008. Las barras indican cuales fueron las clases de destino.

A través del análisis de matrices de transición también se estableció la intensidad de cambio de las transformaciones de la CUS para el segundo periodo (2008 - 2018). Como se puede observar en la figura 15, las coberturas que generaron transformaciones fueron: Cobertura boscosa (BO) a áreas artificializadas (AA) con 0.8 ha y mosaico de pastos y cultivos con 117.4 ha; de Herbazal/Pajonal (HP) a áreas artificializadas (AA) con 0.6 ha, mosaico de pastos y cultivos (MPC) con 5.2 ha y Arbustal (AR) con 28.8 ha; de Vegetación arbustiva / Herbácea (VAH) a áreas artificializadas (AA) con 9.3 ha; de Arbustal (AR) a áreas artificializadas (AA) con 4.2 ha, mosaico de pastos y cultivos (MPC) con 21.6 ha y vegetación arbustiva / herbácea (VAH) con 0.1 ha; y de Mosaico de pastos y cultivos (MPC) se ha transformado a áreas artificializadas (AA) con 11.8 ha, Arbustal (AR) con 36.5 ha y vegetación arbustiva / herbácea (VAH) con 2.3 ha.

Esto quiere decir que, durante el segundo periodo, la transformación de CUS mayormente se dio a usos antrópicos (agricultura, ganadería, asentamientos urbanos y aperturas de redes viales).

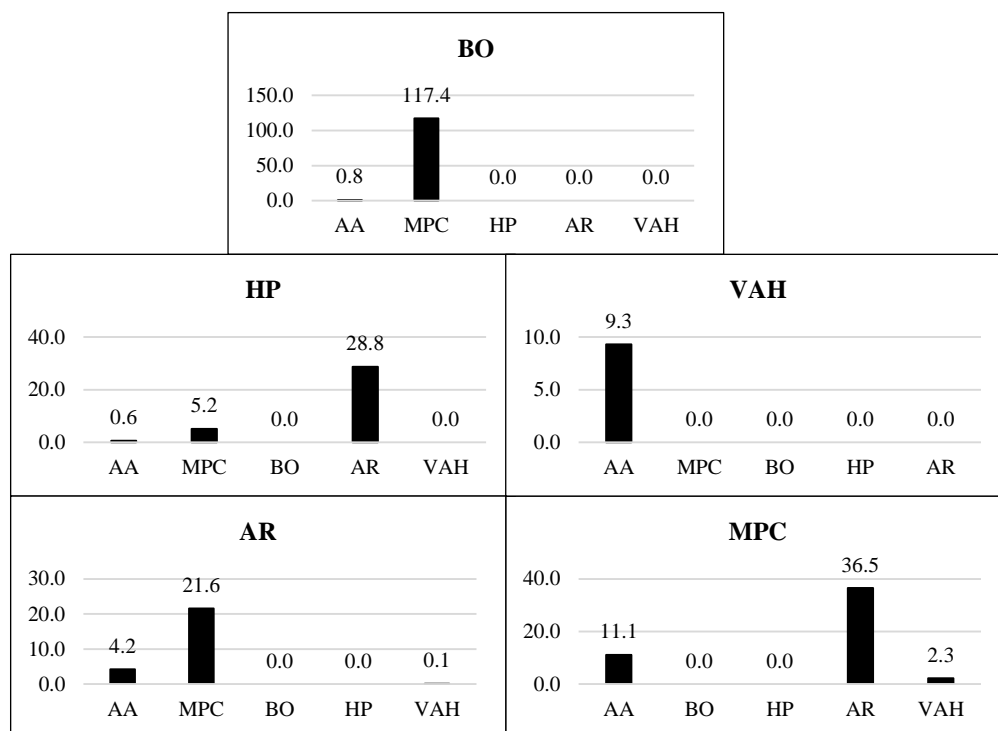


Figura 15. Intensidad de cambio a nivel de transición en hectáreas para el periodo 2008 - 2018. Las barras indican cuales fueron las clases de destino.

3.1.2.2. Mapa de cambio o transición de cobertura y uso del suelo (CUS) en la Microcuenca Yuyac

La figura 16 y 17 se muestra la dinámica y distribución de cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS) durante el periodo de 1998 - 2008 y 2008 - 2018, de tal manera en la tabla 12 se muestra las áreas de cambio y permanencia de la CUS en la Microcuenca Yuyac, donde los resultados obtenidos según la tabla 12 se puede apreciar que, el mayor cambio a cobertura y uso del suelo (CUS) antrópico se dio en el periodo 1998 - 2008 con un cambio de 351.0 ha ya que en el periodo 2008 - 2018 solo se observó un cambio a CUS antrópico de 170.2 ha.

Tabla 12. Áreas de cambio de cobertura y uso del suelo (CUS) por cada periodo (1998 - 2008 y 2008 - 2018).

Transición de CUS	Símbolo	Área (ha)	
		1998 - 2008	2008 - 2018
Cambio a CUS antrópico		351.0	170.2
Permanencia de CUS antrópico		1331.3	1682.3
Permanencia de CUS natural		6351.8	6181.6
TOTAL		8034.1	8034.1

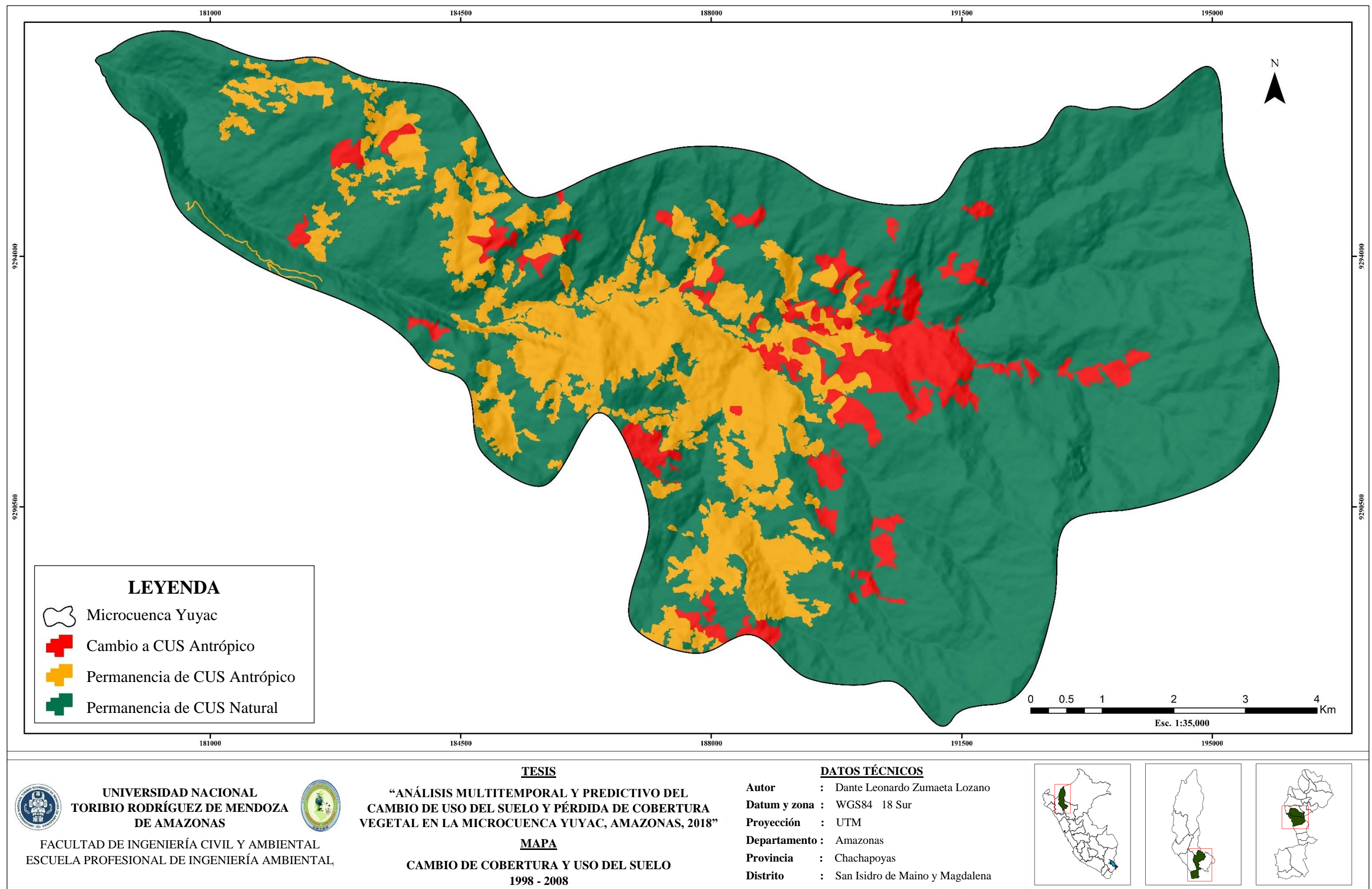


Figura 16. Mapa de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) de la Microcuenca Yuyac, periodo 1998 - 2008.

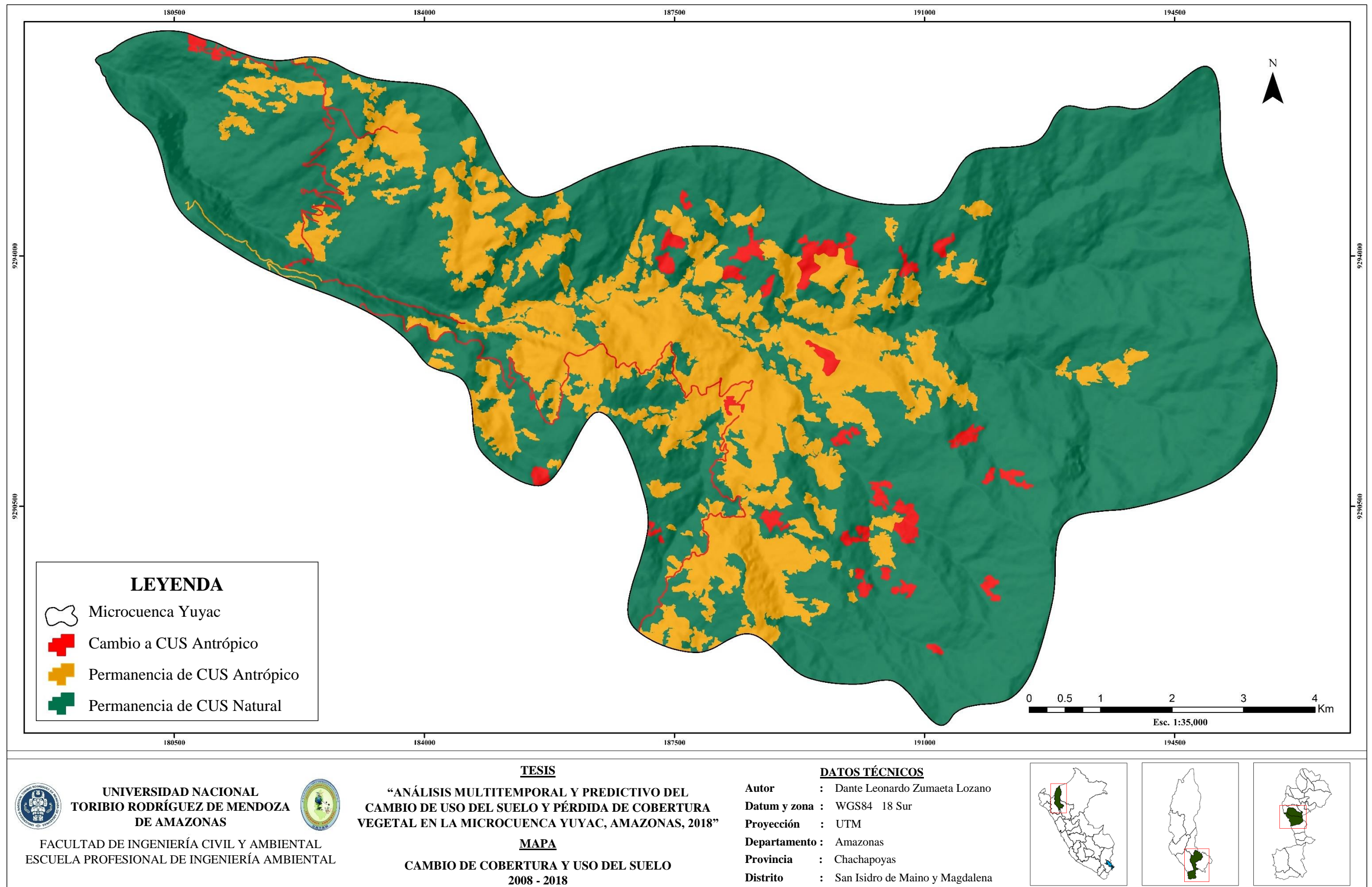


Figura 17. Mapa de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) de la Microcuenca Yuyac, periodo 2008 - 2018.

3.1.2.3. Mapa de deforestación acumulada en la Microcuenca Yuyac, periodo 1998 – 2018

La deforestación es un proceso mediante el cual los bosques van perdiendo la cobertura vegetal, este proceso relacionado con la actividad humana, genera una serie de consecuencias ambientales negativas al ecosistema bosque, a través de los años este proceso se ha incrementado, ya sea consolidándose en algunas zonas del país o surgiendo en nuevas zonas, que al no ser identificadas y controladas oportunamente tienden a convertirse en grandes focos de deforestación MINAM (2016b).

En la tabla 13, se observa la deforestación acumulada en el periodo de 20 años (1998 – 2018). Como se puede visualizar, existe una deforestación de 592.4 ha (7.37 % del área total) en la Microcuenca Yuyac durante dicho periodo, por otro lado, durante este periodo existió una permanencia de cobertura boscosa de 3491.5 ha, mosaico de pastos y cultivos 1332.3 ha, Herbazal / Pajonal 917.1 ha, Vegetación arbustiva / Herbácea 489.2 ha, Áreas artificializadas 3.7 ha y Arbustal 1207.9 ha.

Tabla 13. Áreas de deforestación acumulada y permanencia de la cobertura y uso del suelo, periodo 1998 - 2018.

Usos del suelo	Símbolo	Área	
		ha	%
Deforestación acumulada		592.4	7.37
Permanencia de bosques		3491.5	43.46
Permanencia de Mosaico de pastos y cultivos		1332.3	16.58
Permanencia de Herbazal / Pajonal		917.1	11.42
Permanencia de Vegetación arbustiva / Herbácea		489.2	6.09
Permanencia de Áreas artificializadas		3.7	0.05
Permanencia de Arbustal		1207.9	15.03
TOTAL		8034.1	100.00

En la figura 18 se puede visualizar las áreas deforestadas durante el periodo de 20 años (1998 - 2018), junto a ello también se puede observar las permanencias de las coberturas y usos del suelo (BO, MPC, HP, VAH, AA, AR) según su color de simbología referente a la tabla 13. La deforestación de la cobertura boscosa se ha dado en mayor cantidad en las partes medias de la Microcuenca ya que estas cuentan con pendientes no muy pronunciadas (Anexo 9).

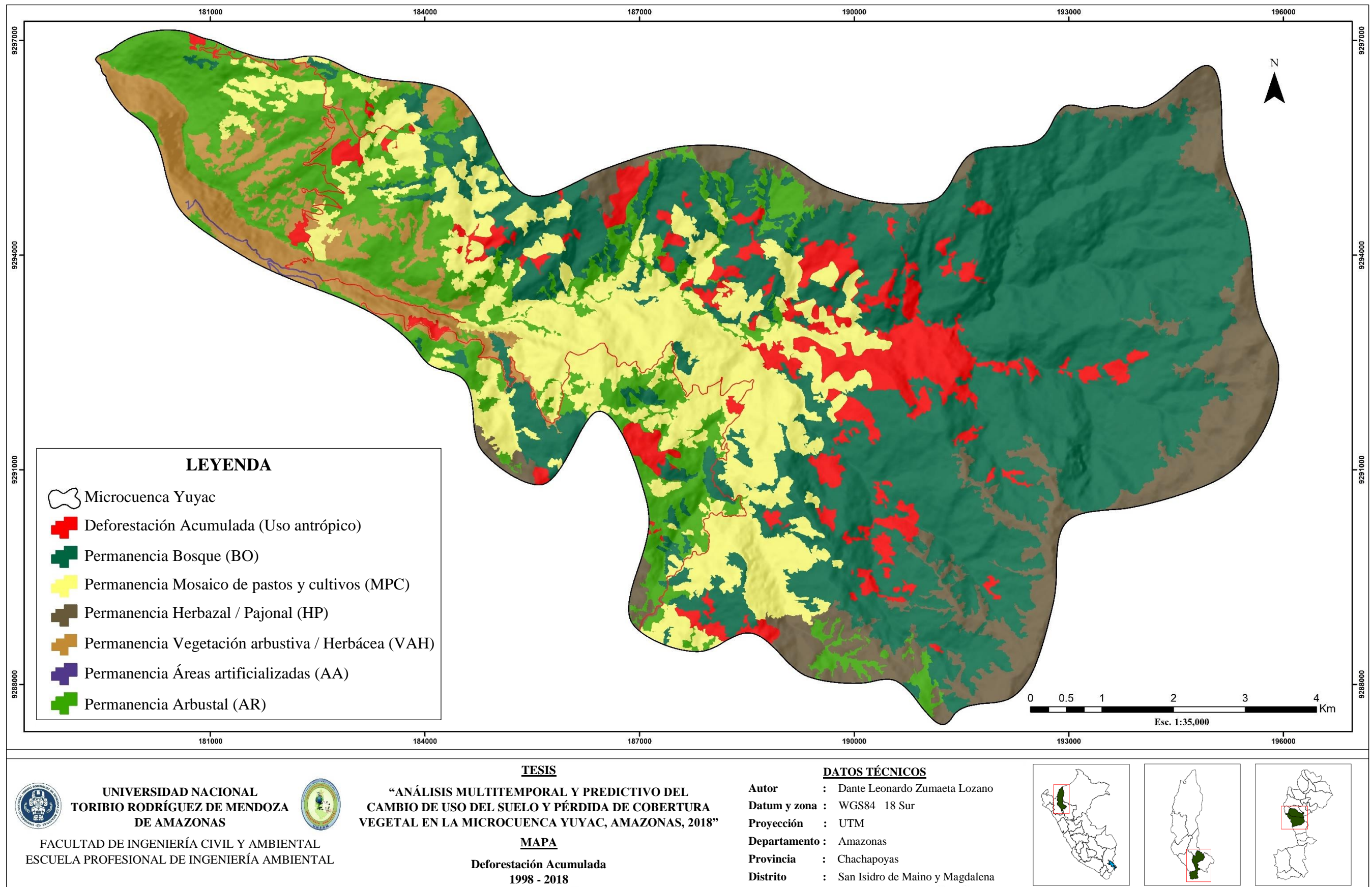


Figura 18. Mapa de deforestación acumulada de la Microcuenca Yuyac en el periodo 1998 - 2018.

3.1.3. Concentración de pérdida de cobertura vegetal natural en la Microcuenca Yuyac

Durante los dos periodos analizados, se observa en la tabla 14 y 15 que la concentración de pérdida de cobertura boscosa va desde baja a extremadamente alta; sin embargo, en el primer periodo (1998 - 2008) la tasa de pérdida es superior respecto al segundo periodo (2008 - 2018), teniendo una concentración de pérdida extremadamente alta de 105.6 ha (1.31% del área total). Esto puede deberse a que en los primeros años correspondiente al primer periodo, por el mismo hecho de inicios de asentamientos de la población en dichas zonas, se desplazaron espacios de bosques para el desarrollo de sus actividades y poder fijarse como población, generando mayor pérdida de la cobertura boscosa que en los años posteriores.

Tabla 14. Áreas por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, periodo 1998 - 2008.











Concentración de la pérdida de cobertura	Símbolo	1998 - 2008	
		Área	
		ha	%
Baja		6445.5	80.23
Media		736.7	9.17
Alta		502.8	6.26
Muy alta		243.5	3.03
Extremadamente alta		105.6	1.31
Total		8034.1	100.00

Tabla 15. Áreas por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, periodo 2008 - 2018.

Concentración de la pérdida de cobertura	Símbolo	2008 - 2018	
		Área	
		ha	%
Baja		6791.8	84.54
Media		682.5	8.50
Alta		356.6	4.44
Muy alta		146.9	1.83
Extremadamente alta		56.3	0.70
Total		8034.1	100.00

Los mapas de concentración de pérdida de cobertura boscosa de la Microcuenca Yuyac en ambos periodos de análisis se muestran en la figura 19 y 20.

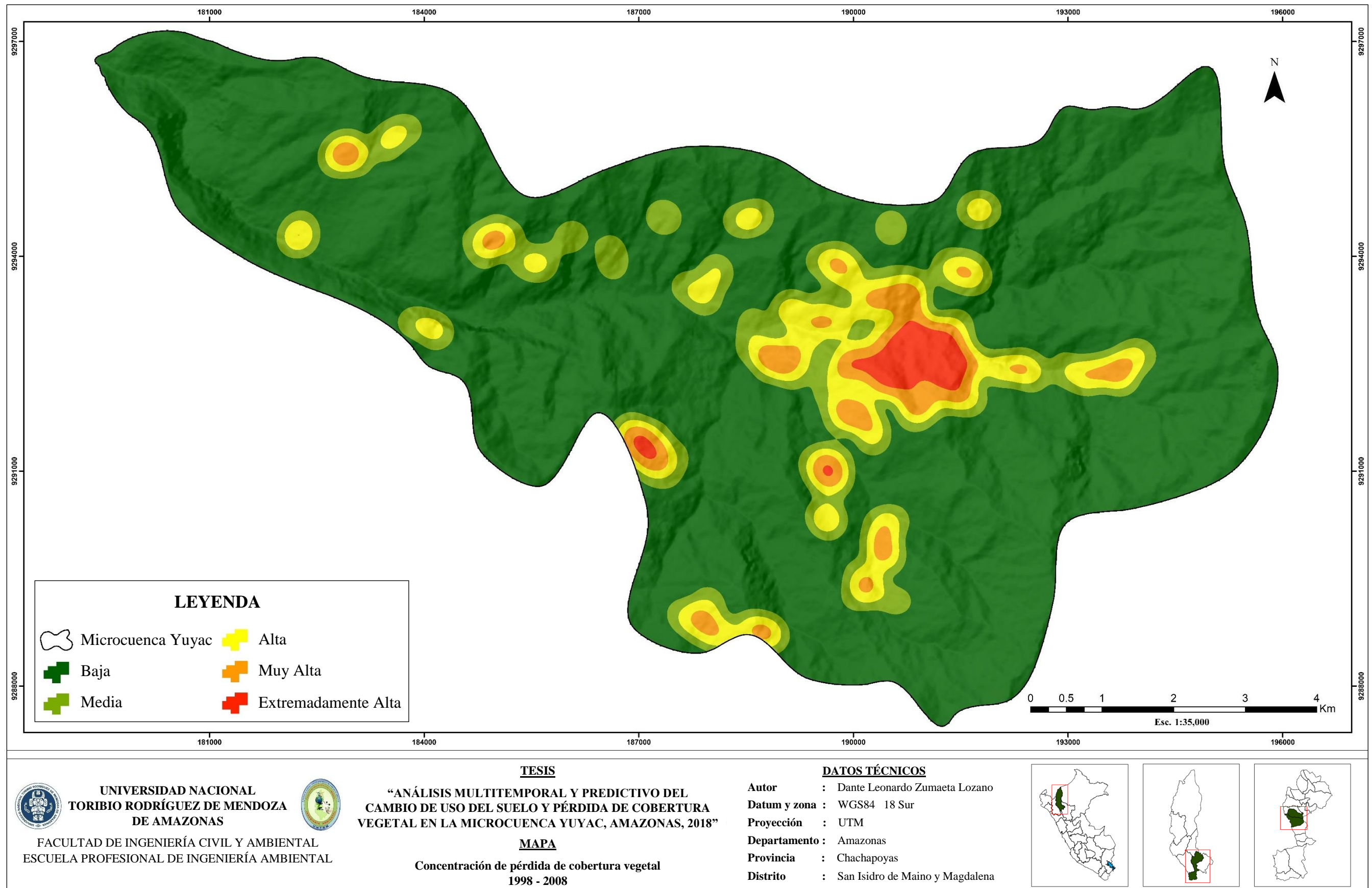


Figura 19. Mapa de concentración de la pérdida de cobertura vegetal de la Microcuena Yuyac, periodo 1998 - 2008.

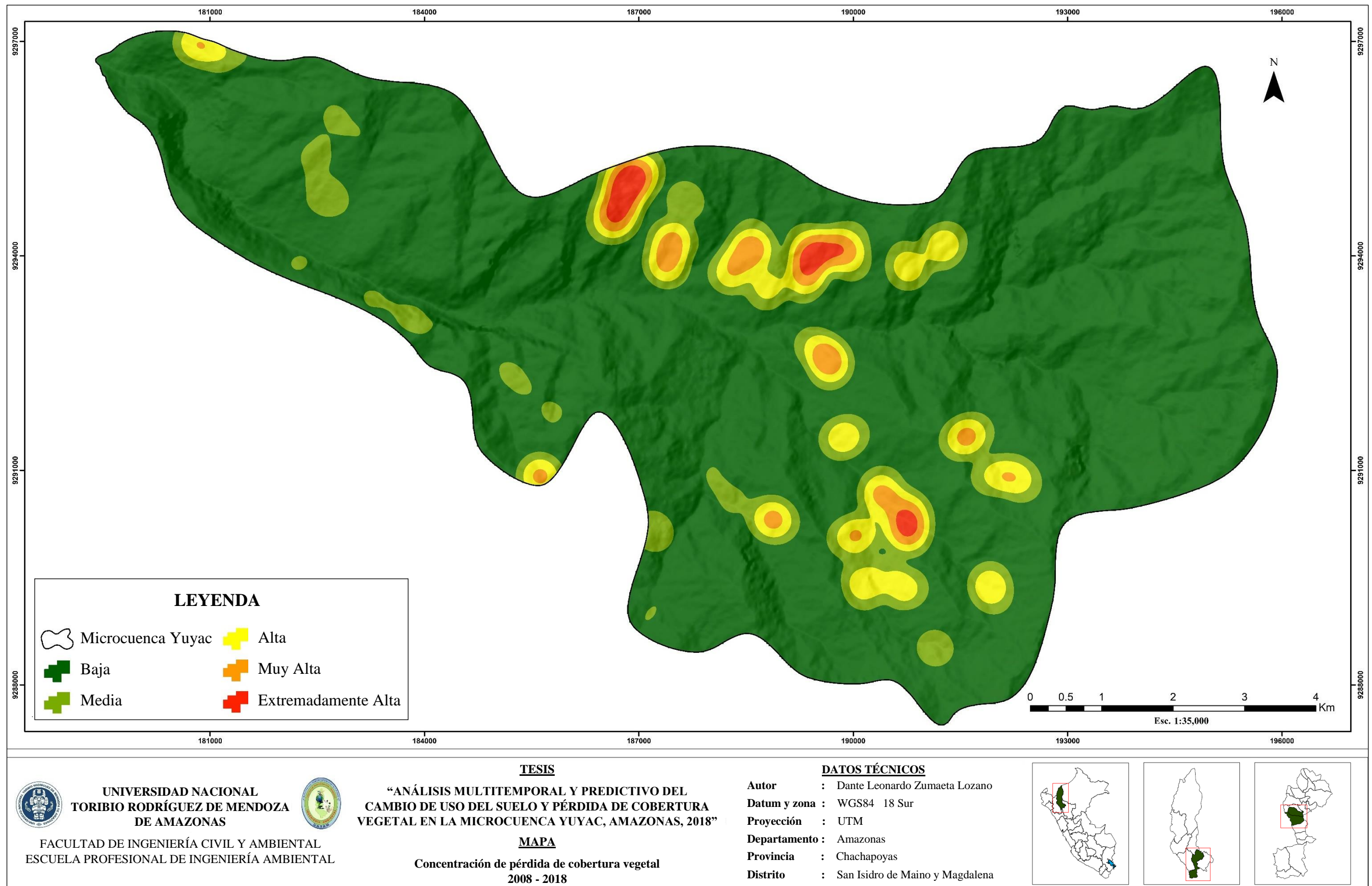


Figura 20. Mapa de concentración de la pérdida de cobertura vegetal de la Microcuenca Yuyac, periodo 2008 - 2018.

3.2. Escenario de la Microcuenca Yuyac al 2030

Mediante el uso del complemento MOLUSCE (Módulos para simulaciones de cambio de uso del suelo) del programa QGIS, se puede apreciar que la figura 21 y 22 muestra la distribución de las clases de cobertura y uso del suelo (CUS) y la dinámica de cambio para el año 2030. Las coberturas de mayor predominancia para el año 2030 está conformada por la cobertura Boscosa (BO) y Mosaico de pastos y cultivos (MPC) con áreas de 3252.5 ha (40.5% del área total) y 1934.0 ha (24.1% del área total), respectivamente.

En la tabla 16 se observa la probabilidad de cambio de la cobertura y uso del suelo hacia el año 2030; los resultados del escenario indican que, si la tendencia actual continúa para el año 2030 se perderán alrededor de 129.40 ha de cobertura boscosa (BO), las cuales pasarían con mayor cantidad a áreas de uso antrópico (MPC). Por las cuales esta pérdida está en relación a las variables espaciales de tipo socioeconómico como la cercanía a carreteras, red hídrica principal, centros poblados y aspectos de relieve.

Tabla 16. Matriz de tabulación cruzada (Transición), tasa e índice de cambios entre los años 2018 - 2030 de las CUS en la Microcuenca Yuyac.

2018	2030						Total 2018	Pérdida	Tasa de cambio
	AA	MPC	BO	HP	AR	VAH	ha	ha	%
AA	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.3	0.00	0.00
MPC	0.0	1772.1	0.0	0.0	3.5	0.0	1775.6	3.50	0.71
BO	0.0	123.9	3252.5	0.0	5.5	0.0	3381.9	129.40	-0.32
HP	0.0	0.0	0.0	905.1	0.0	0.0	905.1	0.00	0.00
AR	0.0	28.7	0.0	0.0	1422.3	0.0	1451.0	28.70	-0.11
VAH	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	478.9	488.2	9.30	-0.16
Total 2030	32.3	1934.0	3252.5	905.1	1431.3	478.9	8034.1		
Ganancia	0.00	161.90	0.00	0.00	9.00	0.00			

Según la intensidad de cambio que se muestra en la figura 23, las coberturas de uso del suelo serán transformadas mayormente a Mosaico de pastos y cultivos (MPC), esto quiere decir que la cobertura Boscosa (BO), Vegetación arbustiva / herbácea (VAH) y Arbustal (AR) se transformarán en MPC hacia el año 2030 con áreas de 123.9 ha, 9.3 ha y 28.7 ha respectivamente.

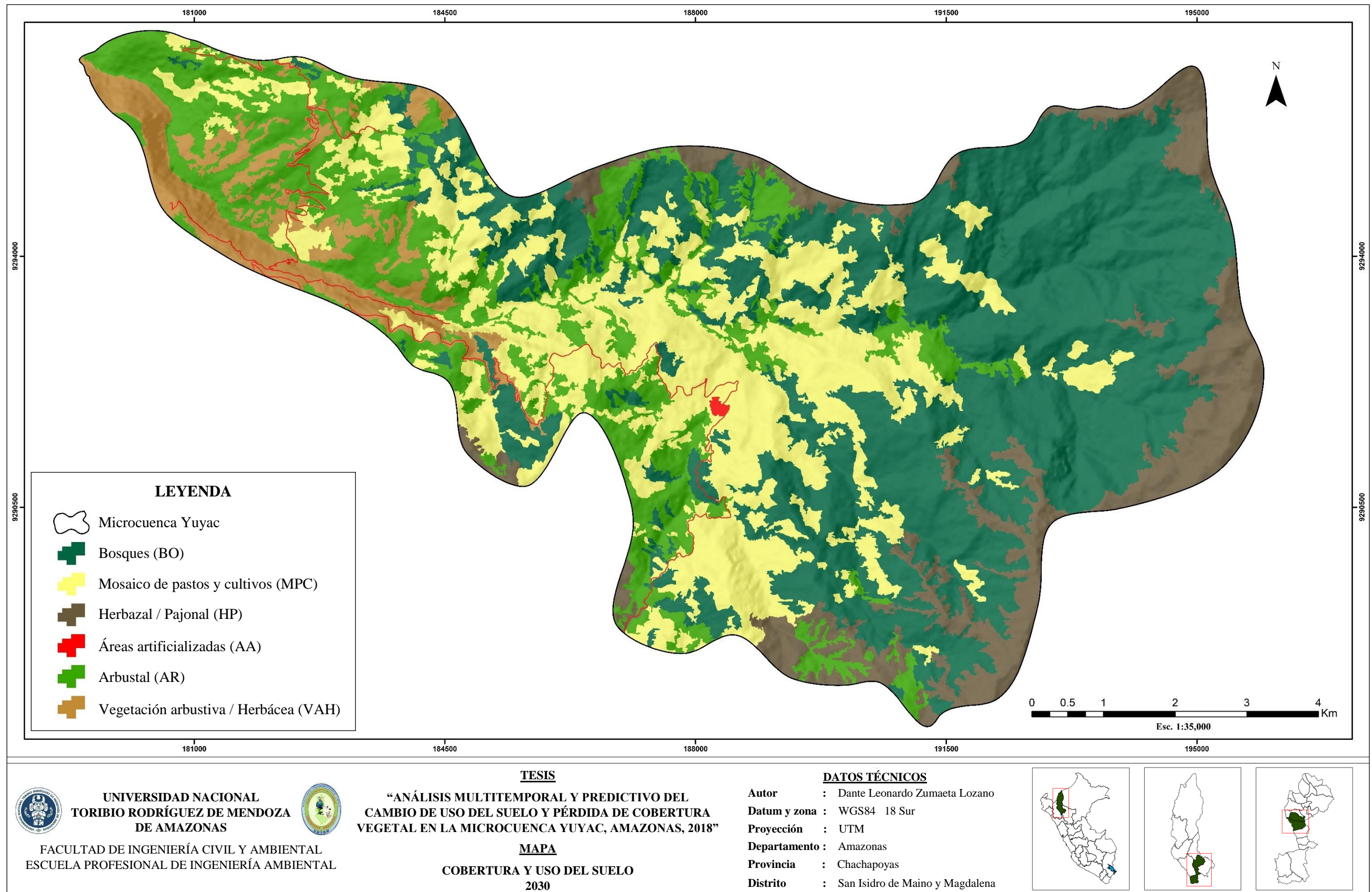


Figura 21. Mapa de cobertura y uso del suelo (CUS) de la Microcuenca Yuyac - 2030.

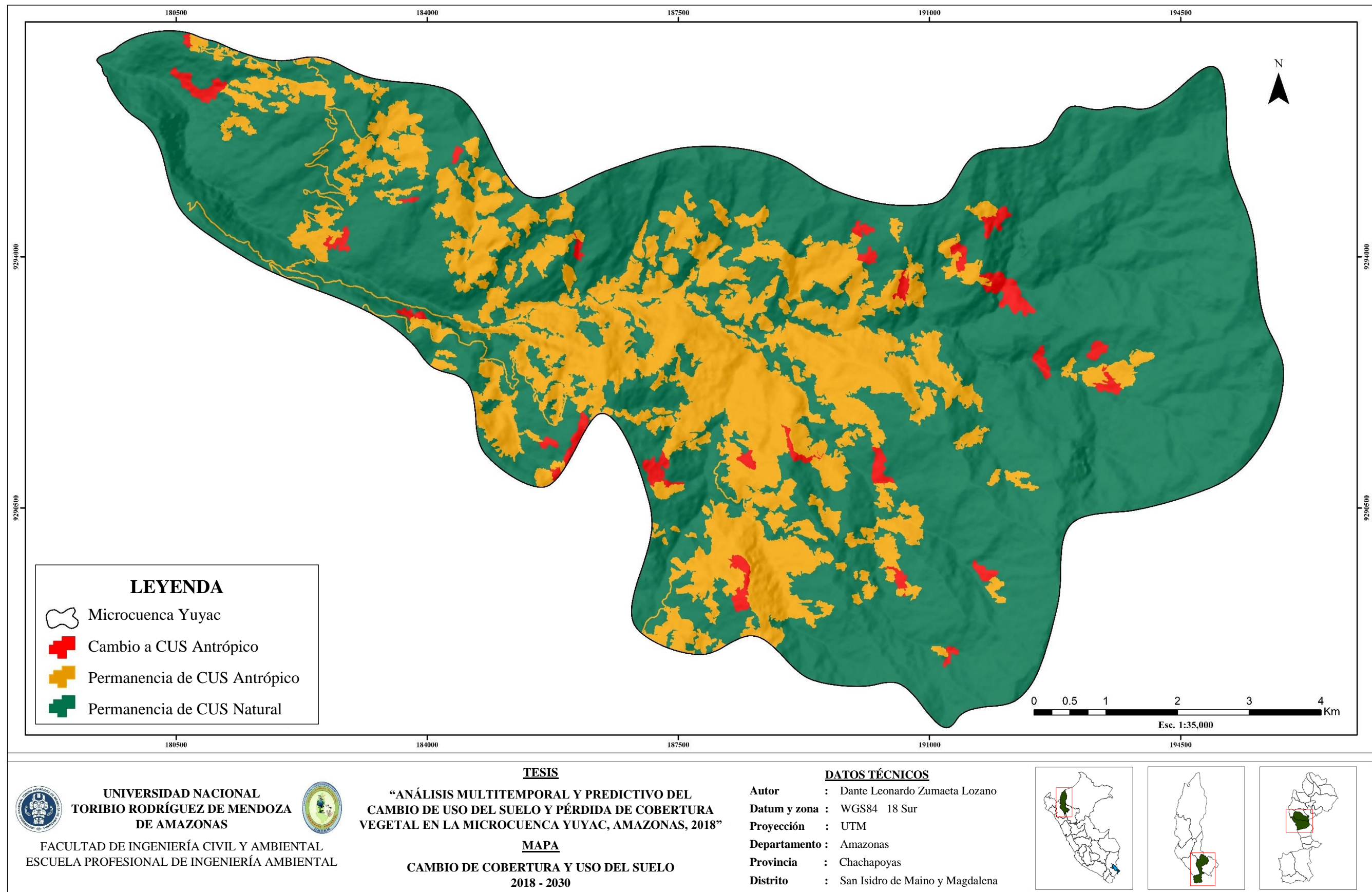


Figura 22. Mapa de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) de la Microcuenca Yuyac, periodo 2018 - 2030.

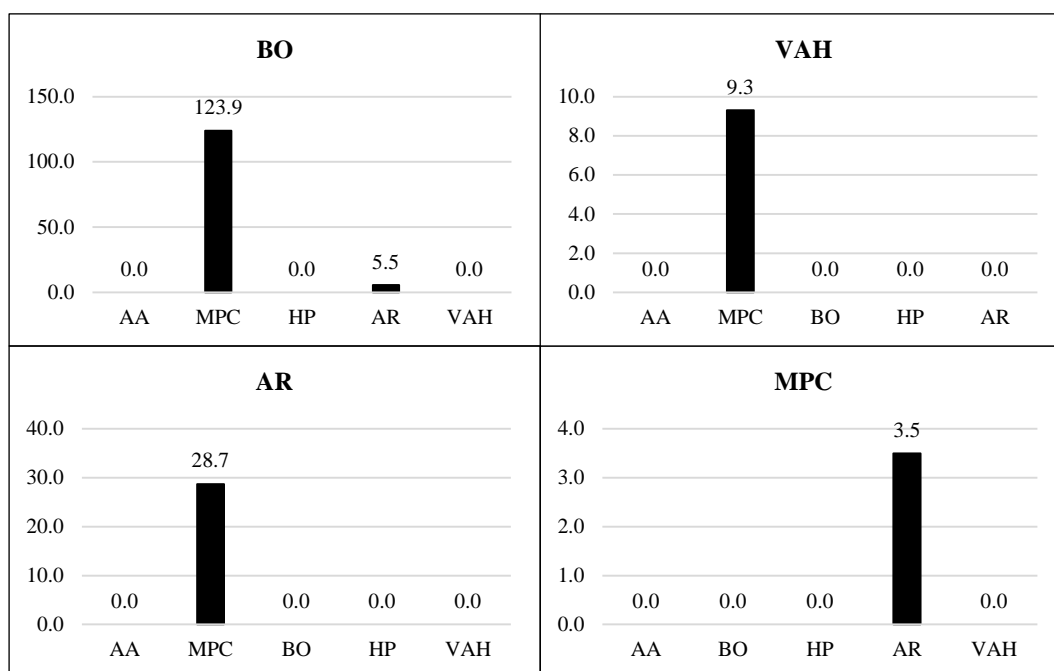


Figura 23. Intensidad de cambio a nivel de transición en hectáreas para el periodo 2018 - 2030. Las barras indican cuales fueron las clases de destino.

La distribución de pérdida de cobertura boscosa durante el periodo 2018 - 2030 se puede visualizar en la figura 24, de tal manera durante este periodo las concentraciones de pérdida van desde baja a extremadamente alta; como se puede observar en la tabla 17, la probabilidad que ocurra una concentración de pérdida extremadamente alta en la Microcuenca Yuyac durante este periodo es de 42.3 ha (0.53 % del área total). Esto quiere decir, la pérdida de cobertura boscosa irá incrementando de acuerdo pasan los años, donde el área de mayor intervención está en relación a las variables espaciales como distancia a carreteras, red hídrica, pendientes del terreno, entre otros.

Tabla 17. Áreas por concentración y densidad de la pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, periodo 2018 - 2030.

Concentración de la pérdida de cobertura	Símbolo	2018 - 2030	
		Área	
		ha	%
Baja		7243.1	90.15
Media		383.7	4.78
Alta		226.4	2.82
Muy alta		138.6	1.73
Extremadamente alta		42.3	0.53
Total		8034.1	100.00

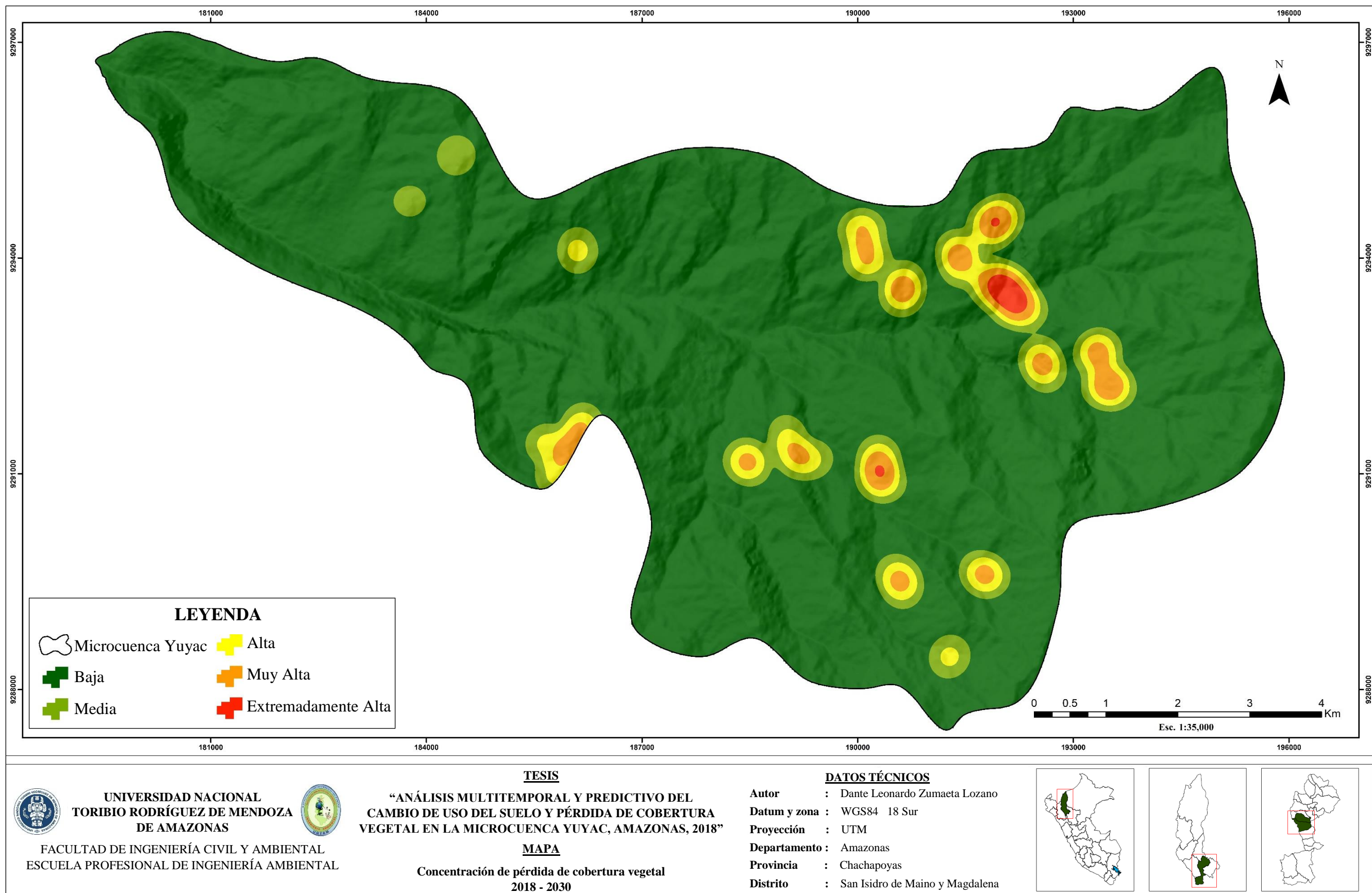


Figura 24. Mapa de concentración de la pérdida de cobertura vegetal de la Microcuenca Yuyac, periodo 2018 - 2030.

3.3. Variable del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal

Del análisis e interpretación de los mapas de cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en contraste con las visitas al área de estudio, tenemos que las variables de mayor importancia que intervinieron en dichos cambios están relacionadas principalmente con las actividades de ganadería y agricultura, teniendo como resultado mayores espacios ocupados por pastos y cultivos que fueron incrementándose con el paso del tiempo, reduciendo la cobertura vegetal natural. Otra de las variables que influyó en menor medida se encuentra asociada con el proceso normal de la expansión de áreas urbanas, reflejado en la ampliación de infraestructura como vías de acceso (carreteras, puentes) y viviendas.

Acorde a la base de datos del INEI (1994) los distritos de Magdalena y San Isidro del Maino al cual pertenece la Microcuenca Yuyac presentan un total de 7 838.21 ha de uso agropecuario correspondiente al año 1994. Si observamos los datos del año 2012 de los distritos antes mencionados, la superficie de uso agropecuario ocupa un espacio de 12 845.95 ha (INEI, 2012), evidenciando un incremento en 5 007.75 ha en un periodo de 18 años. Esta información corrobora los resultados obtenidos del incremento de la clasificación de mosaico de pastos y cultivos obtenidos a partir del procesamiento de datos espaciales, coincidiendo que las variables agrícolas y de actividad ganadera son las que influyen en el proceso de cambio

Las variables identificadas a partir del análisis de mapas han sido confirmadas mediante la bibliografía consultada, ya que parte de las causas directas del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal derivan de la expansión agropecuaria como lo señalan Pérez et al., (2008) donde explican que gran parte de la tierra habilitada para ganadería y agricultura se hace en base al desmonte masivo e irracional. En un estudio sobre la Carretera Interoceánica en el sur del Perú, muestran que alrededor del 90% de la superficie deforestada se encuentra cubierta por pastizales cultivados y el resto está conformado por cultivos agrícolas y vegetación secundaria (Dioses, 2013). Asimismo, dentro de las causas directas asociadas a la pérdida de cobertura boscosa se incluye el desarrollo del sistema de transporte carretero como vías de acceso y a partir del cual comienza el proceso de extracción de madera y de ocupación de tierras por parte de pequeños productores dedicados a la agricultura que realizan tala y quema de bosques (Cabana, 2017).

IV. DISCUSIÓN

Los estudios relacionados al cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal son el referente para conocer las trayectorias de los distintos procesos de cambio existentes en un determinado territorio (Más y Flamenco, 2011). Mediante el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) se ha podido identificar las diferentes coberturas de la tierra presentes en la Microcuenca Yuyac y la superficie que cubre a cada una de ellas. Estos resultados permitieron caracterizar al área de estudio, conocer la dinámica de los distintos tipos de uso de suelo encontrados, como estos van cambiando, la tasa a la cual se dieron dichos cambios y comprender la interacción de los diversos factores socioeconómicos y biofísicos que en él se encuentran.

La Microcuenca en estudio abarca una superficie aproximada de 8034.1 ha, con seis clases de cobertura y uso de suelo identificadas entre los niveles I, II y III de la clasificación Corine Land Cover adaptada para Perú, de las cuales la cobertura boscosa (BO) ocupó un espacio importante y superior a las demás clasificaciones con 3974.4 ha para el año 1998 y 3381.9 ha para el 2018. Sin embargo, también se cuenta con un espacio considerable ocupado por mosaico de pastos y cultivos (MPC), indicando evidentemente que la Microcuenca presenta intervenciones antrópicas por actividades de agricultura y ganadería, las cuales van ejerciendo presión sobre la Microcuenca (PNUMA, 1991). Asimismo, si comparamos el porcentaje de cobertura boscosa (BO) para ambos periodos evaluados, observamos que experimenta una reducción del 14% en un espacio de 20 años, al igual que herbazal / pajonal (HP) y vegetación arbustiva / herbácea (VAH) que también disminuyen en área, lo que no ocurre con las áreas artificializadas (AA) y mosaico de pastos y cultivos (MPC), que al contrario del resto van incrementando con el paso del tiempo. Armenteras (2014) explica que la producción agropecuaria es necesaria para el desarrollo de un país, sin embargo, ésta hace un uso intensivo de los recursos, siendo diversos estudios a nivel de América Latina los que consideran a la expansión agrícola y ganadera como una de las principales causas de deforestación y pérdida de cobertura boscosa. La tasa de deforestación y cambios de cobertura vegetal varían de un lugar a otro, y están en función de las actividades que desarrolla el hombre y de la magnitud en las que la realiza, sin embargo, para Rico (2016) la ganadería basada en pastoreo o también denominada ganadería extensiva es la que realiza cambios considerables en los paisajes rurales y debe reconocerse como un proceso de enormes repercusiones

ambientales y sociales. Debido a ello es de importancia tener en cuenta las actividades que se desarrollan en la Microcuenca Yuyac, para prever las repercusiones ambientales que pueda traer consigo sobre toda la ganadería extensiva, que es típica de ese tipo de ecosistemas de sierra a nivel del Perú (Irujo, 2008)

La dinámica de cambio que experimentaron las distintas coberturas que comprende la Microcuenca en estudio, según Camacho-Sanabria (2017) están relacionadas con el proceso de conversión de sistemas agrícolas, puesto que para el periodo 1998-2008, todas las categorías sufrieron pérdidas y ganancias, a diferencia de cobertura BO que sólo registró pérdidas y AA que por su parte solo tuvo ganancias, siendo la cobertura BO la que mayor pérdida registró con 474.20 ha y cuyos espacios fueron utilizados para establecer principalmente zonas agropecuarias, incrementando el área de MPC, paralelo a ello las zonas urbanas se expandieron, incrementándose la categoría de AA cuyos espacios procedieron de la pérdida o transformación de la categoría MPC, mostrando cambios característicos de los sistemas agrícolas. Estos resultados son confirmados a partir del contraste con los resultados obtenidos por el CENAGRO (2012) ya que registra para el departamento de Amazonas 48 173 unidades agropecuarias para el año 1994 y 69 457 para el año 2012, indicando un incremento de 21 284 unidades agropecuarias, equivalente al 44,2 %. Esta tendencia de cambio fue similar para el siguiente periodo analizado 2008-2018, con menor pérdida de cobertura BO que el periodo anterior, pero siguiendo la misma dinámica de cambio, es decir pérdida en su mayoría de cobertura BO, seguido de la categoría AR, VAH y HP que aportaron con el incremento de AA y MPC, con una característica especial de que todas las categorías cedieron espacio para el incremento de áreas urbanas, de manera particular MPC, resultando por consiguiente el mayor aportante para el establecimiento de AA tanto para el primer como segundo periodo.

Existe una correlación directamente proporcional entre la disminución de BO y el incremento de AA y MPC en la Microcuenca Yuyac, siendo coherente el resultado, puesto que al tener un incremento de población, se requiere de mayores espacios para el desarrollo de las actividades agropecuarias (Pinos, 2016), teniendo en cuenta que la población que se asienta en esta zona basa su economía en la agricultura y ganadería, y la transforman en la principal actividad de subsistencia para satisfacer sus necesidades (INEI, 2012) asimismo, el incremento de la población conlleva a la construcción de

infraestructuras como carreteras y puentes que aportan con el proceso de deforestación (Vílchez, 2017). El incremento de áreas de cultivo que experimentó la Microcuenca, puede deberse a las características de terreno que condicionan a la agricultura en ladera reduciendo la capacidad productiva del suelo, volviéndose insostenible el rendimiento de los cultivos a largo plazo, induciendo así a las familias campesinas a la posesión de más parcelas en otros lugares, destruyendo arbustales y bosques primarios u otras áreas naturales para poder cultivar (Tantaleán, 2016). Esta tendencia de cambio fue similar a lo observado por Urquía (2019) en la Microcuenca Tingo, provincia de Luya, donde registró un incremento de áreas artificializadas y pastos/cultivos con pérdidas de vegetación arbustiva/herbácea, herbazal/pajonal y Bosques durante el periodo 2001 al 2018, del mismo modo ocurrió en el distrito de Molinopapa, el cual se ubica en la misma provincia de la Microcuenca en estudio, en la que Mamani y Serván (2017) relacionaron de manera directa la disminución de bosques con el aumento de áreas de cultivo y pastoreo. Estos resultados indican que a nivel local y regional, existe un patrón de cambio en común, dejando notar que la población se encuentra en continuo crecimiento, ocupando espacios, consumiendo recursos y transformando el medio ambiente a su alrededor, como un proceso propio de la expansión demográfica, lo que se ve reflejado en el incremento de vías de transporte, pastos y cultivos, y la reducción de los bosques y coberturas vegetales naturales. Los resultados obtenidos en la Microcuenca en estudio también son similares a la realidad observada por Vílchez (2017) en el distrito de Chetilla, Cajamarca, en cuanto al incremento del tejido urbano, sin embargo fue distinta en relación a pastos y cultivos, ya que en el estudio de referencia ocurrió una disminución, pero esto fue atribuido al sistema de enseñanza que obliga a los niños y jóvenes a migrar hacia las grandes ciudades para tener una mejor educación, dejando de lado las actividades de campo como la crianza de ganado y cultivos.

En relación a la dinámica de cambio que presenta las áreas artificializadas en la Microcuenca Yuyac, muestran que el asentamiento de áreas urbanas no está teniendo en cuenta las características del territorio para su expansión, ya que suelos usados anteriormente para ganadería y agricultura son los que se utilizan posteriormente para asentamiento poblacional, conduciendo a los pobladores a migrar hacia otros espacios para actividades agropecuarias sin considerar las aptitudes del territorio y de manera desordenada como sucede generalmente en distintos lugares a nivel del Perú y en otros países de Sudamérica debido a varios factores, por ejemplo en la Amazonía Peruana se

han generado conflictos ambientales por el mal uso de la tierra, ya que tierras con vocación forestal o de protección son utilizados con fines agropecuarios, trayendo como consecuencia problemas de erosión de suelos en sitios de mayor pendiente (IIAP, 2017), de igual forma en el distrito de Llancanora, departamento Cajamarca, existe este tipo de problemas, sobre todo la población carece de incentivos para frenar el cambio inadecuado del uso de tierra y mucho menos para incidir en la conservación de los recursos naturales (Murillo, 2017). Asimismo, el país vecino del Ecuador en las últimas décadas también ha experimentado fuertes cambios en su cobertura vegetal natural y del uso de suelo, donde el avance de la frontera agrícola, un acelerado y desordenado crecimiento de las áreas urbanas y la presión que éstas ejercen sobre el territorio han provocado que se sacrifiquen tierras con potencial agrícola, convirtiendo suelo rural en urbano así como el desplazamiento de las áreas de cultivos y ganaderas a las laderas de las montañas o zonas menos fértiles, perdiendo la función social y ambiental del suelo (Pinos, 2016).

En cuanto a la probabilidad del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal hacia el año 2030 en la Microcuenca Yuyac; los resultados del escenario indican que, si la tendencia actual continúa para el año 2030 se perderán alrededor de 129.40 ha de cobertura boscosa (BO), las cuales pasarían en mayor proporción a áreas de uso antrópico (MPC) siendo levemente superior a la pérdida ocurrida en el periodo 2008-2018. Estos resultados tienen similitud en el pronóstico de deforestación con otros estudios realizados a nivel internacional como el de Ortega (2018) que arrojó resultados para el Municipio de Villagarzon, Colombia pronosticando una reducción del 11% (14 749 ha) de cobertura natural en un periodo de 30 años, con una tasa de deforestación de 509 ha/año, del mismo modo en el Cantón Cuenca, Ecuador, la simulación del modelo al año 2010 y 2030, presenta la tendencia de disminución de cobertura vegetal (páramo, vegetación herbácea y leñosa) generando aumento de pastos y cultivos (Pinos, 2016). También los escenarios futuros modelados en tres de los municipios de la región costera del Estado de Oaxaca, México registraron una pérdida de cobertura boscosa como indica Leija (2013). En la simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú del año 2014 al 2030, Rojas (2017) estimó una pérdida acumulada de cobertura boscosa de 16 334.6 km² permitiendo comprender e identificar las posibles áreas de bosque con mayor riesgo a ser deforestadas. Estos resultados muestran que paulatinamente se irá incrementando la pérdida de espacios naturales para el desarrollo de actividades antrópicas.

V. CONCLUSIONES

- Se logró caracterizar seis clases de cobertura y uso del suelo (Áreas artificializadas - AA, Mosaico de pastos y cultivos - MPC, Bosques - BO, Herbazal / Pajonal - HP, Arbustal - AR y Vegetación arbustiva / Herbácea - VAH) de las cuales la cobertura boscosa es la que mayor superficie abarca, seguida de la cobertura de mosaico de pastos y cultivos. Se determinó que la cobertura boscosa registró mayores pérdidas en los diferentes periodos, registrando una pérdida de 474.20 hectáreas para el periodo 1998 - 2008 y 118.20 hectáreas para el periodo 2008 - 2018.
- La simulación de los cambios de uso suelo y pérdida de cobertura vegetal al año 2030 de la Microcuenca Yuyac registró la disminución de cobertura boscosa (BO) con una pérdida de 129.40 hectáreas y el crecimiento de la clase de mosaico de pastos y cultivos (MPC) con una ganancia de 161.90 hectáreas del año 2018 al 2030, teniendo una mayor concentración de pérdida en zonas más accesibles, próximas a centros poblados, red hídrica y vial.
- De acuerdo al análisis de mapas, consulta en base de datos referente al área de estudio y fuentes bibliográficas, se logró identificar que las variables de mayor importancia relacionadas con los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal están dadas por la naturaleza agropecuaria de la zona (ganadería y agricultura) y la dinámica normal de la población reflejada en la expansión urbana y ampliación de infraestructura como vías de acceso (carreteras y puentes).

VI. RECOMENDACIONES

- Promover el desarrollo de investigaciones en el lineamiento de los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en el ámbito regional y nacional a nivel micro, para determinar cuáles son las zonas más vulnerables o susceptibles a degradación, y adoptar las medidas correspondientes de prevención y restauración.
- Debido al proceso de pérdida de cobertura boscosa que experimenta la microcuenca para el desarrollo de las actividades agrícolas y ganaderas, se recomienda la implementación de programas de reforestación con especies nativas y concientizar a los pobladores para el desarrollo de actividades sostenibles (Sistemas agrosilvopastoriles, agroforestería, silvicultura y agricultura tecnificada) que permita mitigar los impactos negativos producto de la deforestación y conservar los bosque.
- A partir de los resultados obtenidos sobre los cambios de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal en el área de estudio, se recomienda poner esta información a disposición de las entidades competentes para que puedan incluir dentro de sus políticas de gestión el manejo integrado de la Microcuenca, que permita regular las actividades de agricultura y ganadería garantizando la conservación de los recursos naturales y manteniendo la permanencia de los beneficios que se obtienen de estos.
- Referente a los estudios que se vayan a realizar en esta línea de investigación se recomienda tener en cuenta lo siguiente:
 - Para la adquisición de las imágenes satelitales tener en cuenta los criterios de selección como nubosidad, época de año, imágenes sin errores o distorsiones, para no presentar dificultades durante el procesamiento y análisis de estas.
 - Utilizar las imágenes aéreas del satélite peruano PerúSat-1 ya que estas cuentan con mejor resolución espacial a diferencia de las imágenes LandSat y Séntinel utilizadas en estos tipos de estudios.
 - Al momento de realizar los mapas de escenarios futuros es necesario tener en cuenta las variables espaciales de predicción a utilizar, ya que a mayor inclusión de variables se obtendrá una mejor simulación en términos de fiabilidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, G. (2014). *Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra*. Cajamarca, Perú: Gobierno Regional de Cajamarca.
- Armenteras, D. (2014). *La expansión agrícola y ganadera es la principal causa de deforestación en América Latina*. Bogotá, Colombia: CREA, Ecología forestal.
- Azócar, G., Sanhueza, R. y Henríquez, C. (2006). Cambio en los patrones de crecimiento en una ciudad intermedia: el caso de Chillán en Chile Central. *Revista EURE 21* (87): 79-92.
- Barboza, E., Corroto, F., Salas, R., Gamarra, O., Ballarín, D., y Ollero, A. (2017). Hidrogeomorfología en áreas tropicales: aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en el río Utcubamba (Perú). *Ecología Aplicada*, 16(1), 39-47.
- Bhattarai, K., Conway, D., y Yousef, M. (2009). Determinants of deforestation in Nepal's Central Development Region. *Journal of Environmental Management*, 91: 471–488.
- Bhatt, G., Kumar, M. Y Duffy, C. J. (2014). A tightly coupled GIS and distributed hydrologic modeling framework. *Environmental Modelling and Programa*, 62, 70–84.
- Briceño, F. (2005). Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra. *Revista Geográfica Venezolana*, 46 (1), 35-45.
- Britos, A.H., y Barchuk, A.H. (2008). Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Árido del noroeste de Córdoba, Argentina. *Agriscienta*, 15(2): 97-110
- Bocco, G., Mendoza, M., y Masera, O. (2001). *La Dinámica del cambio de uso de suelo en Michoacan. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación*. México: Instituto de Geografía-UNAM.

- Brown, D. G., B. C. Pijanowski y J. D. Duh. 2000. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. Consultada en: *Journal of Environmental Management*. Consultada en: doi:10.1006/jema.2000.0369.
- Cabana, W. E. (2017). *Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, caso Distrito de Paratía- Puno, periodo (1988-2016)*. Tesis para obtener el grado de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Cabrera, E., Galindo, G., y Vargas, D.M. (2011). *Protocolo de Procesamiento Digital de Imágenes para la Cuantificación de la Deforestación en Colombia, Nivel Nacional Escalas Gruesa y Escala Fina*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM.
- Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J., Balderas-Plata, M., y Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: Estudio de caso en Progreso Hidalgo, estado de México. *Madera y Bosques*, 23(3):39-60.
- CENAGRO, T. (2012). *Censo Nacional Agropecuario*. Boletín02, MINAGRI.
- Chowdhury, R.R. (2006). Landscape change in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico: Modeling the driving forces of smallholder deforestation in land parcels. *Applied Geography*, 26,129–152.
- 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*. Barcelona, España: Ariel Ciencia.
- Conway, T.M. (2009). The impact of class resolution in land use change models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 269-277.
- Congalton, R. y Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton, FL: CRC Press.

- Congedo, L. (2017). Documentation of Semiautomatic Classification Plugin. *Release*, 4(0.1), 29.
- Deng, X., Jiang, Q., Zhan, J., He, S. and Lin, Y. 2010. Simulation on the dynamics of forest area changes in Northeast China. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 495-509.
- Delgado, H. C. (2017). *Cambios de uso de suelo y cobertura vegetal en el Área de Conservación Privada Hierba Buena-Allpayacu y la Comunidad Camoesina de Corosha, Amazonas, 2017*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.
- Dile, Y. T., Daggupati, P., George, C., Srinivasan, R. y Arnold, J. (2016). Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model. *Environmental modelling & programa*, 85, 129-138.
- Dioses, M. M. (2013). *Informe de investigación N° 29/2013-2014: Deforestación en la Amazonía Peruana*. Lima, Perú: Departamento de Investigación y documentación parlamentaria
- Echeverria, C., Coomes, D.A., Hall, M. and Newton, A.C. 2008. Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecological Modelling*, 212, 439-449.
- Falcón, O. (2014). Dinámica de cambio en la cobertura/uso de suelo, en una región del Estado de Quintana Roo, México: El impacto de las políticas gubernamentales sobre el manejo forestal. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fan, F. M., Fleischmann, A. S., Collischonn, W., Ames, D. P. Y Rigo, D. (2015). Large-scale analytical water quality model coupled with GIS for simulation of point sourced pollutant discharges. *Environmental Modelling and Programa*, 64, 58–71.
- FAO. (1996). Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes- Forestry Paper 130. Roma, Italia: FAO.

- FAO. (2001). *Global Forest Resources Assessment 2000*. FAO Forestry Paper 140. Rome.
- Forester, D. J., y Machilis, G. E. (1996). Modeling Human Factors That Affect the Loss of Biodiversity. *Conservation Biology*, 10, 1253-1263.
- Gallardo, M. (2013). *Cambios de uso del suelo y simulaciones de escenarios en la comunidad de Madrid*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, España.
- García, J., Cedillo, J., Juan, J., y Balderas, M. (2012). Proceso de cambio en el uso de suelo de una Microcuenca en el altiplano Mexicano. El caso del río San José en el estado de México. *Papeles de Geografía*, (55):63-73.
- Gómez, L. N. (2017). *Inteligencia artificial aplicada al territorio*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <https://intelaplite.wordpress.com/2017/08/28/molusce-de-qgis/>
- GRA, Gobierno Regional de Amazonas e IIAP, Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana. (2013). *Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas*. Iquitos, Perú.
- Henríquez, C., Azócar, G. y Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 36: 61-74.
- Ibáñez, N., y Damman, G. (2014). Cambios de cobertura de los usos de suelo para la elaboración de escenarios territoriales en la región Apurímac. *Zonas Áridas* 15(1), 48-67.
- IIAP. (2017). *Evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de la tierra distrito de Padre Abad*, Departamento de Ucayali, Perú. Iquitos, Perú: IIAP.
- INEI. (1994). *III Censo Nacional Agropecuario 1994. Sistema de consulta de resultados censales. Cuadros estadísticos*. Lima, Perú: INEI.

- INEI. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Sistema de consulta de resultados censales. Cuadros estadísticos*. Lima, Perú: INEI.
- INEI. (2017). Pre-Censo 2017, Recuperado de: <https://bit.ly/2nUdov8>
- Irujo, R. (2010). *Vacunos de leche*. Monografías. Disponible en: <http://www.monografias.com>
- Jokar, J., Helbich, M., Kainz, W., y Darvishi Boloorani, A. (2013). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 265-275.
- Kok, K., Farrow, A., Veldkamp, A., y Verburg, P.H. (2001): A method and application of multi-scale validation in spatial land use models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 223-238.
- Lambin, E., Turner, L., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., y Folke, C. (2001). Las causas del uso de la tierra y el cambio de la cobertura terrestre: ir más allá de los mitos. *Global Environmental Change*, 11, 261-269.
- Leija, E. G. (2013). *Cambios en la cubierta vegetal/uso del suelo y escenarios futuros en tres municipios de la región costera del Estado de Oaxaca, México*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- López, E., Bocco, G. y Mendoza, M. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM México*, 45: 56-76.
- López de Ullibarri Galparsoro I, Pita Fernández, S., 1999, Medición de concordancia: Índice de Kappa, Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario-Universitario Juan Canalejo. A Coruña (España).
- Mahesh, J., P.K. Garg, K. (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10: 26–43.

- Mas, J. F., Velásquez, A., y Couturier, S. (2009). Evaluación de los cambios de cobertura/Usos de suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*, (1): 23-39.
- Mas, J., y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/ uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, 5(1), 1-24.
- Mamani, J. (2017). *Evaluación multitemporal de la deforestación en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, departamento Amazonas. 2015*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Amazonas.
- Meyer, W. B., y Turner, B. L. (1994). *Changes in Land Use and Land-Cover: A Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MINAM. (2014). Protocolo: *Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación*. Dirección General de Ordenamiento Territorial. Lima, Perú: MINAM.
- MINAM. (2016a). *R.M. N° 081-2016-MINAM: Procedimiento técnico y metodológico para la elaboración del estudio especializado de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra*. Lima, Perú: MINAM.
- MINAM. (2016b). *Mapas kernel como indicador de la concentración de la pérdida de bosques húmedos amazónicos del Perú*. Lima, Perú: MINAM.
- Murillo, A. (2017). *Análisis de cambios de cobertura y uso actual de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Llancanora, periodo 2001-2016*. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Oliva, P. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Geomática. Centro de Investigación en Geografía y Geomática, México D. F.
- Ortega, D. A. (2018). *Transformación del paisaje natural del Municipio de Villagarzón, Colombia, periodo 1985 a 2014, su proyección a futuro 2044 y ganadería actual*.

Tesis de maestría. Universidad de Salzburg, Departamento de Geomática, Colombia.

- Pérez, A.; Moscuza, C.H., y 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, R., y Valenzuela, L. (2007). Dinámica de los usos del suelo en el litoral de Granada (1956-2000): Interpretación para la acción planificadora. En Camacho, M., Cañete, J y Lara, J. (editores). En: El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas Granada. 379-393 pp. Granada: Universidad de Granada.
- Pinos, N. J. (2016). Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial. *Estoa* 9(5): 7-19.
- Plata, W., Gómez, M., y Bosque, J. (2010). Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid aplicando métodos de evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. *Geofocus*, 10, 103-134.
- Pontius, R. G., Shusas, E. y Mceachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2-3), 251-268.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (1991). *Centro Internacional de Referencias y Datos sobre Suelos (ISRIC)*. The global assessment of human-induced land degradation (GLASOD): Wageningen, Países Bajos y Nairobi, Kenya.
- Ramírez, M. y Zubieta, R. (2005). Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca. Informe Técnico Final. *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.

- Reátegui, S., y Arce, J. (2016). Cambio de uso actual de la tierra en la Amazonía Peruana. Perú: GIZ- Cooperación Alemana.
- Reyes H., García, G., y Castillo, O. (2003). Investigaciones geográficas. *Boletín del Insituto de Geografía-UNAM*, (44): 39-53.
- Rico, G. (2016). *Colombia: La ganadería extensiva está acabando con los bosques*. Colombia: Mongaby.
- Rojas, E. J. (2017). *Análisis y simulación para el año 2030 de los bosques húmedos amazónicos de Perú para el cambio climático*. Tesis de maestría. Universidad de Barcelona, España.
- Rojas, N. B. (2018). Evaluación del estado hidrogeomorfológico *para restauración fluvial e las Microcuencas ganaderas de Leymebamba y Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Amazonas, 2017*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú.
- Rojas, N., Barboza, E., Maicelo, J., Oliva, S., y Salas, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índice de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 2538: 1-34.
- Rosete, F., Pérez, J.L. y Bocco, G. (2008). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigaciones Geográficas*, 67, 39-58.
- Rounsevell, M.D., Annetts, J.E., Audsley, E., Mayr, T., y Reginster, I. (2003). Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95: 465-479.
- Salmerón, A., González, A., y Álvarez, L. O. (2009). Uso agropecuario y cambios en la vegetación en Áreas de la Reserva de la Biósfera Baconao, Cuba. *Revista Foresta Veracruzana*, 11 (2), 11-19.
- Sangermano, F., Toledano, J., y Eastman, J.R. (2012). Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity. *Landscape Ecology*, 27, 871-584.

- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2002). *Informe de la situación de medio ambiente en México, Compendio de estadísticas ambientales*. México: Dirección General de Estadística e información ambiental.
- Soares-Filho, B., Coutinho, G., y Lopes, C. (2002). DINAMICA-a stochastic cellular autómatas model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling* 154, 217-235
- Story, M., y Congalton, R. G. (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 52(3), 397-399.
- Sudhira, H.S., Ramachadra, T.V. y Jagadish, K.S. (2006). Urban sprawl: metrics, dynamycs and modelling using GIS. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5: 29-39.
- Tantaleán, A. (2016). *Análisis de Cambios de Cobertura y Uso del Suelo en el distrito de Chota, Periodo 1989 - 2013 Chota, Perú*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- UNIBA (Centro Universitario Internacional de Barcelona) (2018). *Analizando las dinámicas de cambios de uso de suelo*. España, Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Urquía, A. D (2019). *Evaluación de la dinámica multitemporal de cambios de cobertura y uso del suelo en la Microcuenca El Tingo, provincia Luya, Amazonas, 1987 – 2018*. Tesis para obtener el grado de ingeniero ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas.
- Vargas G., E. (1992). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. Colombia: IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi).
- Verburg, P.H., Kok, K., Pontius, R. G., y Veldkamp, A. (2006). *Modeling land-use and land-cover change*. In *Land-use and land-cover change. Local processes and Global Impacts*. Berlin: E.F. Lambin and H.J. Geist.

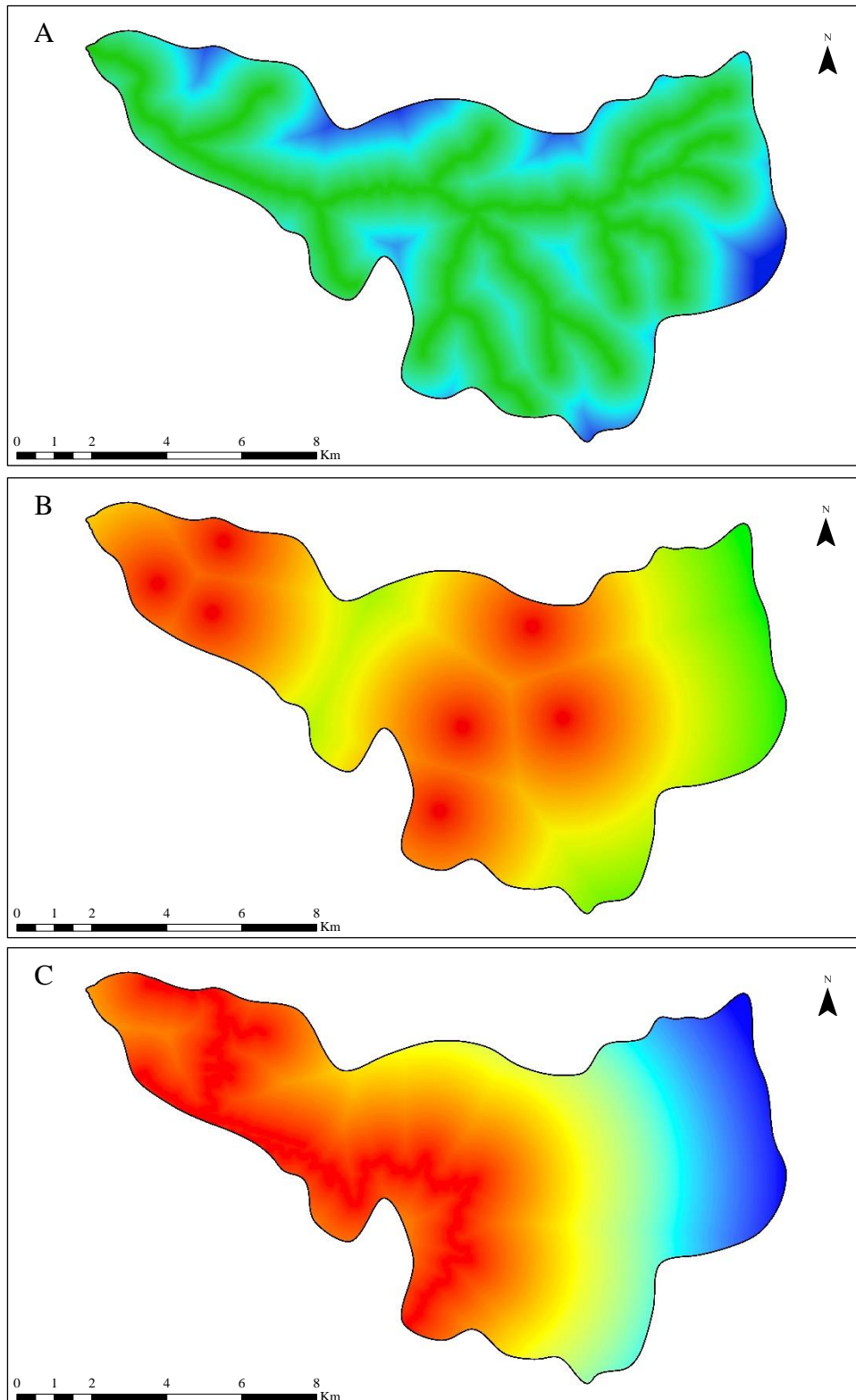
Vílchez, M. (2017). *Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra del distrito de Chetilla. Periodo 1990-2003-2016*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

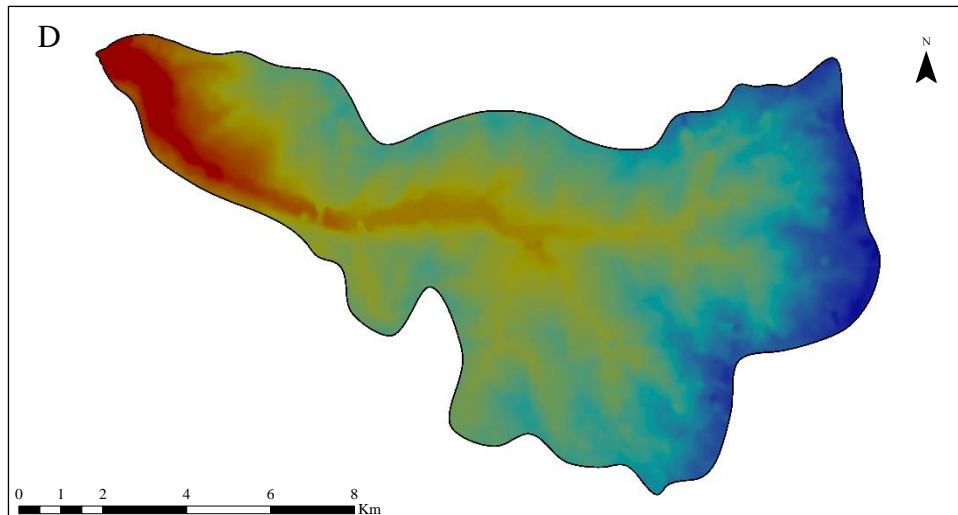
Villón, M. (2011). *Hidrología*. 3a. ed. Lima, Perú: Edit. Villón.

Zorogastúa, P., Quiroz, R., y Garatuza J. (2011). Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura. *Ecología Aplicada* 10(1), 13-22.

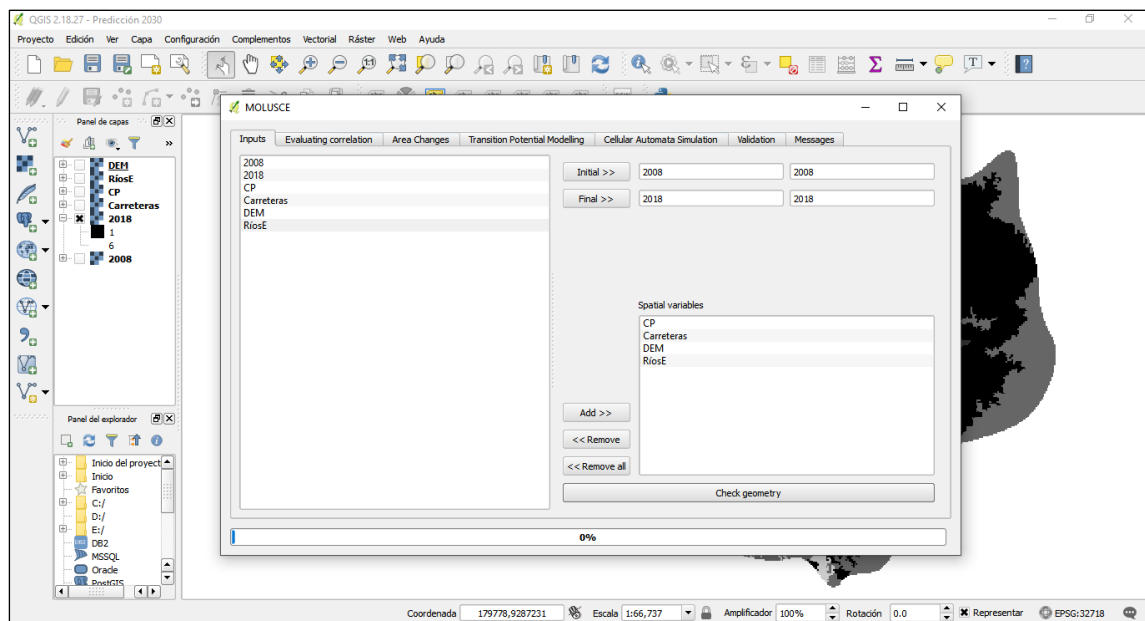
ANEXOS

Anexo 1. Variables de predicción usadas para la simulación del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, para el año 2030. Distancia a Ríos (A), Distancia a Centros Poblados (B), Distancia a Carreteras (C) y Altitud (D).

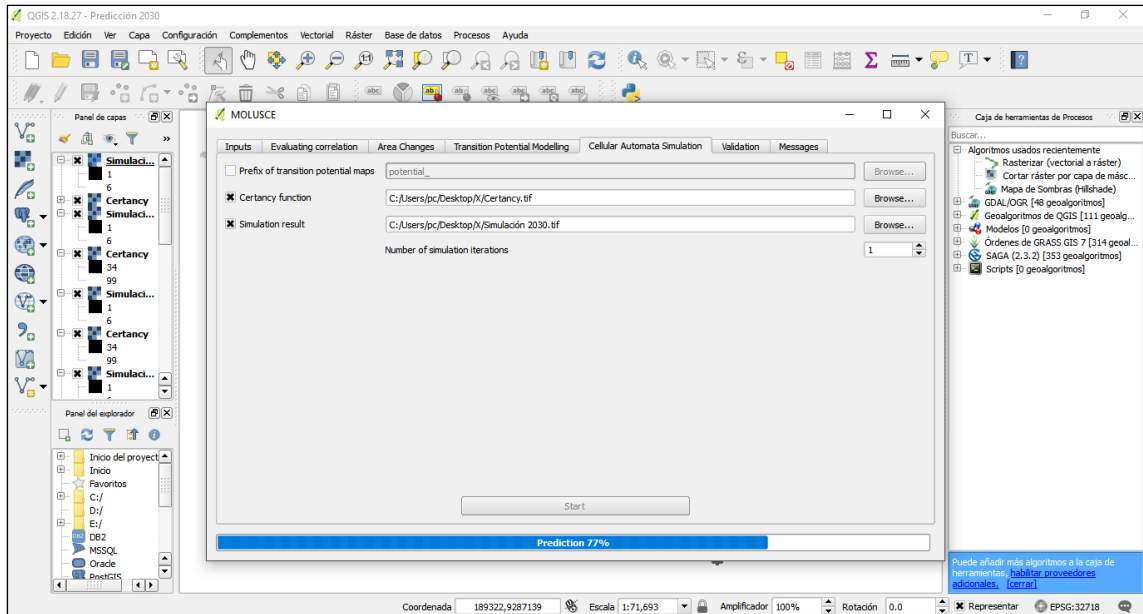




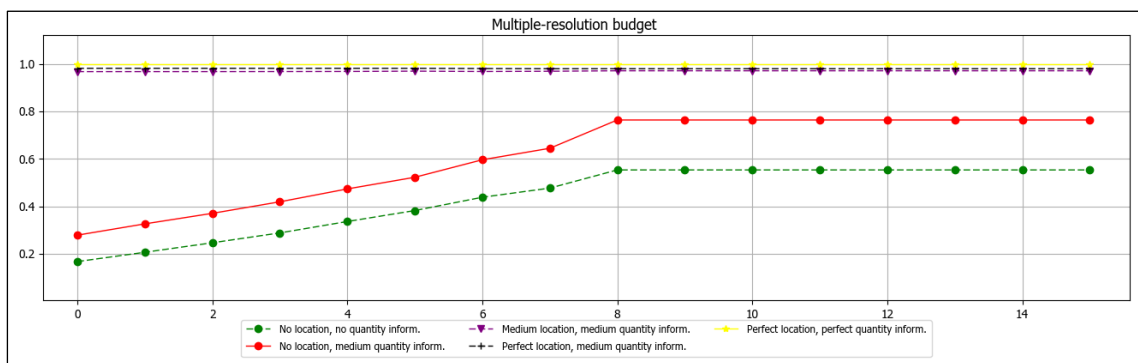
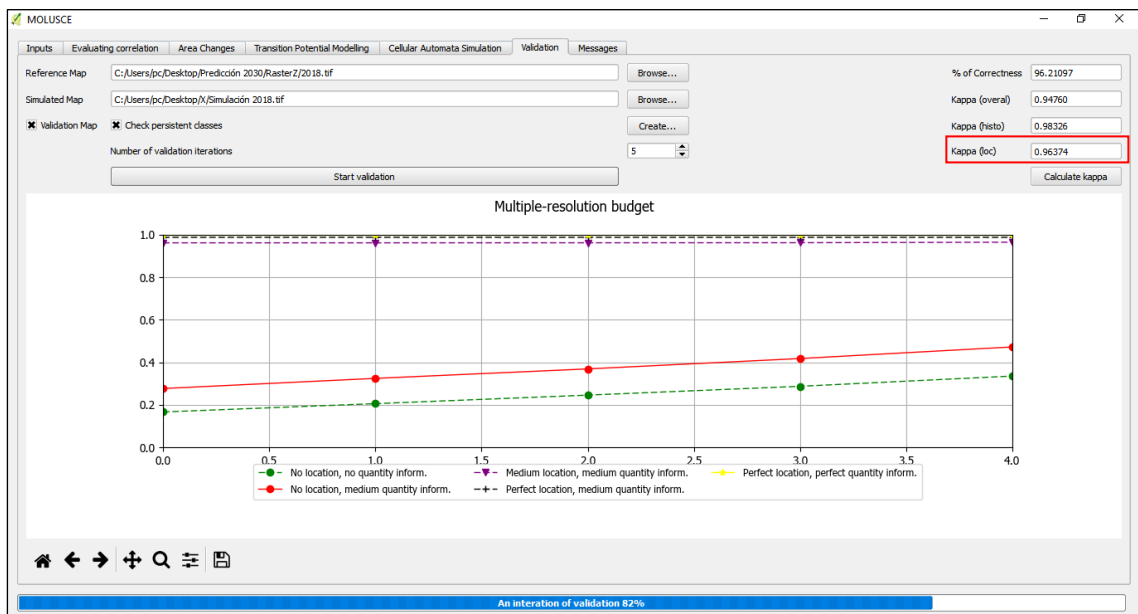
Anexo 2. Procesamiento de las variables de predicción y las coberturas de uso del suelo en el complemento Molusce del programa QGIS 2.18.27 para la simulación y validación de los cambios de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Microcuenca Yuyac, al año 2030.



a. Ingreso de las variables espaciales de distancia a carreteras, centros poblados, red hídrica, altitud y clases de cobertura y uso del suelo (CCUS) de los años 2008 y 2018 para predecir los CCUS al año 2030.

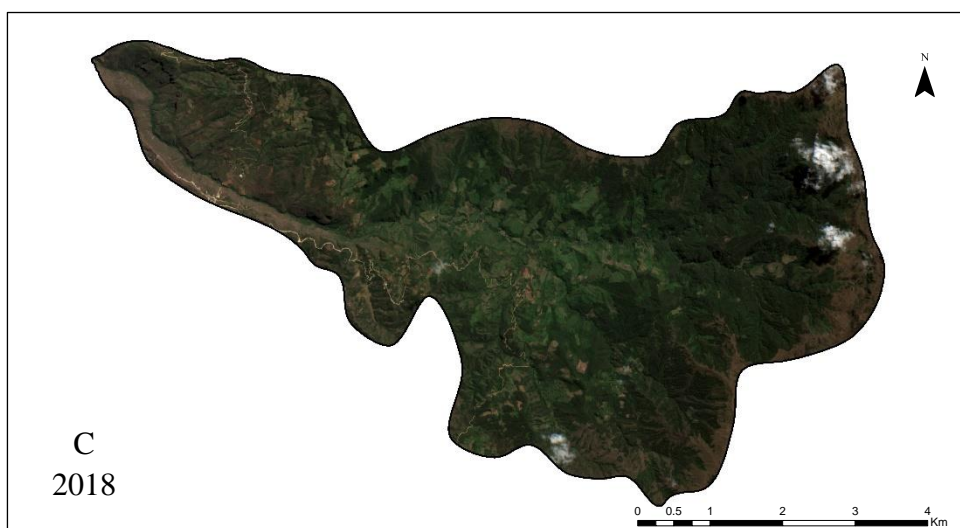
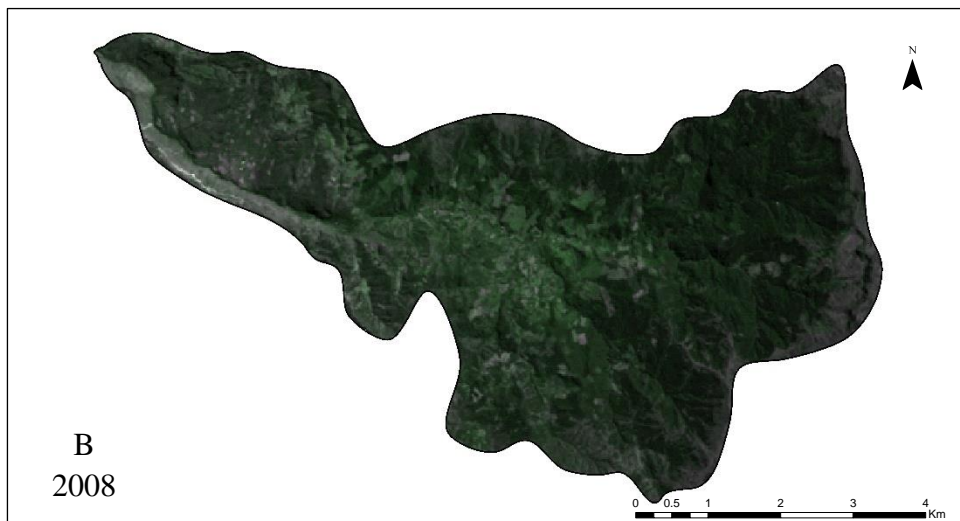
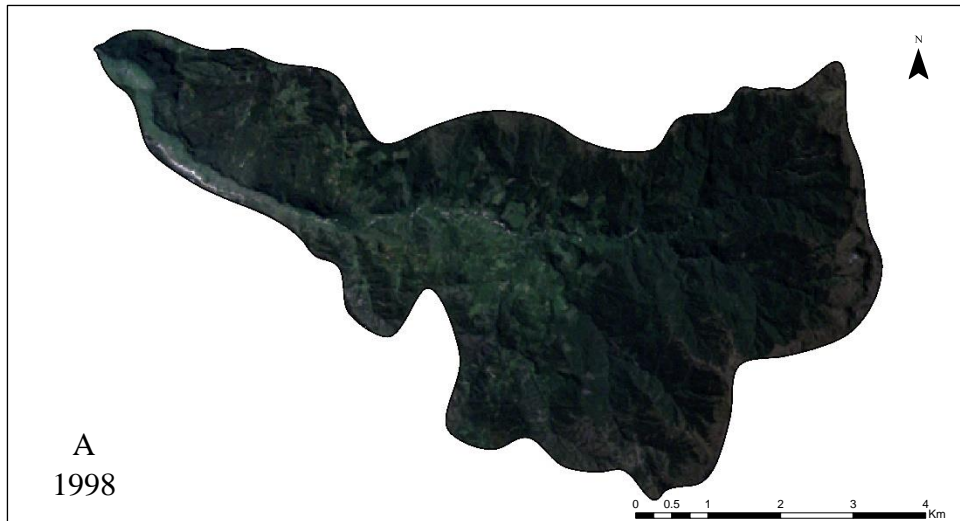


b. Proceso de predicción mediante la Simulación de Automatas Celulares en el complemento Molusce del programa QGIS 2.18.27.

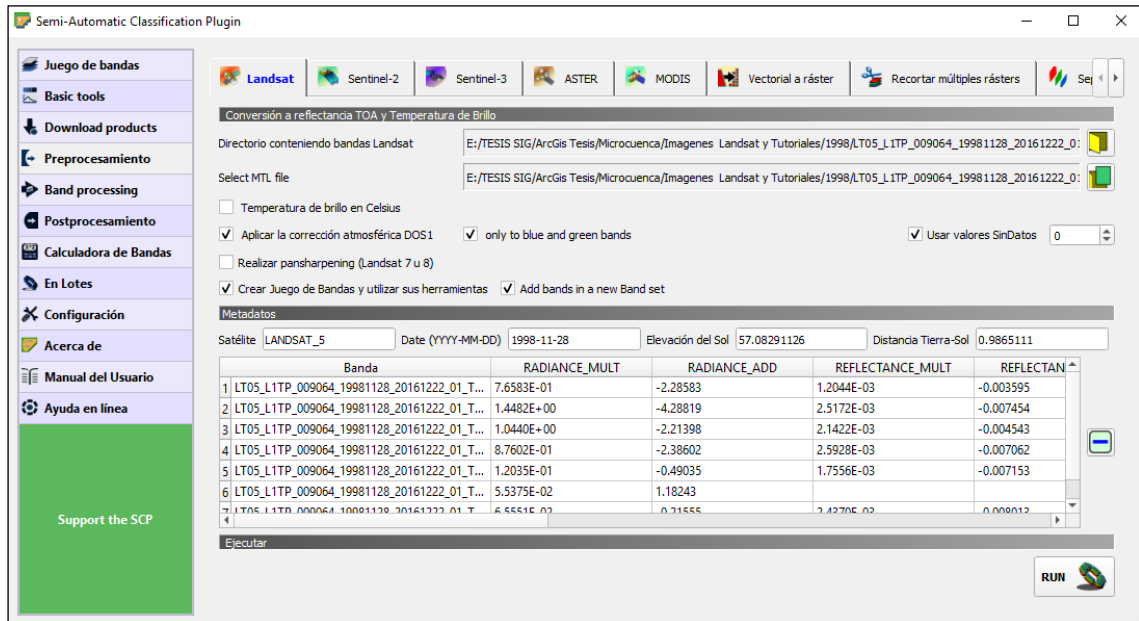


c. Validación de la simulación de la cobertura y uso del suelo mediante la medición del índice de kappa.

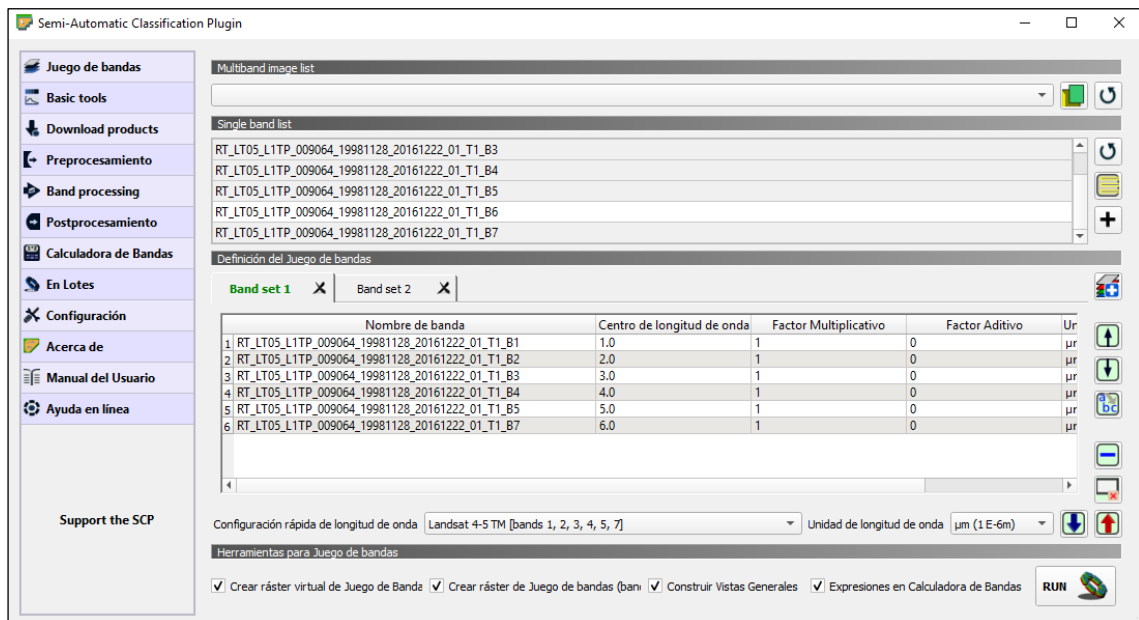
Anexo 3. Imágenes satelitales utilizadas en el análisis cartográfico, adquiridas del Satélite LandSat 5TM (A) para el año 1998, LandSat 5TM (B) para el año 2008, Landsat 8OLI (C) para el año 2018.



Anexo 4. Tratamiento de las imágenes satelitales en el programa QGIS 3.4.



Anexo 5. Combinación de bandas a las imágenes satelitales en el programa QGIS 3.4. (Juego de bandas).

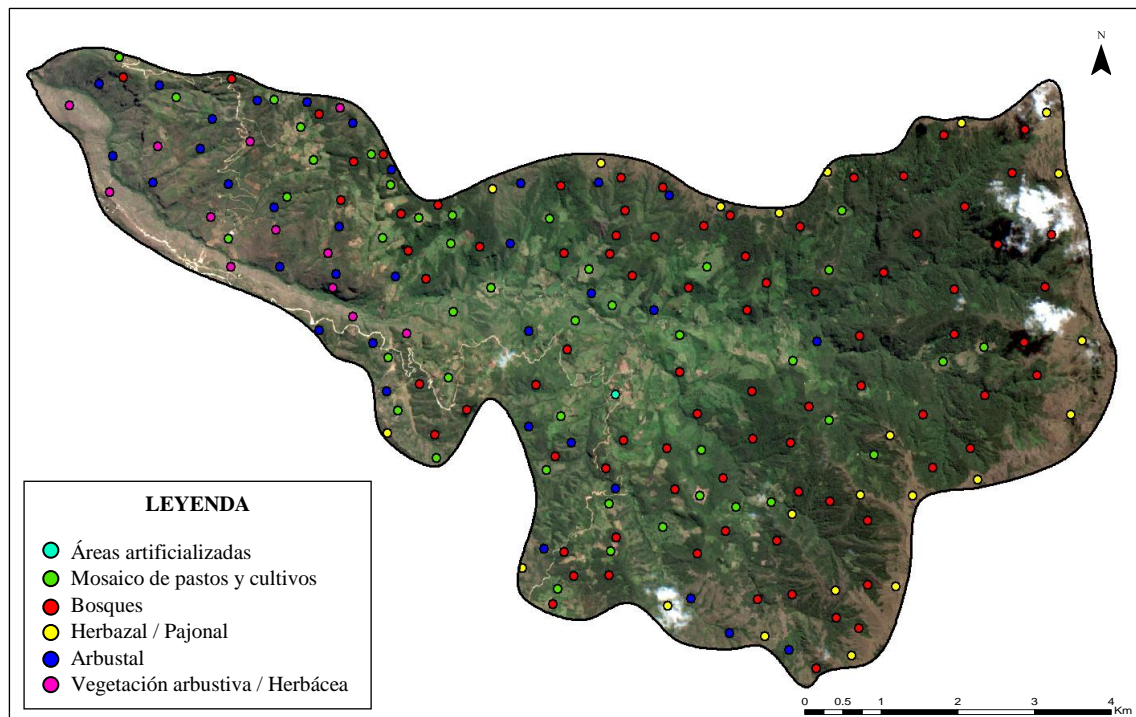


Anexo 6. Áreas de entrenamiento de la Cobertura y Uso del Suelo (CUS) para la clasificación supervisada de máxima probabilidad de las imágenes satelitales.

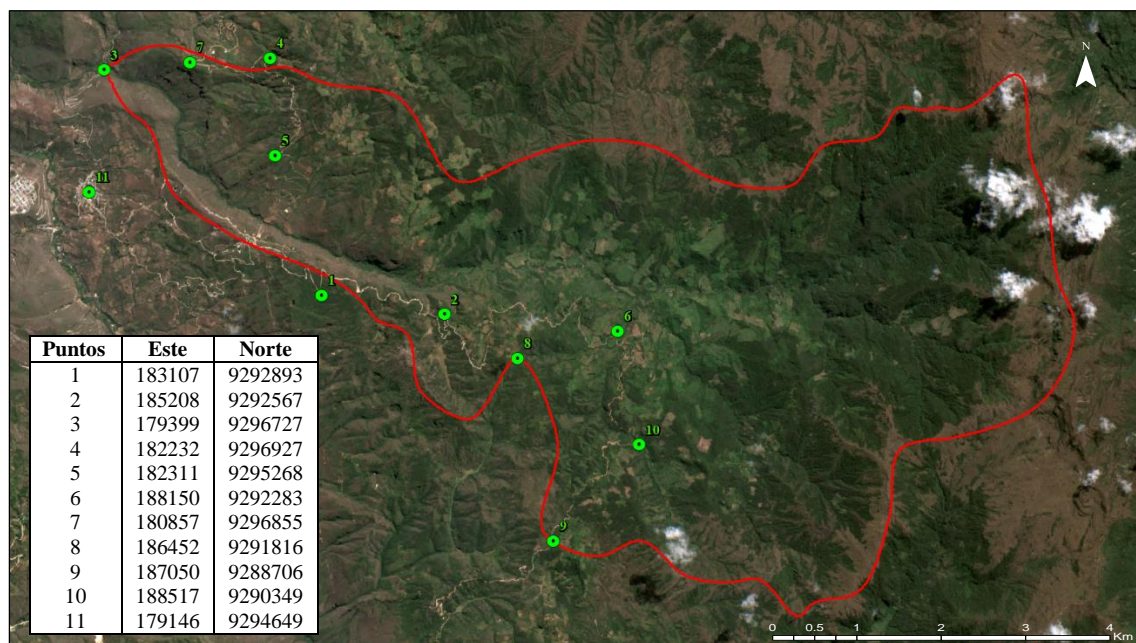
ID	CUS	Este	Norte	Altitud
1	Bosques	192695	9294898	2982
2	Bosques	192272	9293559	2704
3	Bosques	193330	9293841	2878
4	Bosques	193295	9291620	2970
5	Bosques	183820	9296134	2809
6	Bosques	184646	9295769	2931
7	Bosques	184392	9295399	2944
8	Bosques	184207	9294822	2833
9	Bosques	185618	9294731	2965
10	Bosques	185071	9294635	2871
11	Bosques	186190	9294564	2870
12	Bosques	186126	9294040	2653
13	Bosques	187480	9295116	2834
14	Bosques	185395	9291877	2743
15	Bosques	185590	9291290	2775
16	Bosques	186040	9291607	2893
17	Bosques	189187	9291060	2852
18	Bosques	188267	9289012	2950
19	Bosques	190521	9288773	2950
20	Bosques	194235	9294392	3051
21	Bosques	190340	9293990	2908
22	Bosques	184490	9292561	2750
23	Bosques	190208	9291075	2739
24	Bosques	190081	9289821	2875
25	Mosaico de pastos y cultivos	187366	9293111	2565
26	Mosaico de pastos y cultivos	188133	9292556	2622
27	Mosaico de pastos y cultivos	188768	9291960	2638
28	Mosaico de pastos y cultivos	189298	9292728	2610
29	Mosaico de pastos y cultivos	190038	9292595	2796
30	Mosaico de pastos y cultivos	189575	9293932	2775
31	Mosaico de pastos y cultivos	188213	9290188	2810
32	Mosaico de pastos y cultivos	188768	9289751	2796
33	Mosaico de pastos y cultivos	188778	9289246	2943
34	Mosaico de pastos y cultivos	186397	9292504	2876
35	Mosaico de pastos y cultivos	185813	9293136	2557
36	Mosaico de pastos y cultivos	185737	9292749	2765
37	Mosaico de pastos y cultivos	184457	9294665	2850
38	Mosaico de pastos y cultivos	184870	9294284	2811
39	Mosaico de pastos y cultivos	184728	9293914	2750
40	Mosaico de pastos y cultivos	185008	9291713	2703
41	Mosaico de pastos y cultivos	182427	9294233	2250
42	Mosaico de pastos y cultivos	182475	9296352	2624
43	Mosaico de pastos y cultivos	190689	9290249	2815
44	Mosaico de pastos y cultivos	190387	9289948	2791
45	Mosaico de pastos y cultivos	193689	9292401	2966
46	Mosaico de pastos y cultivos	193276	9292329	2860
47	Mosaico de pastos y cultivos	191595	9293770	2899

48	Mosaico de pastos y cultivos	191773	9294669	3036
49	Mosaico de pastos y cultivos	191085	9292440	2806
50	Herbazal / Pajonal	195153	9291383	3376
51	Herbazal / Pajonal	195510	9292574	3368
52	Herbazal / Pajonal	194941	9295511	3320
53	Herbazal / Pajonal	194941	9296291	3307
54	Herbazal / Pajonal	194447	9292967	3250
55	Herbazal / Pajonal	189238	9288561	2900
56	Herbazal / Pajonal	191948	9287926	3183
57	Herbazal / Pajonal	192392	9288412	3279
58	Herbazal / Pajonal	191645	9288842	3100
59	Herbazal / Pajonal	192134	9290298	3200
60	Herbazal / Pajonal	192822	9290357	3312
61	Herbazal / Pajonal	186997	9289253	2800
62	Áreas artificializadas	188268	9291857	2600
63	Áreas artificializadas	187458	9292795	2719
64	Áreas artificializadas	182084	9293812	2401
65	Áreas artificializadas	182585	9296097	2708
66	Áreas artificializadas	185265	9292281	2740
67	Arbustal	187088	9291286	2899
68	Arbustal	191353	9292694	2760
69	Arbustal	189057	9294800	2878
70	Arbustal	186866	9295096	2874
71	Arbustal	183331	9293778	2361
72	Arbustal	187220	9289740	2817
73	Arbustal	189633	9288311	2932
74	Arbustal	190993	9288003	3065
75	Arbustal	190211	9289499	2869
76	Arbustal	186280	9292929	2659
77	Arbustal	185466	9292651	2750
78	Arbustal	180315	9296747	2043
79	Arbustal	182419	9295088	2467
80	Arbustal	183173	9294757	2509
81	Arbustal	182954	9296239	2779
82	Arbustal	182386	9296074	2660
83	Arbustal	181248	9295009	2107
84	Arbustal	180993	9296038	2115
85	Vegetación arbustiva / Herbácea	184182	9296249	2900
86	Vegetación arbustiva / Herbácea	184557	9296017	2900
87	Vegetación arbustiva / Herbácea	182816	9295736	2694
88	Vegetación arbustiva / Herbácea	179901	9296271	2109
89	Vegetación arbustiva / Herbácea	181060	9294731	2269
90	Vegetación arbustiva / Herbácea	182631	9293754	2331
91	Vegetación arbustiva / Herbácea	181671	9295461	2340
92	Vegetación arbustiva / Herbácea	180885	9295580	2076
93	Vegetación arbustiva / Herbácea	183920	9294058	2621
94	Vegetación arbustiva / Herbácea	183372	9293307	2543
95	Vegetación arbustiva / Herbácea	180270	9296163	2130
96	Vegetación arbustiva / Herbácea	183736	9294294	2658
97	Vegetación arbustiva / Herbácea	184037	9294714	2770
98	Vegetación arbustiva / Herbácea	183157	9294377	2495

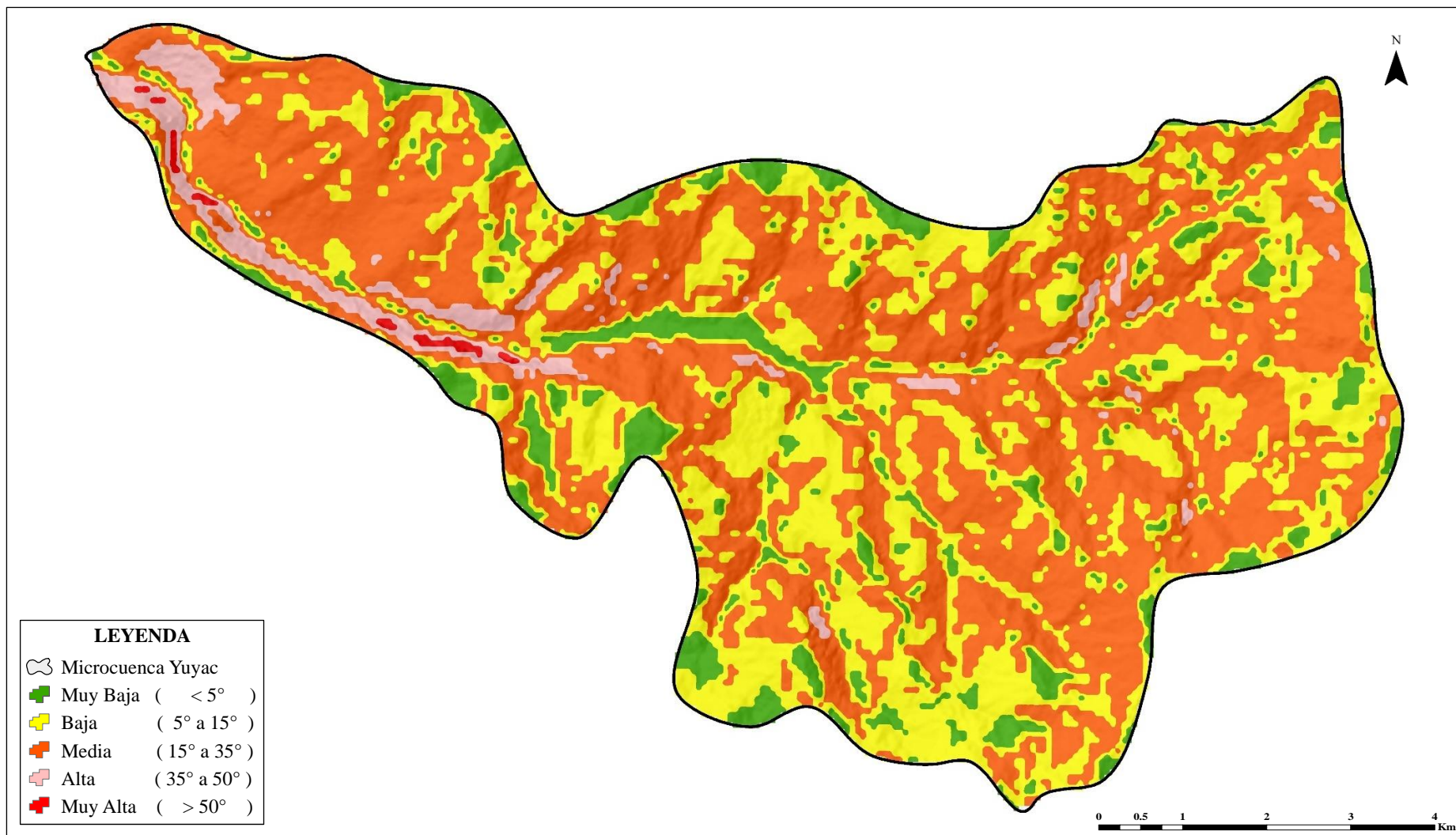
Anexo 7. Sitios de verificación para determinar la exactitud temática.



Anexo 8. Puntos de Control Terrestre para georreferenciar las imágenes satelitales.



Anexo 9. Mapa de pendiente de la Microcuenca Yuyac.

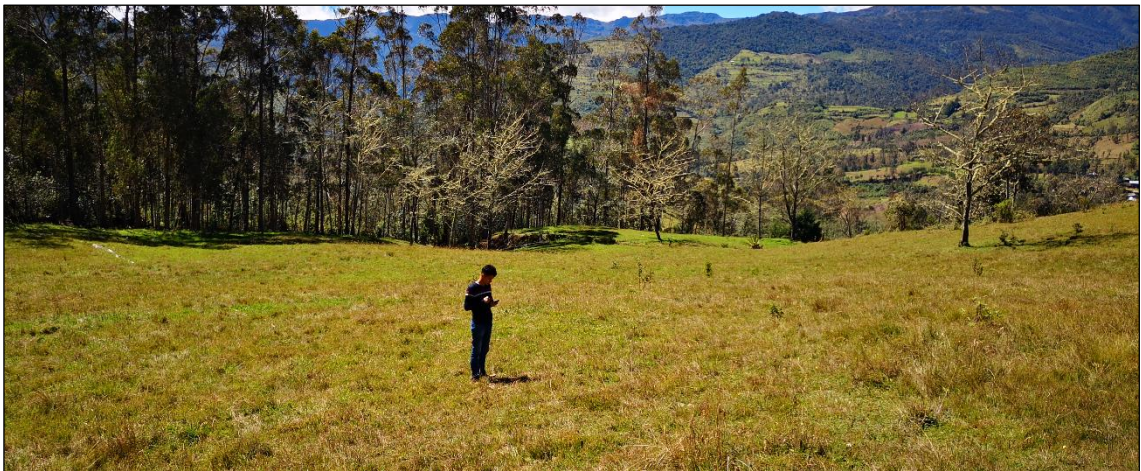


Anexo 10. Panel fotográfico.

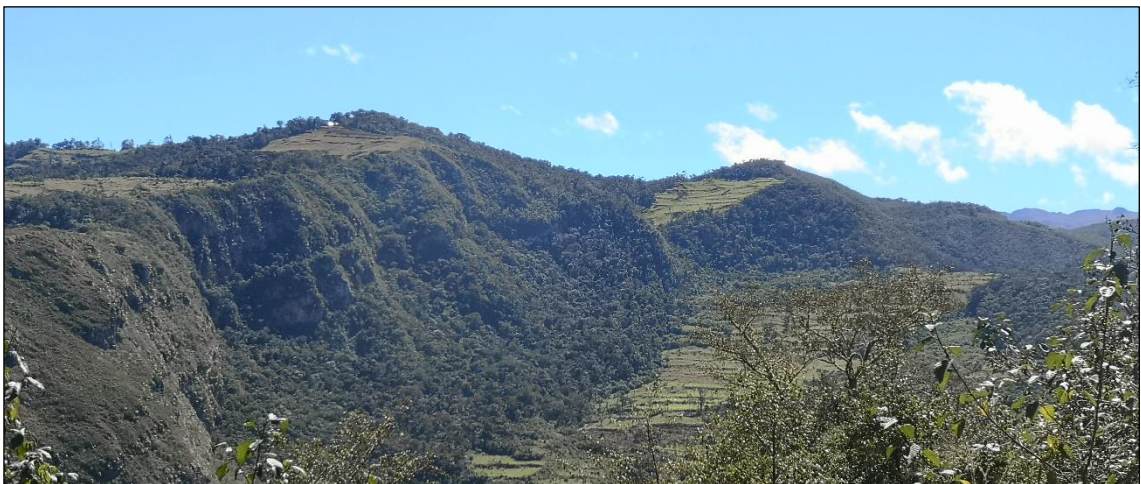
Áreas de entrenamiento del área de estudio levantadas en campo para la clasificación supervisada de máxima probabilidad de las Coberturas y Usos del Suelo (CUS).



Fotografía 1. Arbustal (AR).



Fotografía 2. Pastos (MPC).



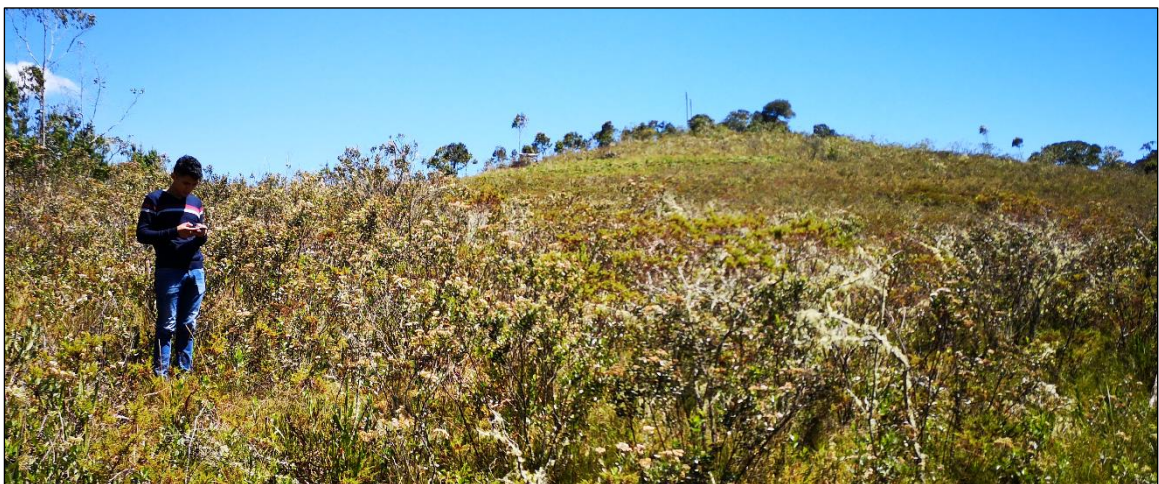
Fotografía 3. Bosque (BO).



Fotografía 4. Herbazal / Pajonal (HP) – Parte alta de la Microcuenca.



Fotografía 5. Cultivo de Maíz (MPC).



Fotografía 6. Vegetación arbustiva / Herbácea (VAH).



Fotografía 7. Centro poblado – Alonso de Orellana (AA).



Fotografía 8. Actividad antrópica intensiva de Mosaico de Pastos y Cultivos (MPC) y Relictos de Bosques (BO).



Fotografía 9. Vista panorámica del área de estudio (Microcuenca Yuyac) con vegetación de pastizales (MPC) y cobertura boscosa (BO).

Puntos de control terrestre (GCP) para realizar la corrección geométrica (Georreferenciación) de las imágenes satelitales del área de estudio.



Fotografía 10. Puntos de control terrestre (GCP) en curvas de carreteras.



Fotografía 11. Puntos de control terrestre (GCP) en cruce de carreteras.



Fotografía 12. Puntos de control terrestre (GCP) en el puente de Alonso de Orellana.



Fotografía 13. Puntos de control terrestre (GCP) en la localidad de Magdalena.



Fotografía 14. Vista panorámica de la localidad de Magdalena.



Fotografía 15. Puntos de control terrestre (GCP) en el Centro Poblado Alonso de Orellana.