

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**“EVALUACION DE COBERTURA VEGETAL
EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA
UTILIZANDO DOS TECNICAS ESPECTRALES
DEL 2000 AL 2020.”**

Tesis para optar el título profesional

INGENIERA AMBIENTAL

Autoras:

Fredesminda Gutierrez Rosado
Karina Ines Vilchez Ortiz

Asesor:

Mg. Julián Ricardo Diaz Ruiz
<https://orcid.org/0000-0002-1870-6648>

Cajamarca – Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JUAN CARLOS FLORES CERNA	18898536
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	IRMA GERALDA HORNA HERNÁNDEZ	40317442
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	MARYURI YOHANA VEGA ERAS	40731433
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

A Dios por darnos sabiduría, salud; a mis padres por su apoyo incondicional y acompañarnos en nuestra formación profesional, docentes por brindarnos sus conocimientos, experiencias aportando al desarrollo y crecimiento profesional y a todas las personas que de una u otra manera aportaron para que esta investigación se haga posible.

Fredesminda Gutiérrez Rosado

Al forjador de mi camino, mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta en mis tropiezos, para mis padres quienes me apoyaron incondicionalmente en este proyecto, a mi hijo quien fue el motor para culminar con satisfacción, a mis abuelitos hasta el cielo con mucho amor y gratitud.

Karina Inés Vílchez Ortiz

AGRADECIMIENTO

A Dios por darnos la vida y a mis padres por darme una educación y ser la base fundamental para seguir adelante Formándonos profesionalmente, así mismo a la Universidad Privada del Norte y a toda la facultad de Ingeniería y docentes que lo conforman los cuales compartieron sus conocimientos, habilidades, experiencias con nosotros, a nuestros amigos que nos ayudaron de manera incondicional para culminar esta investigación con éxito.

Fredesminda Gutiérrez Rosado

Gracias a Dios por el don de la perseverancia para lograr mi objetivo, a mi hijo por su paciencia en este camino, mis hermanos que me impulsaron a seguir, gracias a todos mis amigos en especial a Melissa Murga Mendoza por brindarme su apoyo constante en este trabajo.

Karina Inés Vílchez Ortiz

TABLA DE CONTENIDOS

Pág.

JURADO EVALUADOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática.	13
1.2. Formulación del problema.....	34
1.3. Objetivos.....	35
1.3.1. Objetivo general.	35
1.3.2. Objetivos específicos.....	35
1.4. Hipótesis.	35
1.4.1. Hipótesis general.	35
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	36
2.1. Tipo de investigación.....	36
2.2. Población y muestra.	36
2.2.1. Población.	36
2.2.2. Muestra	36
2.3. Materiales, instrumentos, fertilizantes químicos, abonos orgánicos y métodos. ..	36
2.3.1. Materiales.	36

2.3.2. Instrumentos.	37
2.3.3. Métodos utilizados para procesamiento de datos.	37
2.3.4. Procedimiento.....	41
CAPÍTULO III	89
RESULTADOS	89
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	124
CONCLUSIONES	126
REFERENCIAS.....	128
ANEXOS 01 PLANOS	136

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Características comparativas de Landsat 7 (ETM +) y Landsat 8 (OLI)	31
Tabla 2. Coordenadas que enmarcan la zona de estudio	42
Tabla 3. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha 19 de agosto del 2000.	44
Tabla 4. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, 11 de agosto del 2002.	45
Tabla 5. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, 15 de agosto del 2004.	46
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, 21 de agosto del 2006.	47
Tabla 7. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, 12 de agosto del 2008.	48
Tabla 8. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, 01 de agosto del 2010.	49
Tabla 9. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, 06 de agosto del 2012.	50
Tabla 10. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, 04 de agosto del 2014.	51
Tabla 11. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, 24 de agosto del 2016.	52
Tabla 12. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, 05 de agosto del 2018.	53
Tabla 13. Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, 04 de agosto del 2020.	54
Tabla 14. Parámetros de calibración radiométrica	56
Tabla 15. Simbología de los tipos de cobertura identificados en el área de estudio	82
Tabla 16. Valor numérico asociado a cada tipo de cobertura para el año 2000	85
Tabla 17. Valor numérico asociado a cada tipo de cobertura entre 2002 a 2020	85
Tabla 18. Código matriz de cambio de cobertura.....	88
Tabla 19. Superficie total por año obtenida del análisis espectral de coberturas.	95
Tabla 20. Matriz de codificación de coberturas	98
Tabla 21. Cambios de cobertura, código matriz y código de color	99
Tabla 22. Cambios de cobertura 2000 a 2002, código matriz y superficie.	101
Tabla 23. Cambios de cobertura 2000 a 2004, código matriz y superficie.	103

Tabla 24. Cambios de cobertura 2000 a 2006, código matriz y superficie.	105
Tabla 25. Cambios de cobertura 2000 a 2008, código matriz y superficie.	107
Tabla 26. Cambios de cobertura 2000 a 2010, código matriz y superficie.	109
Tabla 27. Cambios de cobertura 2000 a 2012, código matriz y superficie.	111
Tabla 28. Cambios de cobertura 2000 a 2014, código matriz y superficie.	113
Tabla 29. Cambios de cobertura 2000 a 2016, código matriz y superficie.	115
Tabla 30. Cambios de cobertura 2000 a 2018, código matriz y superficie.	117
Tabla 31. Cambios de cobertura 2000 a 2020, código matriz y superficie.	119
Tabla 32. Taza de cambio para cobertura forestal entre 2000 a 2020	121
Tabla 33. Taza de cambio para cobertura forestal entre 2000 a 2020	121

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura N° 1. Características comparativas de Landsat 7 (ETM +) y Landsat 8 (OLI).....	25
Figura N° 2. Principales bandas espectrales dentro del espectro electromagnético.....	26
Figura N° 3. Ancho de banda OLI y TIRS en Landsat 8 y ETM+ en Landsat 7	30
Figura N° 4. Ubicación de la zona de estudio	42
Figura N° 5. Página interactiva de descarga de imágenes LANDSAT de Earthdata	43
Figura N° 6. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7- 2000	57
Figura N° 7. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7- 2002.	58
Figura N° 8. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7- 2004.	59
Figura N° 9. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7- 2006.	60
Figura N° 10. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7- 2008	61
Figura N° 11. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7- 2010.	62
Figura N° 12. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7- 2012	63
Figura N° 13. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8- 2014.	64
Figura N° 14. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8- 2016.	65
Figura N° 15. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8- 2018.	66
Figura N° 16. Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8- 2020	67
Figura N° 17. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7- 2000.....	68
Figura N° 18. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7- 2002.....	69
Figura N° 19. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7- 2004.....	70
Figura N° 20. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7- 2006.....	71
Figura N° 21. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7- 2008.....	72
Figura N° 22. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7- 2010.....	73
Figura N° 23. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7- 2012.....	74

Figura N° 24. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 8- 2014.....	75
Figura N° 25. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 8- 2016.....	76
Figura N° 26. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 8- 2018.....	77
Figura N° 27. Corrección atmosférica de la imagen LandSat 8- 2020.....	78
Figura N° 28. Combinación RGB de bandas en Envi 5.3	79
Figura N° 29. Calculo de NDVI, software Envi 5.3.....	80
Figura N° 30. Comparación de Combinación RGB 451 Vs color natural	83
Figura N° 31. Comparación de Combinación RGB 451 vs color natural	83
Figura N° 32. Comparación de Combinación RGB 451 Vs color natural	84
Figura N° 33. Aplicación de algoritmo de cambio entre dos mapas	87
Figura N° 34. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2000, NDVI Vs C451	89
Figura N° 35. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2002, NDVI Vs C451	90
Figura N° 36. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2004, NDVI Vs C451	90
Figura N° 37. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2006, NDVI Vs C451	91
Figura N° 38. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2008, NDVI Vs C451	91
Figura N° 39. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2010, NDVI Vs C451	92
Figura N° 40. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2012, NDVI Vs C562	92
Figura N° 41. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2014, NDVI Vs C562	93
Figura N° 42. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2016, NDVI Vs C562	93
Figura N° 43. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2018, NDVI Vs C562	94
Figura N° 44. Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2020, NDVI Vs C562	94
Figura N° 45. Área de cobertura tipo bosque entre 2000 a 2020.	96
Figura N° 46. Área de cobertura tipo No bosque (matorral arbustivo - pajonal andino)	97
Figura N° 47. Cambios de cobertura 2000 a 2002	100

Figura N° 48. Cambios de cobertura 2000 a 2004	102
Figura N° 49. Cambios de cobertura 2000 a 2006	104
Figura N° 50. Cambios de cobertura 2000 a 2008	106
Figura N° 51. Cambios de cobertura 2000 a 2006	108
Figura N° 52. Cambios de cobertura 2000 a 2012	110
Figura N° 53. Cambios de cobertura 2000 a 2014	112
Figura N° 54. Cambios de cobertura 2000 a 2016	114
Figura N° 55. Cambios de cobertura 2000 a 2018	116
Figura N° 56. Cambios de cobertura 2000 a 2020	118
Figura N° 57. Puntos de control	118

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general, determinar el porcentaje de degradación de cubiertas vegetales en el distrito de Cajamarca utilizando técnicas espectrales como el índice de vegetación de diferencia normalizada entre 2000 a 2020, así como evaluar el estado de la cobertura vegetal a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) derivados de imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 y combinación de bandas 451 y 562. Utilizó una metodología de tipo aplicada tecnológica, no experimental – longitudinal – correlacional, el procedimiento se puede resumir en: ubicación de la zona de estudio, selección y descarga de imágenes satelitales, corrección radiométrica y atmosférica, cálculo de NDVI y combinación RGB, análisis dinámico de cambios de cobertura utilizando el algoritmo intersección para calcular los cambios de cobertura en formato vectorial.

Los principales resultados de la investigación muestran que el mayor porcentaje de degradación de cobertura de tipo forestal se dio en el periodo de 2016 a 2018 con un porcentaje de -8.23 %, un porcentaje de - 6.59 % en el periodo de 2010 a 2012 y un porcentaje de 0.28 en el periodo de 2014 a 2016. De igual modo el mayor porcentaje de degradación para la cobertura vegetal de tipo No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) se dio en el periodo de 2000 a 2002, 2008 a 2010 y 2012 a 2014. Con un porcentaje de 1.84, 1.16 y 1.24 respectivamente.

Palabras clave: NDVI, combinación, servicio ecosistémico forestal, degradación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

La pérdida de la cobertura vegetal es uno de los eventos más impactantes a nivel global, pues no solo altera el ciclo hidrológico, sino que produce serios problemas de erosión, salinización, pérdida de productividad primaria y disminución de la capacidad de infiltración de agua para la recarga de acuíferos. Aunados al impacto negativo que estos cambios generan, la pérdida de recursos y de fertilidad de los suelos, así como la merma en la productividad de los ecosistemas. (Pérez y Ortiz, 2006, p14)

Se calcula que 1700 millones de toneladas de carbono se emiten anualmente a la atmósfera como resultado del cambio en el uso del suelo. Una gran proporción del desequilibrio en las emisiones provienen de la deforestación y en general de la pérdida de vegetación. Esto constituye alrededor del 20% de las emisiones globales de carbono. (Suárez y Acosta, 2020, p.3).

El Perú es el segundo país con bosques amazónicos en el mundo (después de Brasil) y el noveno país en el planeta en extensión de bosques en general. Asimismo, es el quinto país en el ámbito mundial con mayor porcentaje de bosques primarios (4%), en relación a la superficie de su territorio nacional. El 60 por ciento de su territorio está cubierto por este recurso forestal, con una extensión de 69.02 millones de ha de bosques, que albergan gran diversidad de especies. Estos cumplen un rol importante en la mitigación y adaptación al cambio climático al proveer bienes y servicios ambientales de gran importancia local, nacional e internacional (Ministerio del Ambiente, 2019, p.1).

En la actualidad, la pérdida de cobertura vegetal en el Perú se viene incrementando de manera alarmante. Según el Mapa de deforestación del año 2020, la deforestación para

ese año fue de poco más de 7.2 millones de hectáreas; esta condición ha generado la emisión de ingentes

cantidades de carbono liberado a la atmósfera. La migración hacia el bosque, la tala indiscriminada, el comercio de madera ilegal, la instalación de cultivos ilícitos, y el comercio ilegal de fauna silvestre siguen avanzando, aún con los esfuerzos realizados hasta el momento (UNODC-MINAM, 2011, p.1).

Entre los factores que conducen a la pérdida de cobertura vegetal se incluyen principalmente: la conversión de bosques y pasturas para cambiar el uso de la tierra con fines agrícolas y pecuarios, a la cual se suman otras actividades como la construcción de infraestructura para el desarrollo urbano y de comunicaciones, la explotación minera y petrolera, y las plantaciones ilegales de coca, agravadas por el precario régimen de tenencia de tierras (MINAM, 2010, p.5).

Dichos procesos, usualmente englobados en lo que se conoce como pérdida de cobertura vegetal, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas. Es por ello que la presente investigación busca determinar los procesos de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo a lo largo del 2000 al 2020 teniendo como centro de atención los servicios ecosistémicos forestales.

El fundamento de la investigación estará basado en autores internacionales, nacionales y locales que aportan de manera directa e indirecta al monitoreo de la degradación de recursos ecosistémicos forestales dentro de los cuales tenemos:

1.1.1. Internacional

Toapanta (2019). Autor que nos aporta la técnica satelital de tratamiento de imágenes satelitales Landsat 8 quien realizó un estudio multitemporal de la cobertura vegetal de

los ecosistemas de la zona sur de la provincia de Chimborazo a través de imágenes satelitales "Landsat 8", el cual tuvo como objetivo específico Realizar un estudio multitemporal de la cobertura vegetal de los Ecosistemas de la zona Sur de la Provincia de Chimborazo a través de imágenes satelitales "LANDSAT 8", en los cuales se determinó sus categorías de acuerdo a los ecosistemas que se encontraban en dichos cantones, a fin de analizar el cambio que ha sufrido la cobertura vegetal en los años 2013, 2015 y 2017. La categoría que más cambio ha presentado en los 5 años es la correspondiente a intervención refiriéndose a las actividades antrópicas, teniendo un incremento del 12% equivalente a 45558,92 ha, en el cantón Pallatanga, en Alausí un 3.86% correspondiente a 6407, 81 ha, Chunchi el aumento fue de un 8.70% correspondiente a 2378,57 ha, Cumandá con 5,90% correspondiente a 936,92 ha y Guamote un aumento del 8,29 correspondiente a 10128,16 ha.

Otro autor de importancia en la investigación es:

Cabrera, Guerrero y Castillo (2020). Quien realizó un estudio acerca de la deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat-8, se analizó los cambios producidos en la cobertura vegetal del Archipiélago de Jambelí al año 2019, debido a la importancia medio ambiental, económica y social, por medio del cálculo de índices espectrales del paquete RStoolbox del software RStudio e imágenes satelitales Landsat 8. Visualmente se presentaron mejores resultados en los índices SAVI, NDVI valores menores a -0,1 y NDWI, los cuales servirán de referencia para el cálculo de los diferentes índices necesarios para el monitoreo de recursos ecosistémicos forestales. Cabrera, Guerrero y Castillo (2020) llegaron

a encontrar que la deforestación de los manglares se debe principalmente a la implementación de piscinas artificiales para la producción de camarón y la extracción de moluscos y crustáceos. Además, como precursores negativos se determinaron las políticas y conflictos socioeconómicos y ambientales entre pobladores e industria acuícola permitiendo se continúe degradando el ecosistema natural.

Suárez y Acosta (2020). Realizaron un estudio que lleva por título "Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio de Samacá, generado por actividades socioeconómicas", cuyo objetivo general fue realizar un análisis multitemporal en el municipio de Samacá, donde se establecieron cambios en la cobertura vegetal, durante los años de 1998, 2001, 2007, 2010, 2016 y 2020; por medio de la metodología Corine Land Cover (técnica espectral basada en el NDVI aplicado en imágenes de tipo Copérnico), identificando los porcentajes de variación de coberturas, en donde se pudo identificar que los cultivos transitorios tuvieron un aumento notorio con el paso de los años y de igual manera los pastos, dando como resultado una fuerza de concordancia buena y muy buena respectivamente, lo cual indica que es viable la generación de dichas proyecciones, ya que servirán como herramienta de planificación dentro del municipio. De igual manera se conoció la relación de la cobertura vegetal y la calidad del agua teniendo en cuenta parámetros tomados en el año 2020 dentro del municipio.

1.1.2. Nacional

Alegre (2017). Realizó una investigación titulada "Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años

1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal". Esta investigación se realizó con el objetivo de describir los cambios que se han dado en la cobertura vegetal de la provincia de Yauyos durante el transcurso de los años de 1997 al 2017, teniendo como población y muestra a la cobertura vegetal que alberga el territorio. Cuya investigación fue de tipo descriptivo correlacional, con diseño de investigación no experimental, de corte longitudinal. Concluyendo a partir de los resultados obtenidos que, al evaluar los cambios acontecidos en la superficie de la cobertura vegetal de la provincia de Yauyos, se determinó que se han dado de manera negativa, donde la cobertura vegetal permanente perdió en 39492.3 ha, (10.5% superficie total), seguido por la cobertura vegetal temporal ascendió en 41974.1 ha, (6% superficie total), y terminando con la cobertura vegetal rala y superficie desnuda que ascendió a 31203.3 ha, (4.5% superficie total).

Delgado (2018). Realizó un estudio acerca de los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal en el área de conservación privada hierba buena-Allpayacku y su área circundante, Amazonas, 2017. Cuyo objetivo general fue evaluar los procesos de cambios de uso de suelo y cobertura vegetal ocurridos entre 1989 y 2017, en el Área de Conservación Privada (ACP) Hierba Buena- Allpayacku y su área circundante. Cuantificándose los usos de suelo y cobertura vegetal para los años 1989, 2003 y 2017. Teniendo como resultado para el año 1989 se encontró que el territorio del ACP tenía el 0.76 ha de superficie ocupadas por pastos y cultivos la cual se redujo en periodo 2003- 2017. En tanto que su área circundante mostró un incremento de la superficie ocupadas por pastos y cultivos, suelo desnudo y Zona Urbana, los cuales sumados constituyen 29% para el año 1989 ,27% en el 2003 y 32% en el año 2017.

Rodríguez (2018). Evaluó los cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS) y la consecuente deforestación en el distrito de Sauce (San Martín), mediante los métodos de clasificación supervisada de máxima probabilidad e interpretación visual interdependiente de imágenes de los satélites Landsat y Sentinel de los años 1986, 1995, 2005 y 2016. Se construyeron matrices de tabulación cruzada y se calcularon tasas e índices anuales de cambio y deforestación. Los resultados reportan que el distrito durante el primer período (1986 – 1995), se determinó una pérdida del 20,71% de la superficie de bosque y una tasa de deforestación anual de 1,11%. En el segundo período de 1995 – 2005, se observó una pérdida del 26,93% de la superficie de bosque, registrándose las mayores tasas anuales de deforestación (1,22%). Finalmente, en el período (2005 – 2016) la pérdida de cubierta de bosque se incrementó al 29,36% y presentó una tasa anual de deforestación de 0,98%. La principal causa fue la expansión agropecuaria migratoria a pequeña escala, favorecida por la accesibilidad de infraestructuras de transporte.

Torres (2019). Realizó un estudio cuyo título fue "Determinación del periodo óptimo para el análisis de deforestación del valle Pichis- departamento de Pasco. Cuyo objetivo general fue determinar el periodo óptimo para el análisis de cambios en la cobertura vegetal mediante un estudio multitemporal de la cobertura vegetal en el Valle del Río Pichis, a partir de un análisis de la dinámica de cambios en periodos cortos de 1 año hasta 10 años, comprendidos entre el 2000 y 2010, mediante técnicas de interpretación visual de imágenes de satélite y procedimientos del álgebra de mapas para la determinación de cambios. Concluyendo que el periodo óptimo para observar cambios en la cobertura vegetal para la micro cuenca del río Pichis es de 10 años. Este periodo indica que la tasa

de cambio para un periodo de 1 a 9 años no muestra cambios significativos, por lo que es posible utilizar como referencia una tasa de cambios obtenida durante este periodo y poder extrapolarla hasta 9 años. En cambio, para un periodo de 10 años, la tasa de cambios obtenida presentará cambios significativos, por lo que no puede ser usada para un análisis menor a este periodo.

Torres y Rivas (2019). Realizaron un estudio titulado "Análisis temporal de la pérdida de cobertura vegetal mediante teledetección en el distrito de Satipo-Satipo-Junín, durante los años 2015 – 2018". Cuyo objetivo general fue de determinar, identificar y cuantificar, la pérdida de cobertura vegetal. La metodología que se empleó es de un nivel de estudio descriptivo correlacional con un diseño de investigación no experimental. Determinando que mediante la teledetección en el distrito de Satipo ha ido variando entre los años 2015 al 2017 donde hubo una disminución del 13% a 6% de todo el distrito, debido al aumento de la agricultura, mientras que en el año 2018 aumento considerablemente de áreas sin cobertura vegetal ocupando un 10% del área total del distrito de Satipo, debido a los fenómenos naturales ocurridos en la zona.

Córdova y Sánchez (2020). Realizaron un estudio acerca de la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, Perú. Cuyo objetivo general fue Analizar la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya. Con una metodología CORINE Land Cover adaptada al Perú por el Ministerio del Ambiente, procesando las imágenes satelitales de los años 2010, 2013, 2015 y 2018 con instrumentos de la teledetección. Logrando identificar como uno de los datos más representativos, la pérdida de la cobertura boscosa,

teniendo en el año 2010 un área de 59 826 ha, para luego en el año 2018 generar una reducción a 19 993 ha, con una disminución de 38 833 ha; a diferencia de la palma aceitera de 31 032 ha en el año 2010, pasó a tener un crecimiento 47 399 ha, obteniendo un área de 78 431 ha en el año 2018.

1.1.3. Local.

Vásquez (2018). Realizó un estudio acerca del análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Chugur periodo 1999 - 2016. Cuyo objetivo general fue analizar los cambios de cobertura y uso actual de la tierra del distrito de Chugur, por medio de imágenes satelitales de los años 1999 - 2016, utilizando la metodología Corine Land Cover y el algoritmo de máxima verosimilitud. la clasificación se realizó con la Metodología Corine Land Cover (CLC) obtenida del Ministerio del Ambiente (MINAM) el cual servirá como referencia comparativa por año, se clasifico en un Nivel III de la Metodología Corine Land Cover en donde se obtuvieron las siguientes categorías: Tejido urbano continuo, Cultivos transitorios, Pastos, Bosques, Herbazal, Arbustal, Afloramientos rocosos, Tierras desnudas y Lagunas. En donde para el año 1999 la categoría predominante fue Herbazal con un área de 3280.00 ha, equivalente al 31.11 % del área distrital y con menor área la categoría tejido urbano continuo con un área de 3.09 ha, equivalente al 0.03 %, para el año 2016 la categoría predominante fue Pastos con un área de 6245.08 ha, equivalente al 59.23 % y la categoría con menor área fue Tejido urbano continuo con un área de 5.09 ha, equivalente al 0.05 % del área total del distrito. Durante este periodo la cobertura que tuvo la mayor pérdida de área fue Herbazal con un área de 1228.51 ha, equivalente al 11.65 % y la cobertura que tuvo la mayor ganancia de área fue Pastos con un área de 3076.34 ha, equivalente al 29.18 % del área total de distrito,

debido a la extensión de actividad ganadera en la zona, esta pérdida y ganancia de área se debió principalmente al factor económico y tecnológico.

Tarrillo (2019). Realizo un estudio titulado "Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Tacabamba años 2003 y 2018". Cuyo objetivo general fue identificar cambios de la cobertura y uso actual del suelo del distrito Tacabamba, provincia Chota, Región Cajamarca; por medio de imágenes satelitales Landsat 5 (2003) y Landsat 8 (2018). Utilizando la metodología y clasificación de cobertura terrestre (Corine Land Cover) propuesta y adaptada para el Perú al nivel III. Se identificó los cambios en las categorías: Suelos desnudos (5.14 ha), áreas urbanas (13.44 ha), bosque denso bajo (124.85 ha), bosque abierto bajo (258.61 ha), cultivos transitorios (316.73 ha), hierbas (582.90 ha), Arbustos (600.02 ha), Pastos (1 253.16 ha). Para los años 2 003 y 2 018. Estos cambios son causados por actividades antrópicas (agricultura, ganadería, deforestación); ocasionando que reduzca la vegetación natural que protege el suelo debido a la búsqueda de nuevos campos agrícolas.

Saldaña (2019). Realizo un estudio titulado "Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Chancay años 2001 y 2018". Cuyo objetivo general analizar los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo del distrito de Chancay provincia de San Marcos departamento de Cajamarca en los años 2001 – 2018, realizando la clasificación supervisada con la metodología Corine Land Cover identificando 7 clases de cobertura: 9.07 ha, de área urbana; 1104.97 ha, cultivos transitorios; 919.74 ha, de hierbas; 506.38 ha, de arbustos; 3601.21 ha, de vegetación arbustiva / herbácea; 356.39 ha, afloramiento rocoso; 612.47 ha, de tierras desnudas, los resultados muestran en

un período de 17 años un cambio de 2470.29 ha, representando el 34.74 % del área total, donde tenemos a la categoría hierbas de 220.35 ha a 699.39 ha, aumentando 479.04 ha, esta categoría ha tenido un crecimiento considerable, implicando la pérdida de otras coberturas, como la categoría cultivos transitorios de 1916.79 ha a 1104.97 ha, perdiendo 811.82 ha.

Gil (2019). Realizo un estudio acerca de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de san silvestre de Cochán, periodo 2001 – 2018. Cuyo objetivo general fue Identificar los cambios de cobertura y uso del suelo en el distrito San Silvestre de Cochán, provincia de San Miguel, departamento Cajamarca periodo 2001 – 2018. Con una metodología Corine Land Cover (base de datos sobre la cobertura y uso del suelo) en un nivel II y III, desarrollado por el Ministerio del Ambiente (2013), Identificándose 6 categorías: Tejido Urbano Continuo (Tu), Cultivos transitorios (Ct), Pastos (Pa), Plantacion forestal (Pf), Herbazal (He) y Arbustos (Ar), las áreas de las categorías de cobertura que tuvieron aumento fueron: tejido urbano continuo 5.32 ha, cultivos transitorios 311.92 ha, pastos 308.35 ha, Bosques plantados 673.30 ha y herbazal 225.98 ha. Por otro lado, disminuyó 1 categoría de: Arbusto 1524 ha, Estos cambios son mayormente causados por actividades antrópicas (agricultura, ganadería, deforestación); ocasionando reducción en la vegetación natural que protege el suelo.

Alberca y Pintado (2019). Realizaron un estudio titulado “cambios de cobertura vegetal en el Santuario Nacional Tabaconas Namballe-San Ignacio-Cajamarca”, mediante imágenes de satélite, periodo 1988 – 2018”. Cuyo objetivo general fue determinar los cambios de cobertura vegetal en el “Santuario Nacional Tabaconas

Namballe-San Ignacio-Cajamarca", mediante imágenes de satélite durante el periodo 1988 – 2018. Llegando a identificar las siguientes categorías: Mosaico de cultivos (Mc), bosque denso alto (Ba), herbazal (He), lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes (La). En el año 1989 la categoría predominante fue bosque denso alto con un área 23887.81 hectáreas, equivalente al 74.36% del área total, con menor área la categoría lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes con un área de 77.93 hectáreas, equivalente al 0.24%. Para el año 1998 la categoría predominante fue bosque denso alto con un área 23970.20 hectáreas, equivalente al 74.62% del área total, el año 2007 la categoría más predominante fue bosque denso alto con un área 23958.56 hectáreas, finalmente para el año 2018 se identificó la categoría más predominante fue bosque denso alto con un área de 24247.81 hectáreas, equivalente al 75.48%.

Córdova y Sánchez (2020). Realizaron un estudio titulado "análisis de la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, Perú". Cuyo objetivo fue Analizar la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya, con una metodología CORINE Land Cover adaptada al Perú por el Ministerio del Ambiente. Logrando identificar como uno de los datos más representativos, la pérdida de la cobertura boscosa, teniendo en el año 2010 un área de 59 826 ha, para luego en el año 2018 disminuir su volumen a 19 993 ha, con una pérdida de 38 833 ha; siendo el caso contrario el de la palma aceitera de 31 032 ha en el año 2010, pasó a tener un crecimiento 47 399 ha, obteniendo un área de 78 431 ha en el año 2018. Estos datos fueron validados por coeficiente de Kappa de 1.000 y una precisión general de 100% y la toma de muestra de 75

puntos aleatorios en campo con ayuda de equipo RPAS-Drone, para así obtener la más fina precisión de las coberturas en la cuenca.

También en la investigación se tuvo en cuenta principios y leyes que rigen y permiten la comprensión del monitoreo de recursos ecosistémicos forestales haciendo uso de técnicas espectrales para lo cual se definirá las siguientes bases teóricas:

1.1.4. Teledetección.

La teledetección es aquella herramienta que nos permite coleccionar información de la superficie terrestre sin necesidad de estar presente en la zona a evaluar. Para que la teledetección sea posible es preciso la interacción entre el satélite y la superficie a evaluar, la información recolectada es almacenado como una imagen (fuente de datos). Para esto se requiere al menos, tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor (Chuvienco, 2012, p.9).

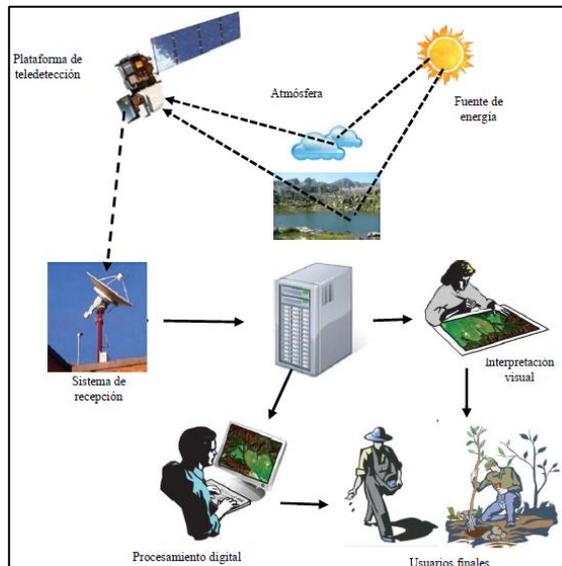
Alonso (2006), define a la teledetección como: "la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material". Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.). En el caso la teledetección la energía electromagnética es reflejada por parte de los objetos y se dirige hacia el sensor, en el caso de sensores pasivos. (p.21)

La disciplina de "Teledetección" tiene como objetivo el estudio de la energía o radiación electromagnética que es detectada por los sensores, debido a que esa energía es determinante al momento de distinguir o evaluar las cubiertas

terrestres, las cuales están conformadas por masas de vegetación, suelo, agua (en sus distintos estados), roca y construcciones civiles. En este punto es preciso también recordar que la atmósfera es una gran porción del sistema terrestre y posee una interacción directa con la principal fuente de energía, el sol, por lo tanto, emite y absorbe parte de esa energía que sirve para estudiar el comportamiento dinámico de la atmósfera por medio de los sensores remotos (Schomwandt, 2015, p.11).

Figura N° 1

Principales componentes asociados con las actividades de teledetección



Fuente: (Chuvieco, 2012, p.1)

1.1.5. Sensores remotos satelitales.

Los sensores remotos montados en plataformas satelitales podrían ser explicados esencialmente y salvando las grandes diferencias, con los actuales sensores que poseen las cámaras digitales. Los sensores están diseñados para captar energía dentro de un rango del espectro electromagnético, esa energía es traducida a información digital, la cual luego es procesada con tratamientos estadísticos –

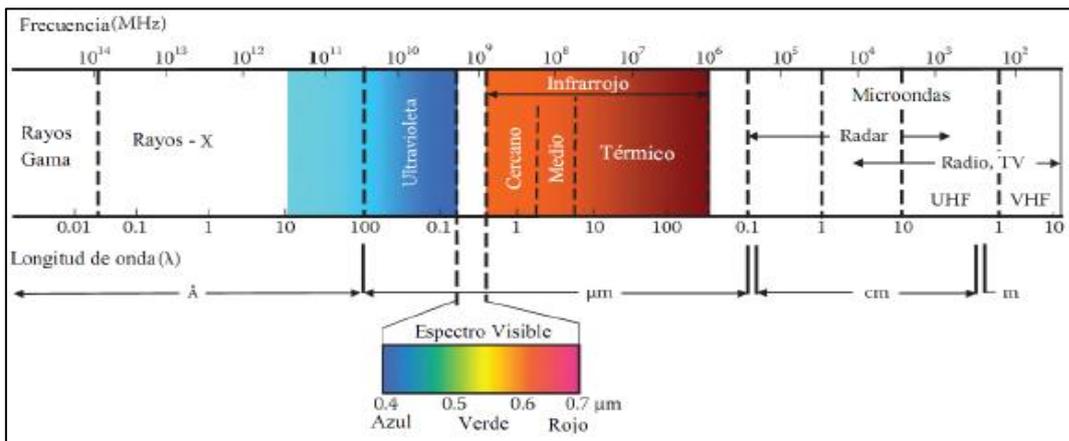
matemáticos para obtener una imagen compuesta en una escala cromática (Schomwandt, 2015, p.12).

1.1.6. Espectro electromagnético.

El espectro electromagnético, es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas, se divide en regiones que se basan en longitudes de onda, que pueden ir desde los rayos gamma hasta ondas de radio, las cuales tienen sus propias frecuencias medidas en Hertz y longitudes de ondas que van desde los micrómetros hasta kilómetros (Chuvieco, 2012, p.44).

Figura N° 2

Principales bandas espectrales dentro del espectro electromagnético.



Fuente: (Modificado de Chuvieco, 2012, p. 10)

1.1.7. Resolución de un sensor.

Los sensores poseen diferentes formas de captar la energía electromagnética, a esto se les denomina resolución (espacial, espectral, radiométrica y temporal) y constituye una capacidad de poder registrar información en detalle de las distintas cubiertas, son varios los factores que definen una resolución entre ellos la resolución espacial de captura y el número y ancho de las bandas que contiene (Meijering et al, 2007, p.133).

1.1.7.1. Resolución espacial.

Es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. Un píxel es la unidad mínima que conforma una imagen digital. La resolución espacial de un sensor se suele expresar en metros o metros/píxel.

Cuanto mayor sea la resolución espacial, es decir, menor superficie represente un píxel de la imagen, más pequeños serán los objetos que se pueden distinguir en la superficie y viceversa (Pérez, 2007, p.25).

1.1.7.2. Resolución espectral.

La resolución espectral indica el número y ancho de las bandas en las que el sensor puede captar radiación electromagnética. Entre más bandas incluya un sensor será mejor, puesto que cada banda constituye una variable la cual sirve para caracterizar la superficie captada. Asimismo, para que su poder discriminante se incremente es preferible que estas bandas sean estrechas. (Rivas, 2013, p.47).

1.1.7.3. Resolución radiométrica

La resolución o sensibilidad radiométrica hace referencia al rango dinámico o número de nivel digital usados al digitalizar la información procedente del sensor (bits por pixel). En general, mayor número de niveles mayor detalle de la información. La resolución radiométrica es variable según la banda espectral bajo análisis. Valores de 64, 128 y 256 e incluso 1024 niveles son valores habituales. (Chuvienco, 2012, p.91).

1.1.7.4. Resolución temporal.

Este tipo de resolución se refiere al intervalo de tiempo entre muestras sucesivas de la misma zona de la cobertura terrestre. El ciclo de cobertura depende de las características de la órbita del satélite, así como del diseño del sensor. bandas sean estrechas. (Rivas, 2013, p.51).

1.1.8. Imagen satelital.

La imagen satelital, permite adquirir información de objetos situados en la superficie de la tierra, sin que el instrumento de medida este en contacto con los objetivos, así mismo permite la posibilidad de restituir y traducir dichas informaciones en cartas de fácil interpretación. (Poma, 2011, p.5).

1.1.9. El programa Landsat.

Antes de 1972, la idea de utilizar datos de satélite para la vigilancia terrestre, la cartografía o la exploración era un concepto visionario. Hecho que da origen al Programa Landsat, el cual se constituye en una serie de misiones de observación de la tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). El programa Landsat ha revolucionado la forma de ver y estudiar nuestro planeta. Esta serie de datos, que se inició en 1972, es la más larga de la historia y continúa registrando los cambios en la superficie terrestre desde el espacio. Landsat ha sido el único sistema de satélite diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra con una resolución moderada; de manera general cada pixel en su imagen tiene un tamaño con el que se podría cubrir un campo de béisbol (Servicio Geológico de Estados Unidos, (USGS, 1972, p.1).

1.1.9.1. Landsat 7.

Landsat 7 fue lanzado en un cohete Delta II desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California el 15 de abril de 1999. El satélite lleva el sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM +). Desde junio de 2003, el sensor ha adquirido y entregado datos con brechas de datos causadas por la falla del Corrector de línea de escaneo (SLC). (USGS, 1999, p.1).

El satélite Landsat 7 orbita la Tierra en una órbita casi polar sincrónica con el sol, a una altitud de 705 km (438 millas), inclinada a 98,2 grados, y rodea la Tierra cada 99 minutos. El satélite tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am +/- 15 minutos (USGS, 1999, p.2).

Los datos de Landsat 7 se adquieren en el sistema de ruta / fila del Sistema de referencia mundial-2 (WRS-2), con una superposición de franjas (o superposición lateral) que varía desde el 7 por ciento en el Ecuador hasta un máximo de aproximadamente el 85 por ciento en latitudes extremas. Los productos de datos creados a partir de escenas Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) están disponibles para descargar desde EarthExplorer , GloVis y LandLook Viewer (USGS, 1999, p.1).

1.1.9.2. Landsat 8.

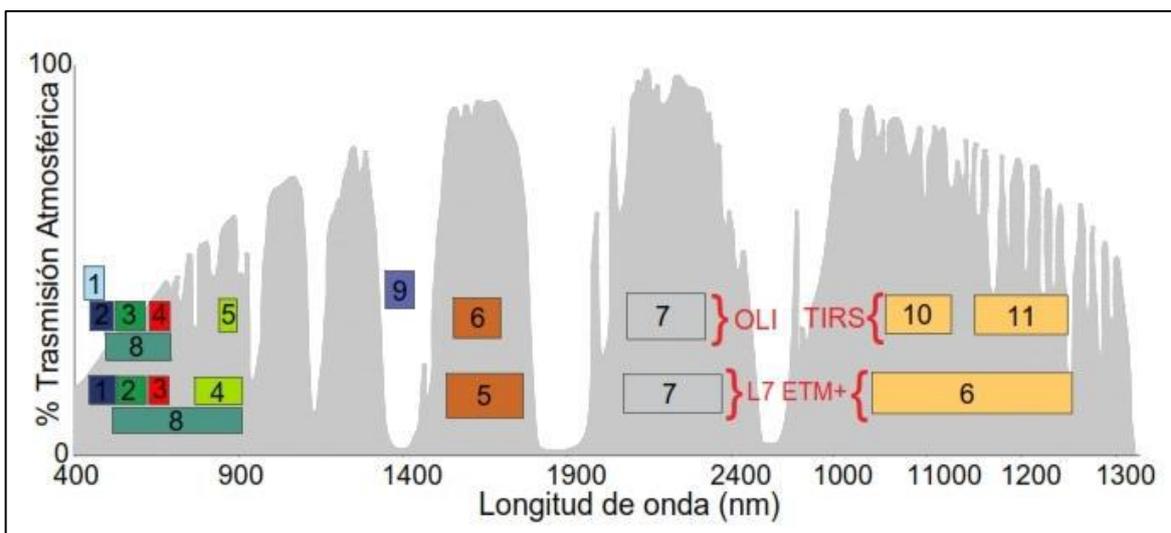
Landsat 8 (formalmente la Misión de Continuidad de Datos Landsat, LDCM) fue lanzado en un cohete Atlas-V desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg, California, el 11 de febrero de 2013. Landsat 8 es el satélite Landsat lanzado más recientemente y lleva los instrumentos

Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS) (Servicio Geológico de Estados Unidos, USGS, 2013, p.1).

Landsat 8 orbita la Tierra en una órbita casi polar sincrónica con el sol, a una altitud de 705 km (438 millas), inclinada a 98,2 grados, y completa una órbita terrestre cada 99 minutos. El satélite tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am +/- 15 minutos (USGS, 2013, p.3). Landsat 8 adquiere alrededor de 740 escenas por día en el sistema de ruta / hilera del Sistema de Referencia Mundial-2 (WRS-2), con una superposición de franja (o superposición lateral) que varía desde el 7 por ciento en el ecuador hasta un máximo de aproximadamente el 85 por ciento en latitudes extremas. El tamaño de una escena de Landsat 8 es de 185 km x 180 km (114 mi x 112 mi). Los productos de datos creados a partir de escenas Landsat 8 OLI / TIRS están disponibles para descargar desde EarthExplorer , GloVis y LandLook Viewer (USGS, 2013, p.4).

Figura N° 3.

Ancho de banda para los sensores OLI y TIRS en Landsat 8 y ETM+ en Landsat 7



Fuente: (USGS. 2013, p. 3).

Tabla 1

Características comparativas de Landsat 7 (ETM+) y Landsat 8 (OLI)

Landsat 7 (ETM+)		Landsat 8 (OLI-TIR)	
Bandas	Longitud de onda μm	Bandas	Longitud de onda μm
Banda - 1 azul	0.45-0.52	Banda 1- aerosol costera	0.43-0.45
Banda 2 - verde	0.52-0.60	Banda 2 azul	0.45-0.51
Banda 3 - rojo	0.63-0.69	Banda 3- verde	0.53-0.59
Banda 4 -Infrarrojo Cercano	0.77-0.90	Band 4-rojo	0.64-0.67
Banda 5 – de onda corta infrarroja	1.55-1.75	Banda 5 – Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 0.88
Banda 6 – Thermal Infrared	10.40-12.50	Banda 6- infrarrojo de onda corta (SWIR) 1	1.57-1.65
Banda 7 – de onda corta infrarroja	2.09-2.35	Banda 7 - infrarrojo de onda corta (SWIR) 2	02.11-02.29
Banda 8 - pancromática	0.52-0.90	Banda 8 - Pancromática	0.50-0.68
		Banda 9 - Cirrus	1.36-1.38
		Banda 10- TIRS 1	10.60-11.19
		Banda 11 - TIRS 2	11.5 12.51

Fuente: (USGS, 2013, p 2).

1.1.10. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los SIG ofrecen numerosas ventajas respecto a la cartografía convencional, puesto que de forma automática permiten manejar datos espaciales internamente referenciados, producir mapas temáticos y realizar procesos de información de tipo digital” (Yepes y Gasca, 2013, p.13).

1.1.11. Software ENVI.

ENVI es el software para la visualización, análisis, y presentación de todo tipo de imágenes digitales. El software de procesamiento de imágenes de ENVI incluye herramientas avanzadas, pero fáciles de usar, para realizar análisis espectral, corrección geométrica, análisis del terreno, análisis de datos radar, capacidad GIS para ráster y vector, amplio soporte de una gran variedad de fuentes de imágenes entre otros. ENVI puede usarse para llevar a cabo numerosas técnicas de análisis de imágenes, como clasificación multiespectral, para aplicar diversos tipos de filtros, georreferenciación de imágenes, transformación a componentes principales, cocientes de bandas y estadísticas de imagen. ENVI también cuenta con un conjunto de herramientas avanzadas para el análisis espectral, diseñadas específicamente para trabajar con datos hiperespectrales y un conjunto completo de herramientas para trabajar con datos de RADAR. Además, ENVI proporciona acceso completo al lenguaje de programación IDL (Interactive Data Language) un potente y fácil de usar, lenguaje de programación cuyos programas pueden ser incorporados fácilmente a ENVI (Ministerio de Agricultura y Riego, MINAGRI, 2018, p.22).

1.1.12. Cobertura vegetal.

Según Morales y Carrillo (2016), es todo tipo de cubierta de vegetación que se pueda encontrar en la superficie de la tierra que contienen diferentes tipos de biomasa con características diferentes físicas y ambientales, como los pastizales hasta las áreas boscosas. (p. 12)

Según Bernnett (1999), capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos. (p. 15.)

La expresión cartográfica de la cobertura terrestre constituye una de las aplicaciones básicas de la teledetección espacial desarrollada con fines de inventarios y diagnósticos espaciales, ordenación territorial y detección de cambios, entre otros (Cerde, 2007, p.44).

1.1.13. Importancia de la cobertura vegetal.

Según Towers y Martini (2002), las coberturas vegetales son un elemento esencial en el gran sistema que llamamos suelo, las plantas absorben y reciclan nutrientes, dióxido de carbono, nitrógeno, azufres y fósforos que están en la atmósfera, absorben agua de los suelos y a su vez, son parte del fundamento básico de la cadena alimenticia que sustenta la vida y proveen al hombre de materiales industriales, plantas medicinales, fibras y resinas.

1.1.14. Cambios de cobertura vegetal.

Los cambios de la cobertura vegetal son generados a partir de la influencia de factores naturales como climáticos (meteorológicos), hídricos y factores antrópicos como el cambio de uso del suelo, cultivos, incendios, construcciones, así mismo estos factores pueden influir en la ascendencia y/o descendencia de las superficies de coberturas vegetales (Ramos, 2007, p.25).

1.1.15. Causas directas e indirectas de la deforestación.

Las causas directas o inmediatas de la deforestación, son actividades humanas que afectan directamente la cubierta forestal y la pérdida de carbono. Estas causas se pueden agrupar en categorías tales como la expansión de la agricultura y agroindustrial, la extensión de la infraestructura, la minería y la extracción de madera (Kissinger, Herold y De Sy, 2012, p.7).

1.1.16. Consecuencias del cambio de cobertura vegetal.

Los cambios en la cobertura de vegetación tienen consecuencias sobre la erosión de los suelos, los procesos hidrológicos y el movimiento de nutrientes en las cuencas, la pérdida del hábitat y biodiversidad, las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero, y en general, sobre la sustentabilidad de a capacidad productiva del territorio (Saldaña, 2019, p.16).

1.2. Formulación del problema.

¿Cuánto es el porcentaje de degradación de cobertura vegetal en el distrito de Cajamarca utilizando técnicas espectrales para su monitoreo entre 2000 a 2020?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Determinar el porcentaje de degradación de cobertura vegetal en el distrito de Cajamarca utilizando dos técnicas espectrales para su monitoreo entre 2000 a 2020.

1.3.2. Objetivos específicos.

Evaluar el estado de la cobertura vegetal a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) derivados de imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 y combinación de bandas.

Calcular el área de los tipos de cobertura vegetal tipo bosque, matorral arbustivo pajonal andino y agricultura del área de estudio entre 2000 a 2020.

Calcular el porcentaje de degradación de los tipos de cobertura vegetal entre 2000 a 2020 en el distrito de Cajamarca.

1.4. Hipótesis.

1.4.1. Hipótesis general.

La cobertura vegetal en el distrito de Cajamarca ha tenido la mayor degradación para el tipo forestal en el periodo de 2016 a 2018 con un porcentaje de 8.23%, y para el tipo No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) en el periodo de 2000 a 2002, 2008 a 2010 y 2012 a 2014, con un porcentaje de 1.84%, 1.16% y 1.24%.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación.

La investigación por su finalidad será de tipo aplicada tecnológica, pues busca generar métodos prácticos dirigidos al sector medio ambiente con el fin de mejorarlo y hacerlo eficiente; con diseño no experimental por el control y relación de sus variables pues no manipulará de manera deliberada e intencional las variables del estudio, será de tipo longitudinal pues se tomará la muestra en diferentes puntos espacio temporalmente y de tipo correlacional ya que se buscará determinar de manera clara la relación entre estas variables. (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014, pp. 91-160.).

2.2. Población y muestra.

2.2.1. Población.

La población de estudio corresponde a las imágenes satelitales Landsat 7 y 8 del distrito de Cajamarca.

2.2.2. Muestra

La muestra se tomará durante el procesamiento y corresponde a las imágenes satelitales que corresponden a los años 2000 a 2020, los pixeles corresponden a la unidad de análisis de cada imagen Landsat que brinden información sobre el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

2.3. Materiales, instrumentos, fertilizantes químicos, abonos orgánicos y métodos.

2.3.1. Materiales.

Libreta de apuntes

Lápiz

Papel bond

Imágenes satelitales.

2.3.2. Instrumentos.

Plataformas satelitales Landsat 7 y Landsat 8

Hojas de cálculo (Excel)

Programas de procesamiento espectral (Envi)

Programa SIG (ArcGIS).

2.3.3. Métodos utilizados para procesamiento de datos.

2.3.3.1. Realce visual.

Las imágenes se trabajarán aplicando realces radiométricos: realce lineal y un realce de ecualización del histograma, con el fin de distribuir uniformemente los niveles de gris y mejorar el contraste de la imagen. Es decir, los realces se emplearán para aumentar la diferencia entre los rasgos de una escena, para apoyar la interpretación visual. (Chuvieco, 2012, p.417).

Para ello se utilizará las bandas de color rojo (654.6nm) e Infrarojo de onda corta 2 (2201nm) por medio del método Kaufman-Tanre, de acuerdo a ITT (2009) este método sirve para estimar de forma más precisa la visibilidad presente en la imagen, por medio de la iteración de valores de visibilidad utilizando razones de cambio entre los valores de píxeles oscuros entre bandas cercanas a los 660nm (canal bajo) y 2200nm (canal alto). Para ello se debe seleccionar el método de extracción de aerosoles de dos bandas (K-T), como

paso adicional se debe ir a la configuración multispectral y en ella buscar la opción de filtro archivo de función.

2.3.3.2. Composición RGB.

En la investigación se planteó el uso de diferentes tipos de combinaciones que permitan discriminar los distintos tipos de cubiertas superficiales dentro de las cuales se tendrá según Saldaña (2019):

La combinación de bandas 6, 5, 2 la cual permitirá realizar análisis para la detección de zonas de uso agrícola. Donde los campos con estos fines aparecerán representados en una tonalidad verde brillante.

Para la detección de vegetación en un estado saludable se utiliza la combinación de bandas 5,6,2 en Landsat 8 observándose una coloración rojo intensa en las zonas con mayor presencia de vegetación.

Con la combinación de bandas 7, 6, 4 en Landsat 8, las áreas urbanas aparecen en tonos magentas mientras que las praderas o pastos se representan en tonos verdes claros. De verde oliva a verde brillante indica áreas forestales (en general los bosques de coníferas son más oscuros que los de caducifolias).

La combinación de bandas 5, 4, 3, es capaz de discriminar en una composición en falso cubiertas como:

Rojo, indica una vegetación sana y bien desarrollada.

Rosa, áreas vegetales menos densa o con vegetación menos desarrollada.

Blanco, áreas con escasa o nula vegetación.

Azul oscuro o negro indica la presencia de agua.

Marrón, vegetación arbustiva muy variable.

Beige-dorado, zonas de transición, prados secos asociados a matorral ralo. (p. 21-22).

Estas combinaciones se realizarán por medio de la herramienta Band Math en el panel Band Algebra, ingresando cada una de las ecuaciones mencionadas.

2.3.3.3. Interpretación Visual.

Para obtener el resultado propuesto, se interpretará visualmente las imágenes de satélite Landsat 7 y 8 desde el monitor de la computadora, mediante la delimitación de las áreas y elementos de interés a través de la digitalización en pantalla, en donde se crearán polígonos que representen los estratos de bosque y no - bosque que darán origen al mapa de cambios. De esta forma, se obtendrá información en formato Shapefile según Torres (2019), a través del uso de la herramienta que el software SIG ArcGIS 10.3 ofrece. (p. 70).

La interpretación de las imágenes se realizará analizando las características de los detalles presentes en las imágenes como: tono y/o color, textura, forma, tamaño, sitio, entre otros, con las combinaciones presentadas anteriormente según Pérez y Muñoz (2006), la cual será de gran utilidad para estudios de vegetación, patrones de suelos, crecimiento de cultivos y monitoreo de drenajes.

2.3.3.4. Interpretación y análisis espectral

El NDVI es un índice de vegetación que se utilizará para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Para obtener este índice debemos operar con las bandas de la imagen de la siguiente forma: "Landsat 8 (5-4) / (5+4)" según el análisis mediante el NDVI en conjunto con el análisis de espectro de firmas permitirá discriminar de forma precisa las áreas y tipos de cubiertas forestales que se tiene en la zona de investigación por año. (Torres, 2019, p. 57).

2.3.4. Procedimiento

Gráfico 1

Procedimiento de investigación



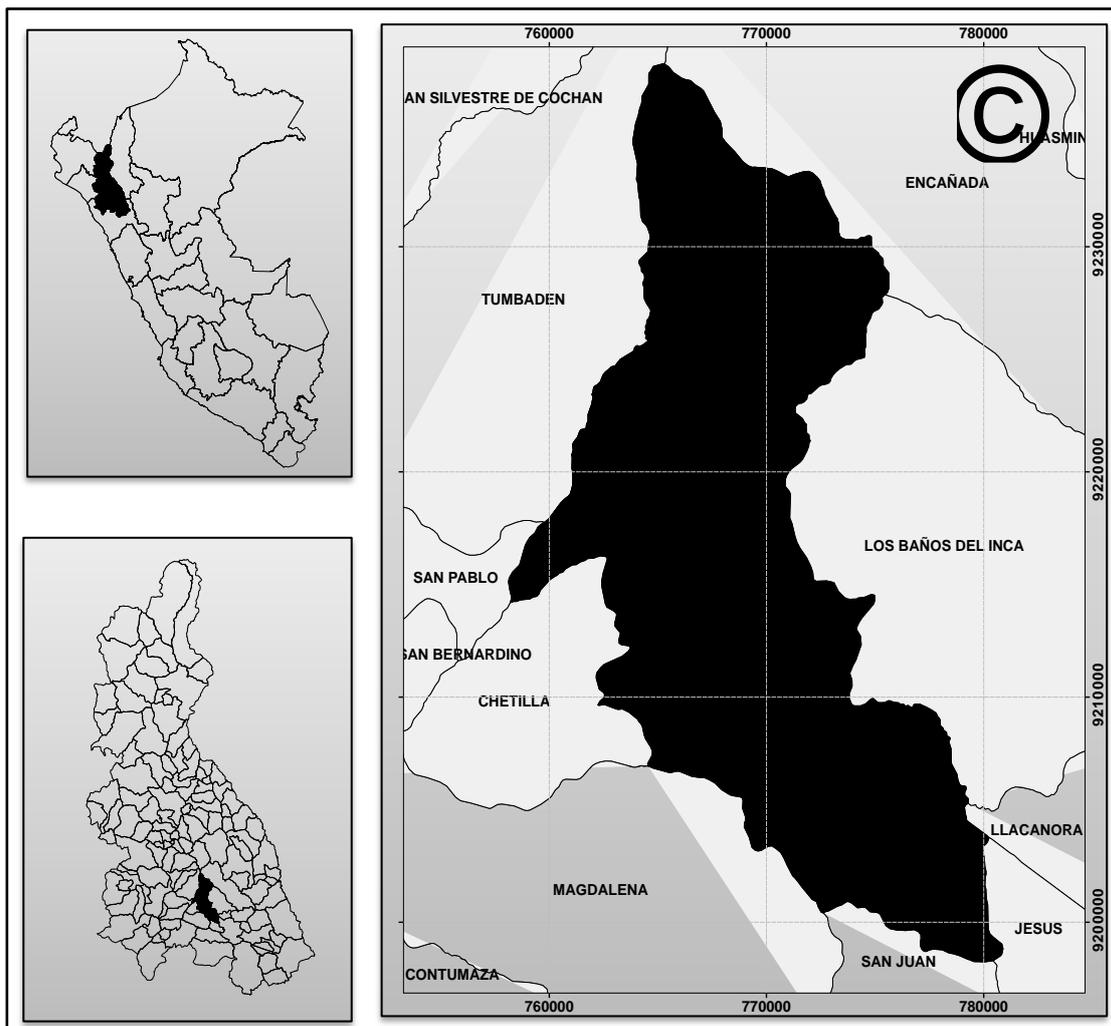
2.3.4.1. Ubicación de la zona de estudio.

El distrito de Cajamarca provincia de departamento de Cajamarca, tiene una extensión 379,00 km², se encuentra a 2719 msnm; limita al norte con los distritos de Tubaden y Encañada, al sur con el distrito de San Juan, al este con el distrito de Baños Del Inca, al oeste con el distrito de San Pablo, al sureste con los distritos de Jesus y Llacanora y al suroeste con los distritos de Chetilla y Magdalena.

Tabla 2
Coordenadas que enmarcan la zona de estudio

Vértices	Coordenadas UTM	
	Coordenada Norte	Coordenada Este
Vértice 1	9238896	753242
Vértice 2	9238896	784596
Vértice 3	9196986	784596
Vértice 4	9196986	753242

Figura N° 4.
Ubicación de la zona de estudio.



2.3.4.2. Selección y descarga de imágenes satelitales

Para la elaboración el monitoreo de la degradación de cobertura vegetal, se seleccionó 10 imágenes satelitales de tipo Landsat 7 y Landsat 8, las que serán procesadas empleando el software Envi 5.3 para su calibración, corrección y combinación de bandas.

Las imágenes de satélite que se seleccionó corresponden a los años comprendidos entre 2000 y 2020, estas fueron descargadas del sitio web de Earthdata (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>) y del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Cabe señalar que para ambas fuentes de adquisición de imágenes se tuvo como criterio de selección, imágenes con 3 subsistemas de información (VNIR, SWIR y TIR), además las imágenes no deben tener más de 30 por ciento de cobertura de nubes, para lo cual es de preferencia obtener imágenes satelitales en tiempos de estiaje.

Figura N° 5

Página interactiva de descarga de imágenes LANDSAT de Earthdata (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>)

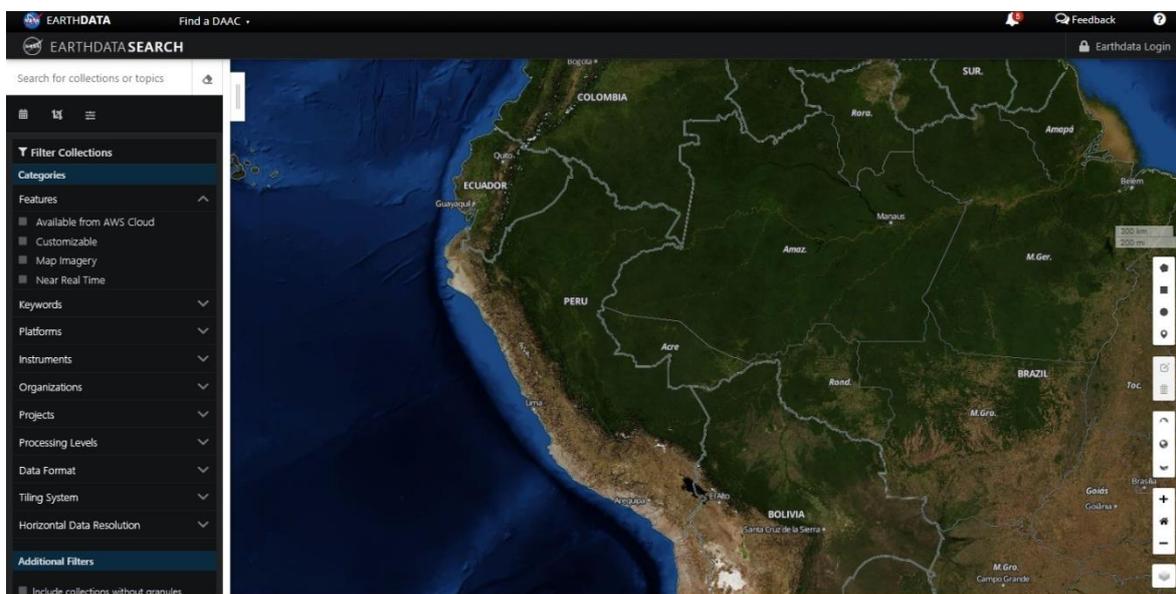
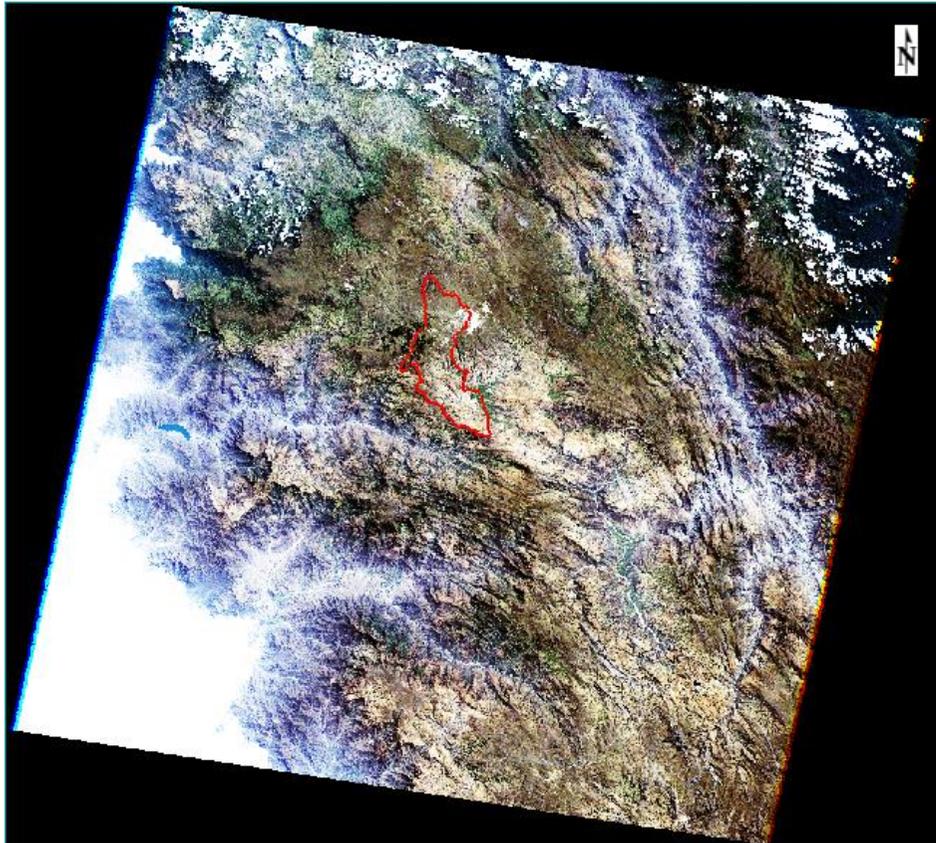


Tabla 3

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha 19 de agosto del 2000.

FICHA TECNICA

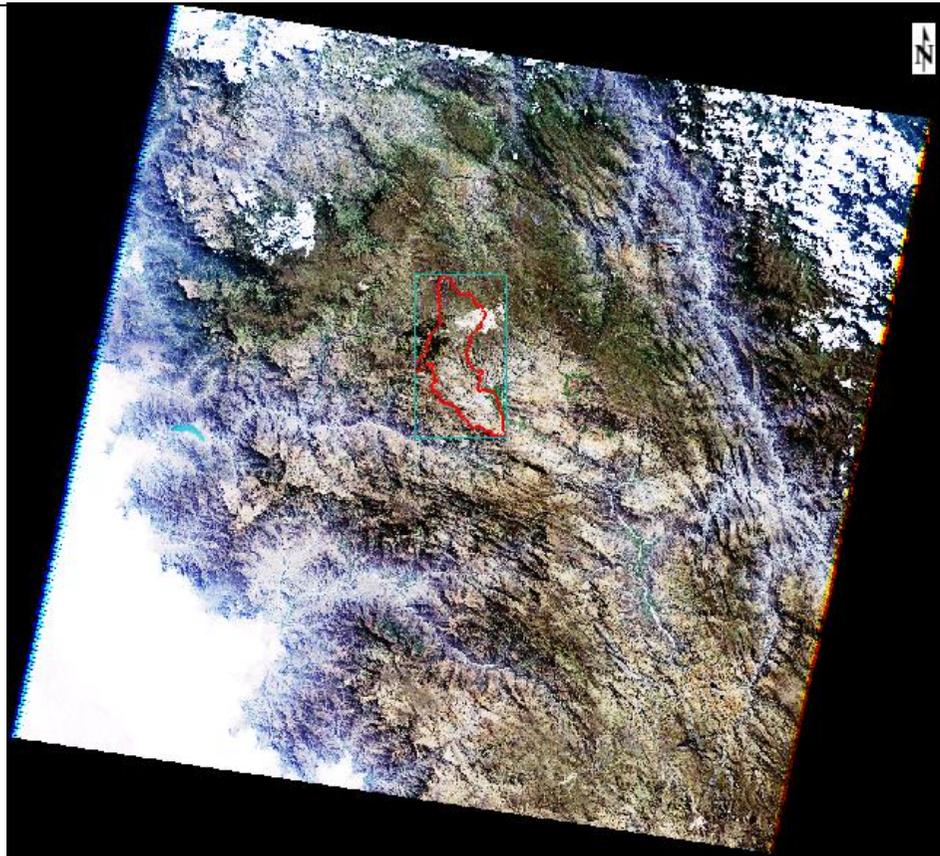


Satélite	LANDSAT 7
Sensor	ETM+
Identificador de escena	LE07_L1TP_009065_20000819_20170217_01_T1
ID	LE70090652000231EDC00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	19/08/2000
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 4

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha 11 de agosto del 2002.

FICHA TECNICA

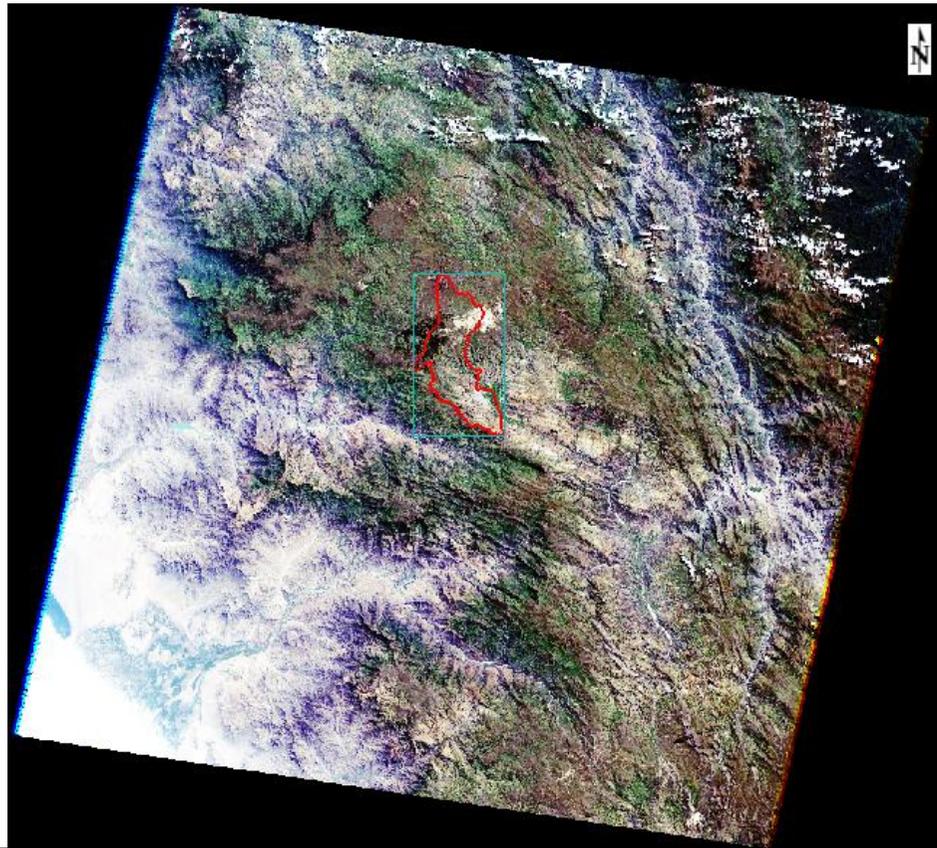


Satélite	LANDSAT 7
Sensor	ETM+
Identificador de escena	LE07_L1TP_009065_20020811_20170129_01_T1
ID	LE70090652002223EDC00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	11/08/2002
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 5

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha de 15 de agosto del 2004.

FICHA TECNICA

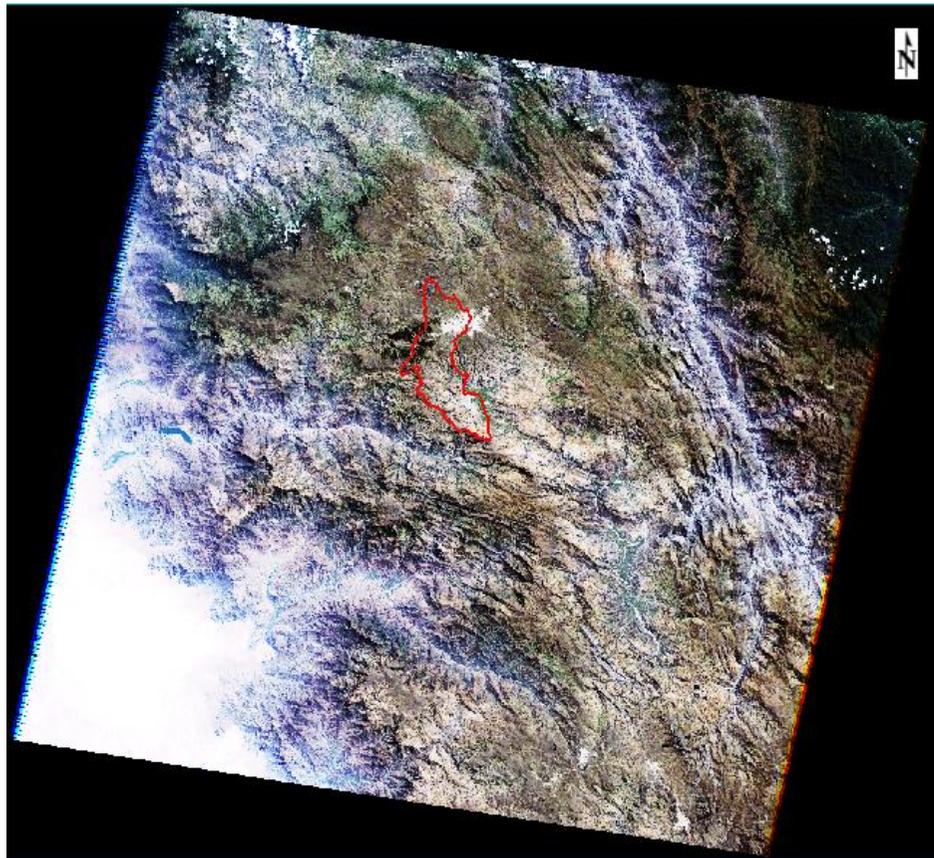


Satélite	LANDSAT 7
Sensor	ETM+
Identificador de escena	LE07_L1TP_009065_20040815_20170121_01_T1
ID	LE70090652004133ASN01
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	15/08/2004
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 6

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha 21 de agosto del 2006.

FICHA TECNICA

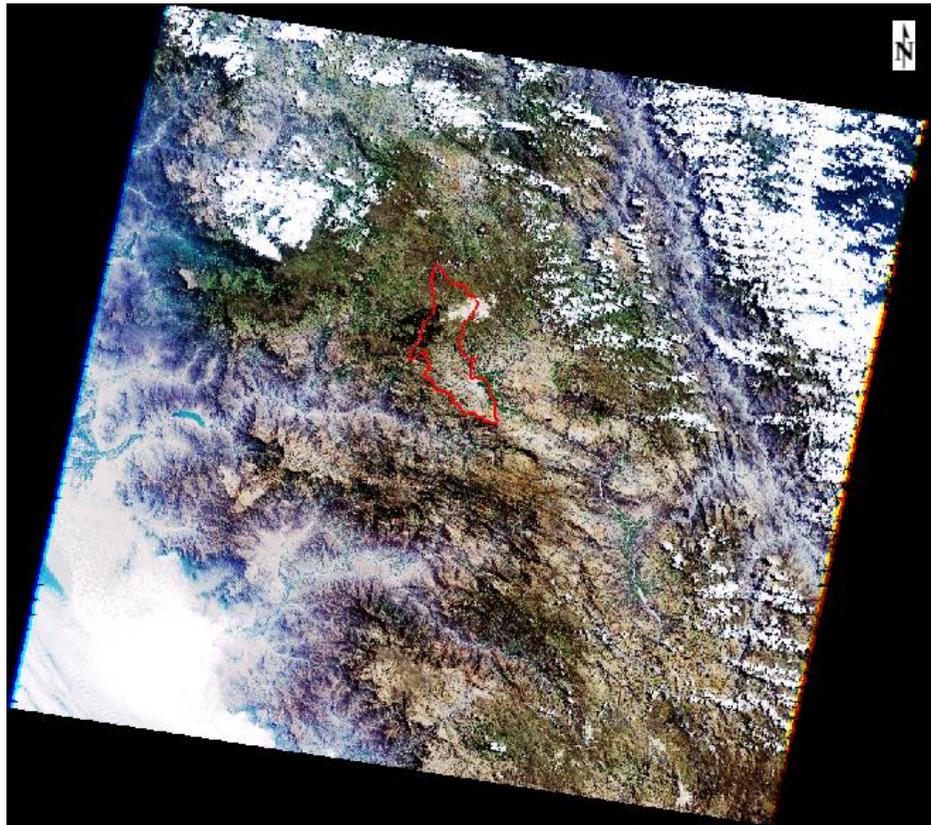


Satélite	LANDSAT 7
Sensor	ETM+
Identificador de escena	LE07_L1TP_009065_20060821_20170107_01_T1
ID	LE70090652006202EDC00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	21/08/2006
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 7

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha 12 de agosto del 2008.

FICHA TECNICA

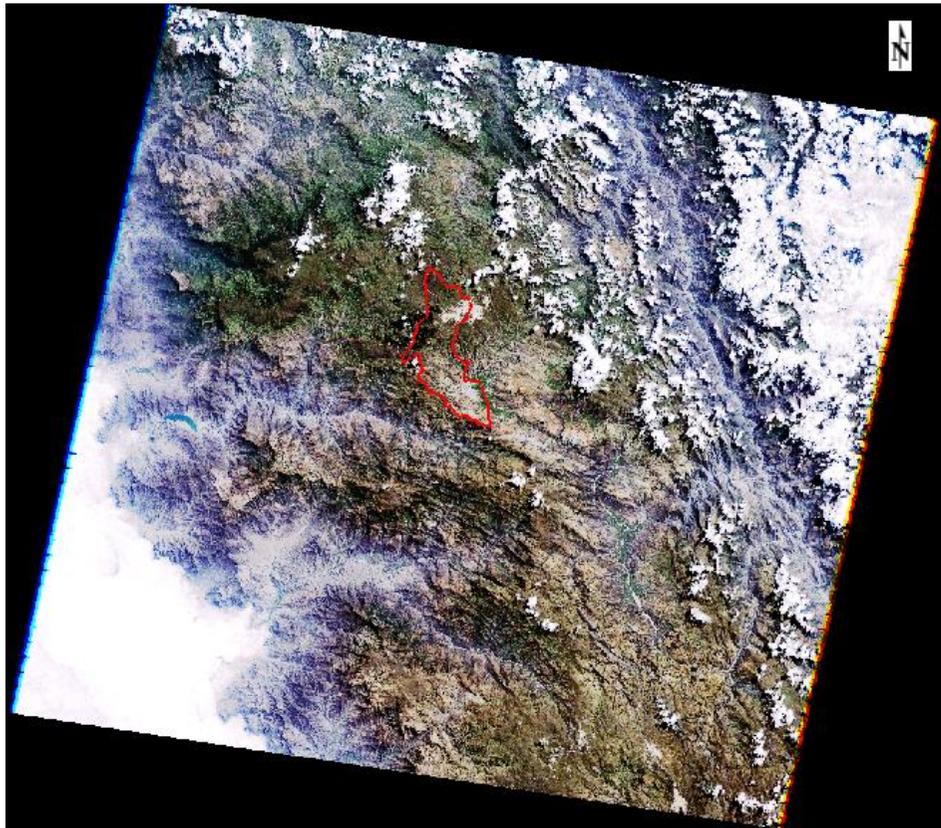


Satélite	LANDSAT 7
Sensor	ETM+
Identificador de escena	LE07_L1TP_009065_20080812_20161225_01_T1
ID	LE70090652008256ASN00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	12/08/2008
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 8

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha 01 de agosto del 2010.

FICHA TECNICA

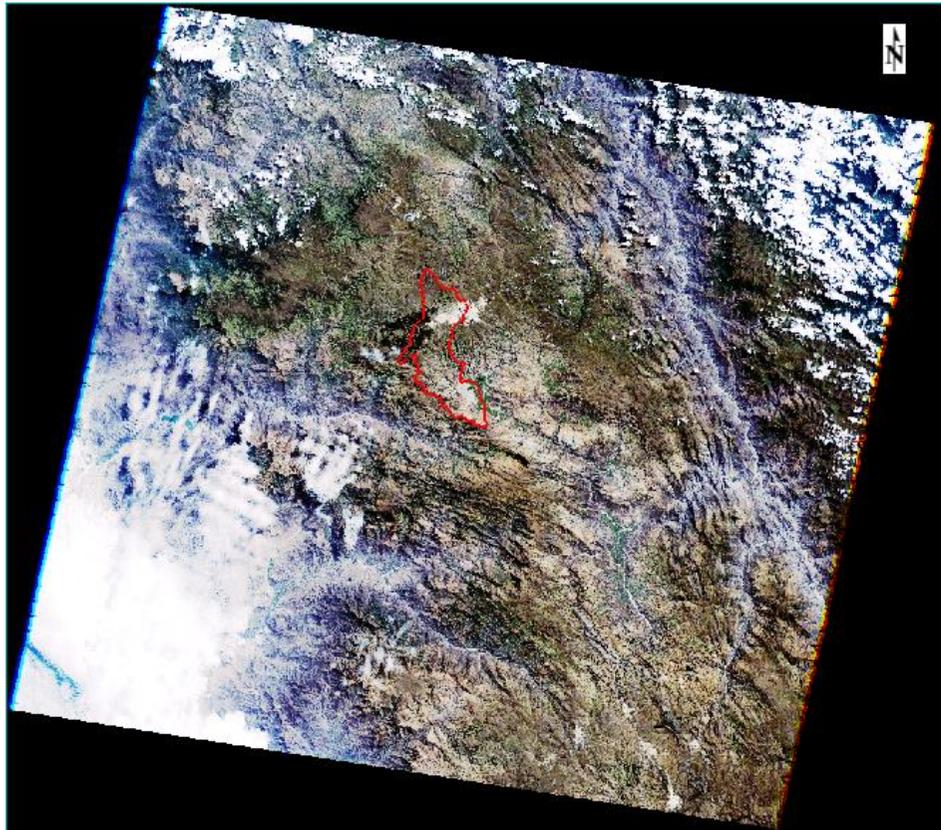


Satélite	LANDSAT 7
Sensor	ETM+
Identificador de escena	LE07_L1TP_009065_20100801_20161213_01_T1
ID	LE70090652010213EDC00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	01/08/2010
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 9

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 7, fecha 06 de agosto del 2012.

FICHA TECNICA



Satélite	LANDSAT 7
Sensor	ETM+
Identificador de escena	LE07_L1TP_009065_20120806_20161130_01_T1
ID	LE70090652012219ASN00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	06/08/2012
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 10

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, fecha 04 de agosto del 2014.

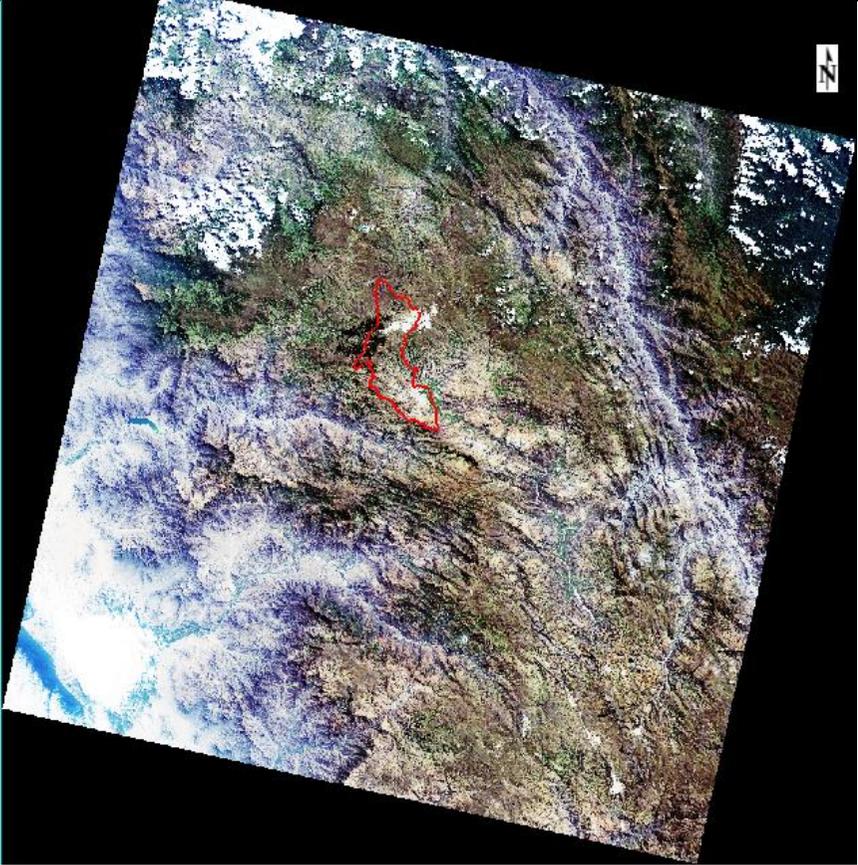
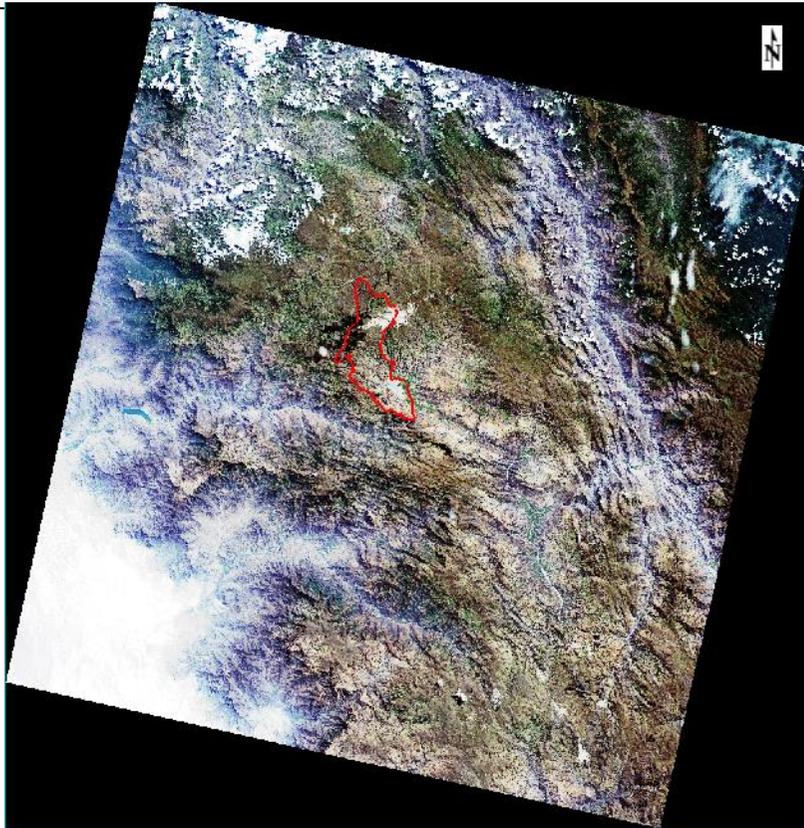
FICHA TECNICA		
	Satélite	LANDSAT 8
	Sensor	OLI TIRS
	Identificador de escena	LC08_L1TP_009065_20140804_20170420_01_T1
	ID	LC80090652014216LGN01
	PATH/ROW	9-65
	Fecha de adquisición	04/08/2014
	Tamaño de pixel	30 m
	Fuente	USGS

Tabla 11

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, fecha 24 de agosto del 2016.

FICHA TECNICA

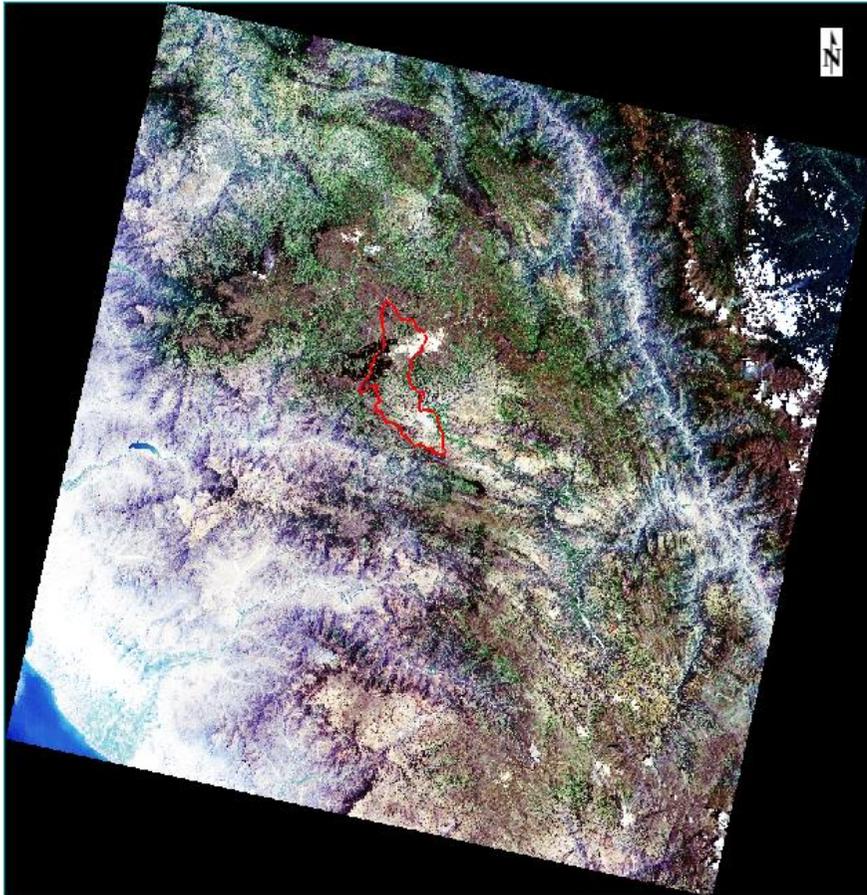


Satélite	LANDSAT 8
Sensor	OLI TIRS
Identificador de escena	LC08_L1TP_009065_20160824_20170322_01_T1
ID	LC80090652016206LGN01
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	24/08/2016
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 12

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, fecha 05 de agosto del 2018.

FICHA TECNICA

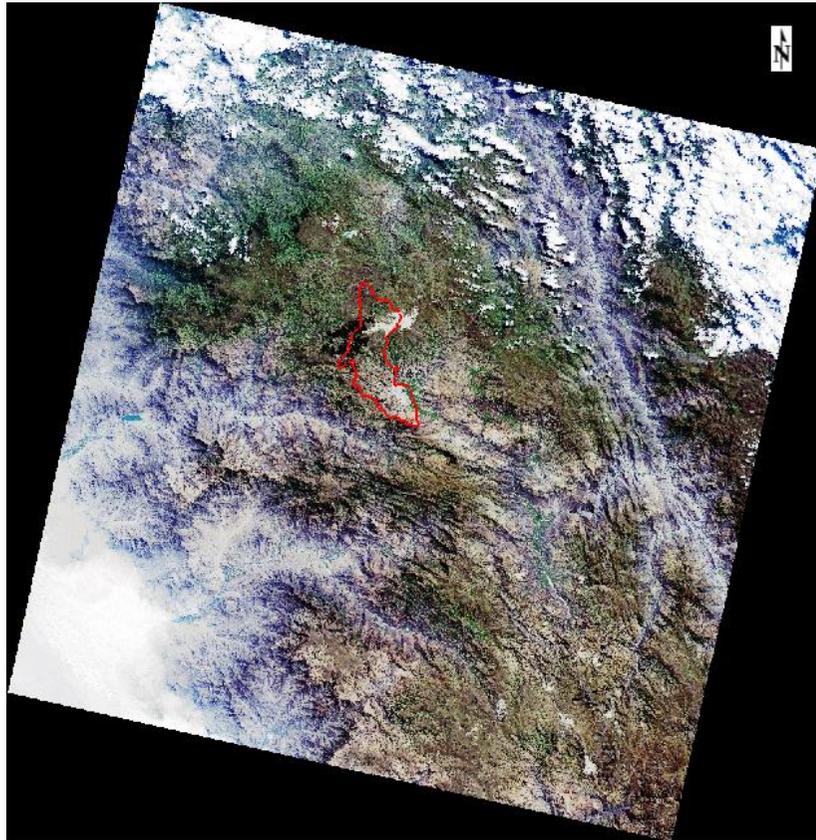


Satélite	LANDSAT 8
Sensor	OLI TIRS
Identificador de escena	LC08_L1TP_009065_20180805_20181211_01_T1
ID	LC80090652018339LGN00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	05/08/2018
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

Tabla 13

Especificaciones técnicas de la imagen LandSat 8, fecha 04 de agosto del 2020.

FICHA TECNICA



Satélite	LANDSAT 8
Sensor	OLI TIRS
Identificador de escena	LC08_L1TP_009065_20200804_20200821_01_T1
ID	LC80090652020217LGN00
PATH/ROW	9-65
Fecha de adquisición	04/08/2020
Tamaño de pixel	30 m
Fuente	USGS

2.3.4.3. Corrección radiométrica y atmosférica

Las correcciones radiométricas buscarán modificar los niveles digitales originales con el objeto de acercarlos a los que tendrían un caso ideal, sin las distorsiones provocadas por la atmósfera y un mal funcionamiento del sensor (Chuvieco 1995, p.257).

Para la corrección de la imagen Landsat 7 y Landsat 8 se tuvo en cuenta que las imágenes Landsat 7 y 8 poseen una resolución de 15 y 30 metros de resolución espacial (multiespectral) y sistema de proyección UTM, Datum WGS84. La toma de estas imágenes inició en 2013 por parte del programa Landsat, con instrumentos de barrido óptico “Operational Land Imager” (OLI) y un sensor térmico infrarrojo “Thermal Infra-red Sensor” (TIRS). Dado que el sensor Landsat 7 y 8 es reciente, será necesario utilizar la versión ENVI 5.0 Service Pack 3 con la actualización para archivos OLI de Landsat 8 (envi50sp3_r4). Para abrir la imagen se accede al archivo que contiene la extensión _MTI.txt, que corresponde al formato de imagen con metadatos disponible para Landsat 7 y 8, este se abre desde la opción de File/Open as/Landsat/GeoTIFF with Metadata. El primer paso para la corrección es la conversión a radiancia. Para esto se debe ir a la opción de Toolbox/Radiometric Correction/ Radiometric Calibration; la imagen inicialmente se despliega dividida en 5 segmentos: multiespectral (que posee los infrarrojos), la banda cirrus, térmica, pancromática y calidad. De todas las opciones que se muestran se debe seleccionar la que termina con MultiSpectral y asignar los diferentes valores de calibración radiométrica según se especifica en la tabla 14.

Tabla 14

Parámetros de calibración radiométrica

Campo	Valor
Tipo de calibración	Radiancia
Intervalo de salida	BIL
Tipo de dato de salida	Flotante
Factor de escala	0.10
Directorio de salida	Nombre y directorio de salida

Fuente: propia, modificado de ITT (2009)

Al finalizar se obtiene una imagen con el cambio de valores de Números Digitales a valores de radiancia, además el tipo de formato de imagen en el archivo de salida es .dat. Esta imagen de datos conserva la información que viene del metadato en formato BIL. Como paso siguiente, se procede a realizar el proceso de la corrección atmosférica. Para ello se abre el archivo de salida (el .dat), posteriormente ir a la herramienta de FLAASH y en el factor de escala utilizar para la calibración es 1. Automáticamente se deben leer del archivo de la imagen los valores de latitud (lat) y longitud (long). Respecto de los parámetros requeridos, en el tipo de sensor dejar la opción desconocido (UNKNOWN-MSI), en altitud del sensor se debe poner 705 km y el tamaño de pixel se coloca automáticamente, al igual que los valores de Lat y Long. La elevación variará en cada una de las imágenes que se vayan a calibrar. Además, la fecha del vuelo y el tiempo de vuelo se deben extraer del metadato.

Figura N° 6

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7, fecha 19 de agosto del 2000.

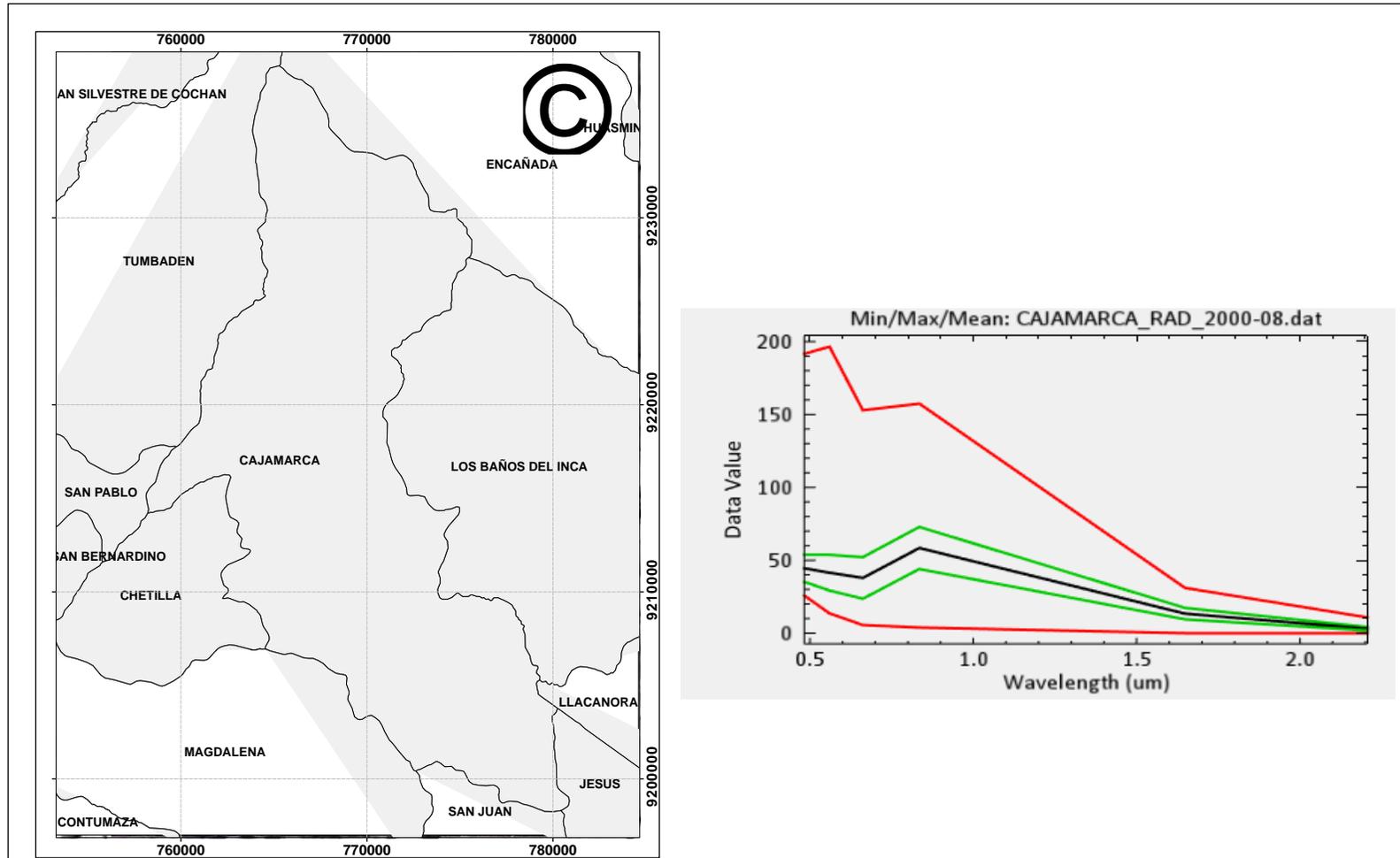


Figura N° 7

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7, fecha 11 de agosto del 2002.

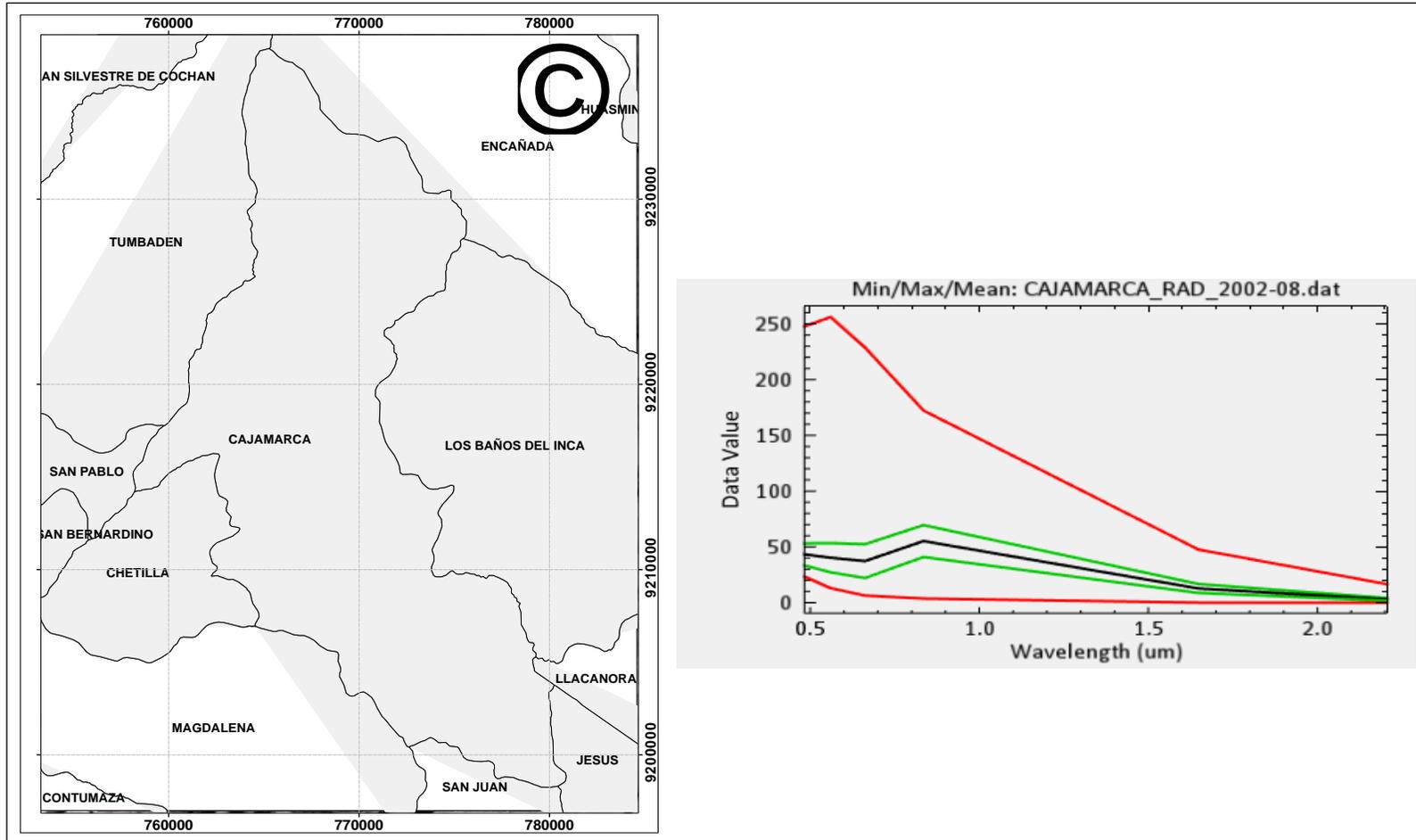


Figura N° 8

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7, fecha de 15 de agosto del 2004.

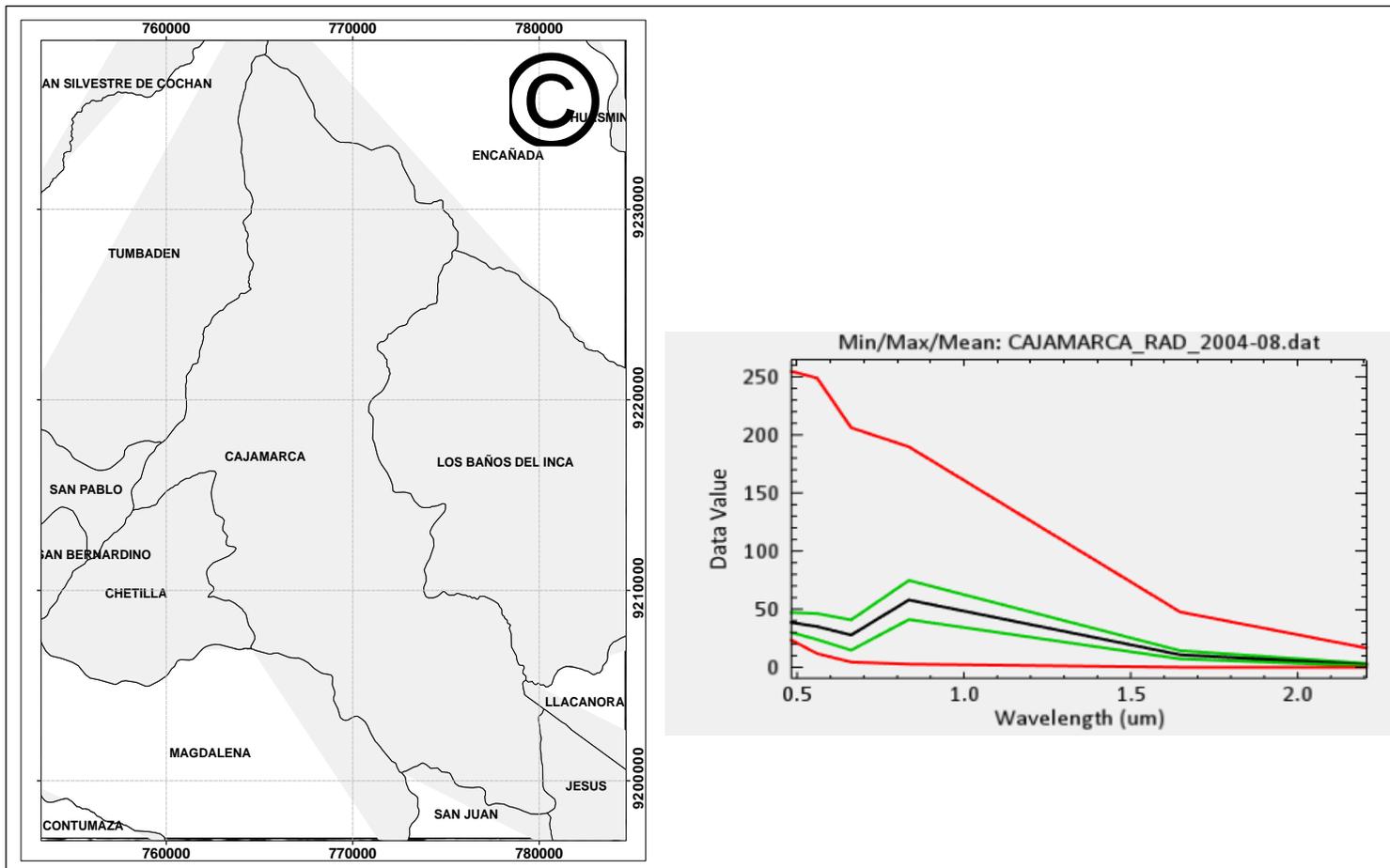


Figura N° 9

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7, fecha 21 de agosto del 2006.

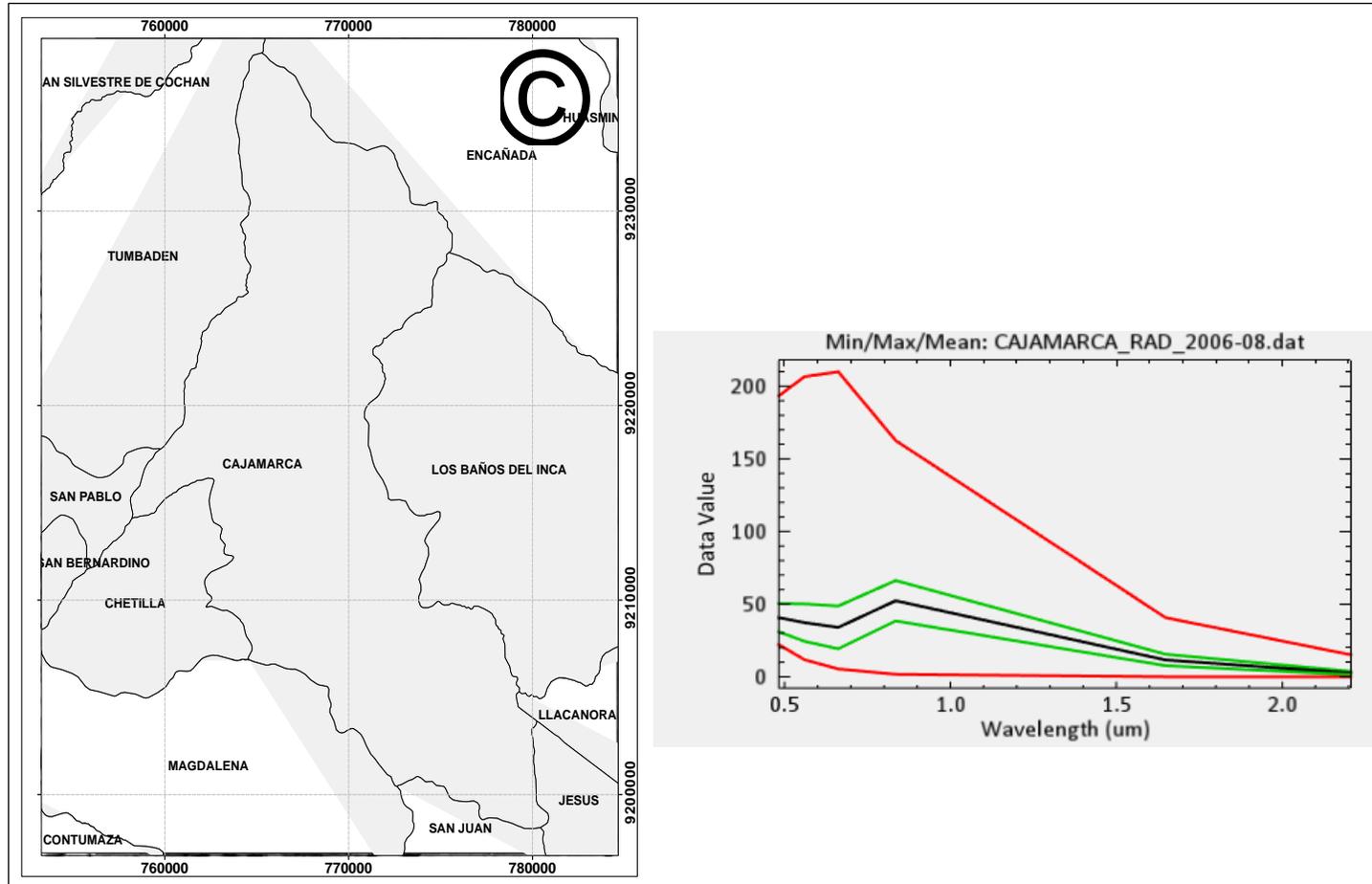


Figura N° 10

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7, fecha 12 de agosto del 2008.

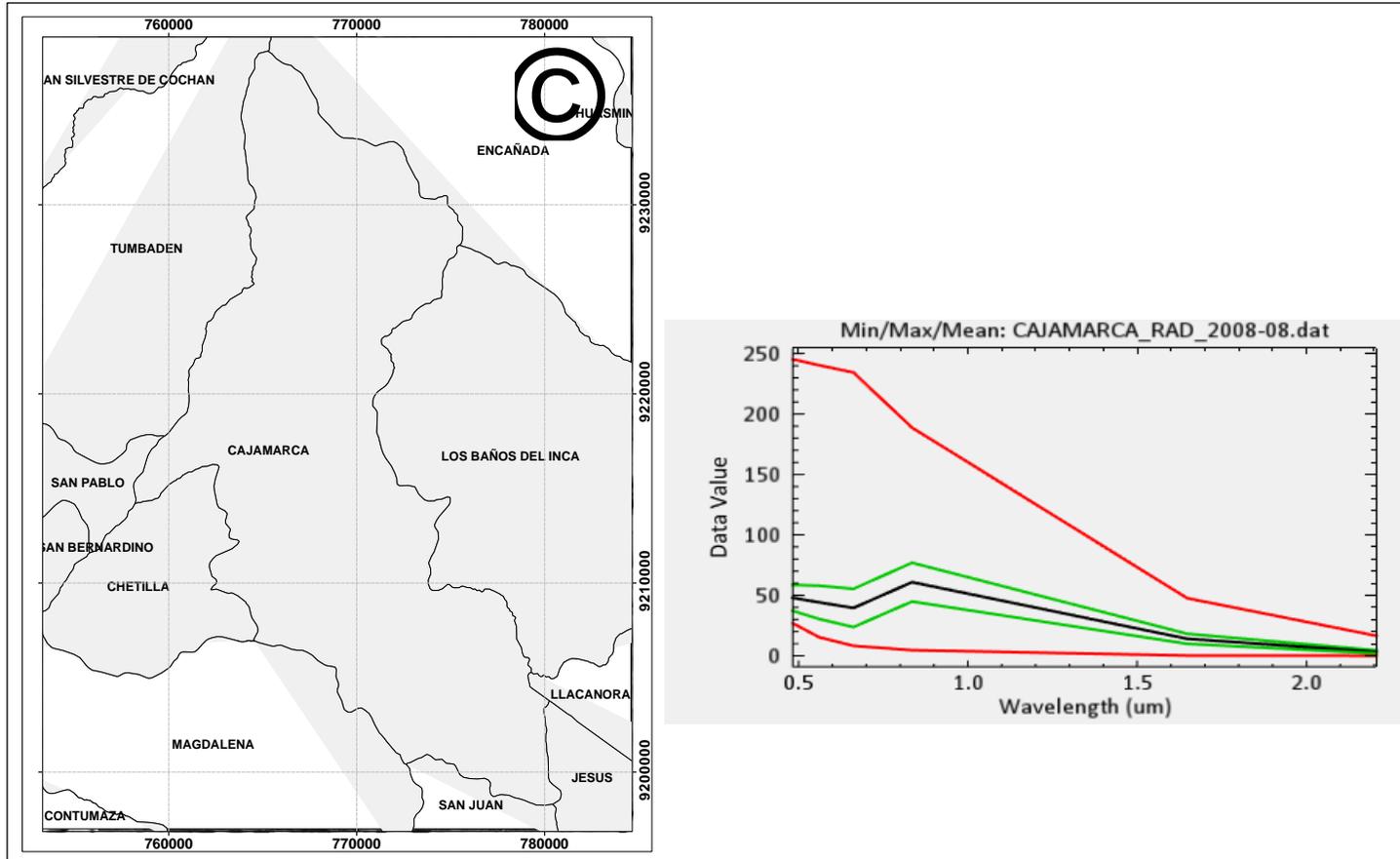


Figura N° 11

Corrección radiométrica de la imagen Landsat 7, fecha 01 de agosto del 2010.

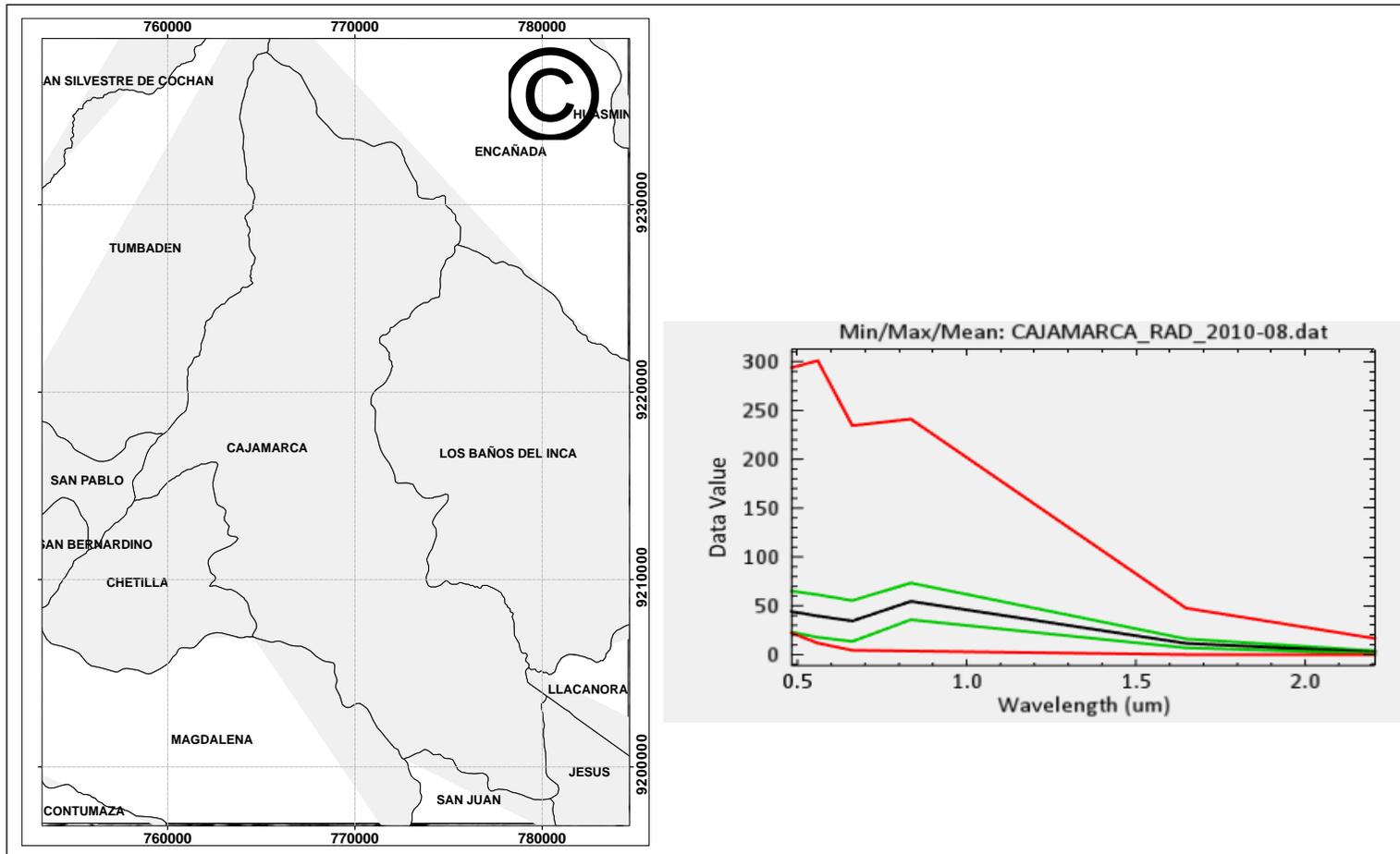


Figura N° 12

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 7, fecha 06 de agosto del 2012.

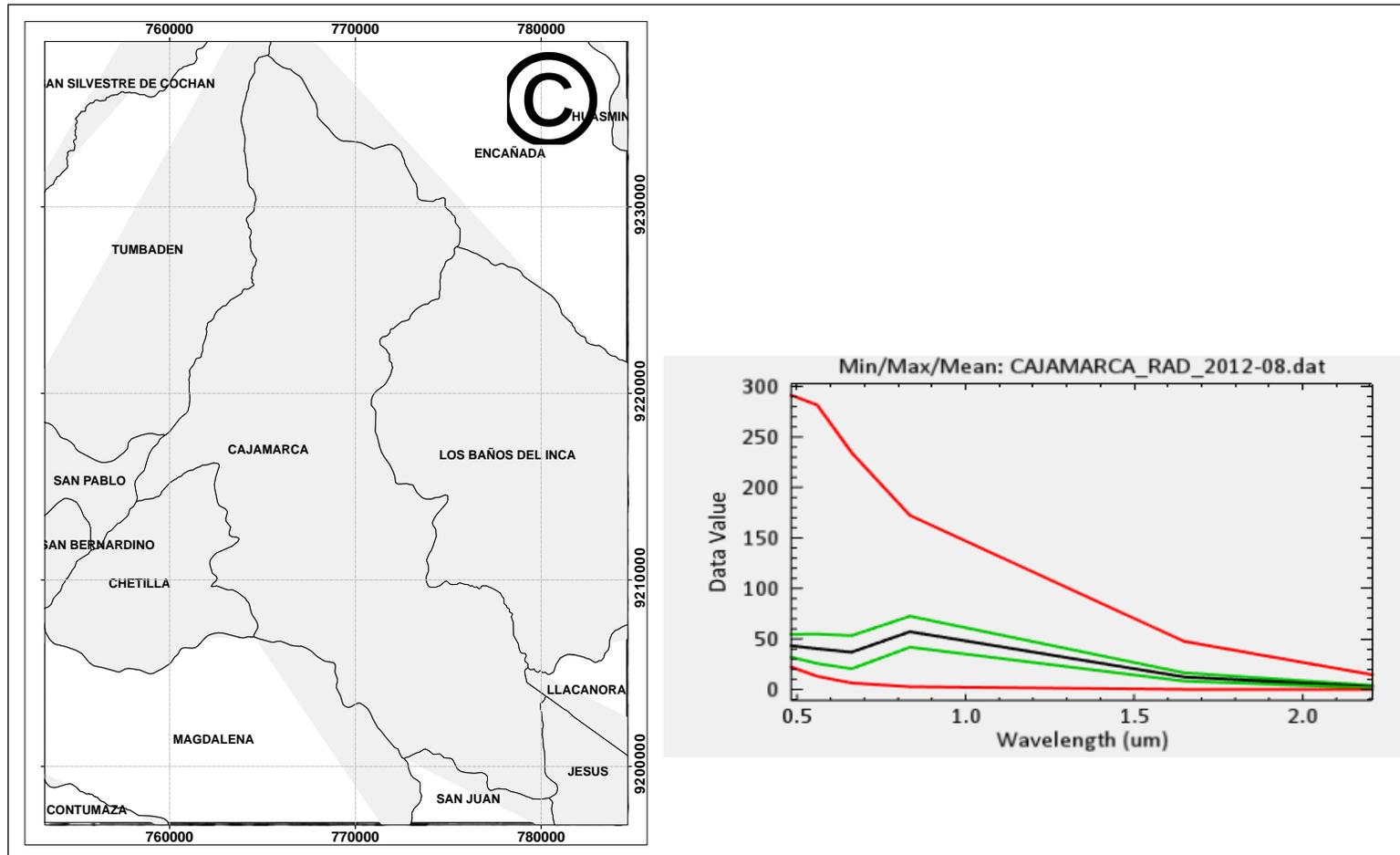


Figura N° 13

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8, fecha 04 de agosto del 2014.

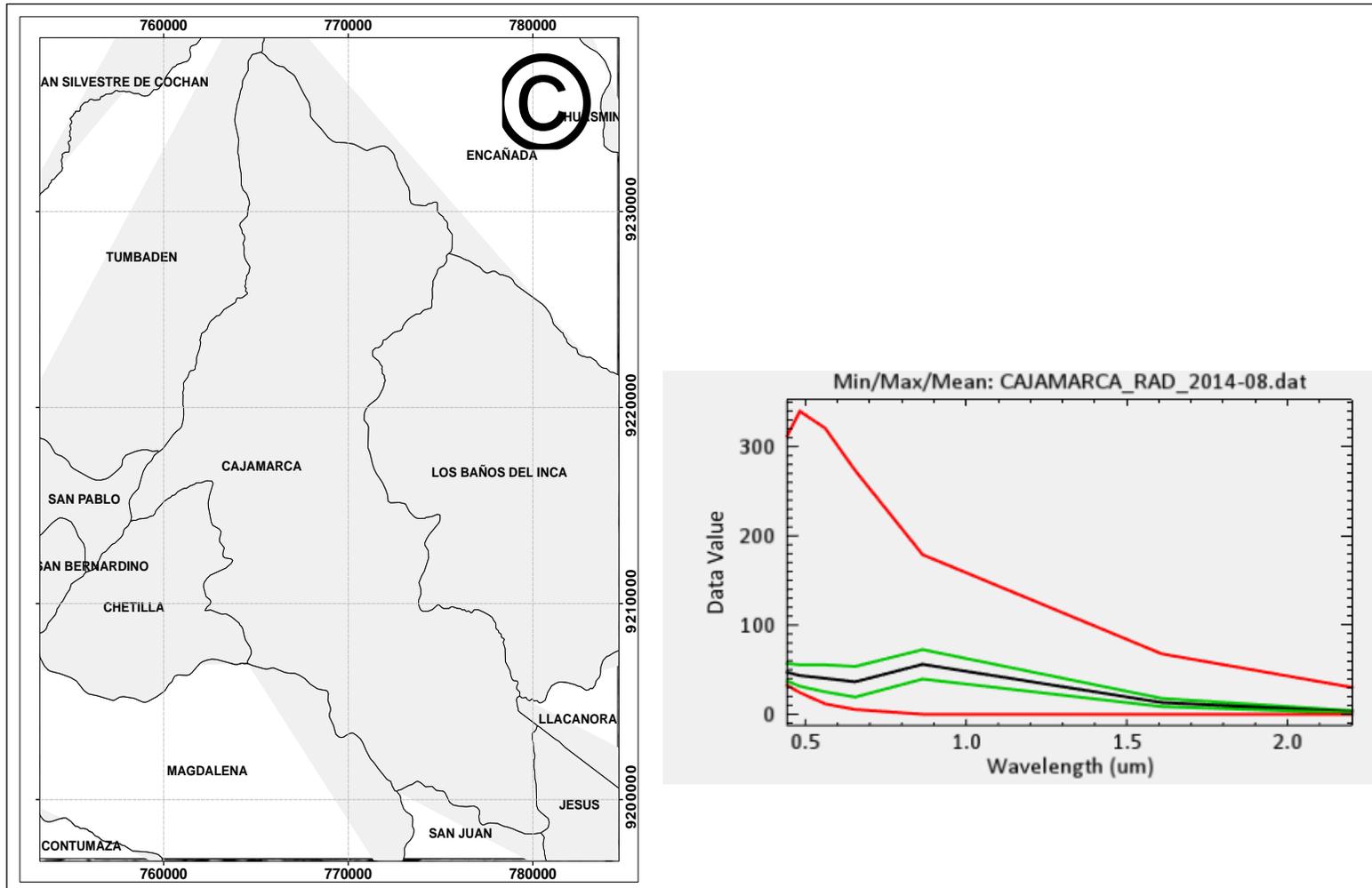


Figura N° 14

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8, fecha 24 de agosto del 2016.

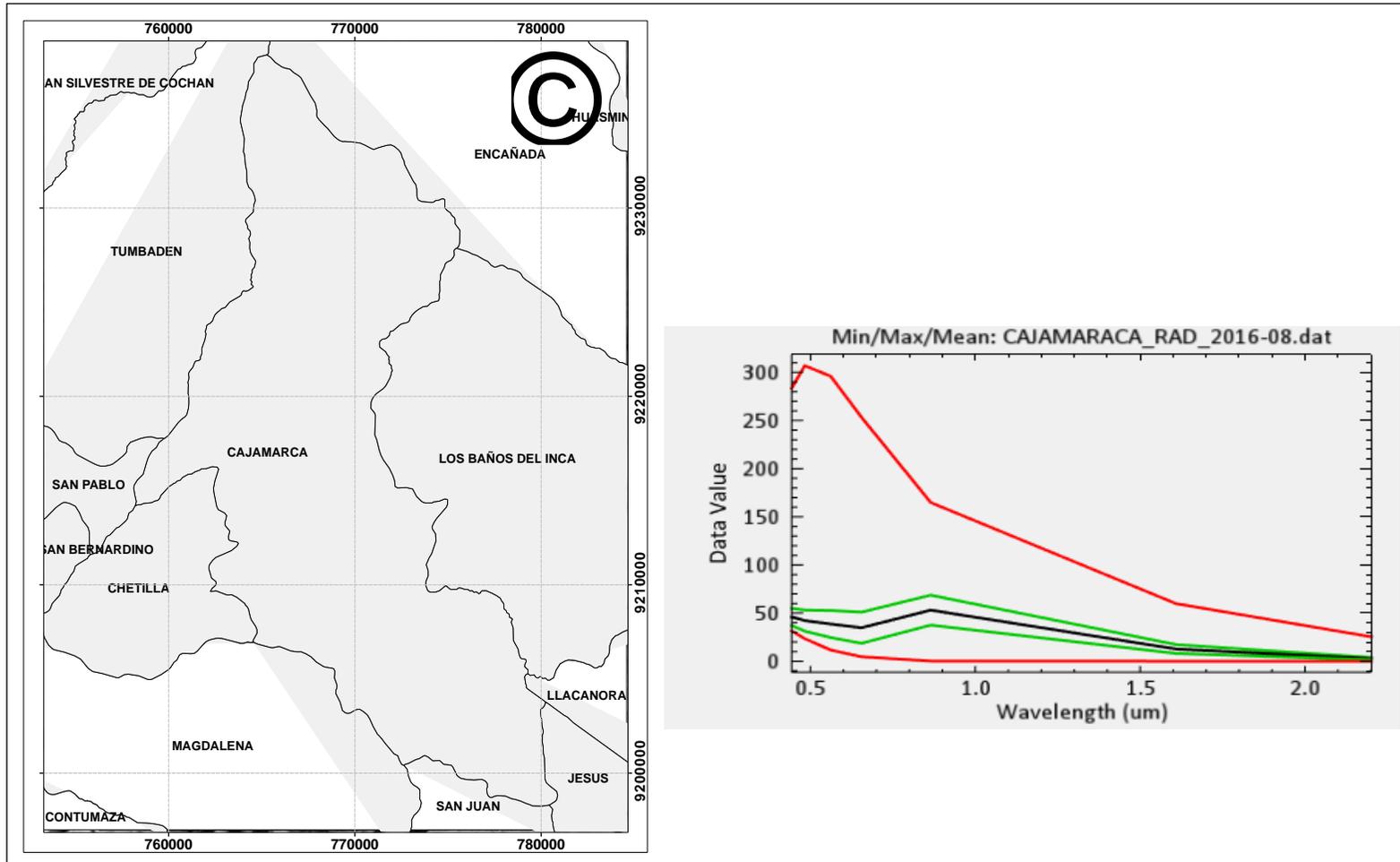


Figura N° 15

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8, fecha 05 de agosto del 2018.

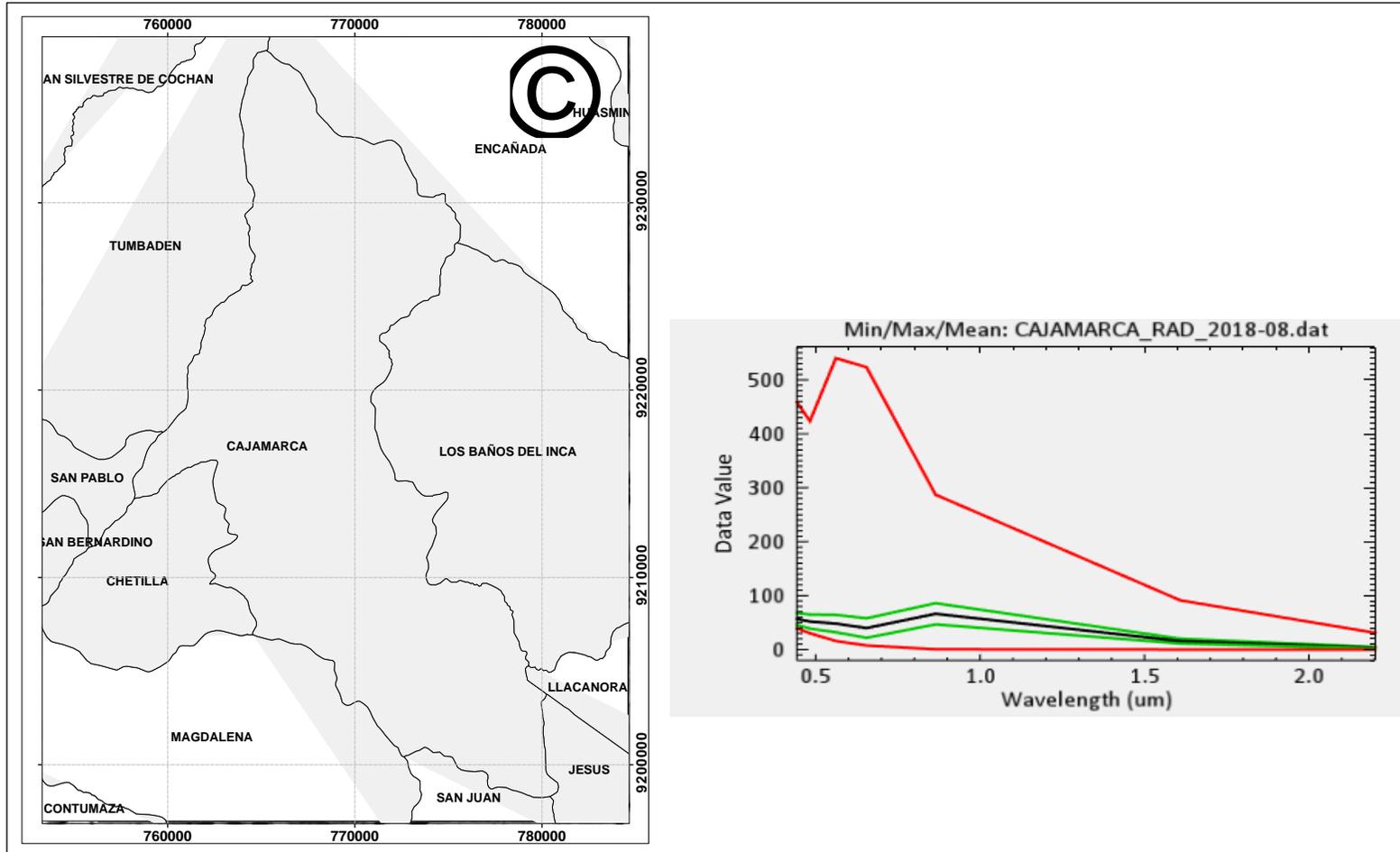


Figura N° 16

Corrección radiométrica de la imagen LandSat 8, fecha 04 de agosto del 2020.

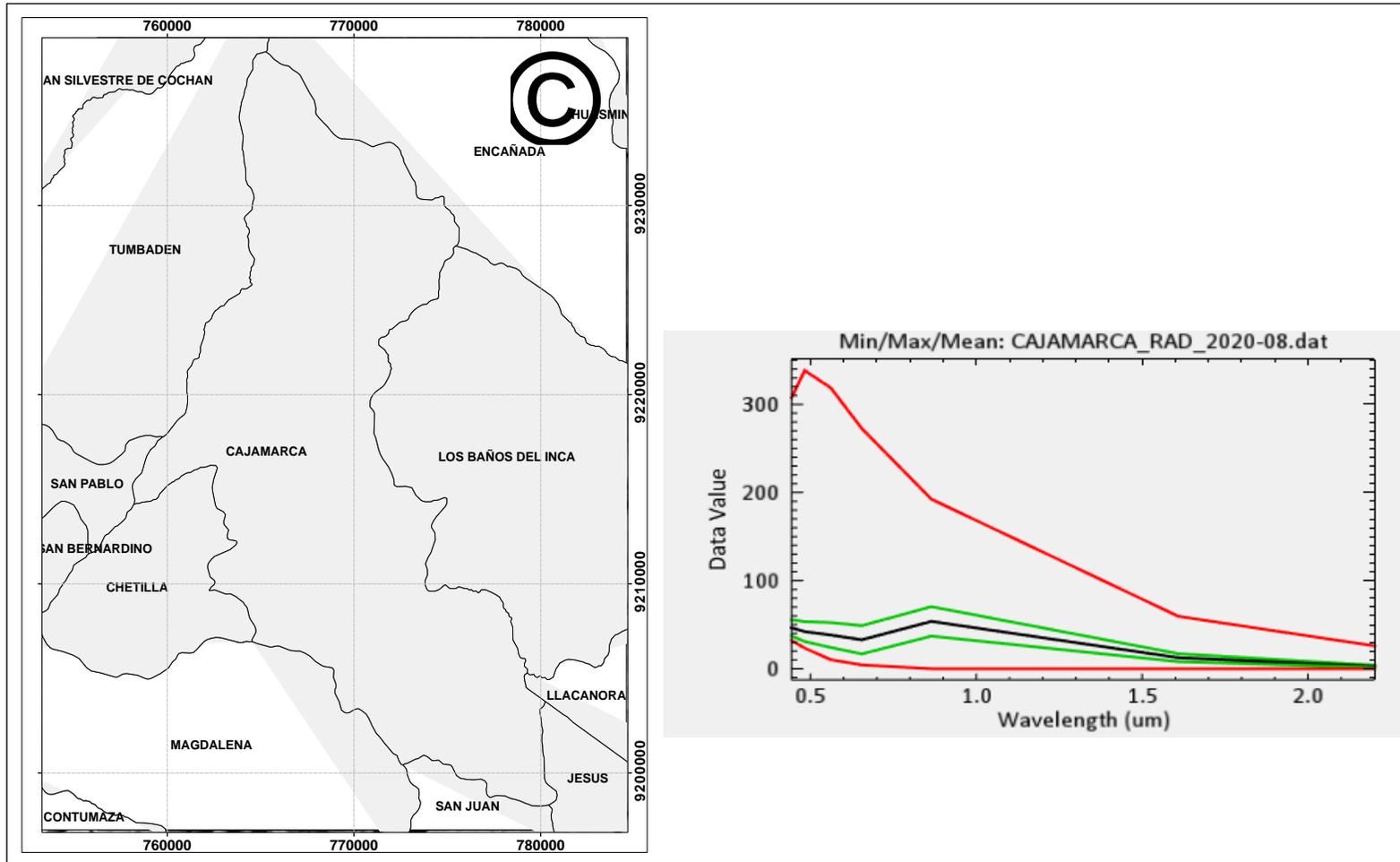


Figura N° 17

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7, fecha 19 de agosto del 2000.

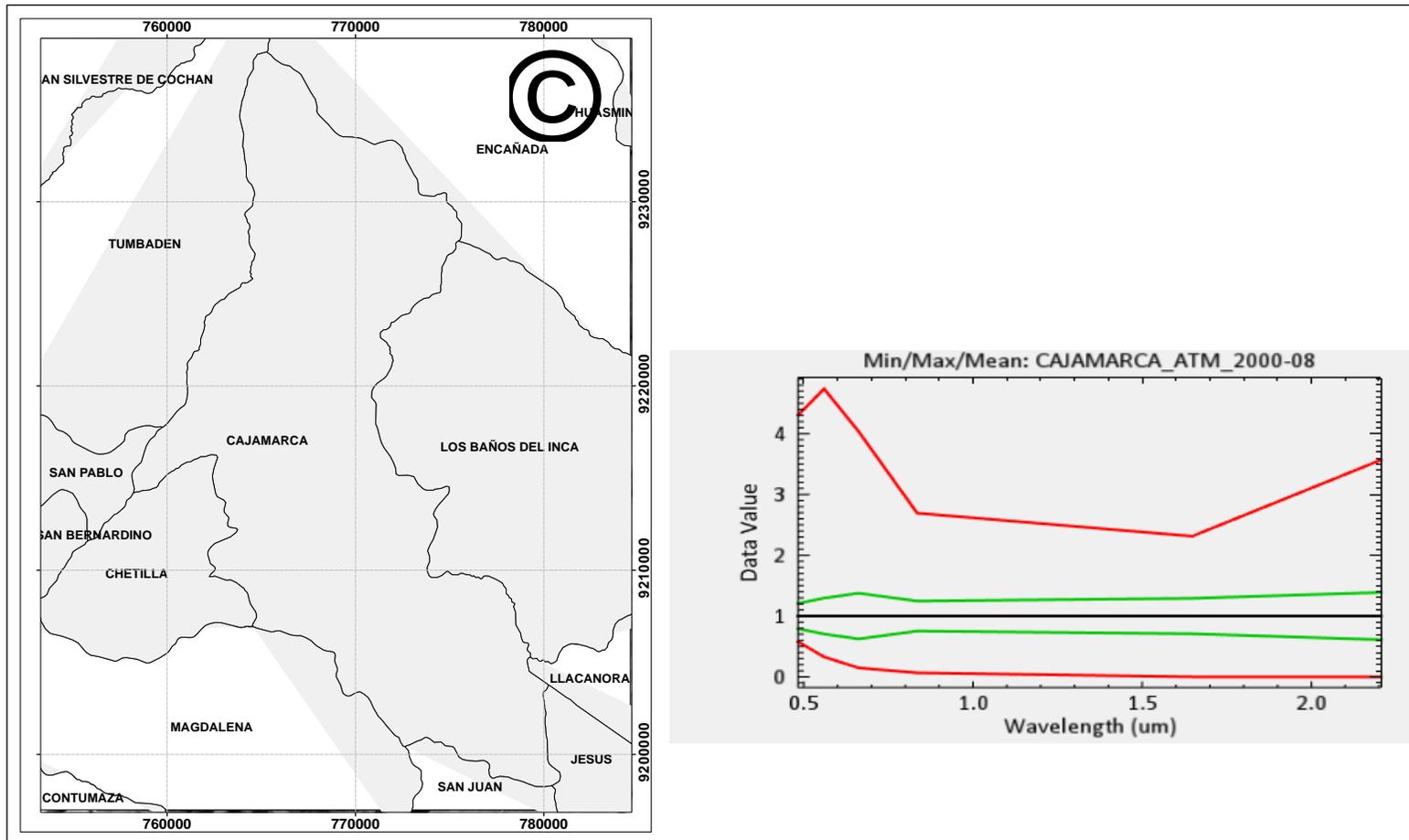


Figura N° 18

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7, fecha 11 de agosto del 2002.

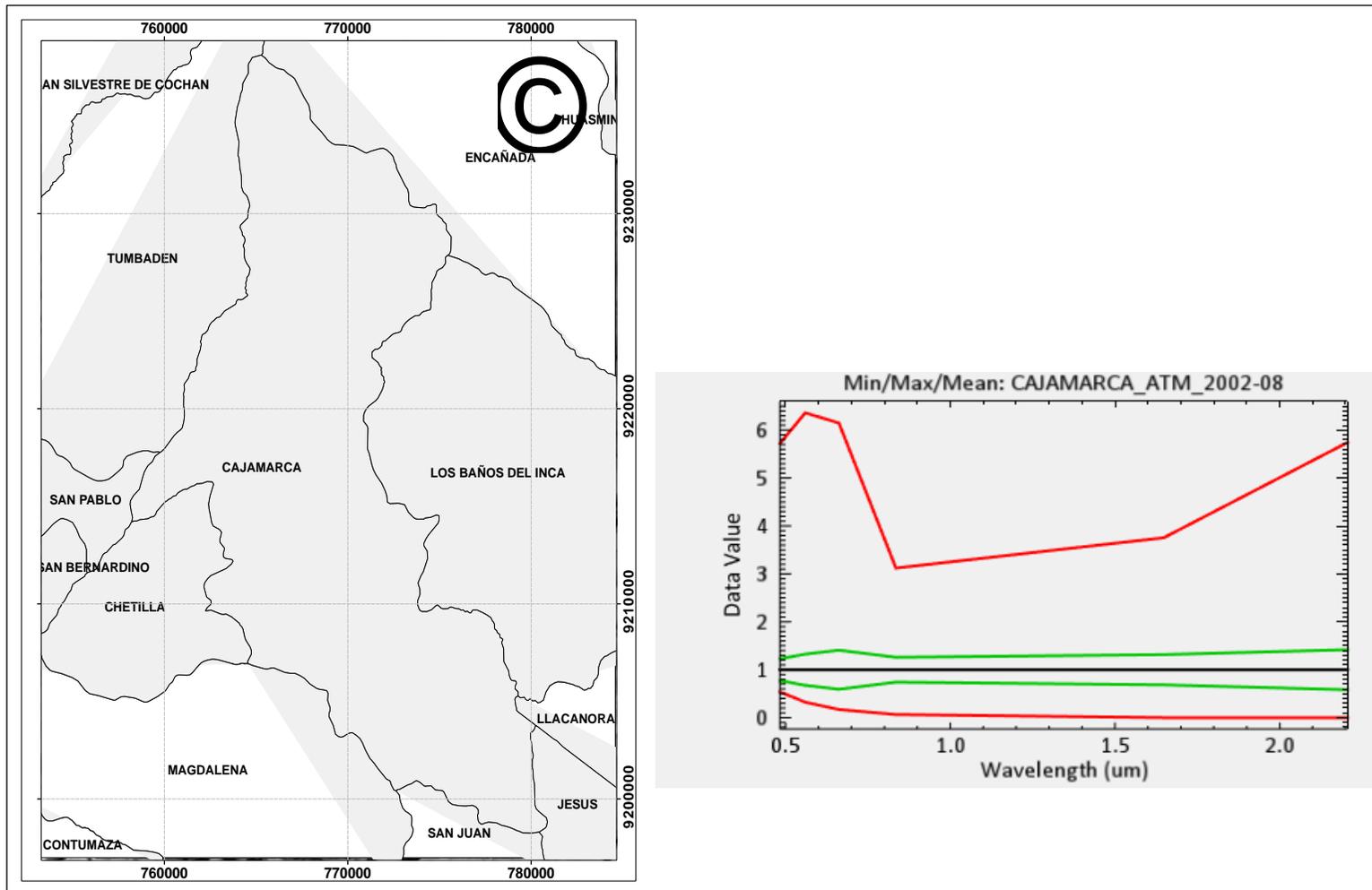


Figura N° 19

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7, fecha de 15 de agosto del 2004.

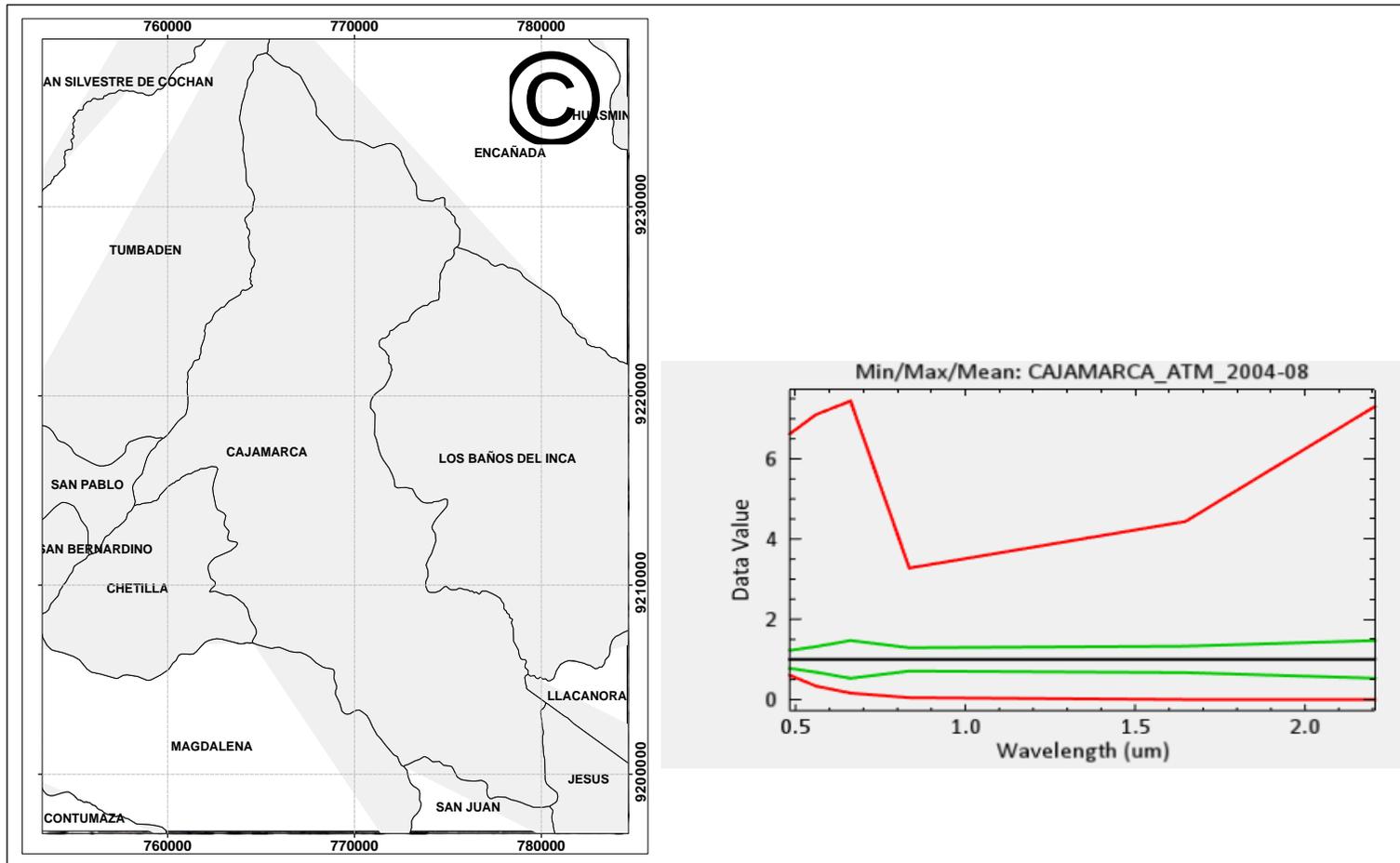


Figura N° 20

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7, fecha 21 de agosto del 2006.

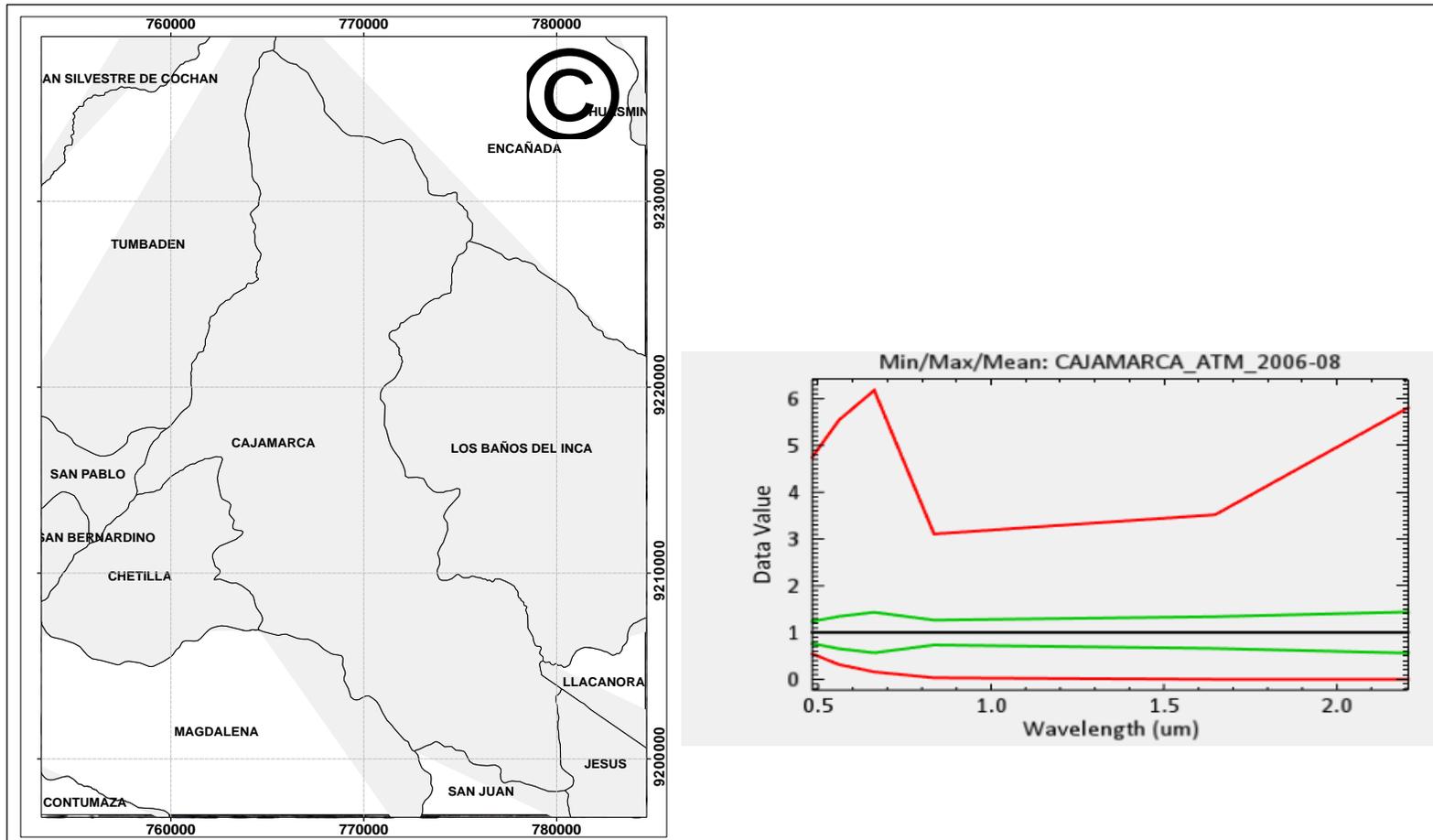


Figura N° 21

Corrección atmosférica de la imagen Landsat 7, fecha 12 de agosto del 2008.

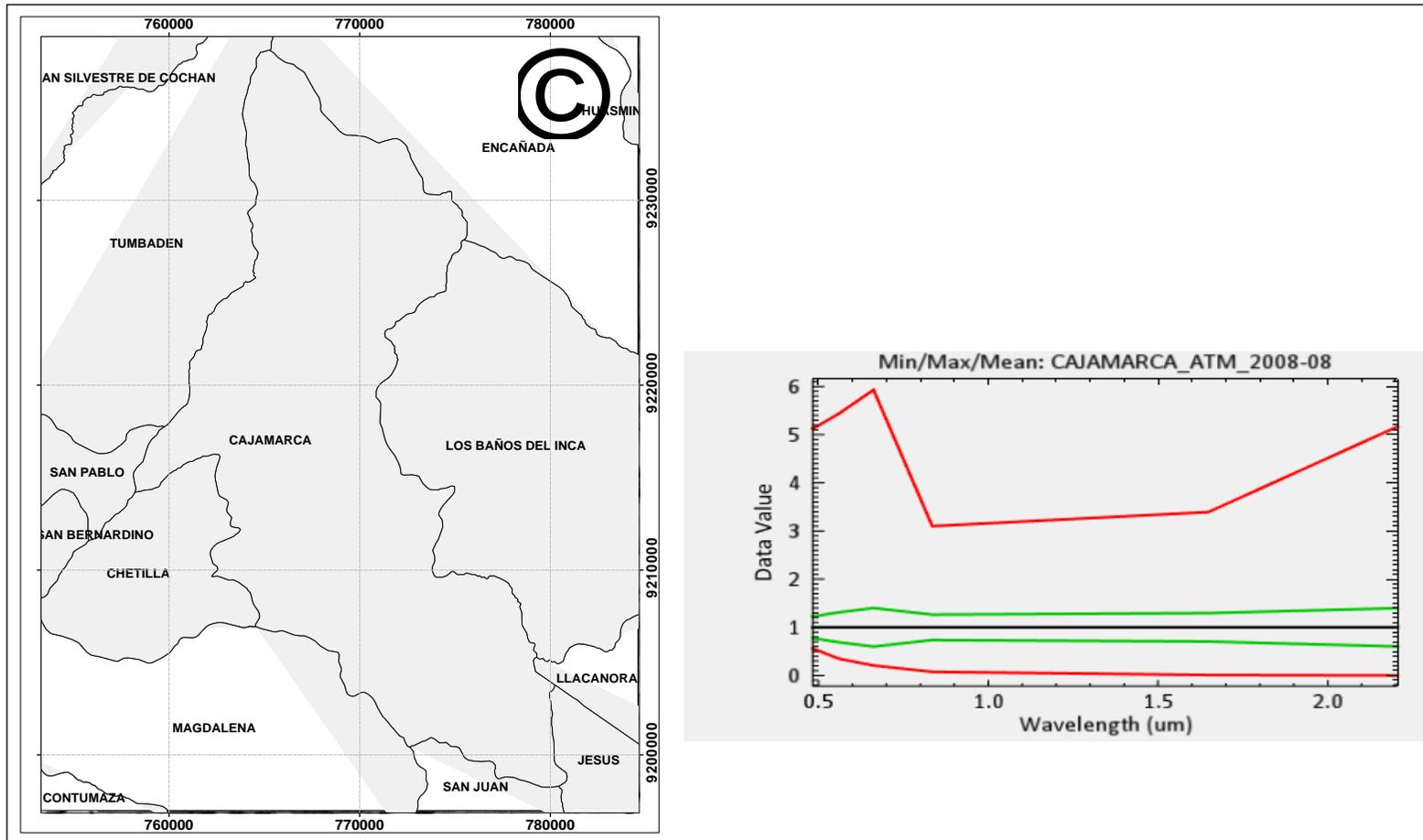


Figura N° 22

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7, fecha 01 de agosto del 2010.

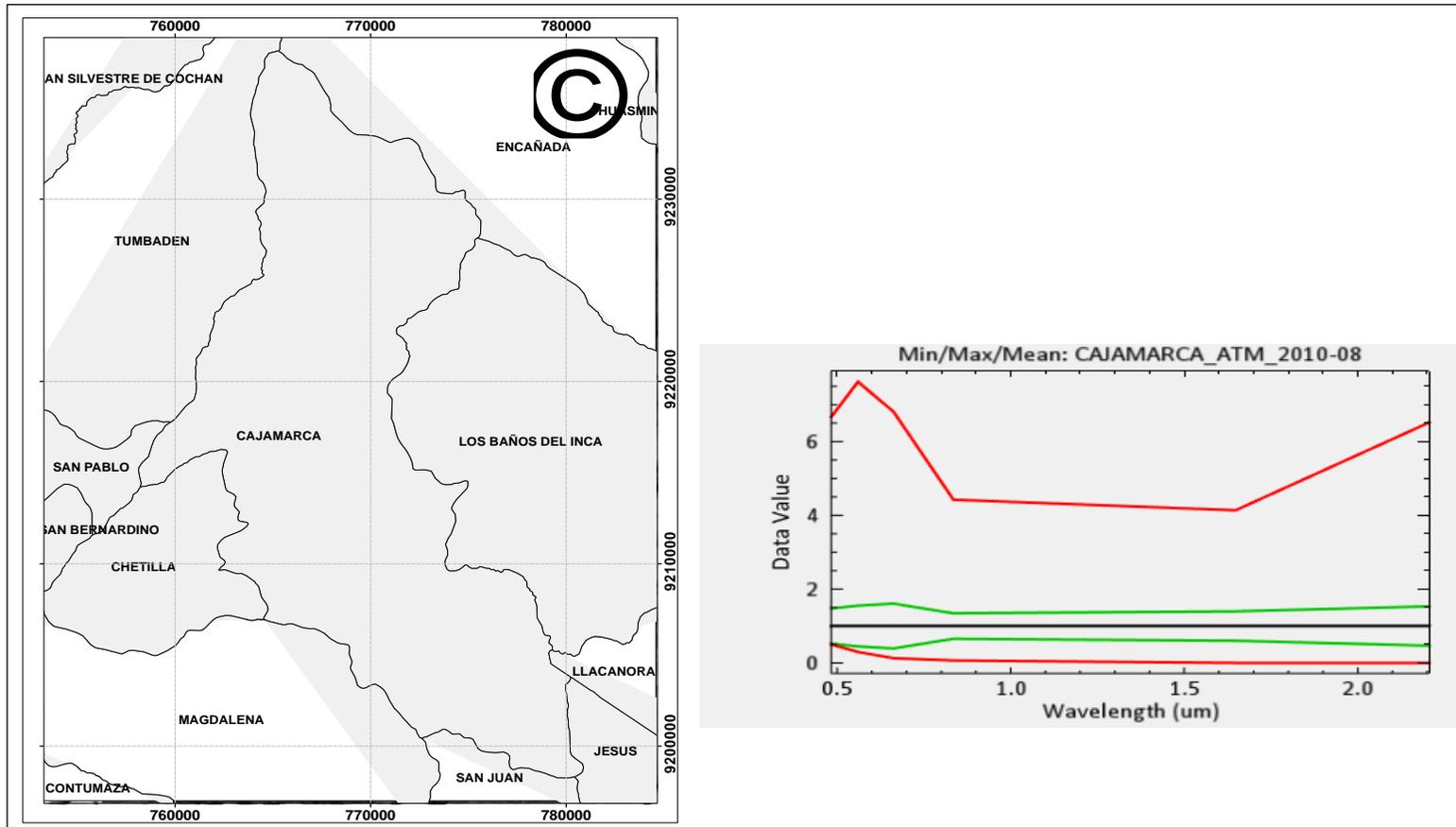


Figura N° 23

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 7, fecha 06 de agosto del 2012.

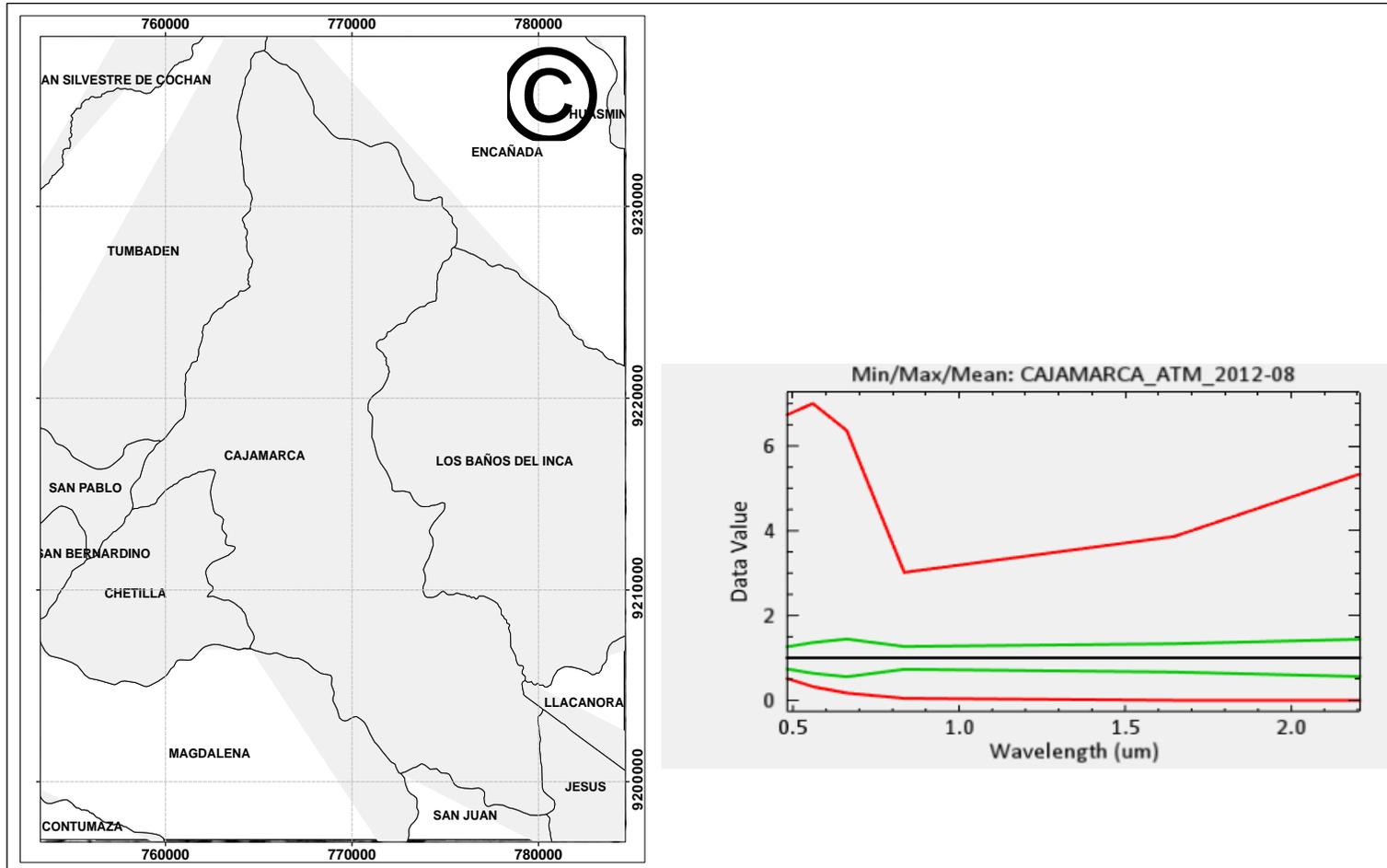


Figura N° 24

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 8, fecha 04 de agosto del 2014.

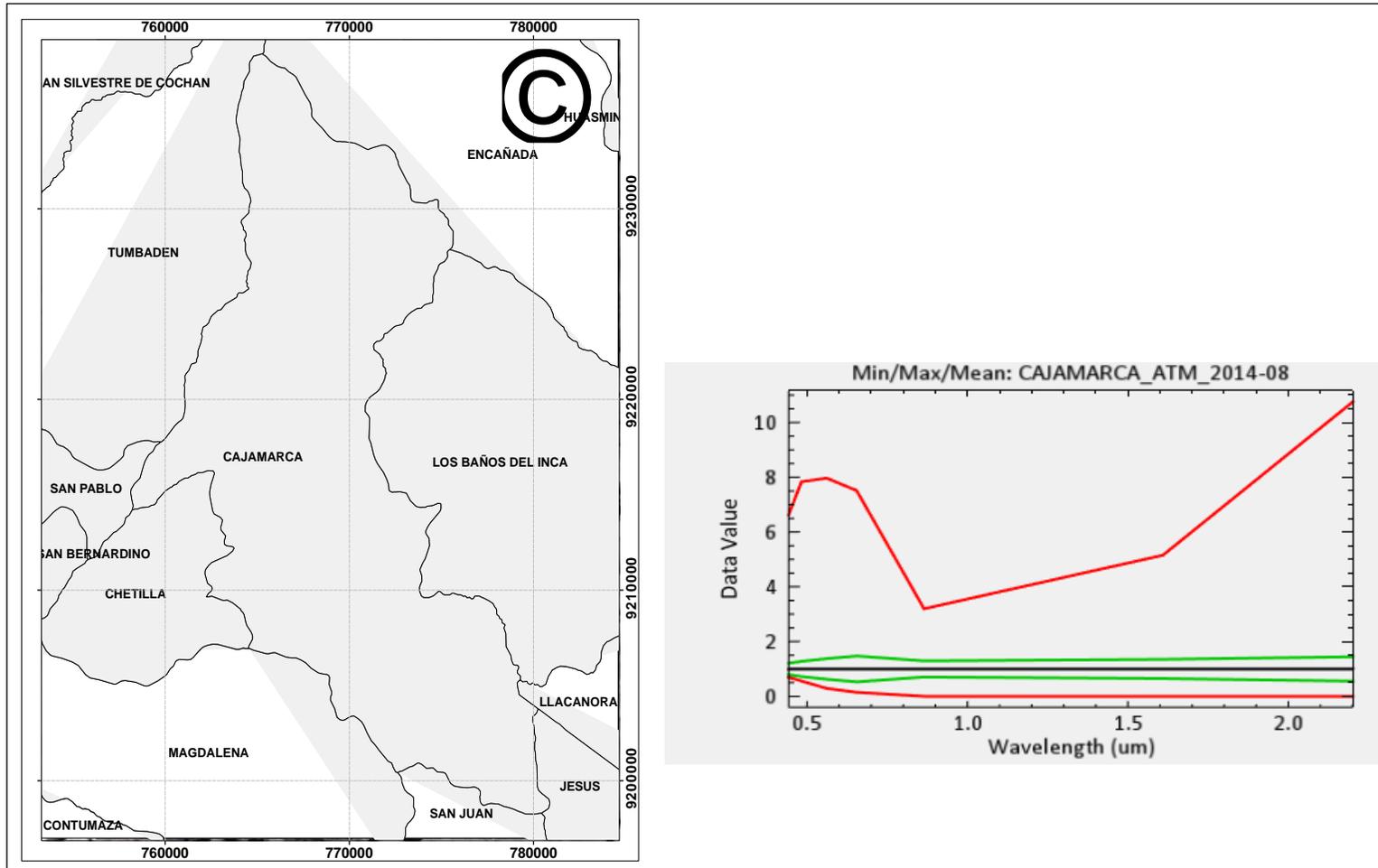


Figura N° 25

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 8, fecha 24 de agosto del 2016.

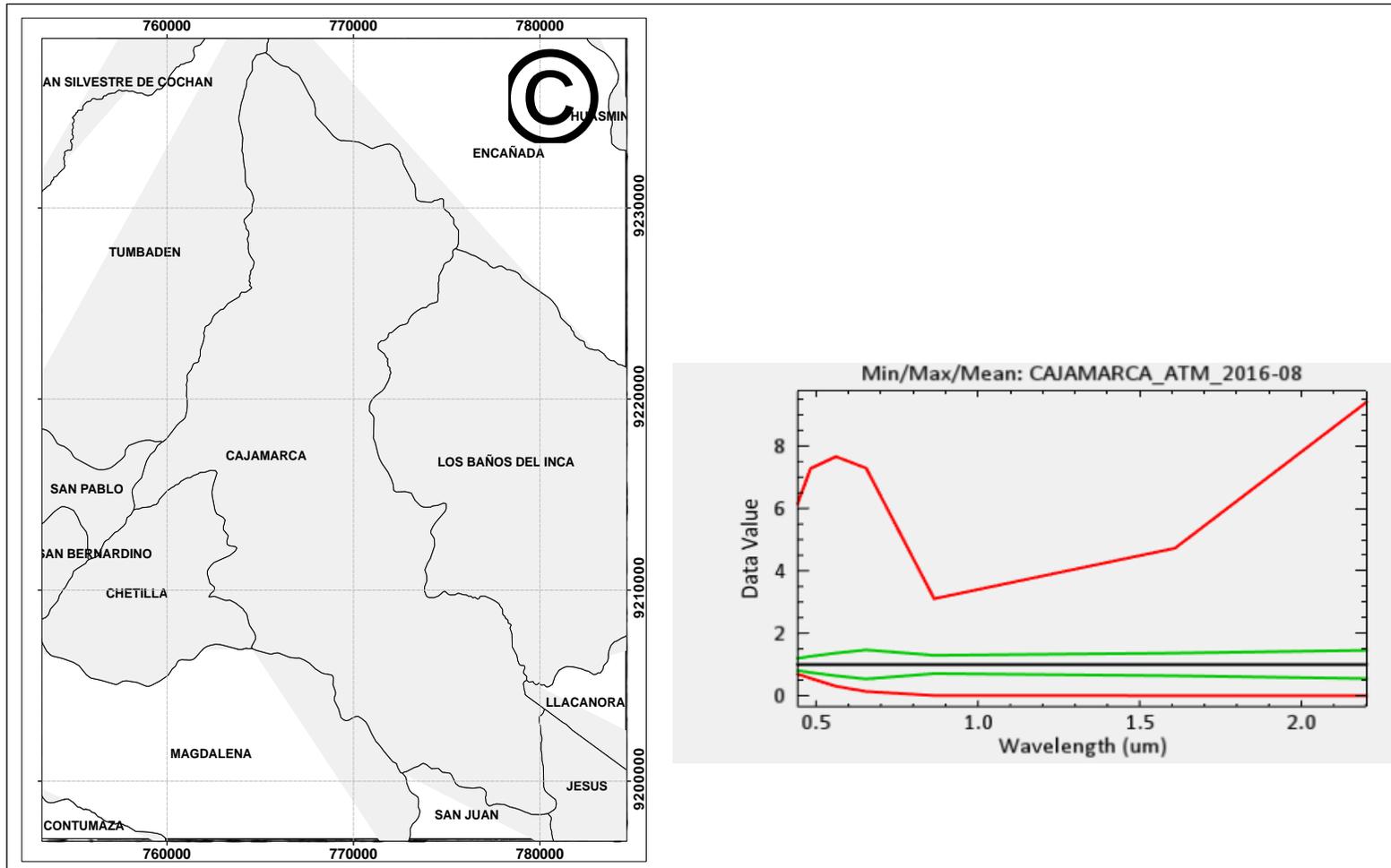


Figura N° 26

Corrección atmosférica de la imagen Landsat 8, fecha 05 de agosto del 2018.

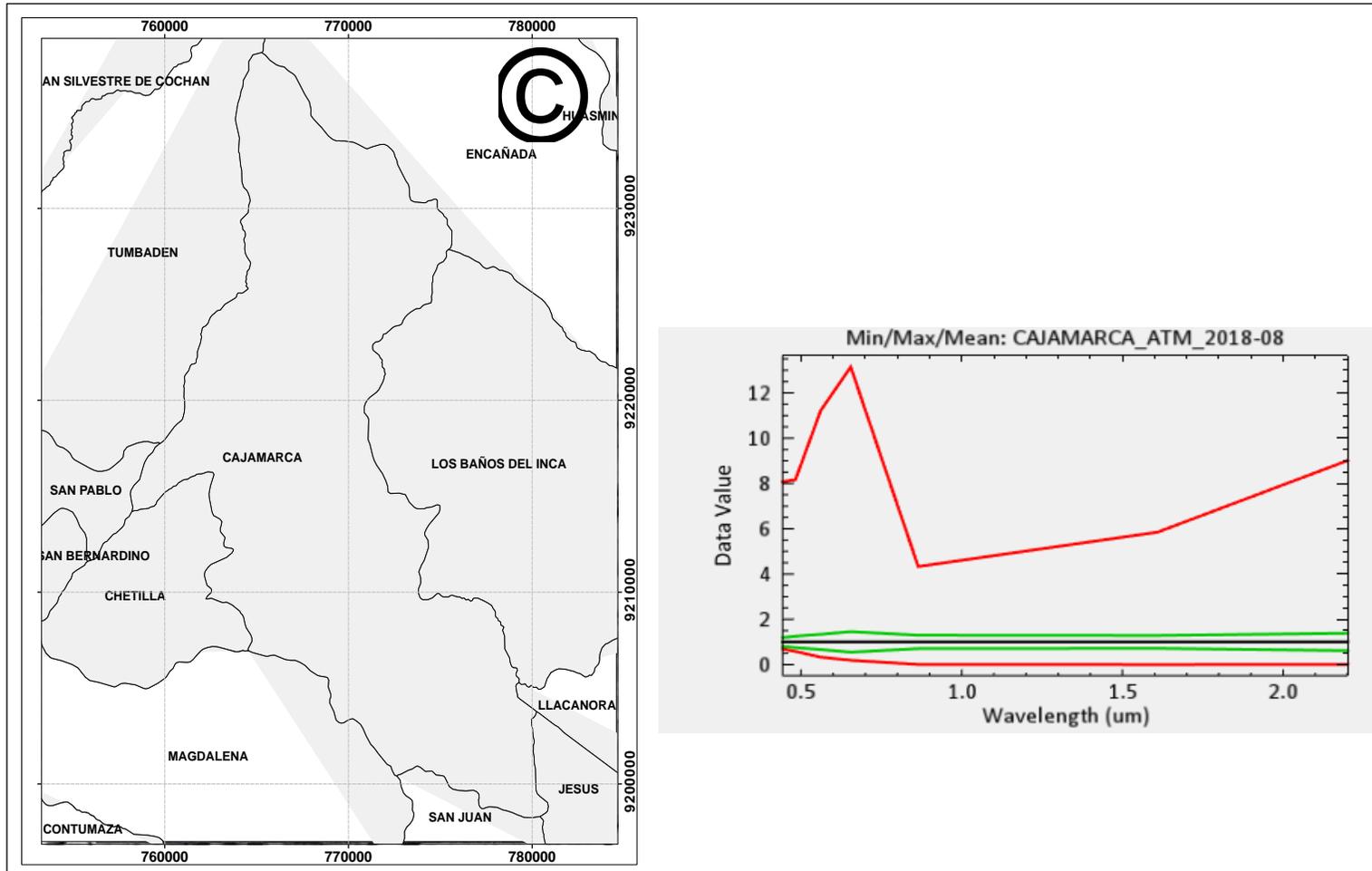
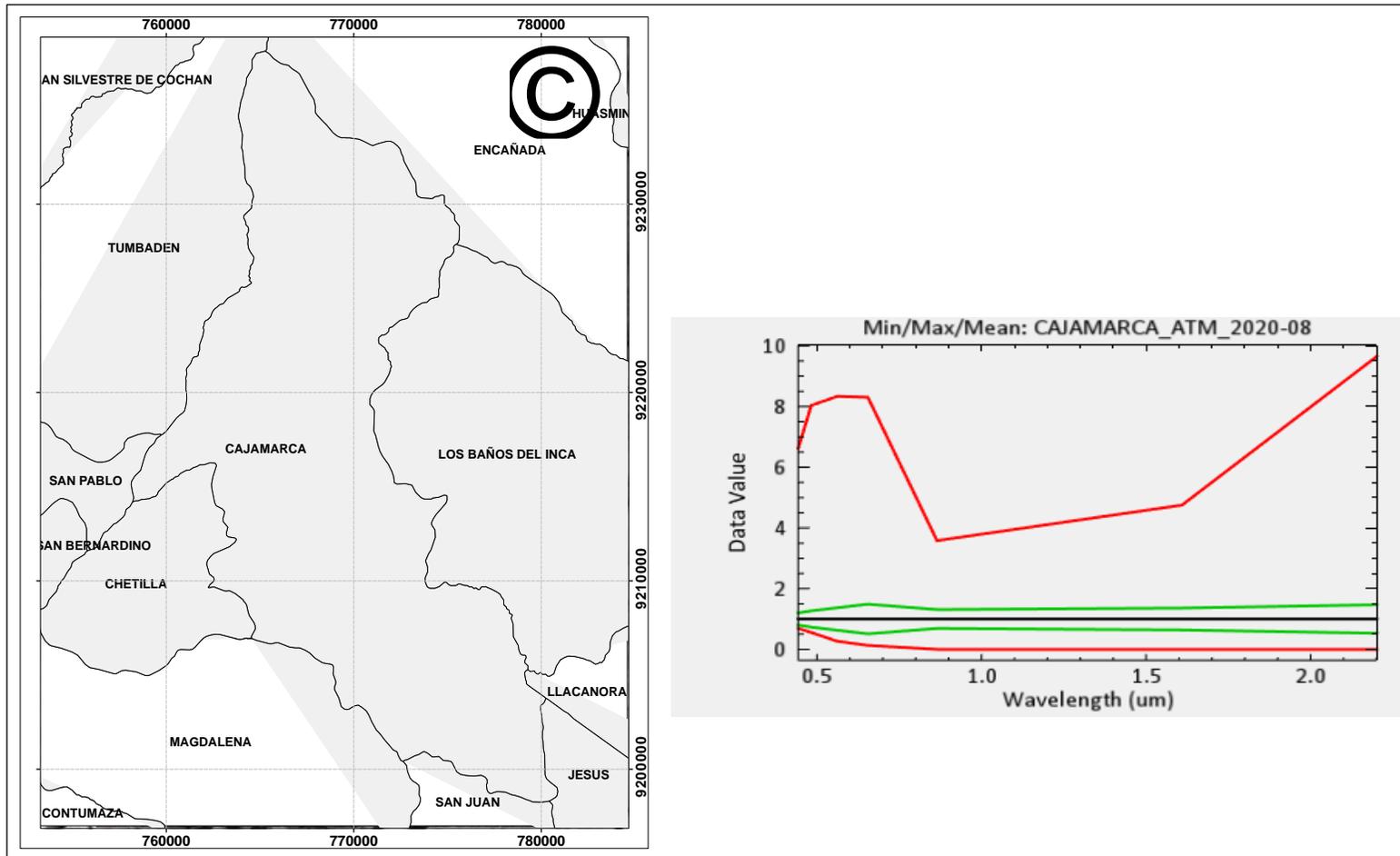


Figura N° 27

Corrección atmosférica de la imagen LandSat 8, fecha 04 de agosto del 2020.



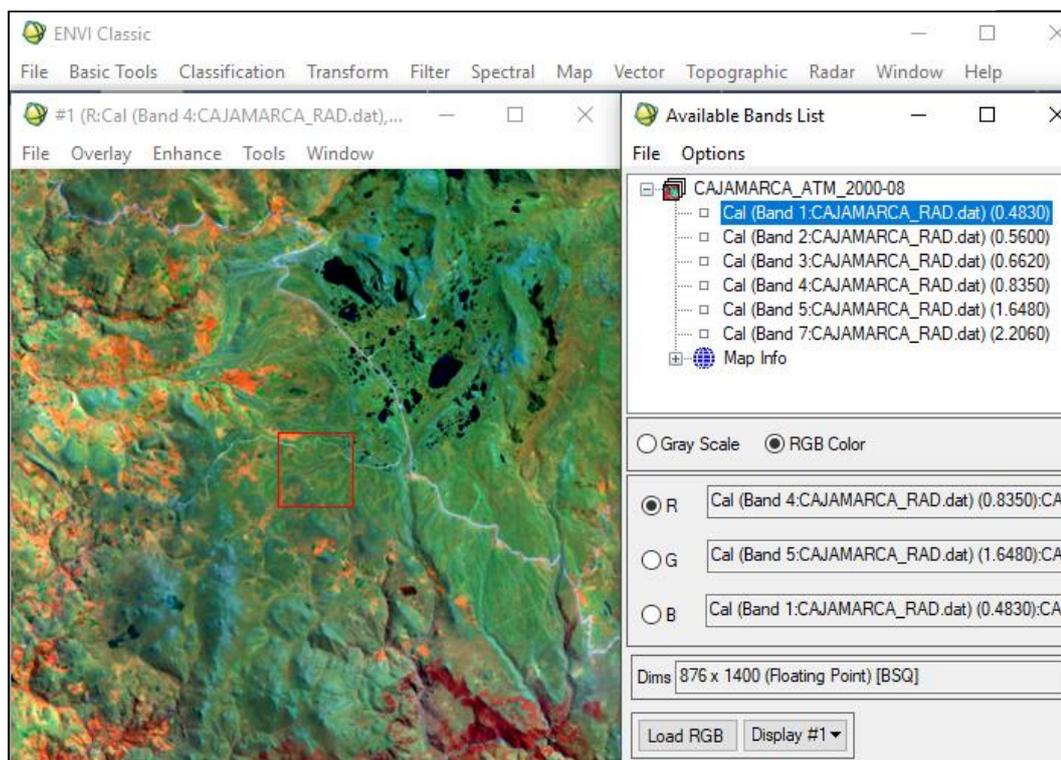
2.3.4.4. NDVI y combinación RGB

Para realizar el análisis visual de las imágenes satelitales se trabajó con la combinación de bandas RGB 451 (para Landsat 7) y 562 (para Landsat 8); la cual facilitó discriminar los elementos de acuerdo a las características espectrales; dichas combinaciones enfatizan la cobertura forestal en tonos rojos, coberturas de agricultura andina en tonos naranja, infraestructura en tonos azules y en tonos verdes pajonales y coberturas arbustivas.

Adicionalmente se utilizó el NDVI, índice que permite por medio de niveles digitales separar los diferentes tipos de cubiertas, verificándose en tono blanco la vegetación arbustiva y en blanco brillante bosques.

Figura N° 28

Combinación RGB de bandas en Envi 5.3



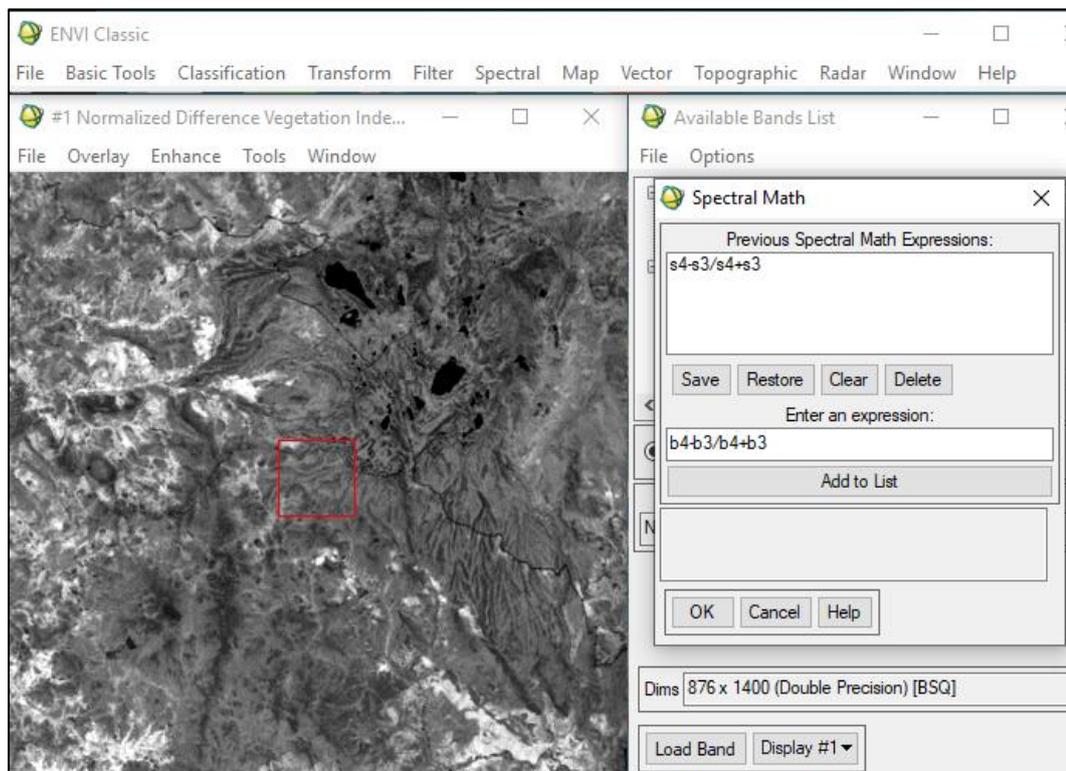
para la obtención del NDVI se utilizó la fórmula propuesta por Chuvieco (2015).

haciendo uso de la herramienta Spectral Math del software Envi 5.3.

$$\text{NDVI} = (\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3}).$$

Figura N° 29

Calculo de NDVI, software Envi 5.3



2.3.4.5. Determinación de tipos de cobertura vegetal.

Para definir los tipos de cobertura y la delimitación específica de la cobertura, se tuvo en cuenta las clases empleadas en el Mapa de Coberturas y pérdida de bosques en la provincia de Cajamarca (MINAM, 2016, p.1), las que fueron definidas bajo un criterio de ocupación de la tierra, es decir, identificando qué actividades humanas se desarrollan en el área de estudio, dónde existe intervención humana, etc. Además, se tomó en cuenta el nivel de referencia del intérprete.

Asimismo, la interpretación visual presenta ventajas de importancia, ya es posible concentrar la atención en el resultado del NDVI. Así mismo, se puede analizar la imagen en su integridad tomando en cuenta además de la tonalidad, la forma, la textura y estructura de los diferentes elementos que componen la imagen, así como su disposición en el espacio.

Los criterios visuales para la interpretación de imágenes permiten discriminar categorías con un comportamiento espectral parejo, aunque con un significado temático distinto. Entre los principales criterios manejados en teledetección espacial, se consideró los siguientes criterios básicos de la interpretación (Chuvienco, 2012, p.155).

- Tono: Hace referencia a la intensidad de energía registrada por el sensor en una determinada banda. Cada cubierta de usos/ocupación de la tierra tiene determinados tonos, según la banda espectral del satélite que se utilice.

- Textura: Esta cualidad hace referencia a la aparente suavidad o rugosidad de determinadas áreas de la imagen y es fruto de la relación entre el tamaño de los objetos representados en la imagen y la resolución espacial del sistema sensor.

- Forma: La forma es una de las primeras características discriminantes, usadas cuando se interpreta visualmente una imagen. Las características totales del límite de un objeto, junto con el tamaño de éste, permiten que muchos objetos sean reconocidos.

Color: La composición coloreada de distintas bandas espectrales de una misma escena produce un aumento de la información disponible para poder interpretar una determinada imagen.

- Situación espacial: Determinadas cubiertas de interés que pueden ser discriminadas con criterios de interpretación basados en el conocimiento del área de estudio por parte del intérprete. El contexto espacial es imposible de abordar por técnicas digitales y permite afinar los resultados de cualquier tipo de interpretación.

Para el área de estudio se determinaron 4 clases de cobertura diferentes. Todas estas fueron determinadas de acuerdo a los diferentes tipos de niveles digitales identificados mediante la interpretación visual de las imágenes satelitales, teniendo en cuenta criterios de fotointerpretación y ocupación de la tierra.

Tabla 15

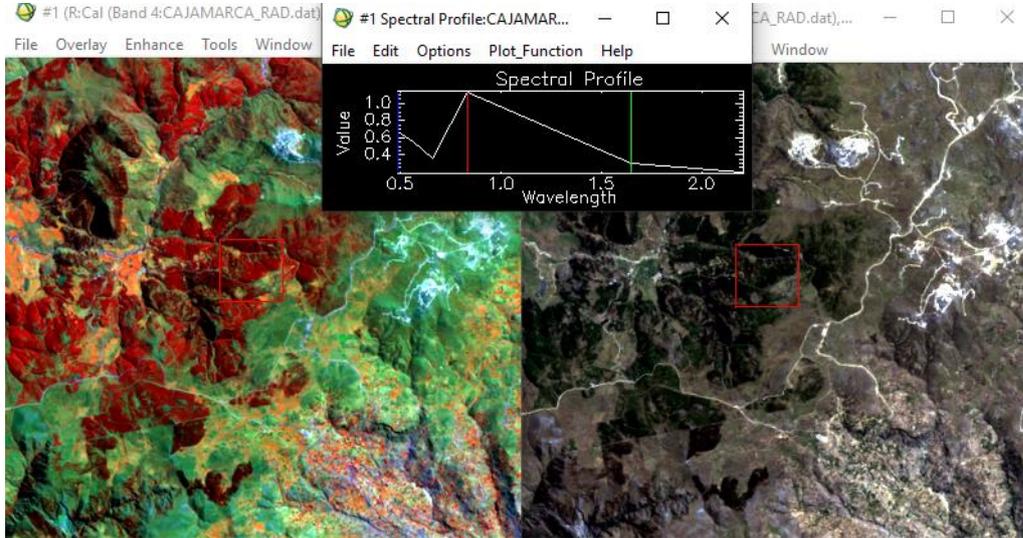
Simbología de los tipos de cobertura identificados en el área de estudio

Tipo de cobertura	Símbolo
Bosque	B
No bosque	Nb
Zona minera	Zm
Zona urbana	Zu

Cabe precisar que se considera dentro de la clase "no bosque" a las clases de uso de la tierra propuestas por MINAM (2016) como: Pajonal andino Matorral arbustivo y Agricultura andina.

Figura N° 30

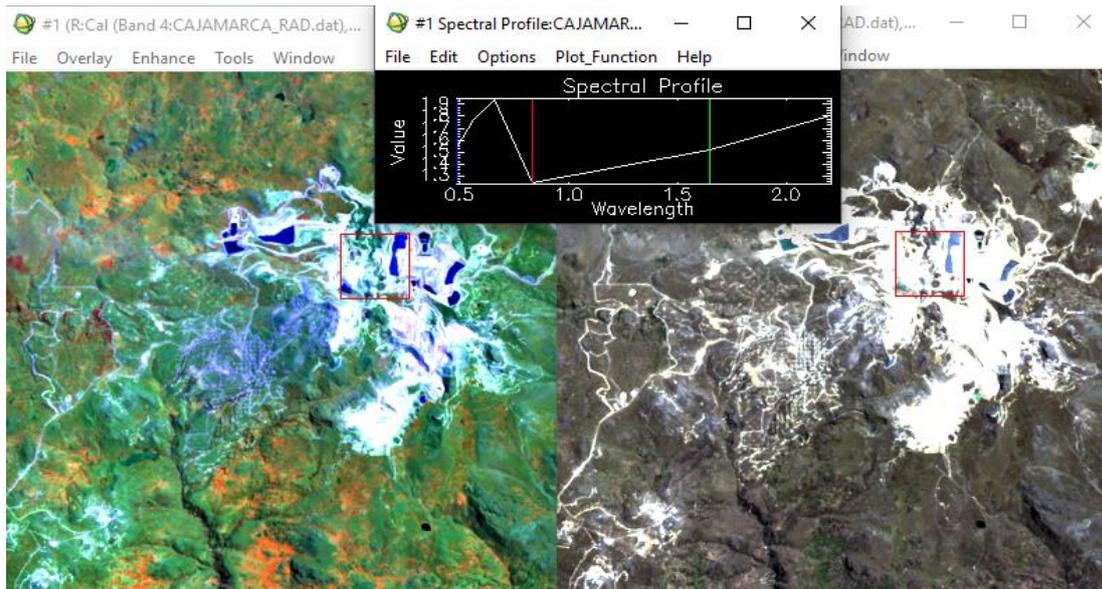
Comparación de Combinación RGB 451 Vs color natural para determinar Servicio ecosistémico forestal



Nota: Se observa en color rojo oscuro cobertura forestal, color verde brillante pajonal andino y matorral arbustivo, que coincide con la zona verde oscuro (zonas de cobertura forestal) y verde claro (matorral y pajonal arbustivo) de la imagen en color natural y la firma espectral de vegetación vigorosa

Figura N° 31

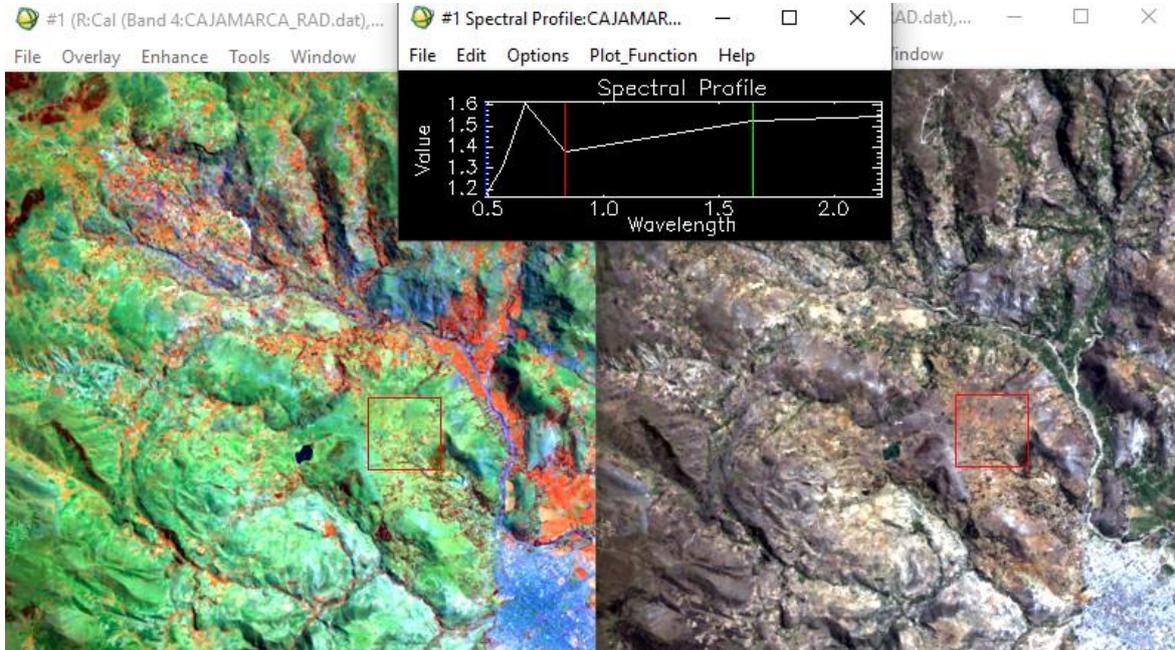
Comparación de Combinación RGB 451 vs color natural para determinar Zonas urbana y minera



Nota: Se observa en color rojo azul violeta cobertura minera y urbana que coincide con la zona color arena de la imagen en color natural y la firma espectral de materiales cuaternarios.

Figura N° 32

Comparación de Combinación RGB 451 Vs color natural para determinar “No bosque”



Nota: Se observa en color anaranjado Agricultura andina o zonas de cultivo y en tonos verdes coberturas tipo pajonal andino y arbustivo que coincide con la zona color verde y marrón respectivamente de la imagen en color natural y la firma espectral de vegetación poco vigorosa y suelo.

2.3.4.6. Análisis dinámico de cambios de cobertura.

Después de interpretar visual y espectralmente las imágenes de satélite haciendo uso del software Envi 5.3 se tendrá de manera clara los tipos de coberturas que se tienen en la zona de estudio y la extensión de estos en formato Tiff, posteriormente se exportó estos al software ArcGIS 10.3 haciendo uso de la herramienta EVF to Shapefile, esto se realizará para cada año de estudio, dentro del periodo 2000-2020, en total se generarán como resultado 10 mapas de cobertura anual en formato Shapefile (polígonos), las coberturas identificadas serán codificadas en sus tablas de atributos; para iniciar con el análisis de cambio respectivo. (MINAM, 2009, p.4)

2.3.4.7. Obtención de mapas.

Preparación de datos

En la Tabla 16 y Tabla 17 se presentan los valores numéricos asignados, de forma manual, a cada clase de uso de la tierra para poder aplicar el operador matemático a través del álgebra de mapas. Cabe señalar que para realizar este proceso fue necesario que la información vectorial presente en su tabla de atributos la misma cantidad de columnas de información.

Tabla 16

Valor numérico asociado a cada tipo de cobertura para el año 2000

Tipo de cobertura	Símbolo	Valor numérico asignado
No Bosque	Nb	10
Bosque	B	20
Zona minera	Zm	30
Zona urbana	Zu	40

Tabla 17

Valor numérico asociado a cada tipo de cobertura entre 2002 a 2020

Tipo de cobertura	Símbolo	Valor numérico asignado
No bosque	Nb	1
Bosque	B	2
Zona minera	Zm	3
Zona urbana	Zu	4

Asimismo, de acuerdo a los valores asignados según las Tablas 16 y 17, el proceso de reclasificación fue aplicado en todos los mapas de deforestación anual generados entre el periodo 2002 al 2020, los cuales fueron comparados en función al mapa base de deforestación correspondiente al año 2000.

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

Aplicación de algoritmo

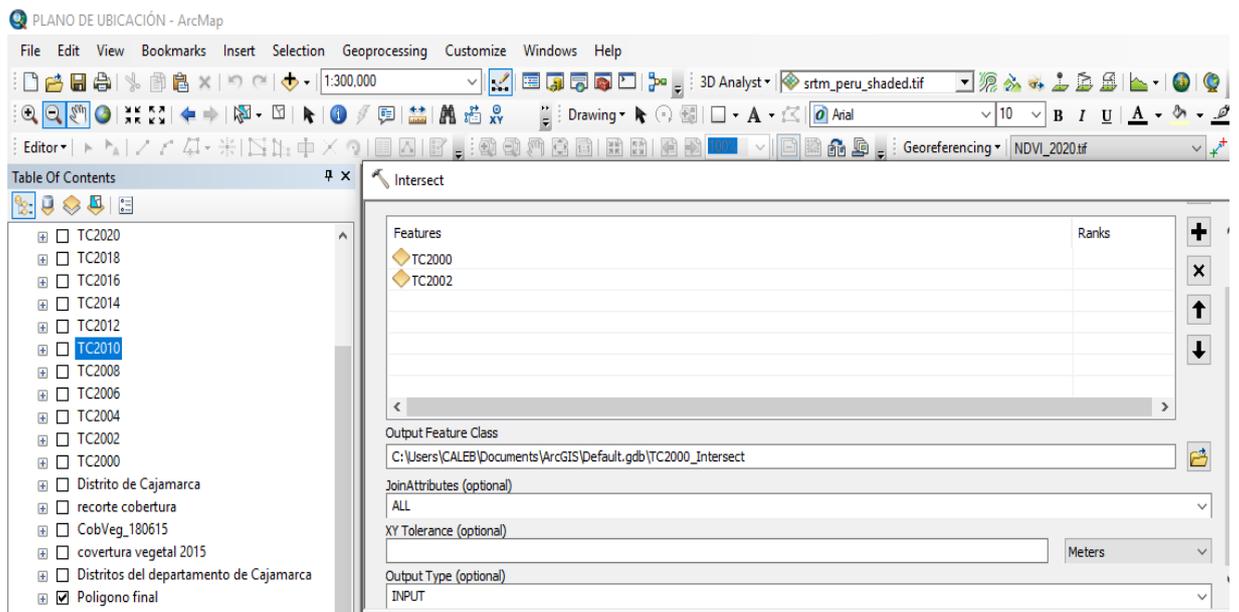
Para generar los mapas de cambios, se compararán dos mapas de deforestación anual mediante el proceso denominado álgebra de mapas, en el que se utilizará el programa ArcGIS 10.3 por tratarse de datos vectoriales, la cual permitirá aplicar un operador aritmético sobre las dos capas de entrada para producir una capa de salida; para lo cual se ingresa a la herramienta intersección /selección de Shapefile 2000 y Shapefile a evaluar/campos de análisis/salida. (Galería de lecciones de Learn ArcGIS, 2021).

En primer lugar, se realizará una superposición de dos mapas de deforestación anual generados a partir de dos años de estudio diferentes, tales como: 2000-2002, 2000-2004, 2000-2006, etc. Obteniendo como

resultado 10 mapas de cambio (Map c1, Map c2, Map c3... Map c9, Map c10).

Figura N° 33

Aplicación de algoritmo de cambio entre dos mapas, herramienta Intersect de ArcGIS 10.3



Posteriormente, al analizar la información obtenida de cada mapa de cambio en formato vectorial, se observó que se obtuvieron nuevos valores de las clases de cambio resultantes, las que se detallan en la Tabla 18. Cabe señalar, que los nuevos códigos presentados permiten determinar el número total de píxeles obtenidos por clase temática y su posterior cálculo de área en ha.

Tabla 18

Código matriz de cambio de cobertura

Cambio de cobertura		Código matriz
Tipo de cubierta inicial	Tipo de cubierta final	
No bosque	No bosque	11
No bosque	Bosque	12
No bosque	Zona minera	13
No bosque	Zona urbana	14
Bosque	No bosque	21
Bosque	Bosque	22
Bosque	Zona minera	23
Bosque	Zona urbana	24
Zona minera	No bosque	31
Zona minera	Bosque	32
Zona minera	Zona minera	33
Zona minera	Zona urbana	34
Zona urbana	No bosque	41
Zona urbana	Bosque	42
Zona urbana	Zona minera	43
Zona urbana	Zona urbana	44

Nota: cobertura No Bosque corresponde a coberturas de tipo Pajonal andino, Cobertura arbustiva y Agricultura andina.

CAPÍTULO III RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis visual y espectral de coberturas, se utilizó el NDVI y la combinación 451 para imágenes Landsat 7 y combinación 562 para imágenes Landsat 8, dicho análisis permitió delimitar las coberturas mencionadas en Capítulo III, dichas coberturas se trabajaron en formato ráster software Envi 5.3.

Se puede observar en las figuras 34 a 43 la delimitación específica de coberturas por año, en color Blanco brillante se aprecia la delimitación vegetativa completa de todo el distrito de Cajamarca entre los años 2000 a 2020, cabe resaltar que la delimitación obtenida por el NDVI está compuesta por vegetación forestal, vegetación arbustiva, pajonal andino y agricultura andina; adicionalmente se utilizó la combinación 451 que permitió identificar en color rojo oscuro la presencia de coberturas forestales, color azul violáceo coberturas como zonas urbanas y mineras, en color anaranjado zonas con cobertura de agricultura andina, y en color verde coberturas de tipo pajonal y arbustiva.

Figura N° 34

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2000, NDVI Vs C451

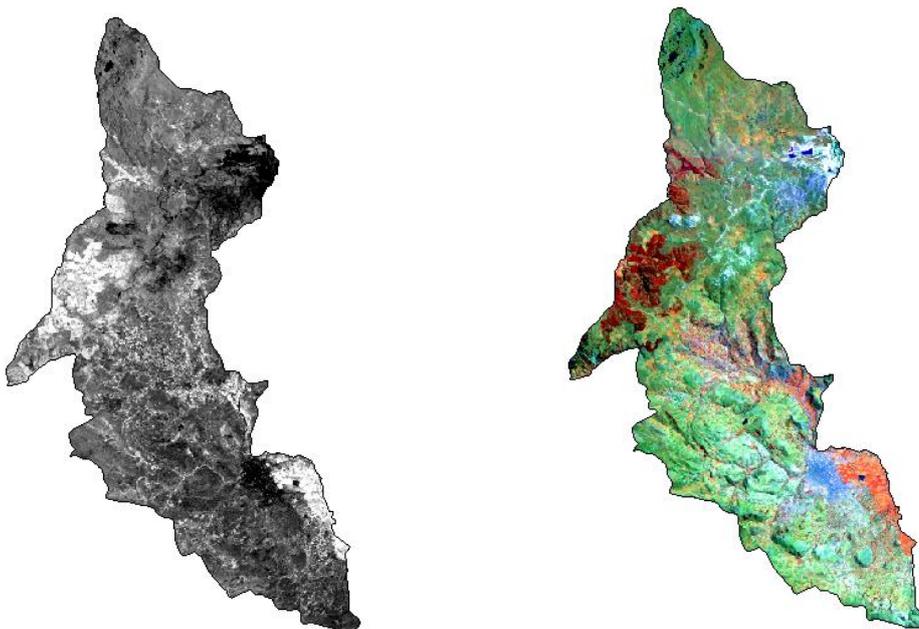


Figura N° 35

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2002, NDVI Vs C451

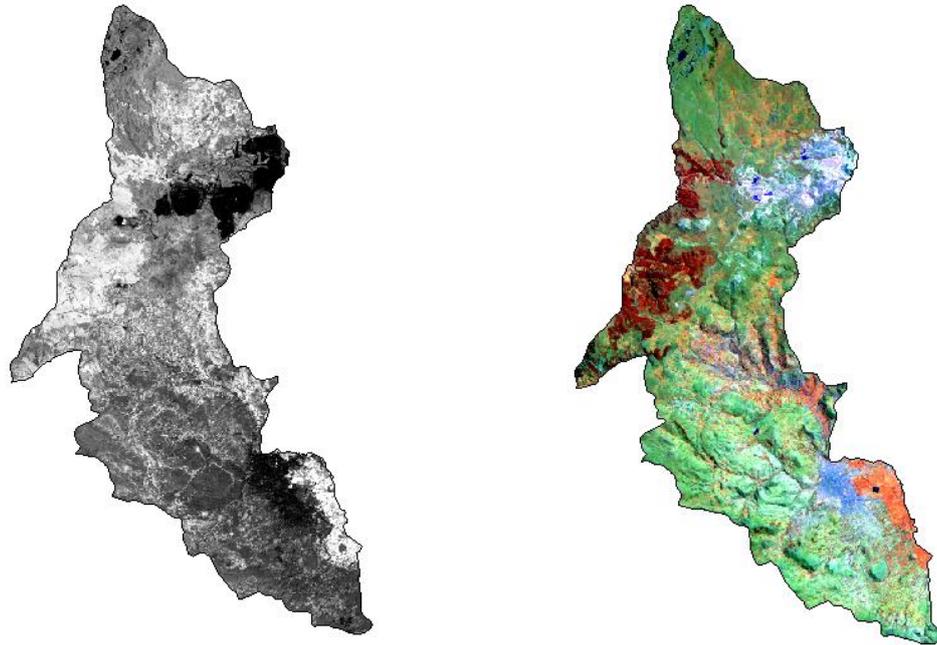


Figura N° 36

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2004, NDVI Vs C451

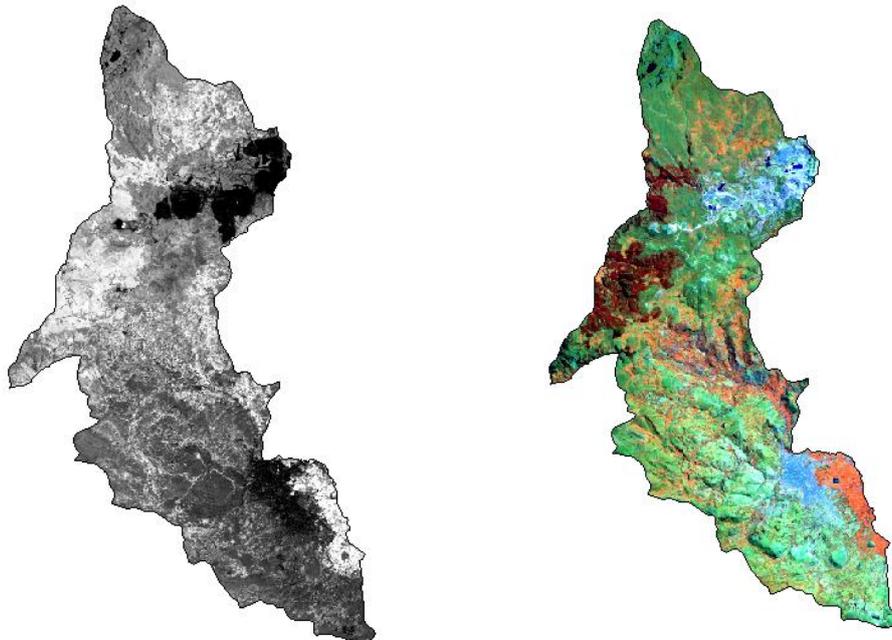


Figura N° 37

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2006, NDVI Vs C451

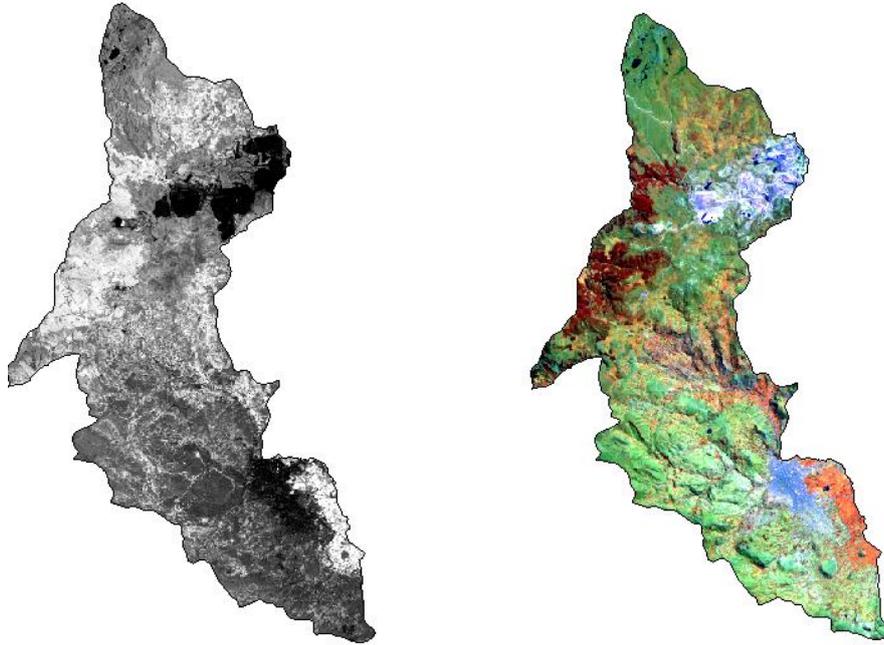


Figura N° 38

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2008, NDVI Vs C451

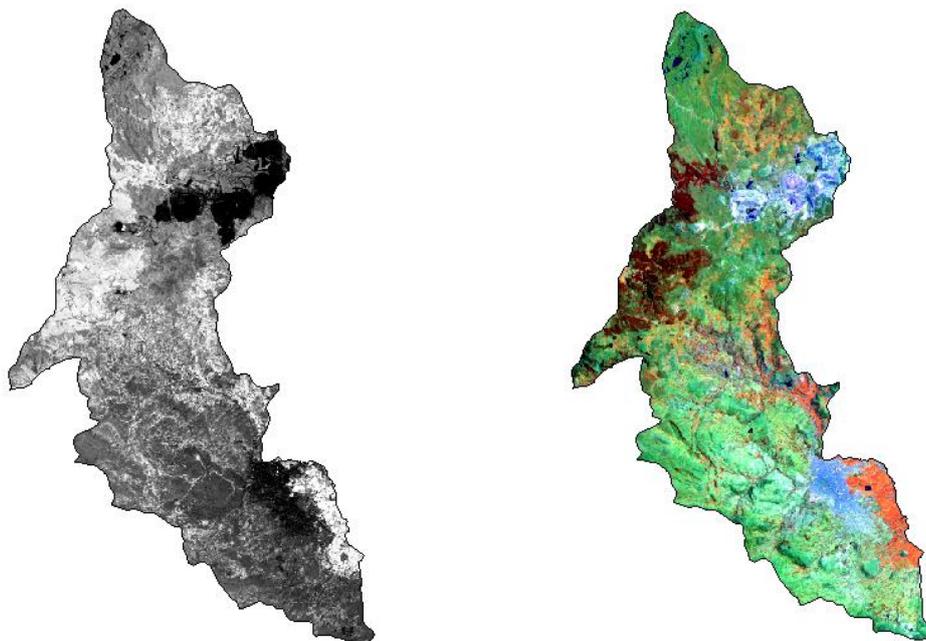


Figura N° 39

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2010, NDVI Vs C451

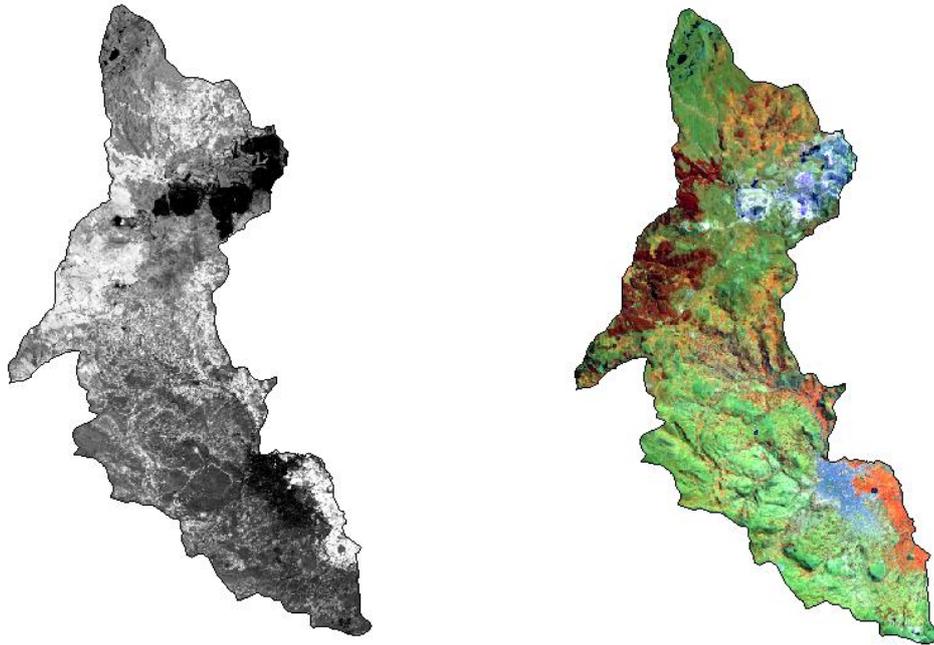


Figura N° 40

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2012, NDVI Vs C562

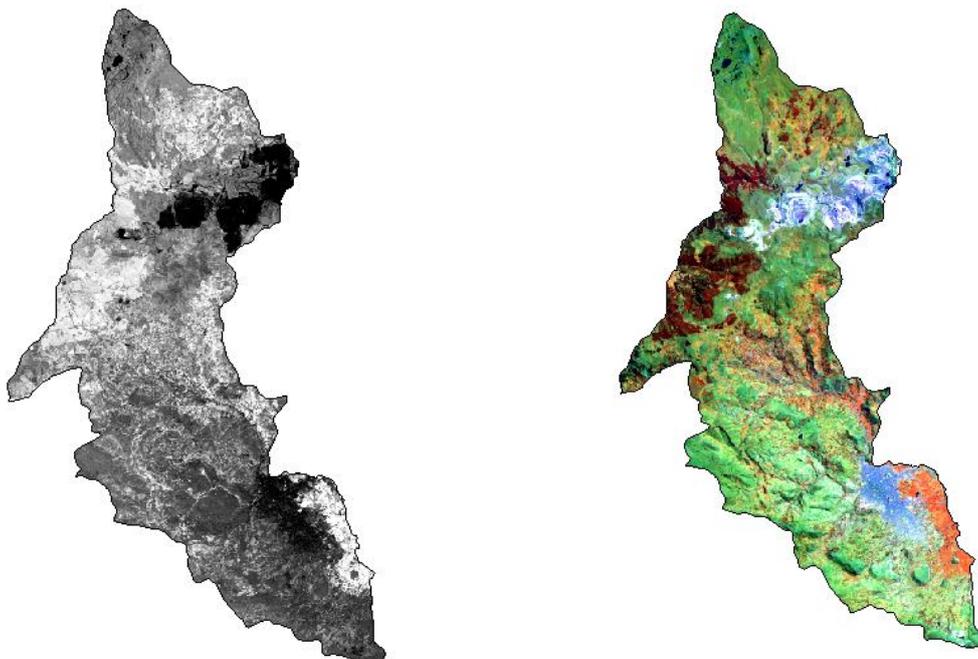


Figura N° 41

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2014, NDVI Vs C562

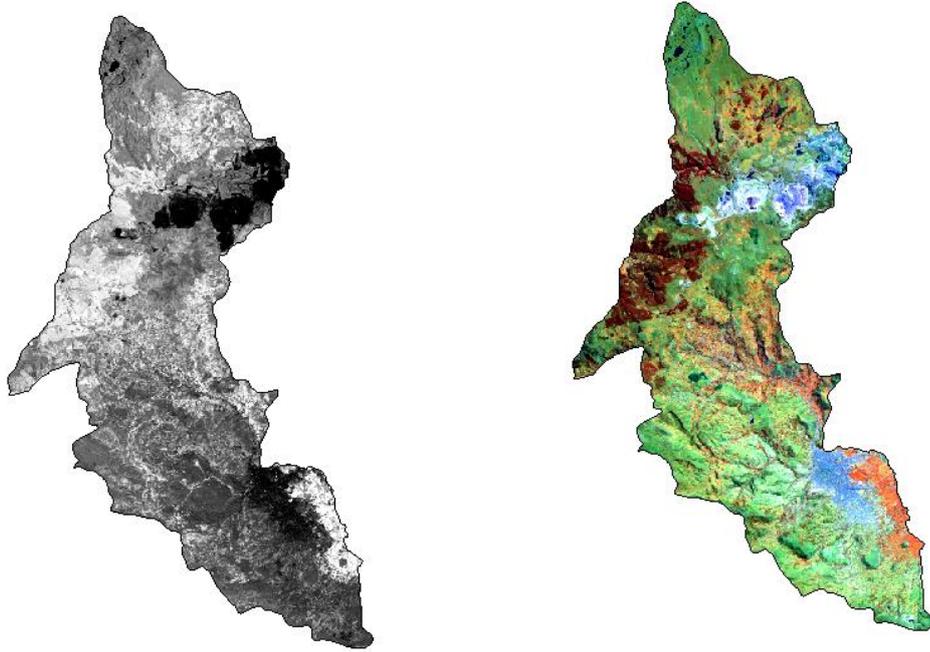


Figura N° 42

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2016, NDVI Vs C562

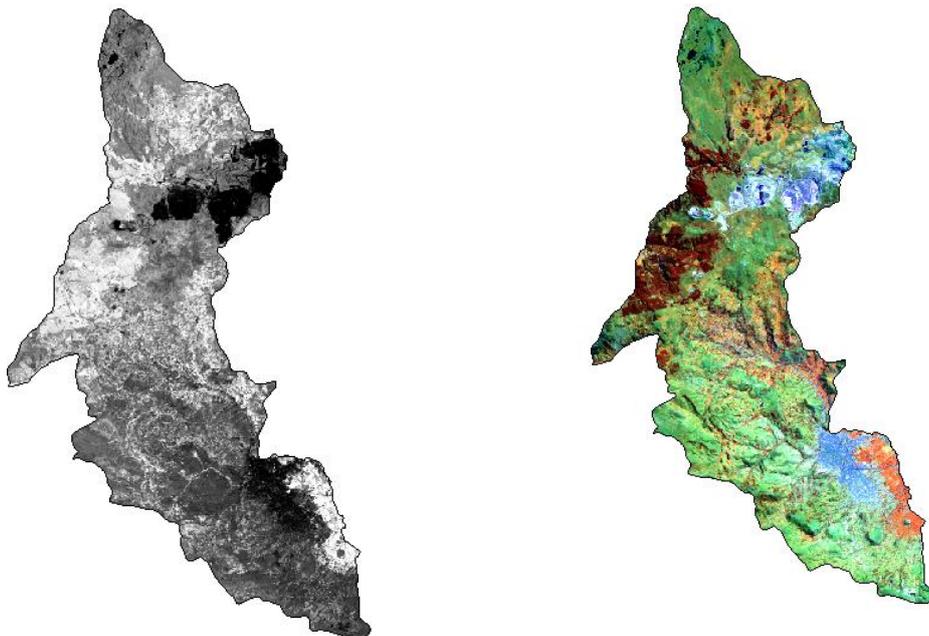


Figura N° 43

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2018, NDVI Vs C562

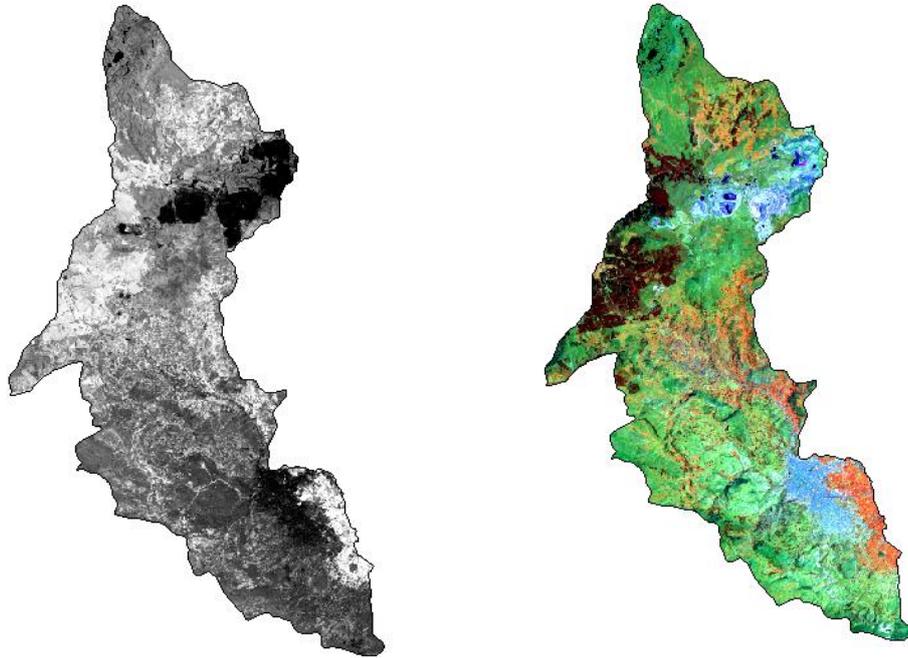


Figura N° 44

Análisis visual y espectral de cobertura en el año 2020, NDVI Vs C562

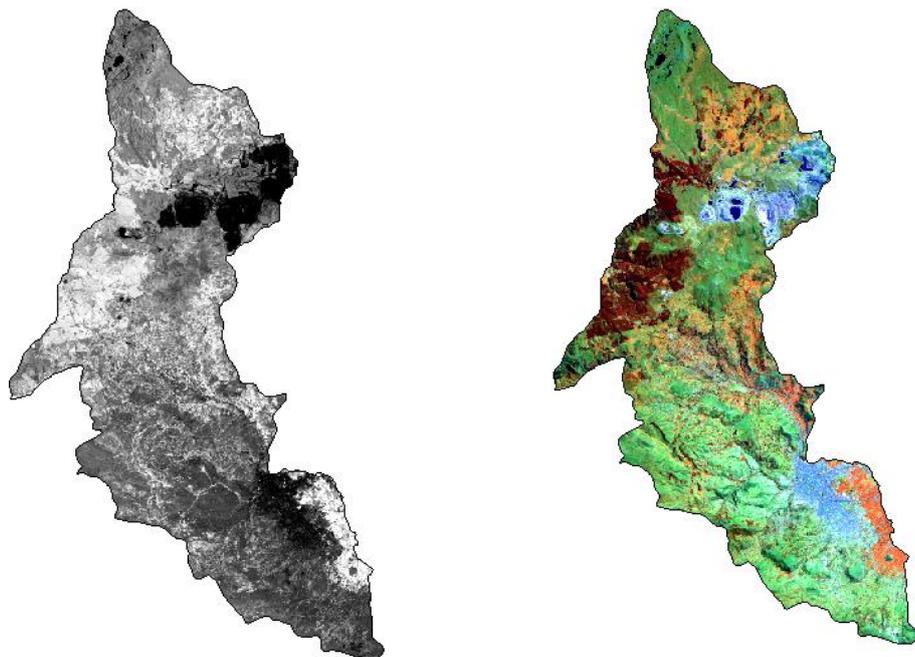


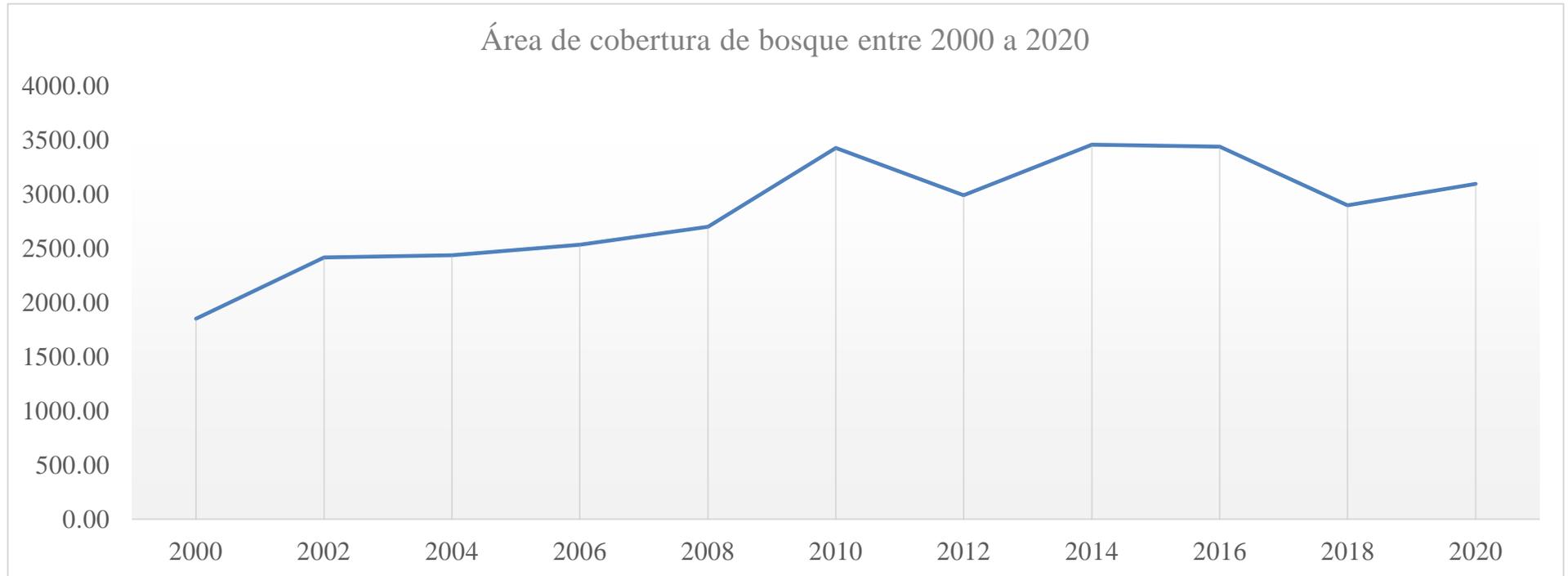
Tabla 19

Superficie total por año obtenida del análisis espectral de coberturas.

Tipo de cobertura	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
	(ha)										
No bosque	32505.77	31322.74	30865.33	30533.47	30301.79	29542.32	29670.50	28980.18	28673.76	28947.82	28481.39
Bosque	1850.81	2414.55	2436.68	2532.21	2699.99	3426.81	2990.10	3457.04	3437.83	2895.40	3096.07
Zona minera	2423.29	3036.67	3265.25	3386.91	3394.41	3393.18	3579.88	3658.36	3714.11	3716.26	3760.07
Zona urbana	1167.98	1173.26	1380.49	1493.79	1549.49	1584.46	1706.74	1850.44	2120.29	2386.75	2608.63
Superficie total	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85	37947.85

Nota: Superficies por año obtenidas de archivos vectoriales en ArcGIS 10.3.

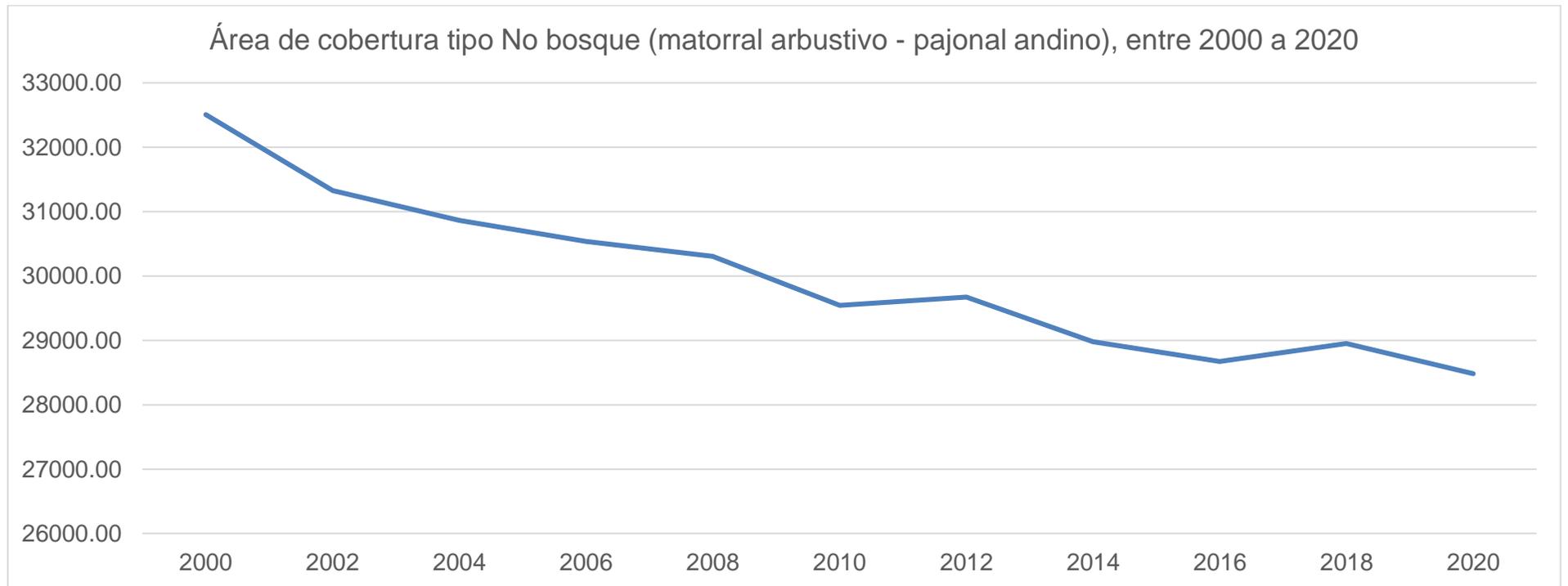
Figura N° 45

Área de cobertura tipo bosque entre 2000 a 2020.

En la figura 45 se observa la distribución temporal de la superficie de cobertura forestal, se observa un crecimiento forestal entre 2000 a 2010 a pesar de la deforestación de áreas que serán especificadas en las siguientes figuras, se observa también en los últimos años 2014 a 2020 una reducción de áreas forestales.

Figura N° 46

Área de cobertura tipo No bosque (matorral arbustivo - pajonal andino), entre 2000 a 2020



En la figura 46 se observa la distribución temporal de la superficie de cobertura vegetal (matorral arbustivo – pajonal andino), se observa un decrecimiento progresivo entre los años 2000 a 2020, coberturas que serán analizadas en los siguientes acápite.

Tabla 20

Matriz de codificación de coberturas

Matriz de cambio		Año 2002 a 2020				
		No bosque	Bosque	Zona minera	Zona urbana	
		1	2	3	4	
Año 2000	No bosque	10	11	12	13	14
	Bosque	20	21	22	23	24
	Zona minera	30	31	32	33	34
	Zona urbana	40	41	42	43	44

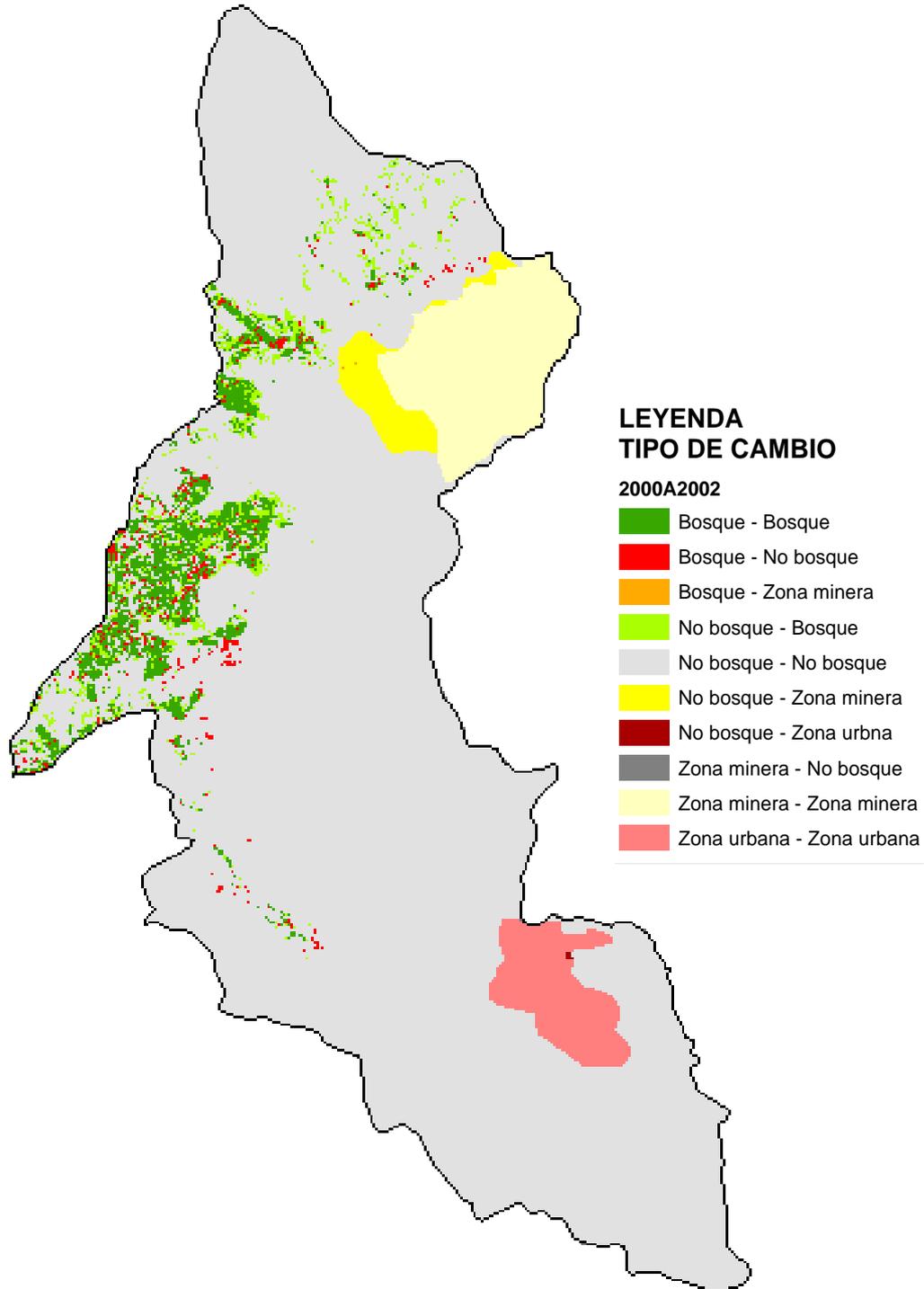
Tabla 21

Cambios de cobertura, código matriz y código de color

Cambio de cobertura			Código color		
Tipo de cobertura inicial	Tipo de cobertura final	Código de matriz	R	G	B
No bosque	No bosque	11	225	225	225
No bosque	Bosque	12	170	255	0
No bosque	Zona minera	13	255	255	0
No bosque	Zona urbana	14	168	0	0
Bosque	No bosque	21	255	0	0
Bosque	Bosque	22	56	168	0
Bosque	Zona minera	23	255	170	0
Bosque	Zona urbana	24	255	0	255
Zona minera	No bosque	31	128	128	128
Zona minera	Bosque	32	85	255	0
Zona minera	Zona minera	33	255	255	190
Zona minera	Zona urbana	34	0	0	0
Zona urbana	No bosque	41	215	158	158
Zona urbana	Bosque	42	211	255	190
Zona urbana	Zona minera	43	255	255	100
Zona urbana	Zona urbana	44	255	127	127

Figura N° 47

Cambios de cobertura 2000 a 2002



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2002, 1529 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 885 de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 320 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 0,8 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2002, además se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 1.16% y 0.014% respectivamente. Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.002% es decir 0.86 ha.

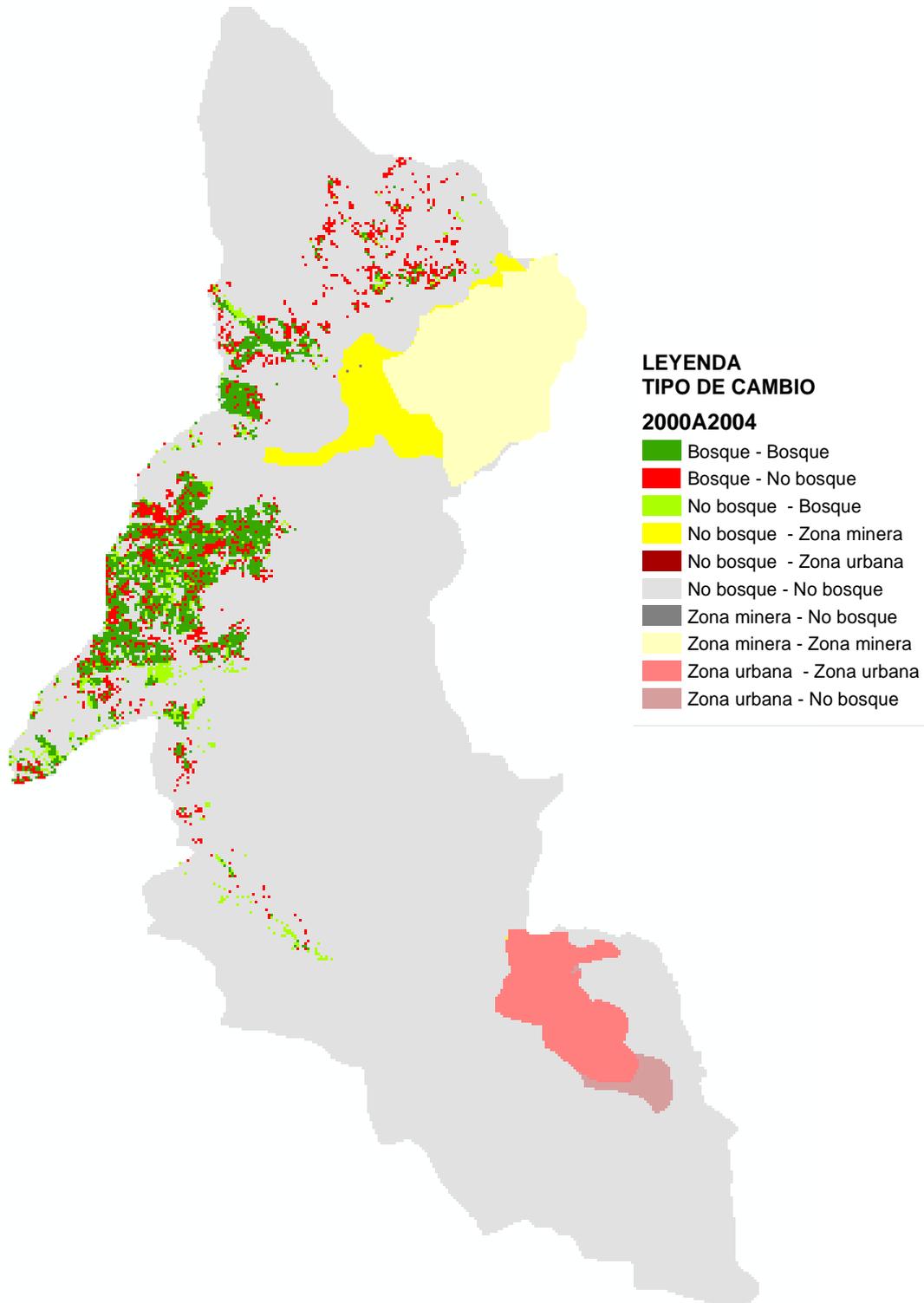
Tabla 22

Cambios de cobertura 2000 a 2002, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2002				
Clase de cambio		Código	ha	%
No bosque	No bosque	11	31002.45	81.698
No bosque	Bosque	12	885.13	2.332
No bosque	Zona minera	13	612.91	1.615
No bosque	Zona urbana	14	5.28	0.014
Bosque	No bosque	21	320.08	0.843
Bosque	Bosque	22	1529.41	4.030
Bosque	Zona minera	23	0.86	0.002
Zona minera	No bosque	31	0.21	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.89	6.385
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.98	3.078

Figura N° 48

Cambios de cobertura 2000 a 2004



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2004, 1434 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1002ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 415 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.094 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2004. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 2.16% y 0.561% respectivamente Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.003% es decir 1.22 ha.

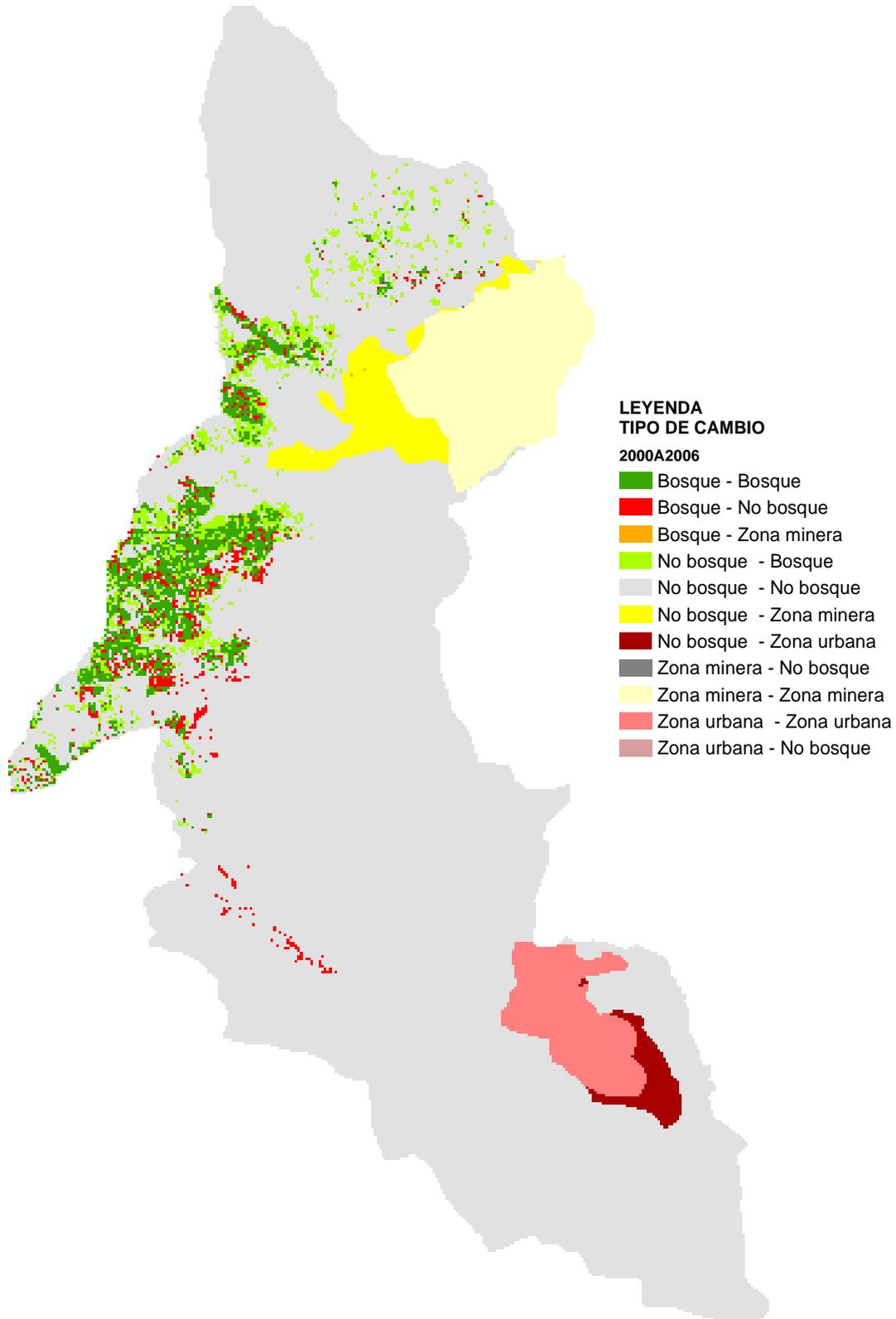
Tabla 23

Cambios de cobertura 2000 a 2004, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2004				
Clase de cambio	Código	ha	%	
No bosque	No bosque	11	30449.53	80.240
No bosque	Bosque	12	1002.40	2.642
No bosque	Zona minera	13	840.96	2.216
No bosque	Zona urbana	14	212.88	0.561
Bosque	No bosque	21	415.22	1.094
Bosque	Bosque	22	1434.27	3.780
Bosque	Zona minera	23	1.22	0.003
Zona minera	No bosque	31	0.21	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2423.07	6.385
Zona urbana	No bosque	41	0.37	0.001
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.61	3.077

Figura N° 49

Cambios de cobertura 2000 a 2006



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2006, 1344 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1187 ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 504.86 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.3 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2006. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 2.539% y 0.860% respectivamente Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.002% es decir 0.86 ha.

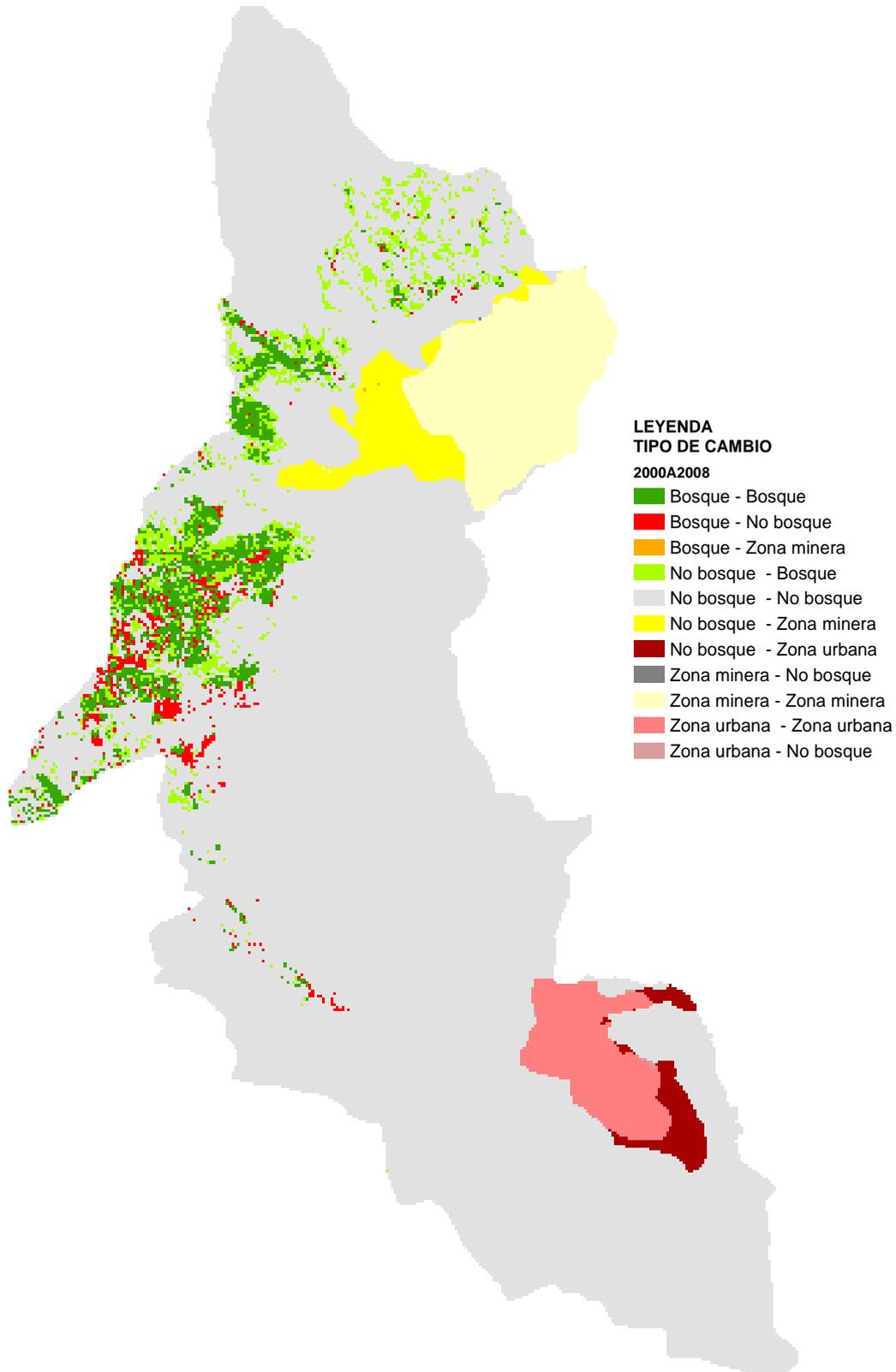
Tabla 24

Cambios de cobertura 2000 a 2006, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2006				
Clase de cambio	Código	ha	%	
No bosque	No bosque	11	30027.91	79.129
No bosque	Bosque	12	1187.58	3.129
No bosque	Zona minera	13	963.54	2.539
No bosque	Zona urbana	14	326.19	0.860
Bosque	No bosque	21	504.86	1.330
Bosque	Bosque	22	1344.64	3.543
Bosque	Zona minera	23	0.86	0.002
Zona minera	No bosque	31	0.33	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.51	6.384
Zona urbana	No bosque	41	0.38	0.001
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.60	3.077

Figura N° 50

Cambios de cobertura 2000 a 2008



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2008, 1316.67 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1333 ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 483 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.27 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2008. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 2.558% y 1.024% respectivamente cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.002% es decir 0.86 ha.

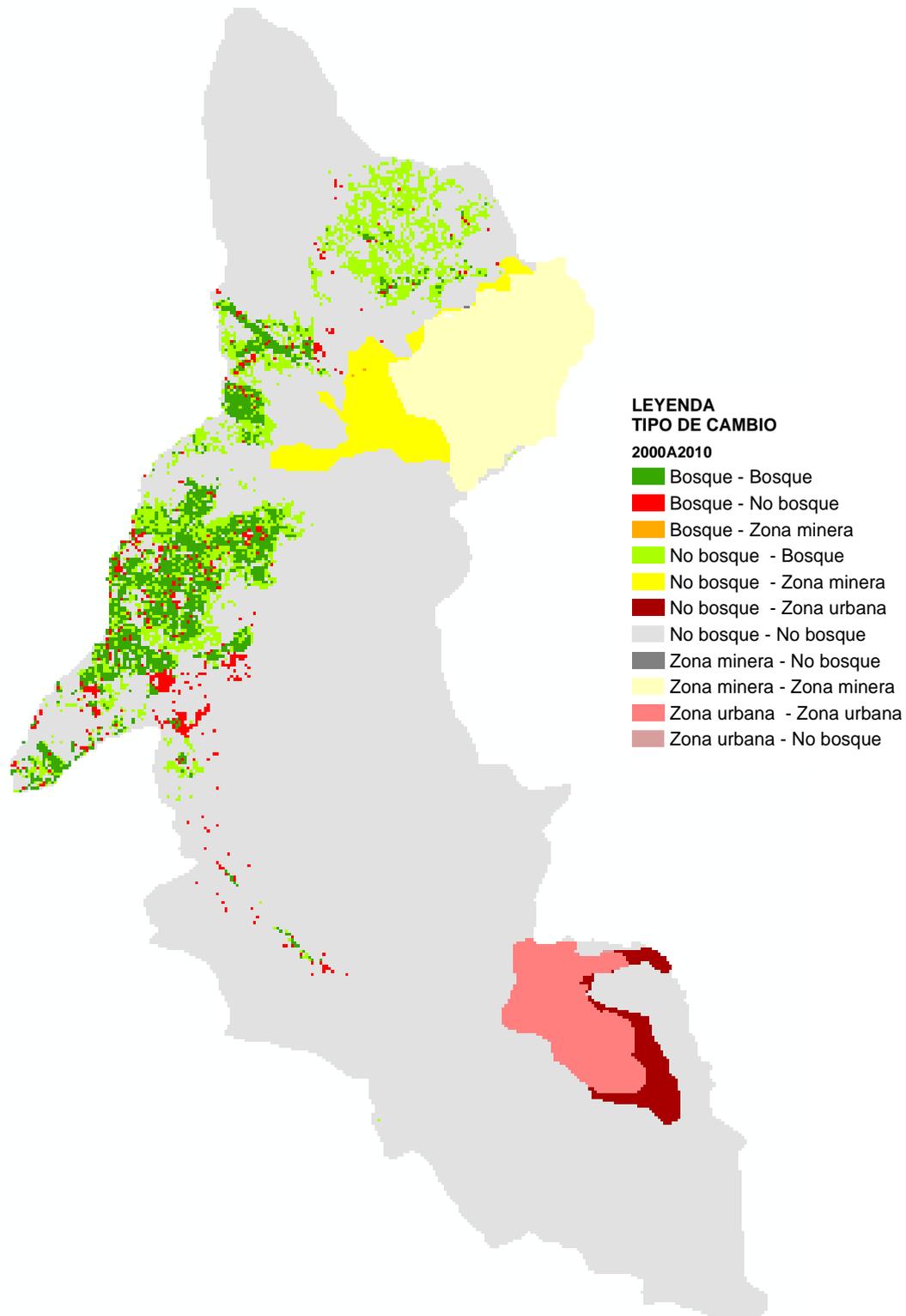
Tabla 25

Cambios de cobertura 2000 a 2008, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2008				
Clase de cambio	Código	ha	%	
No bosque	No bosque	11	29811.03	78.558
No bosque	Bosque	12	1333.82	3.515
No bosque	Zona minera	13	970.67	2.558
No bosque	Zona urbana	14	388.62	1.024
Bosque	No bosque	21	483.32	1.274
Bosque	Bosque	22	1366.17	3.600
Bosque	Zona minera	23	0.86	0.002
Zona minera	No bosque	31	0.33	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.87	6.385
Zona urbana	No bosque	41	7.11	0.019
Zona urbana	Zona urbana	44	1160.87	3.059

Figura N° 51

Cambios de cobertura 2000 a 2006



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2010, 1450 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1976 ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 399 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.052 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2010. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 2.55% y 1.1% respectivamente Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.003% es decir 1.22 ha.

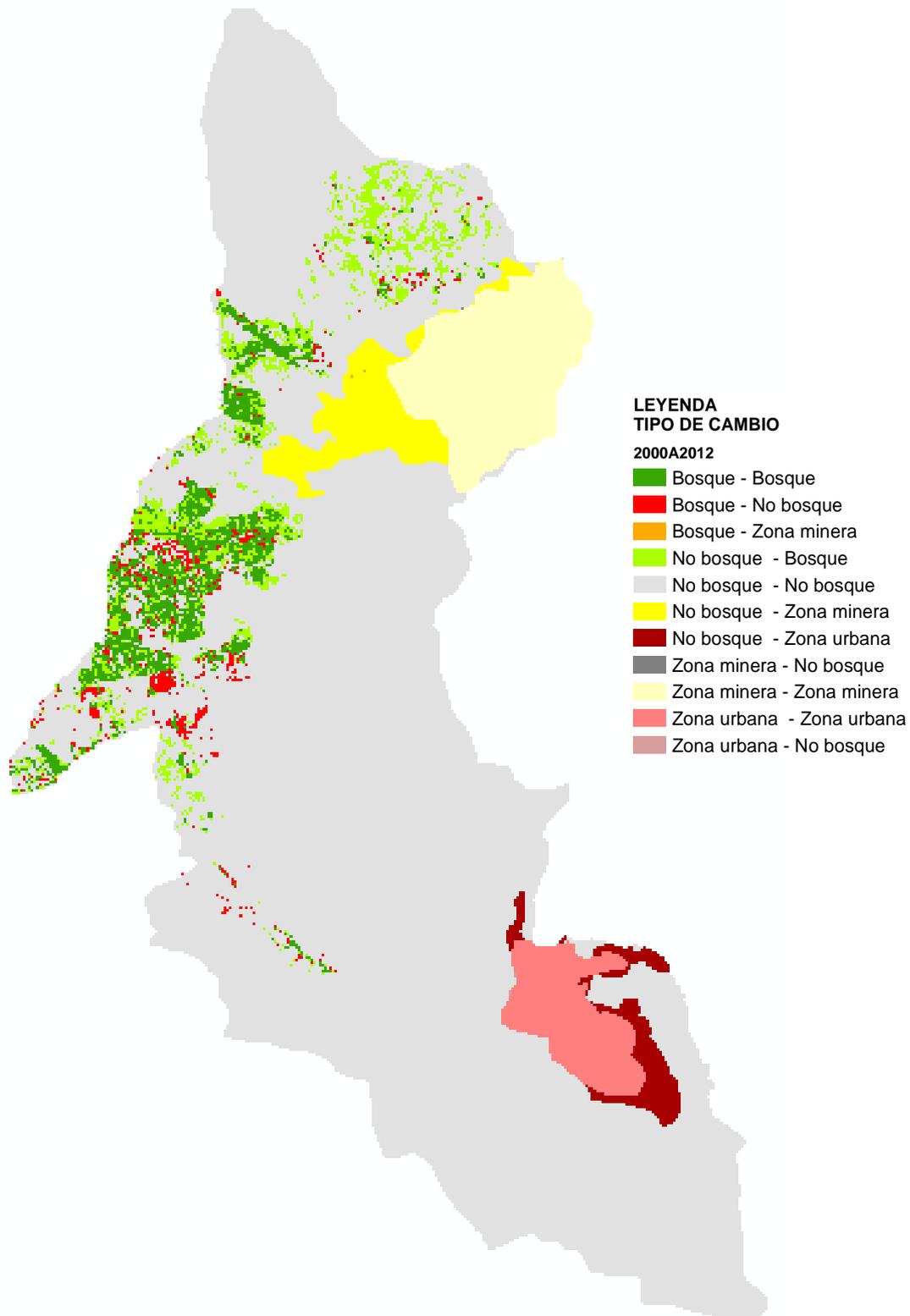
Tabla 26

Cambios de cobertura 2000 a 2010, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2010				
Clase de cambio		Código	ha	%
No bosque	No bosque	11	29141.26	76.793
No bosque	Bosque	12	1976.58	5.209
No bosque	Zona minera	13	969.72	2.555
No bosque	Zona urbana	14	417.94	1.101
Bosque	No bosque	21	399.26	1.052
Bosque	Bosque	22	1450.23	3.822
Bosque	Zona minera	23	1.22	0.003
Zona minera	No bosque	31	0.33	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.24	6.383
Zona urbana	No bosque	41	1.46	0.004
Zona urbana	Zona urbana	44	1166.52	3.074

Figura N° 52

Cambios de cobertura 2000 a 2012



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2012, 1441 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1548 ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 408.32 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.076 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2012. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 3.046% y 1.422% respectivamente. Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.003% es decir 1.22 ha.

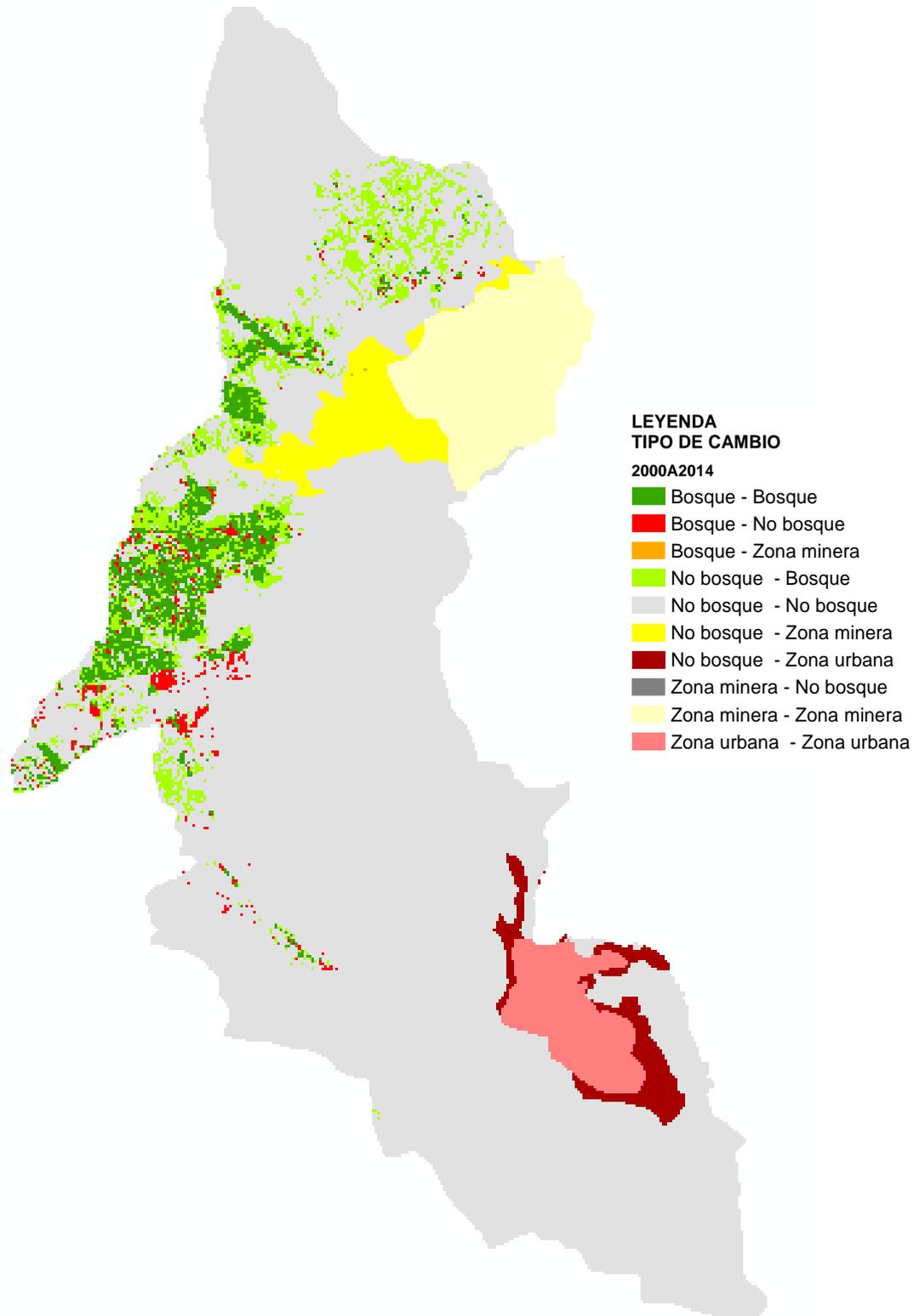
Tabla 27

Cambios de cobertura 2000 a 2012, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2012				
Clase de cambio		Código	ha	%
No bosque	No bosque	11	29261.18	77.109
No bosque	Bosque	12	1548.92	4.082
No bosque	Zona minera	13	1156.06	3.046
No bosque	Zona urbana	14	539.43	1.422
Bosque	No bosque	21	408.32	1.076
Bosque	Bosque	22	1441.17	3.798
Bosque	Zona minera	23	1.22	0.003
Zona minera	No bosque	31	0.33	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.60	6.384
Zona urbana	No bosque	41	0.67	0.002
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.31	3.076

Figura N° 53

Cambios de cobertura 2000 a 2014



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2014, 1492 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1965 ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 356 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 0,939 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2014. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 3.25% y 1.798% respectivamente Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.005% es decir 1.94 ha.

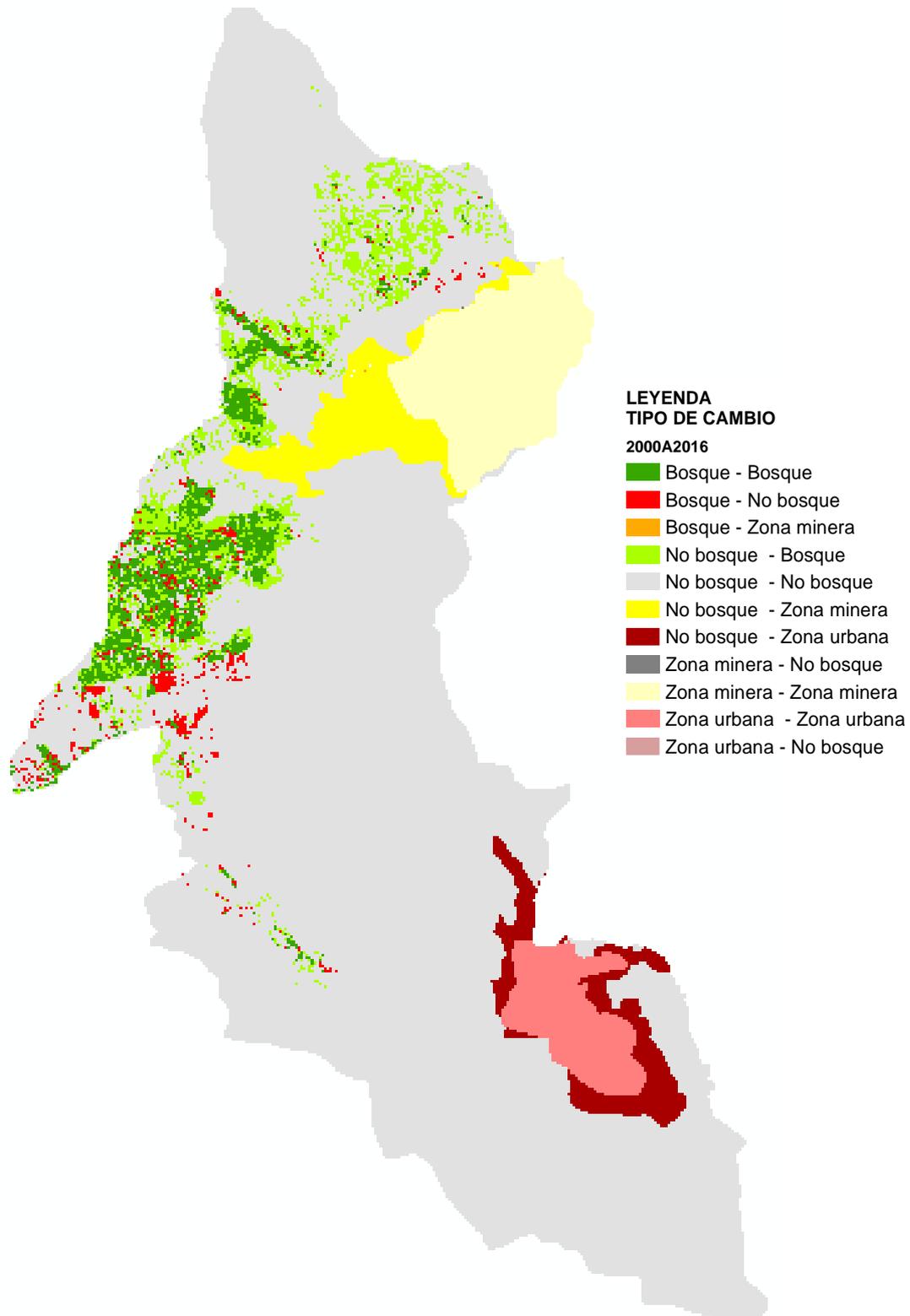
Tabla 28

Cambios de cobertura 2000 a 2014, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2014				
Clase de cambio	Código	ha	%	
No bosque	No bosque	11	28623.64	75.429
No bosque	Bosque	12	1965.02	5.178
No bosque	Zona minera	13	1233.46	3.250
No bosque	Zona urbana	14	682.46	1.798
Bosque	No bosque	21	356.21	0.939
Bosque	Bosque	22	1492.02	3.932
Bosque	Zona minera	23	1.94	0.005
Zona minera	No bosque	31	0.33	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.96	6.385
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.98	3.078

Figura N° 54

Cambios de cobertura 2000 a 2016



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2016, 1419.54 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 2018 ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 428 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.13 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2016. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 3.398% y 2.511% respectivamente Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.005 % es decir 1.76 ha.

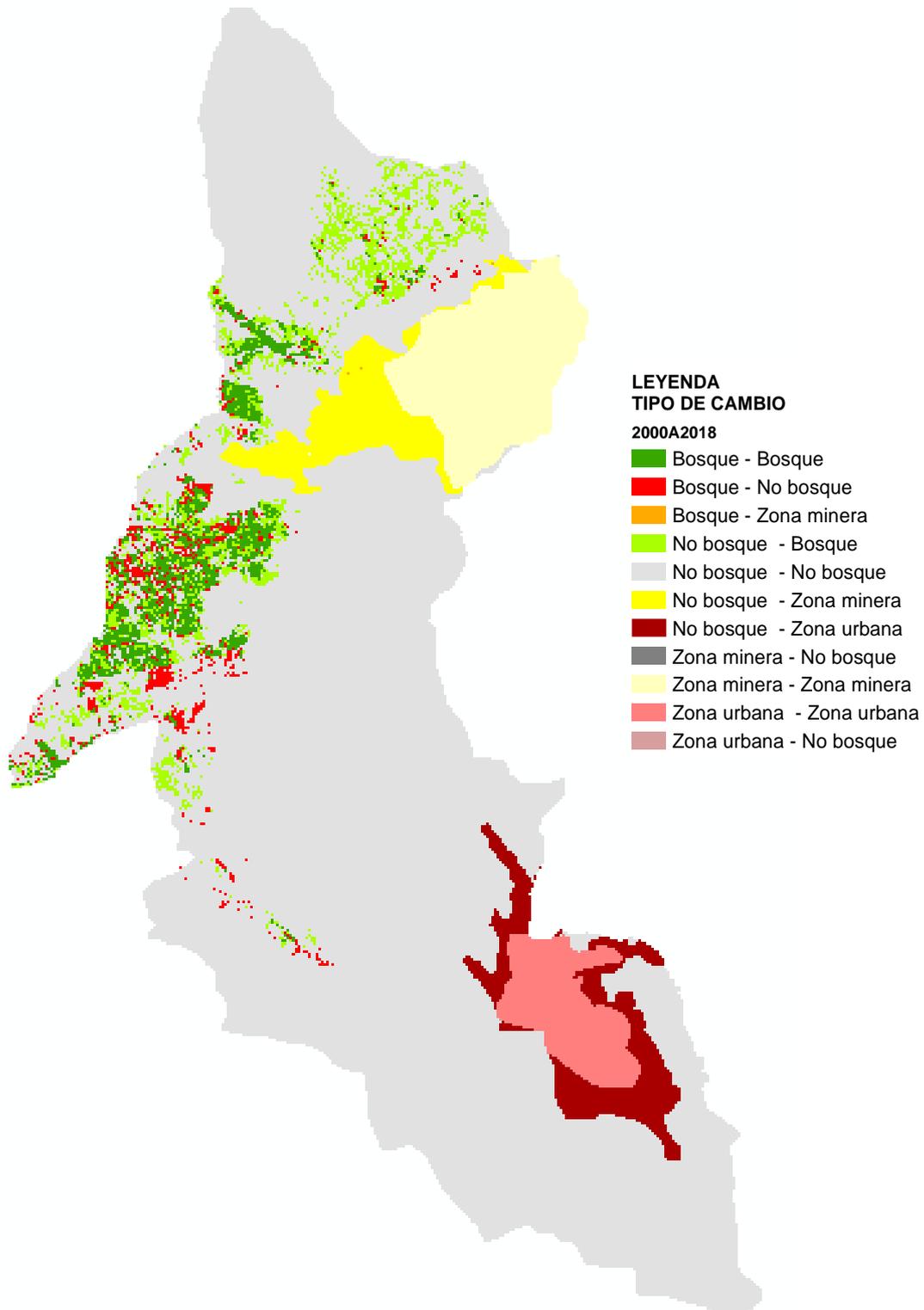
Tabla 29

Cambios de cobertura 2000 a 2016, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2016				
Clase de cambio	Código	ha	%	
No bosque	No bosque	11	28244.25	74.429
No bosque	Bosque	12	2018.30	5.319
No bosque	Zona minera	13	1289.39	3.398
No bosque	Zona urbana	14	952.79	2.511
Bosque	No bosque	21	428.69	1.130
Bosque	Bosque	22	1419.54	3.741
Bosque	Zona minera	23	1.76	0.005
Zona minera	No bosque	31	0.33	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.96	6.385
Zona urbana	No bosque	41	0.48	0.001
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.50	3.077

Figura N° 55

Cambios de cobertura 2000 a 2018



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2018, 1258 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1636.50 de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 588 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.552 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2018. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 3.402% y 3.212% respectivamente Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.005% es decir 2.03 ha.

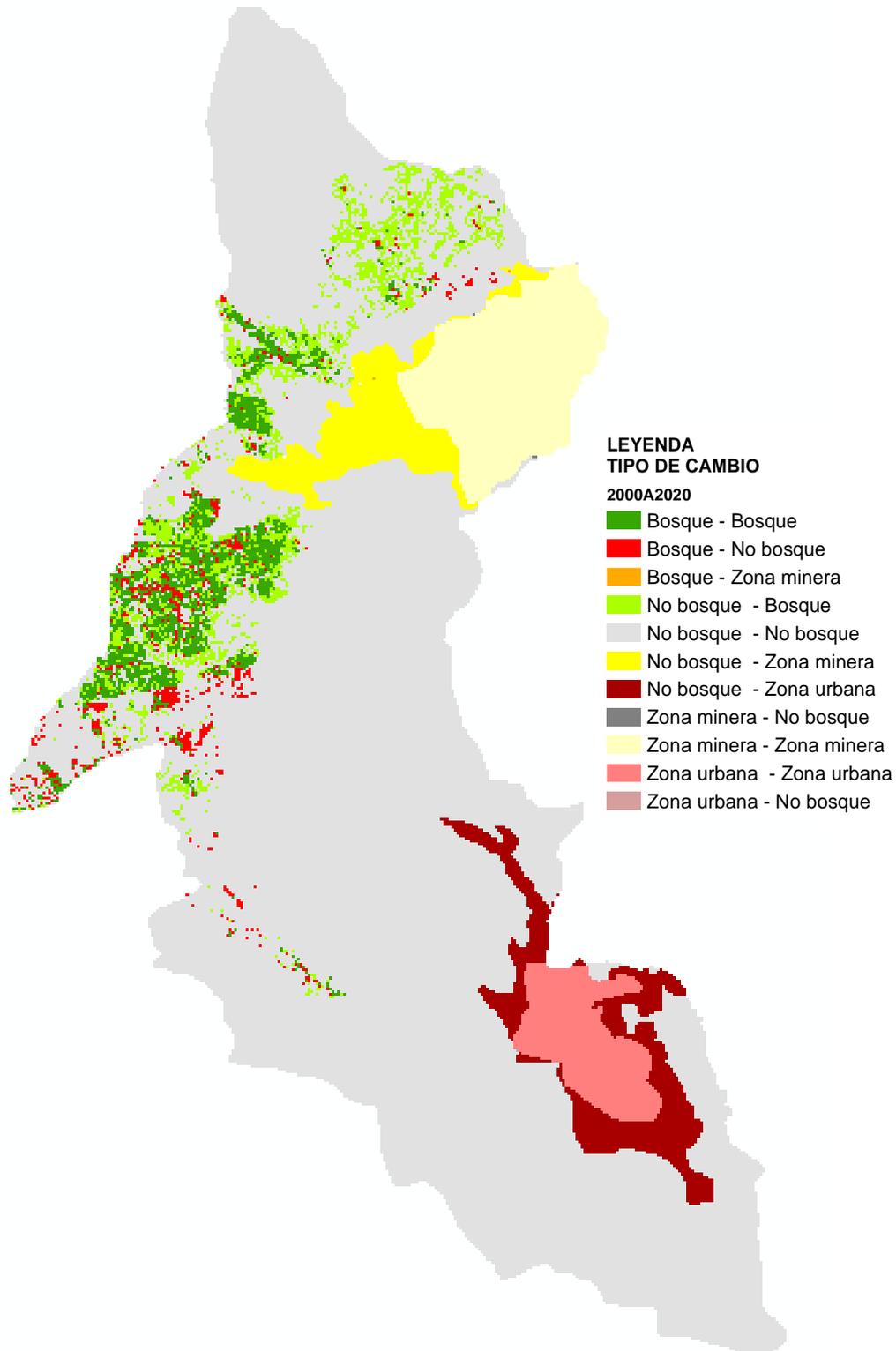
Tabla 30

Cambios de cobertura 2000 a 2018, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2018				
Clase de cambio	Código	ha	%	
No bosque	No bosque	11	28358.51	74.730
No bosque	Bosque	12	1636.50	4.313
No bosque	Zona minera	13	1291.07	3.402
No bosque	Zona urbana	14	1218.97	3.212
Bosque	No bosque	21	588.98	1.552
Bosque	Bosque	22	1258.89	3.317
Bosque	Zona minera	23	2.03	0.005
Zona minera	No bosque	31	0.13	0.000
Zona minera	Zona minera	33	2423.16	6.385
Zona urbana	No bosque	41	0.20	0.001
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.78	3.077

Figura N° 56

Cambios de cobertura 2000 a 2020



De acuerdo a los resultados se aprecia que en el periodo 2000 a 2020, 1354 ha del área de estudio ha permanecido como “Bosque”, mientras que casi 1741 ha de “No bosque” se convirtió en “Bosque”. Por otro lado, con lo que respecta a la clase de “bosque- no bosque”, ésta representa a los cambios incurridos en los bosques, por lo que existen 493 ha que ya no son bosques, es decir, se ha deforestado el 1.3 por ciento de la superficie total en el periodo 2000-2020. Además, se verifica que zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) pasaron a ser zona minera y urbana en un 3.518% y 3.797% respectivamente. Cabe resaltar que las zonas urbanas no representaron deforestación al igual que las zonas mineras que presentan un valor de 0.006% es decir 2.16 ha.

Tabla 31

Cambios de cobertura 2000 a 2020, código matriz y superficie.

Año 2000 - 2020				
Clase de cambio		Código	ha	%
No bosque	No bosque	11	27987.44	73.752
No bosque	Bosque	12	1741.49	4.589
No bosque	Zona minera	13	1335.12	3.518
No bosque	Zona urbana	14	1440.75	3.797
Bosque	No bosque	21	493.34	1.300
Bosque	Bosque	22	1354.58	3.570
Bosque	Zona minera	23	2.16	0.006
Zona minera	No bosque	31	0.51	0.001
Zona minera	Zona minera	33	2422.78	6.385
Zona urbana	No bosque	41	0.10	0.000
Zona urbana	Zona urbana	44	1167.88	3.078

A partir de los resultados se presenta la tasa de cambios de cobertura vegetal, se observa que los cambios de cobertura han sido muy dinámicos en cada periodo, con una tendencia creciente para el tipo forestal, presentando las tasas de deforestación más altas para los periodos 2000- 2002, periodo 2016-2018 y el periodo 2014-2016 y decreciente para el tipo No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino). Ello se debe a factores principalmente antrópicos como ganadería, producción de madera y agricultura migratoria presentes en el área de estudio, (zonas de “Bosque” que pasan a zona “No bosque”), así como zonas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) que pasaron a formar parte de cubiertas de tipo minera y zona urbana. A su vez, dichos cambios se incrementan por la intensa actividad del hombre en las cuencas hidrográficas, principalmente en áreas aledañas a las quebradas y ríos, lo que genera la pérdida de la cobertura vegetal y disminución en cantidad y calidad del recurso hídrico y suelo; afectando de esta manera a las coberturas vegetales presentadas en la zona evaluada.

Tabla 32

Taza de cambio para cobertura forestal entre 2000 a 2020

Periodo	n	si	sf	sf/si	1/n	TC%
2000 a 2002	2	1850.81	2414.55	1.30	0.50	14.22
2002 a 2004	2	2414.55	2436.68	1.01	0.50	0.46
2004 a 2006	2	2436.68	2532.21	1.04	0.50	1.94
2006 a 2008	2	2532.21	2699.99	1.07	0.50	3.26
2008 a 2010	2	2699.99	3426.81	1.27	0.50	12.66
2010 a 2012	2	3426.81	2990.10	0.87	0.50	-6.59
2012 a 2014	2	2990.10	3457.04	1.16	0.50	7.53
2014 a 2016	2	3457.04	3437.83	0.99	0.50	-0.28
2016 a 2018	2	3437.83	2895.40	0.84	0.50	-8.23
2018 a 2020	2	2895.40	3096.07	1.07	0.50	3.41

 Nota: si (superficie inicial), sf(superficie final, n(número de años transcurridos) y TC $((sf/si^{1/n}-1)*100)$

Tabla 33

Taza de cambio para cobertura no forestal entre 2000 a 2020

	n	si	af	sf/si	1/n	TC%
2000 a 2002	2	32505.77	31322.74	0.96360554	0.5	-1.84
2002 a 2004	2	31322.74	30865.33	0.98539687	0.5	-0.73
2004 a 2006	2	30865.33	30533.47	0.98924813	0.5	-0.54
2006 a 2008	2	30533.47	30301.79	0.99241226	0.5	-0.38
2008 a 2010	2	30301.79	29542.32	0.97493646	0.5	-1.26
2010 a 2012	2	29542.32	29670.5	1.00433886	0.5	0.22
2012 a 2014	2	29670.5	28980.18	0.97673379	0.5	-1.17
2014 a 2016	2	28980.18	28673.76	0.98942657	0.5	-0.53
2016 a 2018	2	28673.76	28947.82	1.00955787	0.5	0.48
2018 a 2020	2	28947.82	28481.39	0.98388721	0.5	-0.81

 Nota: si (superficie inicial), sf(superficie final, n(número de años transcurridos) y TC $((sf/si^{1/n}-1)*100)$

Figura N° 57

Puntos de control en plano de cobertura

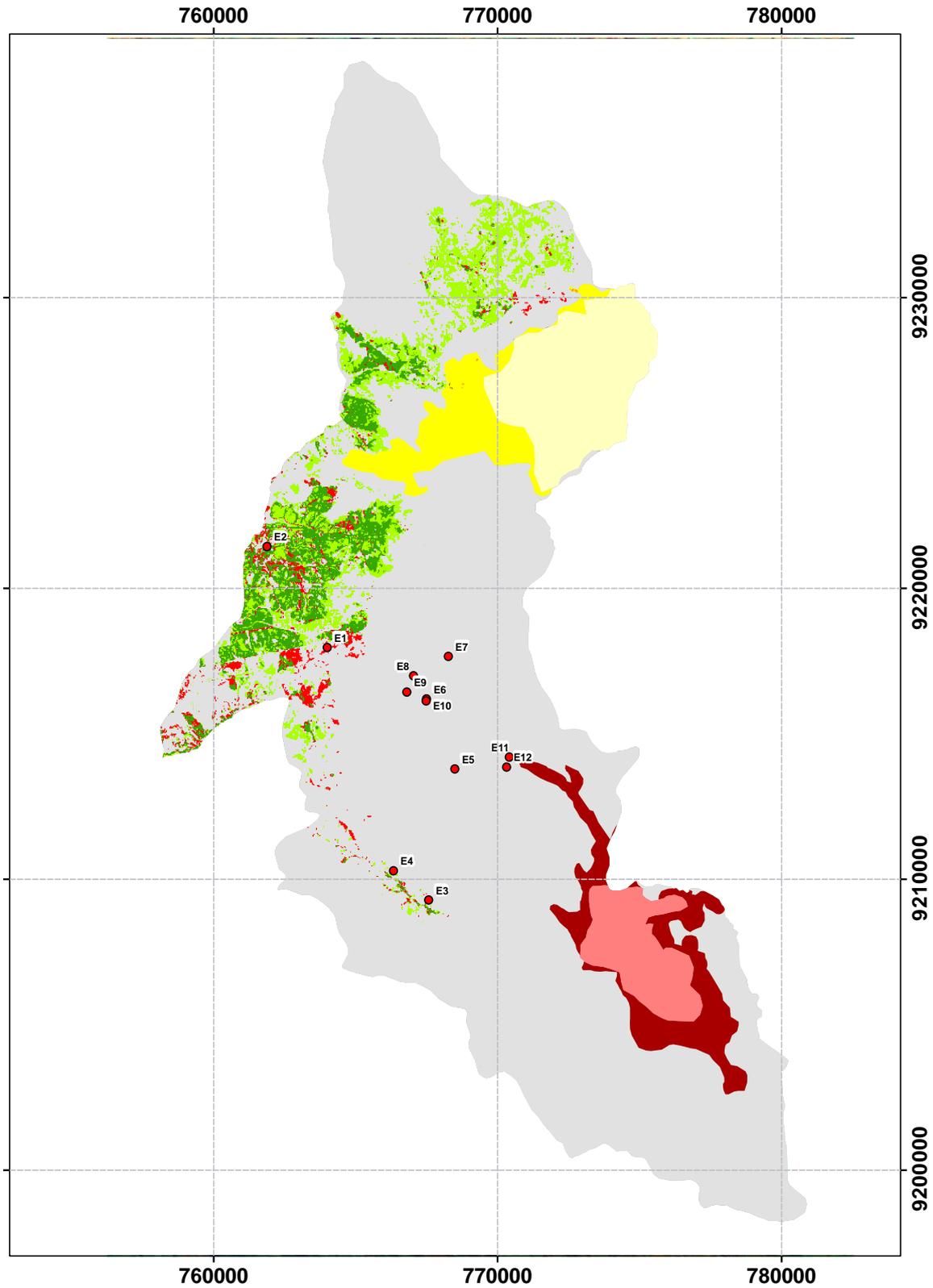


Tabla 34

Coordenadas de puntos de control

Código	Zona	Tipo	Este	Norte
E1	Chaquil	Bosque	764014	9217950
E2	Granja porcón	Bosque	761894	9221417
E3	Chamis	Bosque	767591	9209265
E4	Chilcaloma	Bosque	766349	9210270
E5	Tuanzo	No bosque	768507	9213773
E6	Porcón alto	No bosque	767512	9216180
E7	San pedro	No bosque	768278	9217646
E8	Sugochoca	No bosque	767054	9216976
E9	Tierra amarilla	No bosque	766818	9216420
E10	Porcón alto	No bosque	767497	9216111
E11	Porconsillo bajo	No bosque	770429	9214181
E12	La capilla	No bosque	770333	9213839

En la figura 57 se observa los puntos de control tomados en campo, se verifica que estos coinciden con la ubicación espacial de bosques y no bosques identificados por técnicas espectrales, de 12 puntos monitoreados se observa que los 12 coinciden con la información brindada por la imagen 56 del año 2020.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de los resultados se puede verificar que, fue posible determinar el porcentaje de degradación de cobertura vegetal en el distrito de Cajamarca utilizando técnicas espectrales entre 2000 a 2020, técnicas aplicadas por Toapanta (2019), Alegre (2017) y Rodríguez (2018) autores que utilizaron principalmente técnicas espectrales como el NDVI y el uso de combinación de Bandas para la delimitación de coberturas vegetales y uso de suelos en sus investigaciones.

De la investigación se verificó que el mayor porcentaje de degradación para la cobertura vegetal de tipo forestal se dio en el periodo de 2016 a 2018 con un porcentaje de -8.23%, zonas de bosque que pasaron a ser zonas de No bosque (zonas influenciadas por la agricultura, producción de madera y ganadería), y en menor cantidad zonas de actividad minera; zonas que por la magnitud de dicha actividad se creyó impactarían en mayor proporción a los servicios ecosistémicos forestales, pero a partir de los resultados se analiza que entre 2000 a 2020 solo tuvo una variación de 0.006% de la superficie total; es decir 2.16 ha que comparando con las coberturas de bosques que pasaron a ser coberturas de No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) el cual tuvo un valor de 1.3% que representa 493.3 ha. Concordando con Córdova y Sánchez (2020) y Tarrillo (2019); quienes en sus investigaciones realizadas en la provincia de Cajamarca verifican que la degradación coberturas de tipo bosque están ampliamente relacionada a actividades antrópicas, con mayor proporción la agricultura y producción de madera.

De la investigación se verificó que el mayor porcentaje de degradación para la cobertura vegetal de tipo No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) se dio en el periodo de 2000 a 2002, 2008 a 2010 y 2012 a 2014. Con un porcentaje de 1.84, 1.16 y 1.24 respectivamente.

A partir de los resultados y el análisis de las técnicas visuales y espectrales se tuvo un mejor resultado al utilizar el NDVI para sectorizar la vegetación en su totalidad y la técnica de combinación de bandas y análisis de firma espectral para identificar cada una de las cubiertas clasificadas, combinación 451 para Landsat 7 y 562 para Landsat 8, concordando con Alberca y Pintado (2019), quienes realizaron un estudio titulado "cambios de cobertura vegetal en el Santuario Nacional Tabaconas Namballe-San Ignacio-Cajamarca", mediante imágenes de satélite, periodo 1988 – 2018". y los cuales utilizaron los mismos niveles digitales de 0 a 0.45 para sectorizar la vegetación de la zona, diferenciándose de la investigación en el uso de componentes principales para la selección de los diferentes tipos de cubiertas a diferencia del presente estudio que fue de mayor utilidad la aplicación de combinación de bandas, cabe recalcar que no en todas las investigaciones se globaliza el uso de una técnica pues existe muchos parámetros que condicionan el resultado.

Se puede corroborar que en el distrito de Cajamarca las zonas urbanas tuvieron un crecimiento de 1167.98 ha en el 2000 a 2608.63 ha al 2020; las zonas mineras de 2423 ha a 3760.07 ha al 2020, y a pesar de existir deforestación evidenciada a partir del año 2010 al 2020 de algunas zonas representadas de color rojo en los mapas de cambio, los valores comparados de la superficie inicial de bosques en el año 2020 con un valor de 1850.81 es menor al del año 2020 con un valor de 3096.07, esto se debe a que a pesar de existir la degradación de cubiertas vegetales en zonas aledañas a actividades antrópicas, existen zonas que han permitido el avance siembra y repoblación de recursos forestales. gran ejemplo de ello es La granja Porcón y zonas aledañas a zonas mineras.

De 12 puntos de monitoreo realizados en campo se observa que los 12 puntos coinciden con la información obtenida por medio de técnicas espectrales.

CONCLUSIONES

De la investigación se verificó que el mayor porcentaje de degradación se dio en el periodo de 2016 a 2018 con un porcentaje de -8.23%, minera, un porcentaje de - 6.59% en el periodo de 2010 a 2012 y un porcentaje de 0.28 en el periodo de 2014 a 2016. Dicha cobertura de bosque pasó a ser zonas de No bosque (zonas influenciadas por la agricultura, producción de madera y ganadería), y en menor cantidad zonas de actividad minera. Concluyéndose procesos de degradación forestal en los periodos de 2010 a 2012 y de 2014 a 2018. De igual modo se concluye que el mayor porcentaje de degradación para la cobertura vegetal de tipo No bosque (matorral arbustivo y pajonal andino) se dio en el periodo de 2000 a 2002, 2008 a 2010 y 2012 a 2014. Con un porcentaje de 1.84, 1.16 y 1.24 respectivamente.

Al evaluar el NDVI y la técnica de combinación de bandas se concluye que el uso del NDVI es de gran utilidad en la delimitación de cobertura vegetal completa es decir cobertura que incluirá cobertura forestal, cobertura de agricultura andina, pajonal y arbustiva, y el uso de la combinación 451 para Landsat 7 y 562 para Landsat 8 permite la diferenciación de la cobertura forestal requerida, técnica que se complementa con el uso de la firma espectral que permita diferenciar los diferentes tipos de coberturas.

Se concluye un crecimiento en la superficie de zonas urbanas, con un valor de 1167.98 ha en el 2000 a 2608.63 ha al 2020; las zonas mineras de 2423 ha a 3760.07 ha al 2020; a pesar de existir deforestación evidenciada a partir del año 2010 al 2020 de algunas zonas representadas de color rojo en los mapas de cambio, los valores comparados de la superficie inicial de bosques en el año 2000 con un valor de 1850.81 es menor al del año 2020 con un valor de 3096.07.

Finalmente se concluye que los porcentajes de degradación de servicios forestales son 0.843 % para el periodo de 2000 a 2002, 1.094% para el periodo de 2000 a 2004, 1.33% para el periodo de 2000 a 2006, 1.274 % para el periodo de 2000 a 2008, 1.052 % para el periodo de 2000 a 2010, 1.076 % para el periodo de 2000 a 2012, 0.939 % para el periodo de 2000 a 2014, 1.130 % para el periodo de 2000 a 2016, 1.130 % para el periodo de 2000 a 2016, 1552 % para el periodo de 2000 a 2018, 1.3% para el periodo de 2000 a 2020, con un área de 320.08 ha para el periodo de 2000 a 2002, un área de 1434.27 ha para el periodo de 2000 a 2004, un área de 504.86 ha para el periodo de 2000 a 2006, un área de 483.32 ha para el periodo de 2000 a 2008, un área de 399.26 ha para el periodo de 2000 a 2010, un área de 408.32 ha para el periodo de 2000 a 2012, un área de 356.21 ha para el periodo de 2000 a 2014, un área de 428.69 ha para el periodo de 2000 a 2016, un área de 528.98 ha para el periodo de 2000 a 2018 y un área de 493.34 ha para el periodo de 2000 a 2020..

REFERENCIAS

- Alonso, F. (2006). *Sistema de Información Geográfica*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Alberca, C., y Pintado, G. (2017). *Cambios de cobertura vegetal en el Santuario Nacional Tabaconas Namballe-San Ignacio-Cajamarca*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Jaén, Jaén, Perú.
- Alegre, K. (2017). *Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017*, (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Aguilar, H., Mora, R y Vargas, C. (2019). *Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot 2 y landsat 8 con el módulo flaash del software ENVI*. Revista Geográfica De América Central.
- Bennett, A. (1999). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. Gland: IUCN.
- Cabrera, J., Guerrero, J., y Castillo, A. (2020). Deforestación y cambios en la cobertura vegetal del archipiélago de Jambelí, mediante el uso de imágenes satelitales Landsat-8. *Manglar*, 17(2), 153-157.
- Cerda, T. (2007). *Expansión urbana discontinua analizada desde el enfoque de accesibilidad territorial aplicación a Santiago de Chile*. (Tesis de Maestría), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Córdova, J., y Sánchez, Luis. (2020). *Análisis de la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del río Neshuya, Ucayali, Perú*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Ucayali, Pucallpa, Perú.

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de la teledetección espacial*. Madrid: RIALP.

Chuvieco, E. (2012). *Teledetección ambiental*. Barcelona: ARIEL.

Delgado, E. (2018). *cambios de uso de suelo y cobertura vegetal en el área de conservación privada hierba buena-Allpayacku y su área circundante, Amazonas, 2017*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez De Mendoza De Amazonas, Chachapoyas, Perú.

Gil, W. (2019). *Cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de san silvestre de Cochán, periodo 2001 – 2018.*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Kessler, M. (2006). Bosques de *Polylepis*. En *Botánica económica de los Andes centrales*, M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (ed.). (pp. 110-120), La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.

Kissinger, G.; Herold, M., y De Sy, V. (2012). Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. Lexeme Consulting, Vancouver Canada.

Linares, R. (2013). Diversidad, composición y estructura del bosque seco estacional de Torobamba (Ayacucho, Perú). Washington D.C.: Smithsonian Institution Scholarly Press.

Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa. Lima: ONERN. • Pitman, N. et al., (2004). Perú: Ampiyacu, Apayacu, Yaguas, Medio Putumayo. Chicago, Illinois: The Field Museum.

Ministerio del Ambiente (2011a). El Perú de los bosques. Lima: MINAM.

Ministerio de Agricultura y Ministerio del Ambiente (2013). Proyecto Inventario Nacional Forestal y Manejo Forestal Sostenible del Perú ante el Cambio Climático. Datos de campo del muestreo forestal en las ecozonas hidromórfica y de tierra firme (Loreto) y en zona costera (Piura y Lambayeque). Lima: MAMINAM.

Ministerio de Agricultura y Riego, MINAGRI. (2018). *Metodología para clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales*. Lima: PIADER.

Morales, J., y Carrillo, F. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Caldasia*, 38 (1). 17-29.

Novoa, J., Crespo, S., Villegas, P. (2011). Huancabamba: páramos, bosques y biodiversidad. Piura: Instituto de Montaña. • Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1976).

Pérez, D. (2007). Introducción a los sensores remotos- Aplicaciones en Geología. Argentina.

Poma, W. (2011). Cartografía y fotointerpretación. Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Cajamarca.

Ramos, P. (2007). *Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales*. Salamanca: Universidad de Salamanca.

Rivas, R. (2013). Curso de Sensores Remotos facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Rodríguez, N. (2018). *Determinación de la deforestación entre los años 1986 y 2016 mediante técnicas de teledetección y SIG, distrito Sauce – Perú*, (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú.

Saldaña, V. (2019). *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Chancay años 2001 y 2018.*, (Tesis de pregrado).

Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Saldaña, M. (2010). *Determinación del Cambio de Cobertura Vegetal en el área de Conservación Municipal "Bosques de Huamantanga", utilizando imágenes de Satélite.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2011). Expediente de categorización de la Zona Reservada Udimá en Refugio de vida silvestre Bosques Nublados de Udimá. Lima: SERNANP. •

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2013). Expediente técnico Parque Nacional Sierra del Divisor. Recuperado de http://www.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/imagenes/2013/consulra_previa/Expediente%20tecnico%20del%20PN%20Sierra%20del%20Divisor.pdf.

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (1972). *Misiones Landsat.* Recuperado de: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat>

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (1999). *Landsat 7.* Recuperado de: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

Servicio Geológico De Estados Unidos, USGS (2013). *Landsat 8*. Recuperado de:

https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con

Schomwandt, D. (2015). *Teledetección aplicada a las ciencias agronómicas y recursos naturales*. Buenos Aires: SIIA.

Suárez, E., y Acosta, K. (2020). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio de Samacá, generado por actividades socioeconómicas*, (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

Tarrillo, L. (2019). *Análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Tacabamba años 2003 y 2018.*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Toapanta, Z. (2019). *Estudio multitemporal de la cobertura vegetal de los ecosistemas de la zona sur de la provincia de Chimborazo a través de imágenes satelitales "LANDSAT 8"*, (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

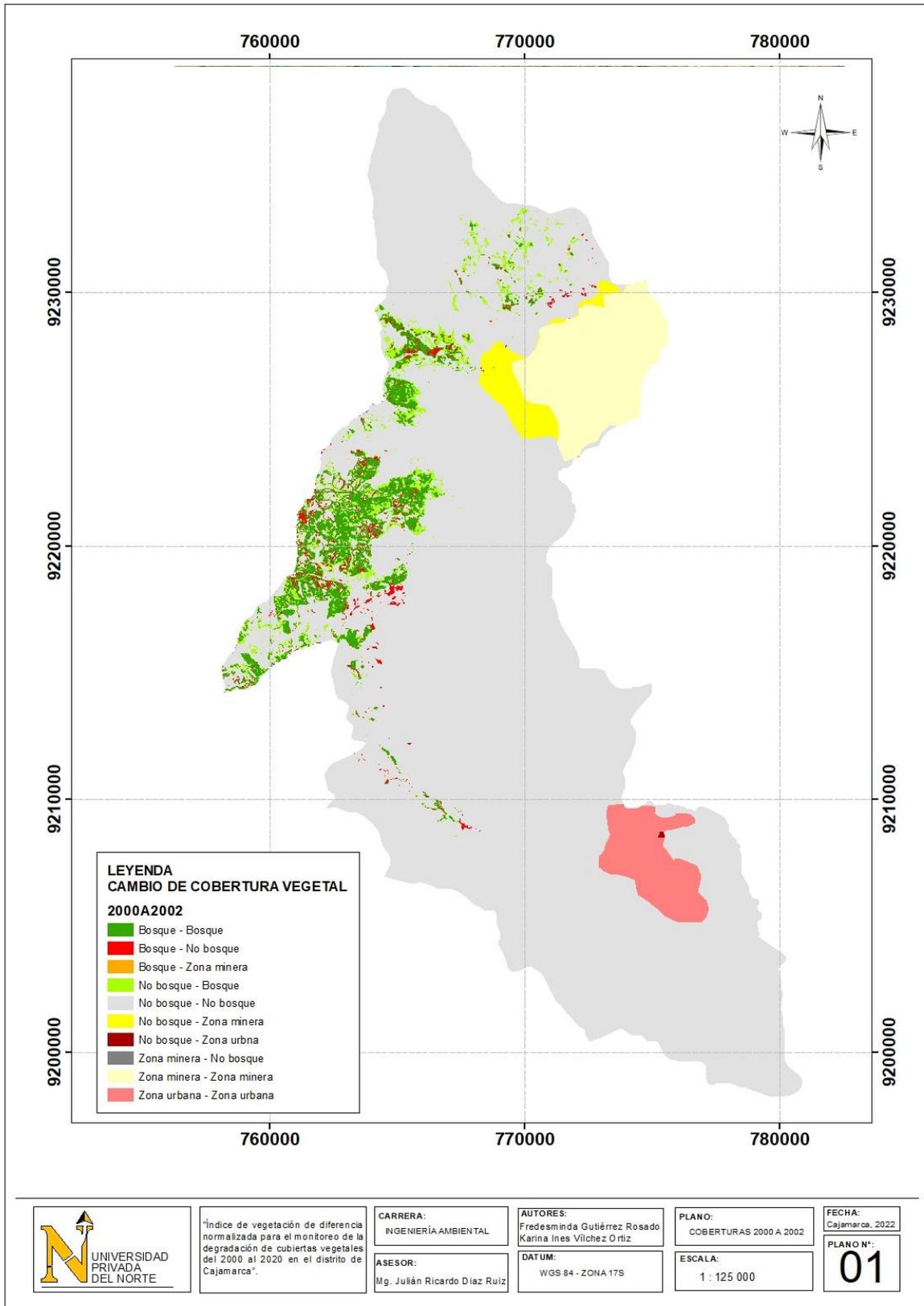
Towers, P. y Martini, A. (2002). *Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su Aplicación al Agro*. Buenos Aires.

- Torres, M. (2019). *Determinación del periodo óptimo para el análisis de deforestación del valle Pichis- departamento de Pasco*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Torres, M., y Rivas, P. (2019). *Análisis temporal de la pérdida de cobertura vegetal mediante teledetección en el distrito de Satipo-Satipo-Junín, durante los años 2015 – 2018.*, (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Vásquez, P. (2018). *Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Chugur periodo 1999 - 2016.*, (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Yepes, M. y Gasca, S. (2013). *Fundamentos físicos de la teledetección*. España: Universidad de Almería.
- Zárate, R. et al., (2012). Composición florística, diversidad y estructura de los Bosques sobre arena blanca de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Loreto (Perú). *Arnaldoa*, 19: 211-224.
- Zárate, R. y Mori, T. (2010). Vegetación, informe temático. Proyecto Microzonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible de la Selva de Huánuco. Iquitos: IIAP, Devida.

Zárate, R. y Mori, T. (2012). Vegetación, documento temático. Proyecto Microzonificación Ecológica y Económica del Área de Influencia de la Carretera Iquitos-Nauta. Iquitos: IIAP y Devida.

Zárate, R. et al., (2015). Lista actualizada y clave para la identificación de 219 especies arbóreas de los bosques sobre arena blanca de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana, Perú. Revista Acta Amazónica, 45 (2): 133-156.

ANEXOS 01 PLANOS



“Índice de vegetación de diferencia normalizada para el monitoreo de la degradación de cubiertas vegetales del 2000 al 2020 en el distrito de Cajamarca”.

CARRERA:
INGENIERIA AMBIENTAL

ASESOR:
Mg. Julián Ricardo Díaz Ruiz

AUTORES:
Fredesminda Gutiérrez Rosado
Karina Ines Vílchez Ortiz

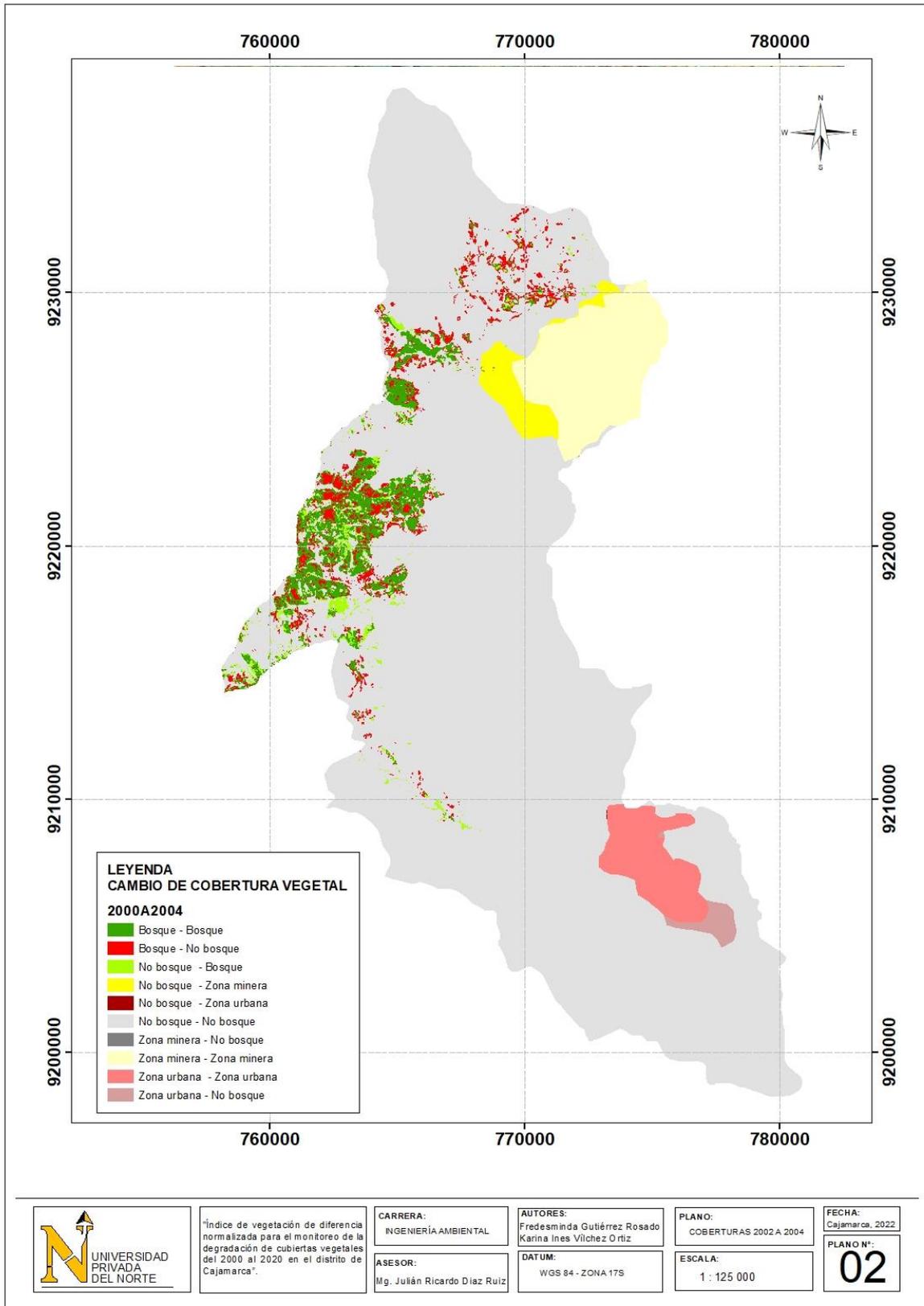
DATUM:
WGS 84 - ZONA 17S

PLANO:
COBERTURAS 2000 A 2002

ESCALA:
1 : 125 000

FECHA:
Cajamarca, 2022

PLANO N°:
01



Índice de vegetación de diferencia normalizada para el monitoreo de la degradación de cubiertas vegetales del 2000 al 2020 en el distrito de Cajamarca.

CARRERA:
INGENIERIA AMBIENTAL

ASESOR:
Mg. Julián Ricardo Díaz Ruiz

AUTORES:
Fredesminda Gutiérrez Rosado
Karina Ines Vilchez Ortiz

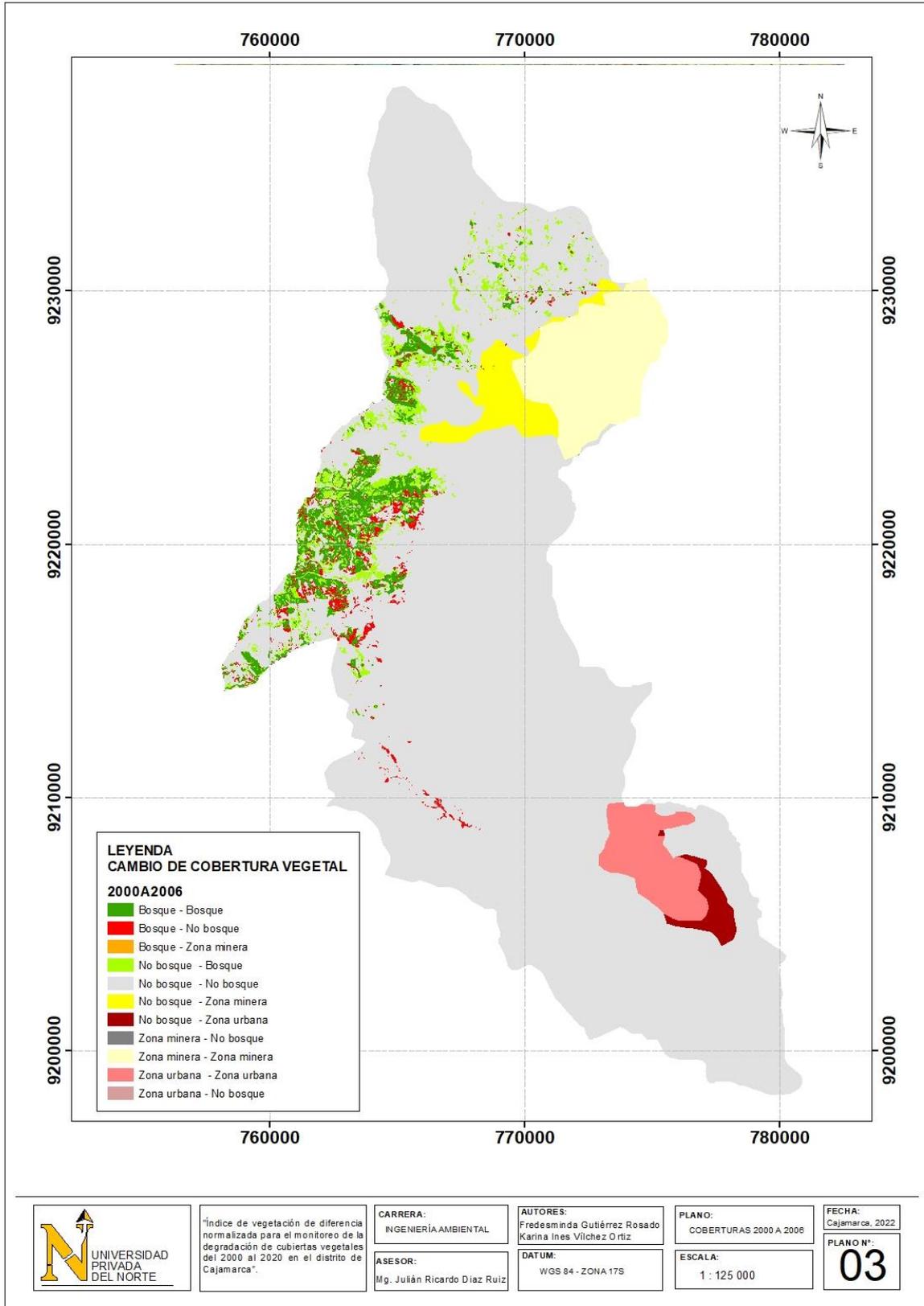
DATUM:
WGS 84 - ZONA 17S

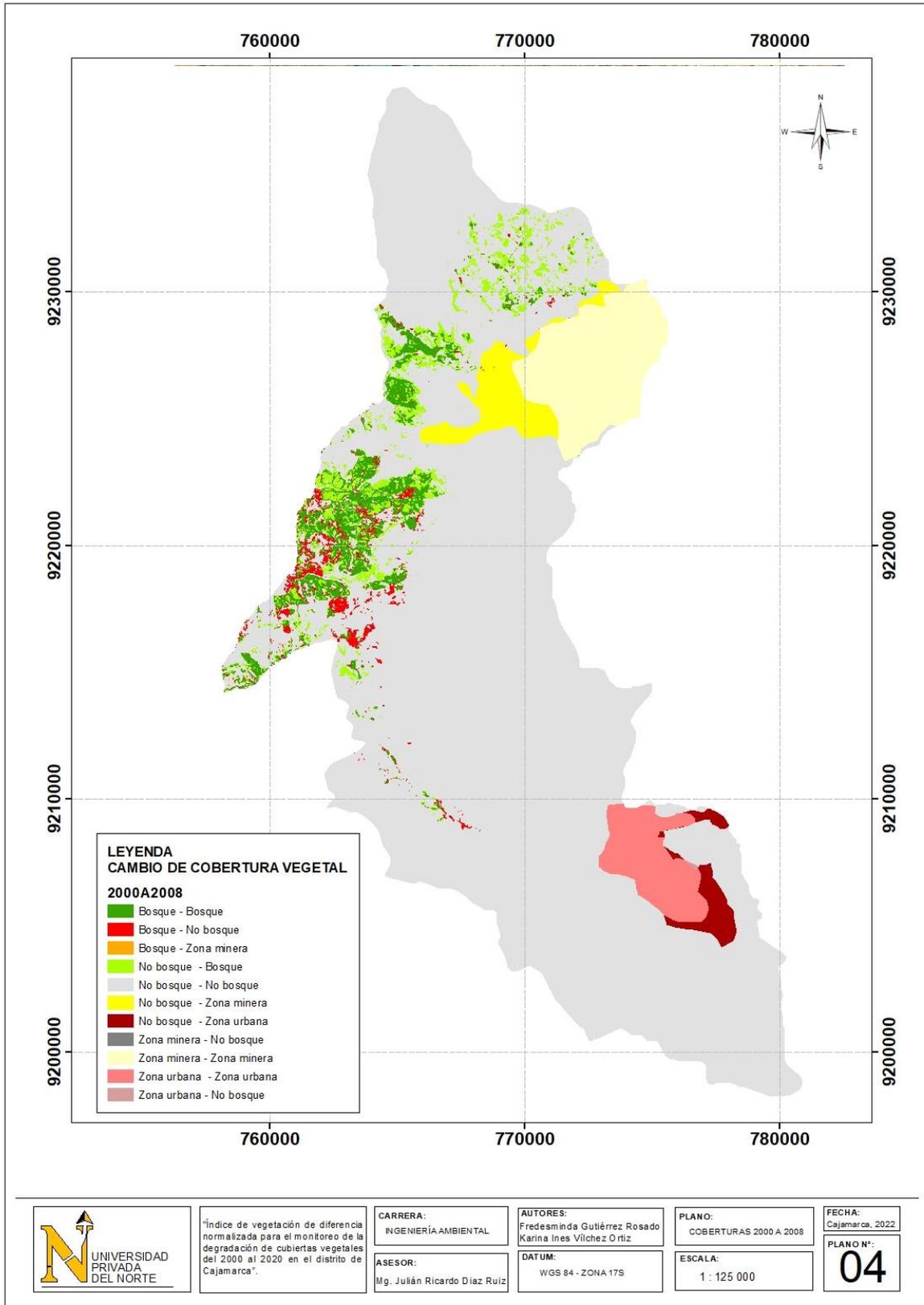
PLANO:
COBERTURAS 2002 A 2004

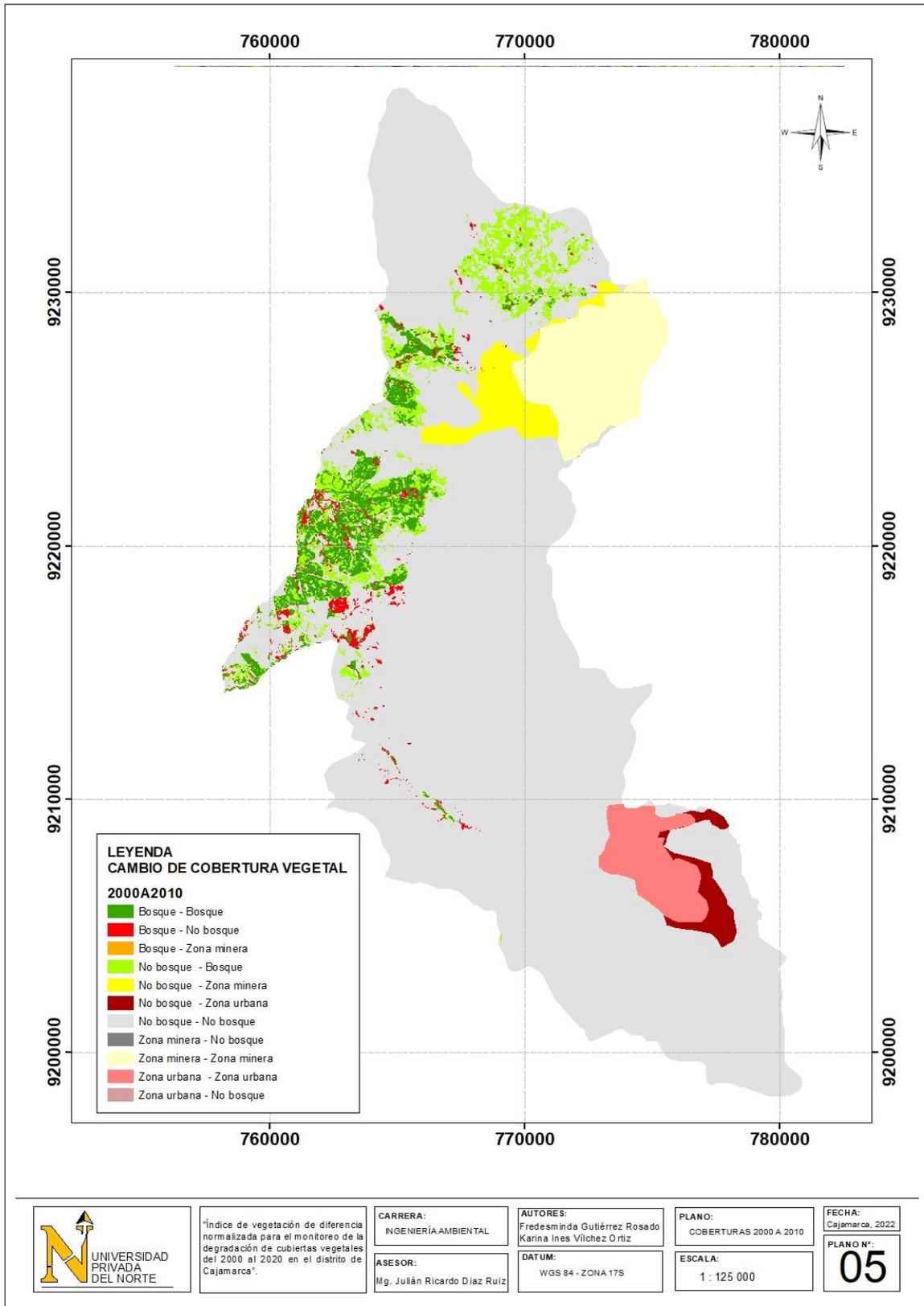
ESCALA:
1 : 125 000

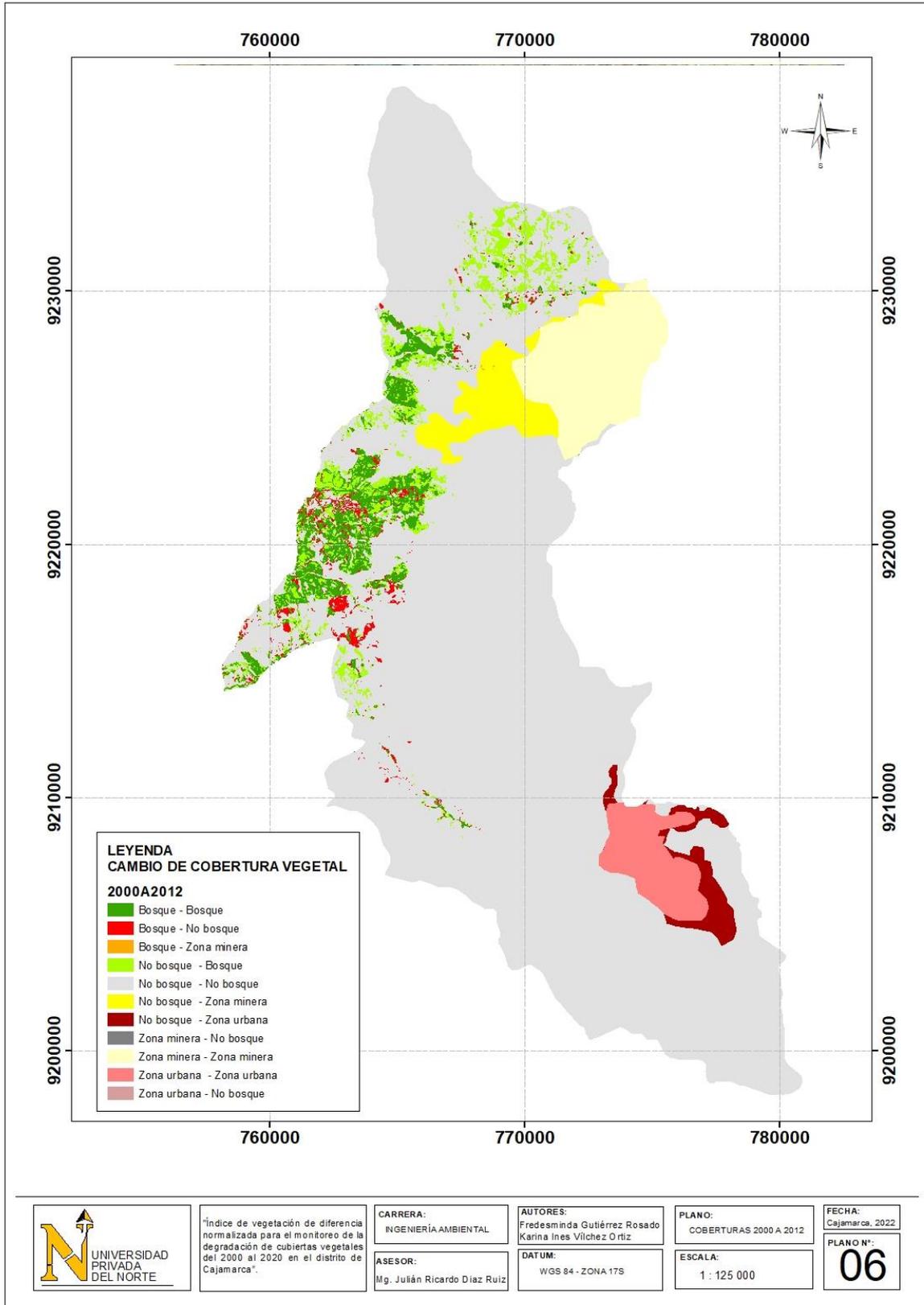
FECHA:
Cajamarca, 2022

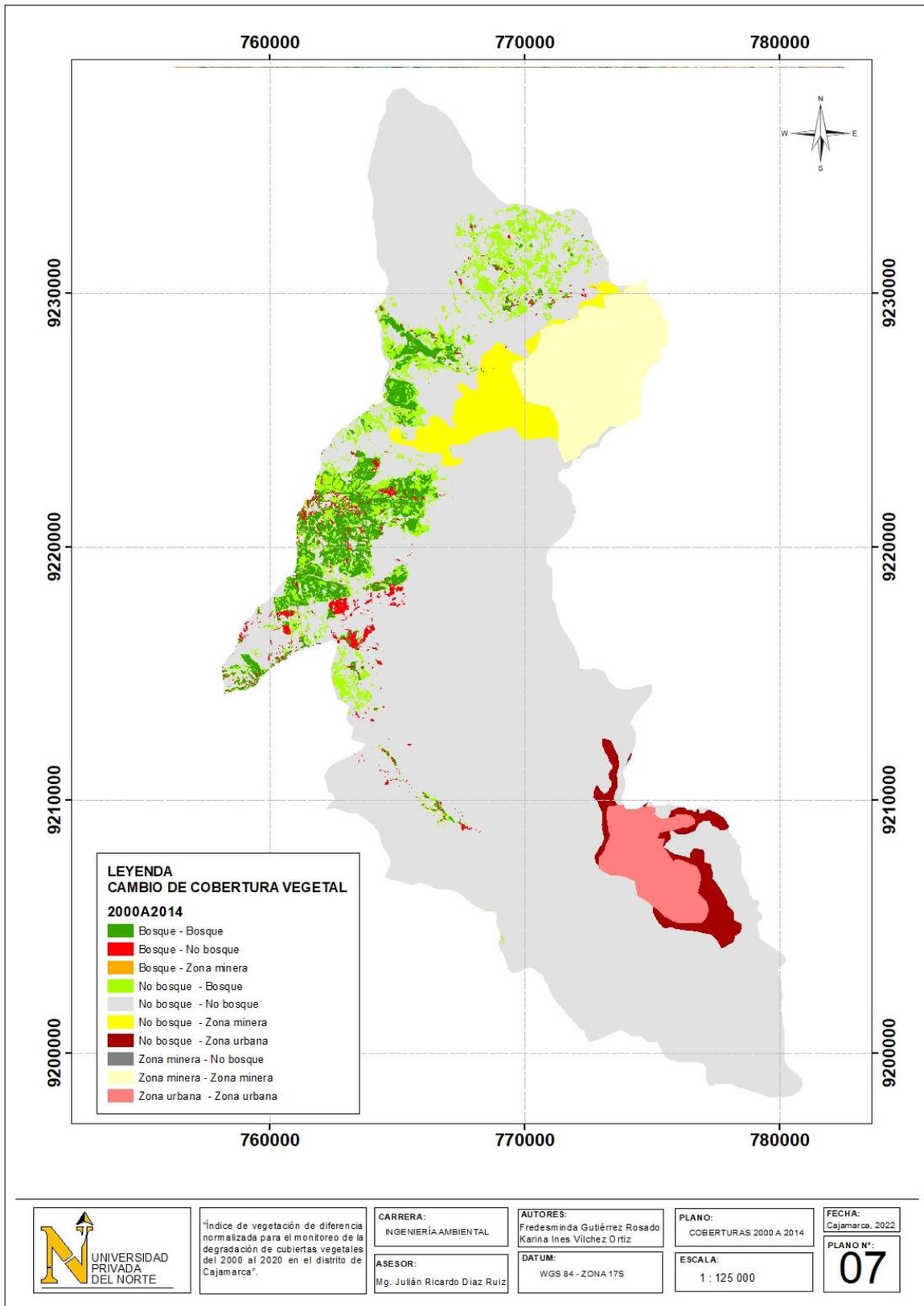
PLANO N°:
02

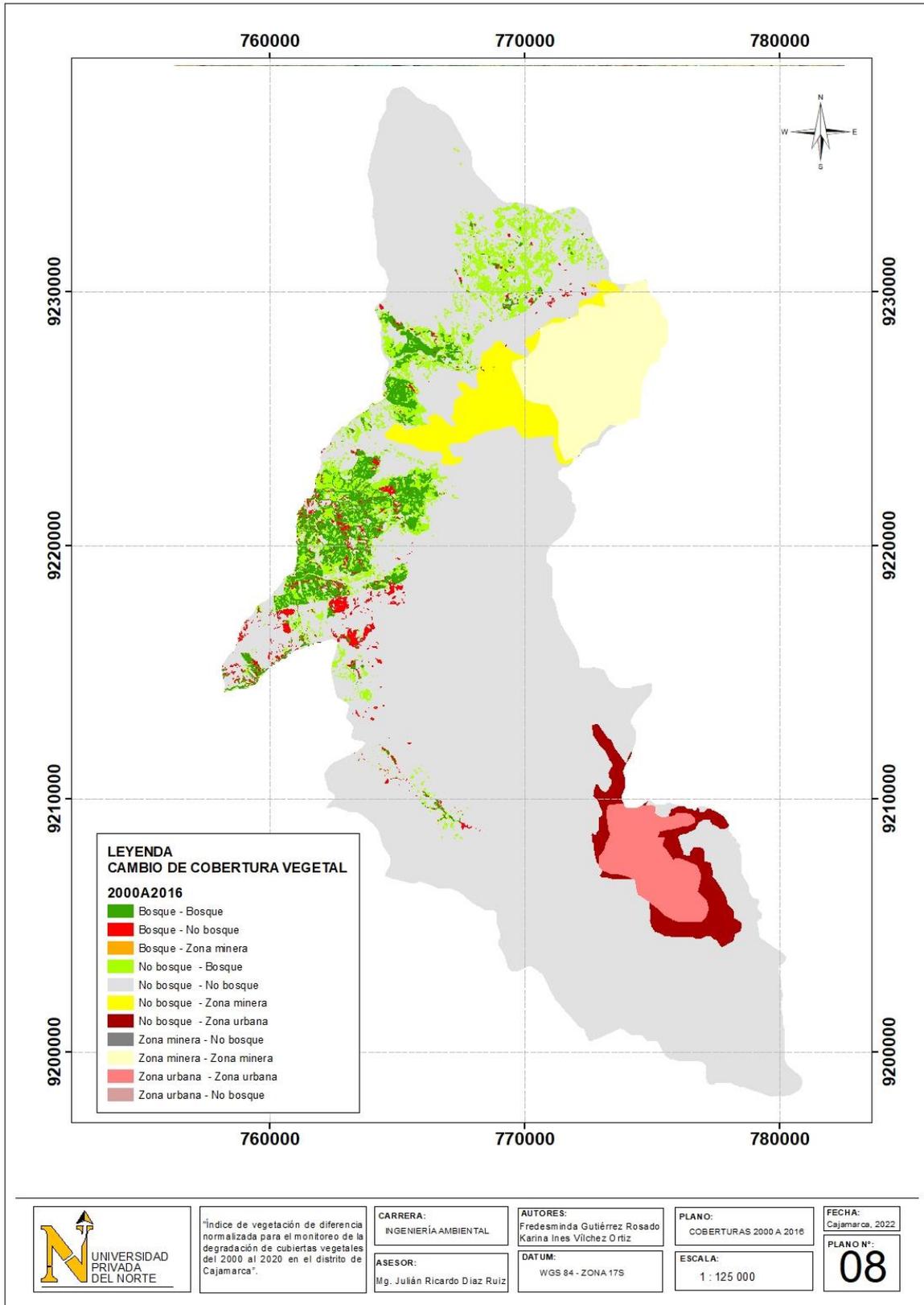


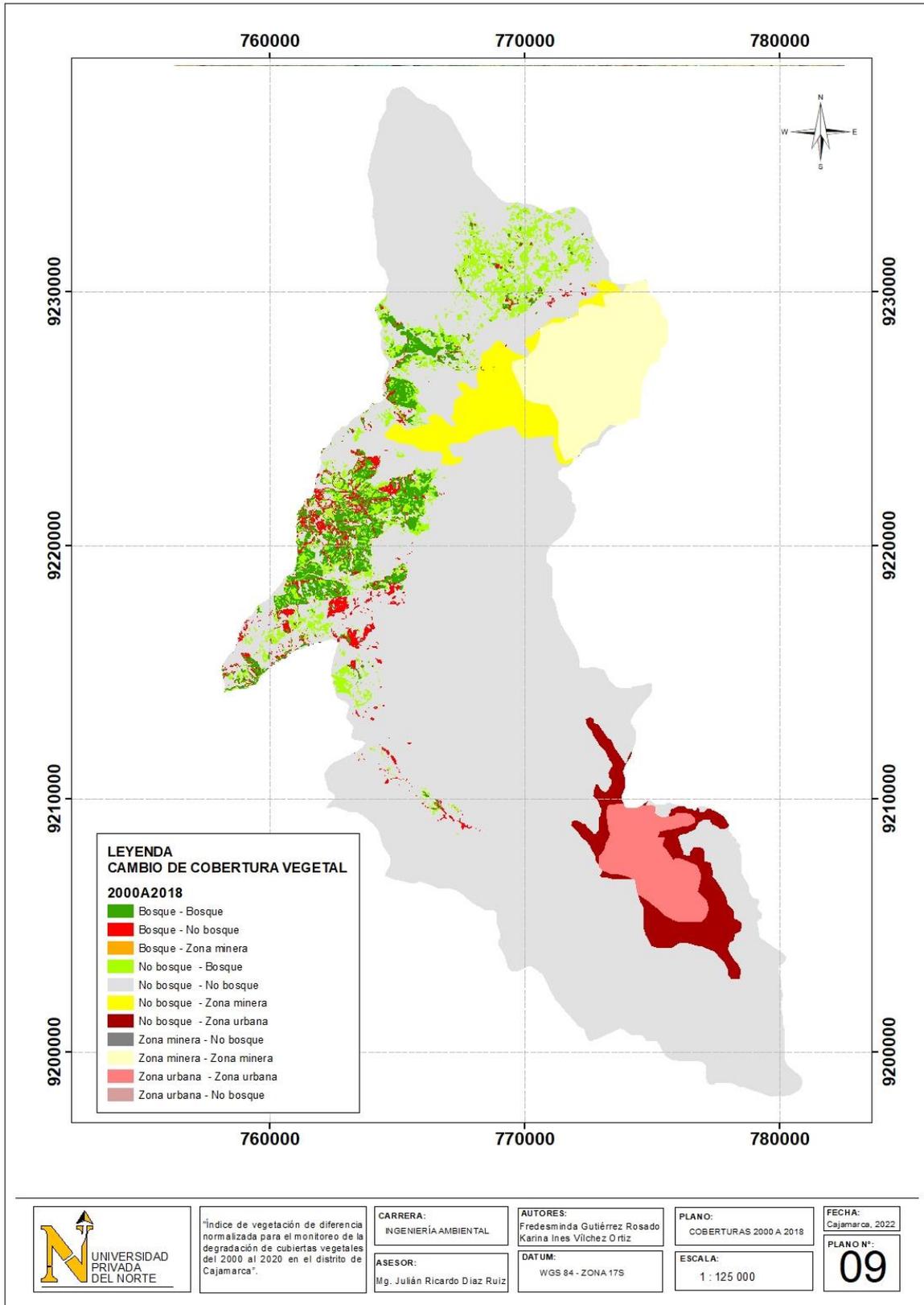


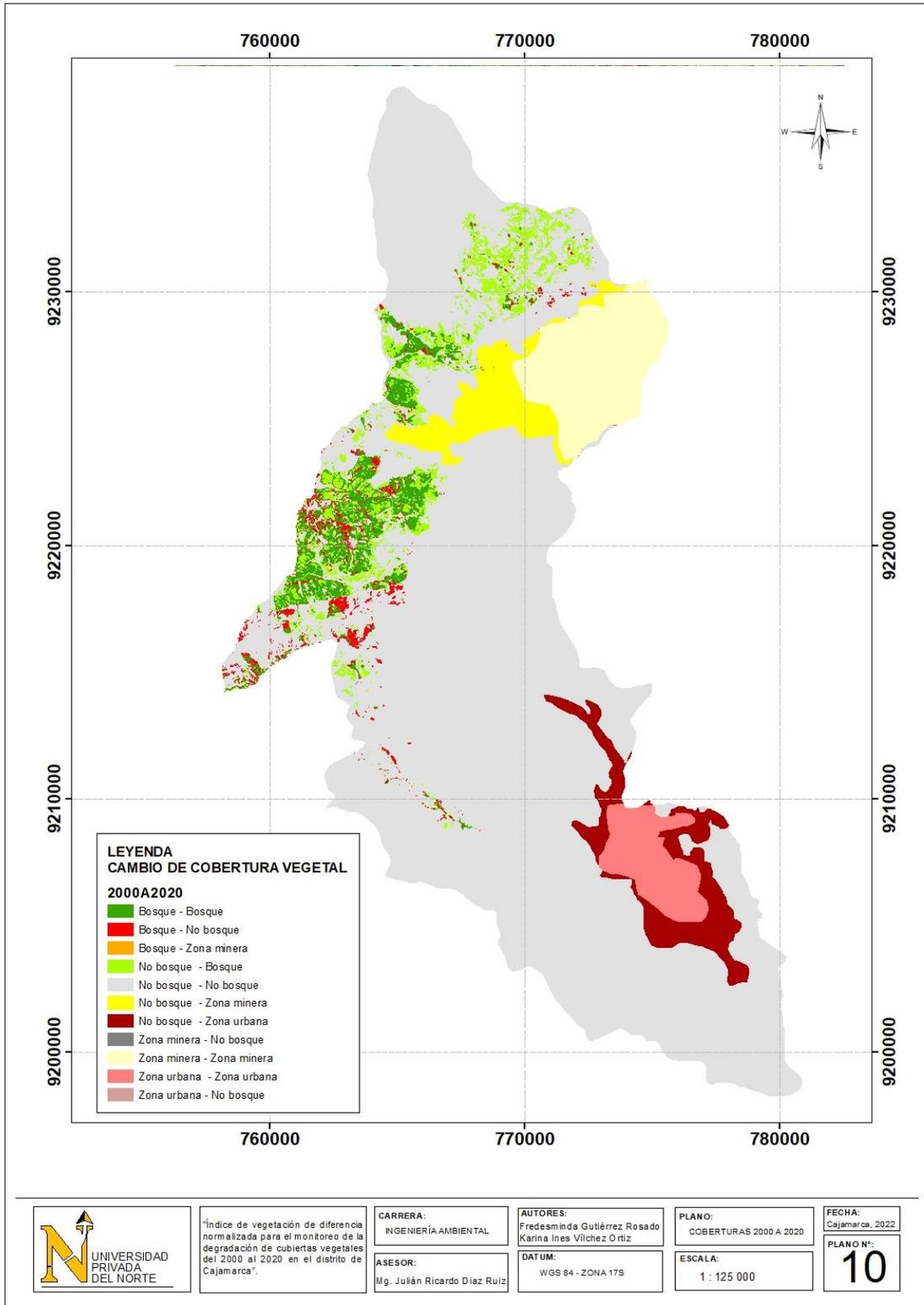








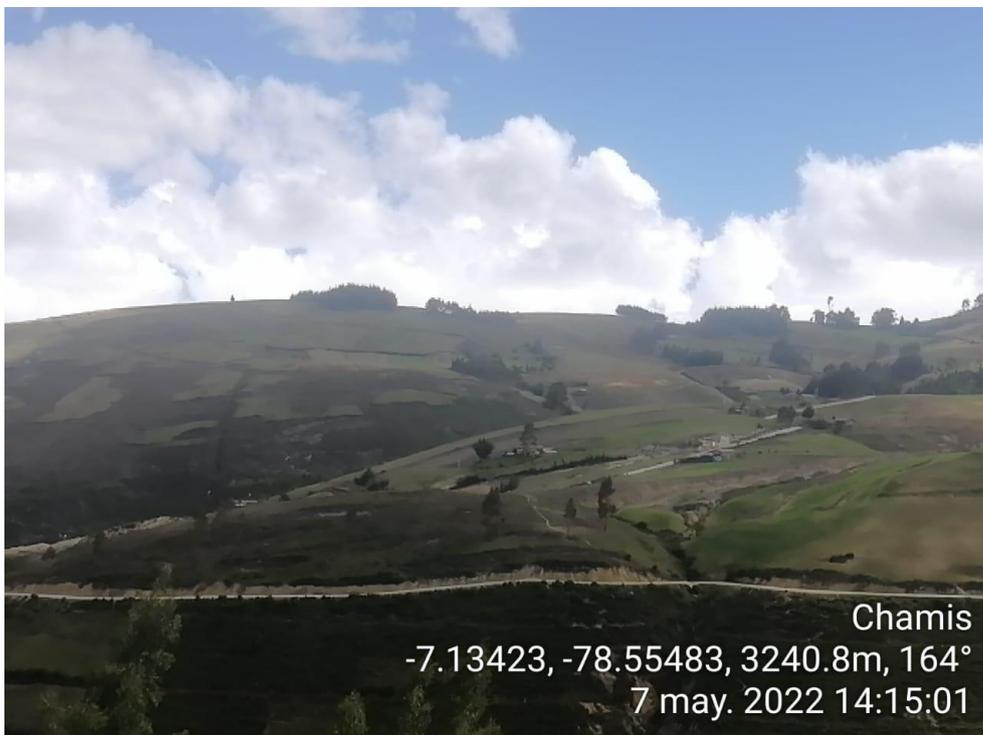




ANEXO 2. PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Zona Candopampa



Fotografía 2. Zona Chamis



Fotografía 3. Zona Chaquil



Fotografía 4. Zona Chicaloma



Fotografía 5. Zona de bosque en Porcón alto



Fotografía 6. Zona de bosque en Porcón alto



Fotografía 7. Zona de Porconsillo alto