

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**ANÁLISIS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON
IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE LAS PIRIAS PERIODOS**

2003 – 2018

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
EMILIO JUNIOR VERA BECERRA**

**ASESOR:
M. Sc. WILFREDO POMA ROJAS**

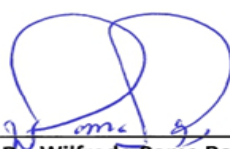
**JAÉN – PERÚ
2026**

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Emilio Junior Vera Becerra
DNI: 71071049
Escuela Profesional/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
2. Asesor:
Ing. M. Sc. Wilfredo Poma Rojas
Facultad/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
6. ANÁLISIS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE LAS PIRIAS PERIODOS 2003-2018
7. Fecha de evaluación: 11/02/2026
8. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
9. Porcentaje de Informe de Similitud: 9 %
10. Código Documento: oid:::3117:555771800
11. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 11/02/2026

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



Dr. Wilfredo Poma Rojas
DNI: 26719942

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los **diecisiete** días del mes de **mayo** del año dos mil diecinueve, se reunieron en el **Ambiente del Auditorio Auxiliar de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N°533-2018-FCA-UNC, de fecha 14 de noviembre del 2018, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulada: **"ANÁLISIS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA CON IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE LAS PIRIAS PERIODOS 2003-2018"** ejecutado por el Bachiller en Ciencias Forestales, **don EMILIO JUNIOR VERA BECERRA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **quince** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **QUINCE (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **dieciséis** horas y **cuarenta** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Dr. Segundo Primitivo Vaca Marquina
PRESIDENTE

Ing. Leiwer Flores Flores
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
VOCAL

Ing. M. Sc. Wilfredo Poma Rojas
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres Emiliano y Patricia, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí, el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanas Romina y Patty por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí, una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas Porey – Everab

Emilio Junior

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirnos la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Emiliano y Patricia; por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me inculcaron.

A mis buenos amigos: Ernesto, Yangpool y Anderson quienes compartieron conmigo la cima y los tropiezos, pero supieron darme la mano.

Agradezco a los docentes de la Escuela Académica profesional de la Universidad Nacional de Cajamarca – Sede Jaén, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Antecedentes de la Investigación	14
2.2. Marco teórico.....	17
2.2.1. Teledetección	17
2.2.2. Tierra	17
2.2.3. Factores que inciden en el cambio de uso actual de la tierra	18
2.2.4. Sistemas de información geográfica	19
2.2.5. Cobertura vegetal	19
2.2.6. Efecto de la cobertura vegetal	19
2.2.7. Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra.....	21
2.2.8. Sistemas de clasificación de cobertura de la tierra.....	21
2.2.9. Corine Land Cover adaptada para Perú	21
2.2.10. Las imágenes satelitales y su procesamiento.....	23
2.2.11. Interpretación de imágenes de satélite	24
2.2.12. Satélite Landsat	24

2.2.13. Aspectos técnicos de las imágenes Landsat	25
2.2.14. Resolución de un sensor.....	27
2.2.15. Realce y mejoramiento visual de imagen satelital	29
2.2.16. Índice de vegetación de diferencia normalizada	31
2.2.17. Modelos de elevación digital	31
2.2.18. Random Forest	32
2.2.19. Índice Kappa	32
2.2.20. Matriz de confusión.....	32
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Localización de la investigación	34
3.2. Materiales	37
3.3. Metodología.....	37
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1. Conclusiones.....	71
5.2. Recomendaciones	72
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
CAPÍTULO VII. ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Corine Land Cover adaptada para Perú	22
Tabla 2. Características de Landsat5	26
Tabla 3. Características de Landsat8	27
Tabla 4. Escala de valores Índice Kappa	32
Tabla 5. Demografía de Las Pirias.....	34
Tabla 6. Valores obtenidos de la segmentación.....	41
Tabla 7. Categorías del uso actual de la tierra identificadas en el distrito de Las Pirias	44
Tabla 8. Matriz de confusión año 2003	51
Tabla 9. Categorías obtenidas para el año 2003	53
Tabla 10. Matriz de confusión año 2018	57
Tabla 11. Categorías obtenidas para el año 2018.	60
Tabla 12. Pérdida o ganancia de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 - 2018.....	63
Tabla 13. Transición de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 - 2018	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cobertura histórica del satélite Landsat	25
Figura 2. Ubicación de la investigación.....	35
Figura 3. Mapa de la hidrografía de Las Pirias	36
Figura 4. Datos de las imágenes descargadas	38
Figura 5. Flujograma de corrección atmosférica de las imágenes descargadas.....	40
Figura 6. Categoría de tejido urbano continuo distrito de Las Pirias.....	45
Figura 7. Categoría de cultivos permanentes	45
Figura 8. Categoría de pastos	47
Figura 9. Categoría de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales.....	48
Figura 10. Categoría de Bosque abierto bajo	49
Figura 11. Categoría tierras desnudas	50
Figura 12. Distribución porcentual de cobertura año 2003.....	54
Figura 13. Superficie del distrito de Las Pirias.....	56
Figura 14. Distribución porcentual de cobertura año 2018.....	60
Figura 15. Superficie del distrito de Las Pirias.....	62
Figura 16. Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2003 - 2018.....	64
Figura 17. Cambios de la superficie del distrito de Las Pirias.....	66
Figura 18. Transición de la cobertura y uso de la tierra del distrito Las Pirias	70

RESUMEN

El análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra nos permite cuantificar el cambio de cobertura que hubo en un lapso de tiempo, para este trabajo de investigación se consideró el periodo 2003 – 2018, el propósito de este trabajo fue realizar el análisis cuantitativo y cualitativo de cambio y uso actual de la tierra en el distrito de Las Pirias, la clasificación se realizó con la Metodología Corine Land Cover (CLC) en un nivel III obtenida del Ministerio del Ambiente (MINAM), en donde se obtuvieron las siguientes categorías: Tejido urbano continuo, Cultivos permanentes, Pastos, Bosque abierto bajo, Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales y Tierras desnudas. En donde para el año 2003 la categoría predominante fue Bosque abierto bajo con un área de 2622,02 Ha, equivalente al 39,83 % y con menos área a la categoría Tejido urbano continuo con un área de 2,47 ha, equivalente al 0,04 %. La cobertura que más cambio sufrió en el periodo 2003 – 2018 fue Cultivos permanentes (Cp) con una ganancia de 1042,07 Ha, equivalente al 15,95 %, la cobertura con menos cambio fue Tejido Urbano Continuo con un aumento de área de 6,95 Ha, equivalente al 0,11 %.

Palabras clave: Uso de la tierra, Random Forest, Imágenes satelitales, categorías, cobertura.

ABSTRACT

The analysis of the changes in coverage and land use allows us to quantify the change in coverage that was in a lapse of time, for this research work was considered the period 2003 – 2018, the purpose of this work was to carry out the quantitative analysis and Qualitative change and current land use in the district of Las Pírias, the classification was carried out with the methodology Corine Land Cover (CLC) at a level III obtained from the Ministry of the Environment (MINAM), where the following categories were obtained: Urban fabric Continuous, permanent crops, pastures, low open forest, crop mosaic pastures and natural spaces and bare lands. Where for the year 2003 the predominant category was low open forest with an area of 2622,02 Ha equivalent to 39,83 % and with less area to the continuous urban tissue category with an area of 2,47 Ha equivalent to 0,04 %. The coverage that underwent the most change in the period 2003 - 2018 was Permanent Crops (Cp) with a gain of 1042,07 Ha equivalent to 15,95 %, coverage with less change was Continuous Urban Fabric with an area increase of 6,95 Ha equivalent to 0,1 %.

Keywords: Land use, Random Forest, satellite images, categories, coverage.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La dinámica de cambio depende del tipo de cobertura, de las interacciones ecológicas, del ambiente físico, de las actividades socioeconómicas y del contexto cultural. Otro factor es el proceso de crecimiento de las ciudades que avanzan principalmente por zonas naturales que prestan importantes servicios ambientales.

Acuña et al. (2012), la cobertura y uso actual de la tierra, se expresa mediante la descripción de las diferentes formas de vegetación y uso de la tierra, con la finalidad de dar a conocer los diferentes tipos de uso en una época determinada; y la forma como se ha desarrollado la utilización de sus recursos, sin tomar en consideración su potencial o uso futuro.

Peralvo (2014), las dinámicas de cambio de cobertura y uso de la tierra (CCUT) son un componente importante de los procesos de cambio ambiental. En este contexto, se vuelve fundamental contar con plataformas robustas de monitoreo de dinámicas de CCUT que permitan generar información de calidad, de forma consistente en el tiempo. Esta información es un soporte clave para procesos de toma de decisiones de uso de los recursos naturales.

Alcantara (2014), en Cajamarca, hace aproximadamente cincuenta años las sociedades humanas han prosperado utilizando la potencialidad de los recursos naturales, con suelos todavía fértiles, con una cubierta vegetal densa y diversa que cumplía funciones importantes en el ecosistema como el de regulación del clima, infiltración del agua de escorrentía a través del perfil del suelo propiciando la presencia de manantiales de agua limpia, protección del suelo, refugio de vida silvestre, etc; sin embargo, con el transcurrir de los años, estas sociedades humanas en el afán de subsistir ocasionaron pérdidas de la calidad ecológica de los ecosistemas, básicamente destruyendo la cobertura vegetal para transformarlos en tierras agrícolas, ocasionando cambios inadecuados en el uso de la tierra; no existiendo actualmente estudios específicos relacionados con este tema, dificultando toda actividad vinculada con la gestión y planificación del uso de los recursos naturales.

El objetivo general de la investigación fue analizar los cambios de cobertura y uso de la tierra del distrito de Las Pírias años 2003 – 2018. Los objetivos específicos fueron: Generar el mapa de cobertura y uso actual de la tierra del distrito de Las Pírias periodos 2003 - 2018 utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud, y elaborar el mapa temático de cobertura y uso actual de la tierra del distrito de Las Pírias años 2003 - 2018 utilizando la metodología Corine Land Cover.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Tahir et al. (2025) su estudio tuvo como objetivo evaluar los cambios históricos en el uso de cobertura de la tierra (LULC) en el distrito de Lahore entre 1994 y 2024 y proyectar tendencias futuras para 2034 y 2044. Se usaron imágenes satelitales Landsat de múltiples sensores (TM, OLI) para clasificar LULC mediante un método de clasificación supervisada integrado con un modelo híbrido CA-Markov. Los resultados mostraron que desde 1994 hasta 2024, el área de budil-up aumento en 359,8 km², la cobertura de vegetación disminuyó en 198,7 km² y las tierras baldías en 158,5 km²; la proyección futura mostró un alto coeficiente de kappa de 0,92, indicando fuerte predictibilidad del modelo. En síntesis, el análisis demostró una marcada expansión urbana en Lahore a expensas de la vegetación y tierras sin vegetación; con altos niveles de precisión en clasificación y proyección de cambios.

Tamiru (2025) analizó los cambios en el uso y cobertura de la tierra (LULC) en el distrito de Gutu Wayu Woreda en Etiopía entre los años 2010, 2015 y 2020; para ello se adquirieron imágenes satelitales Landsat para los tres periodos de análisis y se realizó un preprocesamiento radiométrico y geométrico con ERDAS IMAGINE; y los mapas de LULC se hicieron mediante la clasificación supervisada con el algoritmo de Maximun Likelihood. Los resultados indican que entre el 2010 y 2020, el bosque redujo su superficie en un 8,6 %, el cuerpo de agua en un 0,01 %, mientras que el área urbana incremento en un 2,05 %, al igual que el terreno desnudo que su aumento fue de 4,8 % y la tierra agrícola de 5,8 %, esta última constituye un 49785 (40,8 %) y el bosque 47535 ha (32,2 %) en 2020. Esto evidencia cambios significativos en la cobertura del suelo durante la década analizada.

Pushpalatha et al. (2025) realizó la clasificación del uso y cobertura de la tierra para detectar cambios entre los años 2010 y 2020 en Talud de Nanjangus en la India. Para eso utilizaron un modelo de Convulutional Neural Network (CNN) basado en aprendizaje profundo sobre imágenes satelitales de Resourcesat-1 LISS-III; además los datos se dividieron en conjuntos

de entrenamiento (60 %), validación (20 %) y la prueba (20 %). Los resultados expresaron exactitudes globales de 94,08 % en el 2010 y 95,30 en 2020 con el modelo propuesto, con valores de kappa de 0,926 y 0,934, respectivamente; el análisis evidenció un incremento de 8,34 km² en áreas urbanas, 2,21 km² en tierras agrícolas y 3,31 km² en cuerpos de agua, mientras que la cobertura forestal disminuyó 1,49 km² y otras clases redujeron 11,93 km² entre el 2010 y 2020. El estudio demostró que la aplicación de modelos de aprendizaje profundo mejora la clasificación de uso del suelo y cobertura de la tierra.

Bill et al. (2024) su investigación tuvo como propósito evaluar y cuantificar los cambios en el uso y la cobertura de tierra (LULC) en la región de Sangha en el Congo entre los años 2013, 2018 y 2023, empleando imágenes satelitales Landsat-8; para eso se aplicó una clasificación supervisada mediante el algoritmo de Support Vector Machine (SVM) para generar mapas de LULC y detectar cambios. Los resultados indicaron que entre el 2013 y 2023, el bosque pantanoso y los cuerpos de agua registraron disminuciones del 33,78 % y 19,22 %, respectivamente, mientras que en el bosque abierto hubo un incremento del 77,91 %, las áreas urbanas aumentaron en un 52,81 % y los suelos desnudos en 40,52 %, la clasificación alcanzó una exactitud del 91 % y un coeficiente Kappa mayor a 0,85. En conclusión, el análisis multitemporal demostró cambios significativos en la estructura del paisaje de Sangha.

Hasan et al (2023) identificó y cuantificó los cambios en el uso y cobertura de la tierra en el distrito de Bhaluka (Bangladesh) entre los años 2002 y 2022, con la finalidad de evaluar como la urbanización e industrialización está modificando su paisaje. Se usaron imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ (2002) y Landsat 8 OLI (2022), se clasificaron mediante el algoritmo de Maximun Likelihooh, generando mapas temáticos por año. Los resultados mostraron que la vegetación aumento de 178,46 km² a 232,89 km², la urbanización creció de 3,02 km² a 9,58 km², mientras que la agricultura disminuyó 25,78 km² y los cuerpos de agua en un 5,28 km²; la clasificación alcanzó una exactitud de 89,6 % en el 2022. El análisis de las imágenes satelitales demostró transformaciones significativas del uso de suelo de Bhaluka.

Tipula et al. (2024) su estudio tuvo la finalidad de identificar y cuantificar los cambios en la cobertura vegetal en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, Madre de Dios, durante el periodo 2013 al 2023. Se usaron imágenes satelitales Landsat 8 para los años 2013, 2015, 2017 y

2023; los datos fueron procesados en el software ArcGIS 10.5 para generar mapas y realizar comparaciones multitemporales. El análisis reveló que la variación máxima de cobertura vegetal se registró entre 2015 y 2017 en el suelo sin vegetación, pasando de 45190,27 ha a 264766,32 ha; es decir un aumento del 45,3 %; mientras que la variación mínima se presenció entre el 2013 y 2016 en el suelo sin cobertura vegetal, al pasar de 24528,08 ha a 45190,27 ha, con representación del 4,1 %. El estudio demostró que entre el 2013 y 2023 ocurrieron cambios significativos en la cobertura vegetal, con una evidente expansión de superficie sin vegetación.

Tabaco (2023) evaluó los cambios en la cobertura boscosa y uso de suelo en la microcuenca Huamanpata, provincia Rodríguez de Mendoza entre 1990 y 2020, con la finalidad de entender la transformación causada por actividades antrópicas. Se realizó la delimitación de la cuenca usando un MDE de 30 m utilizando el método Otto Pfatsetter y se generó una superficie de 376,26 km²; luego se procesaron las imágenes satelitales Landsat 5 y 8 en GEE y se realizó clasificación supervisada con el algoritmo Random Forest. Se observó una pérdida acumulada de 2906,2 ha de cobertura boscosa en los 30 años evaluados, lo que representa el 9,8 % de área total, equivalente a una tasa de 93,2 ha/año, siendo entre 2005 y 2020 los años de mayores pérdidas de; la precesión fue de una exactitud global de 87,8 % y un coeficiente kappa de 0,81. Los resultados evidencian una reducción significativa de bosques en la microcuenca, impulsada por la expansión de actividades agrícolas y ganaderas sin prácticas de manejo sostenible.

Lumba (2023) analizó la cobertura y usos de la tierra del distrito de Chalamarca, provincia de Chota, durante el periodo 2000 a 2020; identificando las variaciones espacio-temporales; se trabajó con datos de imágenes satelitales de Landsat procesadas en la plataforma Google Earth Engine (GEE), empleando una metodología Corine Land Cover (CLC) en niveles I, II, III. Se determinó un cambio total de 9571,58 ha y un área sin cambio de 8215,31 ha; las categorías que aumentaron fueron bosques plantados 2642,82 ha, cultivos transitorios 848,05 ha y pastos 322,20 ha, mientras que las que disminuyeron fueron vegetación herbácea en 2934,94 ha y la vegetación arbustiva en 909,55 ha. Entonces, el análisis multitemporal con GEE y CLC evidenció que más de la mitad del territorio de Chalamarca ha experimentado cambios significativos en cobertura y uso de la tierra durante el 2000 al 2020.

Muñoz (2018) su estudio tuvo la finalidad de analizar los cambios de cobertura vegetal y uso de la tierra en el distrito de José Manuel Quiros, provincia de San Marcos, departamento de Cajamarca, durante el periodo del 2000 al 2018; para eso se usaron imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 ETM+, con clasificación basada en el esquema Corne Land Cover (CLC) adaptado a nivel III, generando mapas de cobertura de suelo con 12 categorías. Se identificaron 12 clases de cobertura, destacando los cultivos transitorios con 4391,75 ha, arbusto con 3950,75 ha, vegetación herbácea/arbustiva con 579,10 ha, hierbas con 648,75 ha, bosques con 132,00 ha, tierras desnudas con 557,86 ha y cuerpos de agua de 101,69 ha; el análisis de cambio determinó un total de 3205,32 ha con variación, lo que representa 29,81 % del área total, con 44 tipo de transición de cobertura identificado como arbustos a hierbas con 329,66 ha y de hierbas a cultivos transitorios con 57,75 ha. Esto evidencia una dinámica significativa en la cobertura y el uso de la tierra del distrito evaluado.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Teledetección

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra (Papers, 2006).

2.2.2. Tierra

La FAO (1990), afirma que la tierra es un área de la superficie del globo terrestre que se puede delinear, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por encima y por debajo de su superficie, incluyendo el clima en la zona cercana a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica incluyendo lagos poco profundos, ríos, humedales y pantanos, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y las reservas de aguas subterráneas asociadas a las mismas, las poblaciones de la flora y la fauna, las formas de colonización de la población humana y los resultados físicos de la actividad humana anterior y actual, terrazas, estructuras para reserva o drenaje de aguas, caminos, construcciones, etc.

El uso de la tierra se caracteriza por los arreglos, las actividades y los insumos de la población para producir, cambiar o mantener un cierto tipo de cobertura de la tierra; definición que lleva a entender el vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de la población en su ambiente; además afirman que la cobertura de la tierra es la que se observa (bio) físicamente sobre la superficie terrestre, (Di Gregorio y Jansen 1998).

2.2.3. Factores que inciden en el cambio de uso actual de la tierra

Lambin et al. (2001), indican que a nivel mundial existen cinco factores que inciden fuertemente en los cambios que se experimentan en la cobertura vegetal:

Económicos y tecnológicos. Papers (2006), se refiere a los factores económicos y a las políticas agrarias que tienen una influencia directa en precios, impuestos y subsidios a los insumos y productos obtenidos del uso de la tierra.

Demográficos. La FAO (2015), los incrementos al igual que las disminuciones en la población generan un impacto en el uso de la tierra, estos cambios influyen en la estructura y la dinámica del hogar, mano de obra, migración, urbanización, entre otros, siendo la migración uno de los factores que generan un mayor impacto, y quizás el más importante.

Institucionales. Los cambios en el uso de la tierra se ven influenciados fuertemente por el sector político, jurídico, económico, así como por instituciones donde se toma decisiones sobre la administración y gestión del territorio, contando con políticas débiles, mal definidas y carentes de una adecuada implementación (Ventura 2007).

Culturales. Este es un factor muchas veces intangible, que no es tomado en cuenta, sin embargo, una población cuenta con: motivaciones, memorias colectivas, historias personales, actitudes, valores, creencias y percepciones individuales y colectivas (Ortiz 2011).

Globalización. Ledesma (2015), los procesos de globalización amplifican o atenúan las fuerzas que conducen los cambios del uso de la tierra, teniendo influencias en las políticas macroeconómicas que definen las condiciones en que juegan la oferta y demanda de bienes y

servicios en los mercados internacionales, las cuales son importantes pues condicionan el uso y explotación irracional de los recursos naturales especialmente en países con ecosistemas frágiles.

2.2.4. *Sistemas de información geográfica*

Se definen como “el conjunto de procesamientos, equipos y programas de computación utilizados para la recolección, pre -procesamiento, almacenamiento, y análisis de datos geográficamente referenciados” (Ortiz 2001). En un contexto más amplio estos son asumidos como sistemas automatizados para el manejo de datos geográficos para un propósito especial en donde el principal medio de referencia es un sistema de coordenadas (Pérez 1997).

2.2.5. *Cobertura vegetal*

Es la medida de la superficie cubierta por una planta o un tipo de vegetación; se define como el tapiz vegetal de un país o de una región geográfica. La predominancia de formas biológicas tales como árboles, arbustos o hierbas, sin tomar en consideración su posición taxonómica, conduce a distinguir diferentes tipos de vegetación, como bosque, matorral y pradera (Ñique et al. 2006).

2.2.6. *Efecto de la cobertura vegetal*

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmosfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de que su efecto es menor que si actúan directamente sobre el suelo; mientras que los componentes subterráneos, como sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan & López 1997).

Dinámica o cambio de cobertura vegetal

Malleux (2002), indica que el uso de tierra es caracterizado por los arreglos o acomodaciones, actividades y contribuciones hechas por la población en un cierto tipo de cobertura de la tierra, para producir, cambiar o mantenerlo, por lo tanto, el uso de la tierra en esta

forma establece una vinculación directa entre cobertura y entre acciones del hombre en su medioambiente.

El cambio de uso de los suelos, se relaciona con la pérdida de biodiversidad, la disminución del hábitat de especies, el cambio climático global y el desarrollo sustentable (Woodwell et al. 1983), además de tener implicaciones económicas y sociales a diferentes escalas (Robbins et al. 1989).

Causas del cambio de cobertura vegetal

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

Consecuencias del cambio de cobertura vegetal

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

Los cambios en la cobertura de vegetación tienen consecuencias sobre la erosión de los suelos, los procesos hidrológicos y el movimiento de nutrientes en las cuencas, la pérdida del hábitat y biodiversidad, las emisiones de carbono y otros gases de efecto invernadero, y en general, sobre la sustentabilidad de la capacidad productiva del territorio (Murdiyarso & Wasrin 1995).

2.2.7. *Análisis multitemporal de la cobertura y uso de la tierra*

Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada permiten generar el análisis correspondiente a las variaciones en el tiempo de las coberturas o categorías definidas. Es decir, a partir de las clasificaciones generadas para cada periodo se calcula la diferencia píxel a píxel, para evaluar los cambios significativos en el tiempo (Mendoza 2011).

2.2.8. *Sistemas de clasificación de cobertura de la tierra*

La cobertura terrestre es un elemento geográfico que puede formar una base de referencia para diversas aplicaciones que van desde el monitoreo forestal y pastoril, pasando por la generación de estadísticas, planificación, inversión, biodiversidad, cambio climático, hasta el control de la desertificación (Petraglia et al. 2015).

2.2.9. *Corine Land Cover adaptada para Perú*

La leyenda fue desarrollada siguiendo los acuerdos regionales vinculados a trabajar con el esquema Corine Land Cover (IDEAM, 2010). Este esquema ha sido adaptado para Colombia, y da un arco de comparabilidad internacional. Corine Land Cover (CLC) es una metodología para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra. Emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial con distintos niveles de detalle temático. (Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>).

El MINAM en cumplimiento a sus funciones y competencias asignadas en materia de Ordenamiento Territorial, emitió la Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM, que aprueba la Guía Metodológica para la elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial. En esta guía se menciona al Estudio de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra, y a la actualidad vienen elaborando las guías de procedimiento metodológico que incluirá el uso de Corine Land Cover (Disponible en http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00JZZX.pdf) (Tabla 1).

Tabla 1
Corine Land Cover adaptada para Perú

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo 1.1.2. Tejido urbano discontinuo 1.2.1. Áreas industriales o comerciales
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.2. Red vial 1.2.3. Áreas portuarias 1.2.4. Aeropuertos 1.2.5. Obras hidráulicas
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos 1.3.2. Áreas de disposición de residuos
	1.4. Áreas verdes artificializadas	1.4.1. Áreas verdes urbanas 1.4.2. Instalaciones recreativas
2. Áreas Agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	
	2.2. Cultivos permanentes	
	2.3. Pastos	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	
3. Bosques y áreas mayormente naturales		3.1.1. Bosque denso bajo 3.1.2. Bosque abierto bajo 3.1.3. Bosque denso alto 3.1.4. Bosque abierto alto 3.1.5. Bosque fragmentado
	3.1. Bosques	
	3.2. Bosques plantados	
		3.3.1. Herbazal 3.3.2. Arbustal 3.3.3. Vegetación secundaria o en transición 3.3.4. Vegetación arbustiva/herbácea 3.3.5. Arbustal/área intervenida 3.3.6. Herbazal/área intervenida 3.3.7. Arbustal–Herbazal/área intervenida
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	

4. Áreas húmedas	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.2. Afloramientos rocosos
		3.4.3. Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)
		3.4.4. Áreas quemadas
		3.4.5. Glaciares
		3.4.6. Salares
	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Áreas pantanosas
		4.1.2. Turberas y bofedales
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros
4.2.2. Salitral		
4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar		
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos (50 m)
		5.1.2. Lagunas
		5.1.3. Lagunas
		5.1.4. Canales
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales
	5.2. Aguas costeras	5.2.1. Lagunas costeras
		5.2.2. Mares y océanos
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Nota. MINAN (2014).

2.2.10. Las imágenes satelitales y su procesamiento

Las imágenes obtenidas por los satélites de teledetección ofrecen una perspectiva única de la tierra, sus recursos y el impacto que sobre ella ejercen los seres humanos. La teledetección por satélite ha demostrado ser una fuente rentable de valiosa información para numerosas aplicaciones, entre las que cabe citar la planificación urbana, vigilancia del medio ambiente, gestión de cultivos, prospección petrolífera, exploración minera, desarrollo de mercados, localización de bienes raíces y muchas otras. Ofrecen una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre y facilitan la comprensión de las relaciones entre ellos que pueden no verse claramente cuando se observan a ras de tierra. El carácter "remote" de la teledetección proporciona una visión parcial del globo desde un lugar específico. Las imágenes de satélite muestran, literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al desvelar detalles ocultos que de otra forma estarían fuera de su alcance (SRGIS 2005).

Igualmente, Varela (1994) citado por Lozano (2006), señala que la utilización de imágenes de satélite para el levantamiento de información relacionada con el uso actual de la tierra y cobertura natural, resulta una herramienta valiosa, al permitir manejar una gran cantidad de datos digitales del área que se está estudiando, así como también permite realizar interpretaciones rápidas y análisis integrado del medio ambiente, difíciles de abordar por otra herramienta convencional.

2.2.11. Interpretación de imágenes de satélite

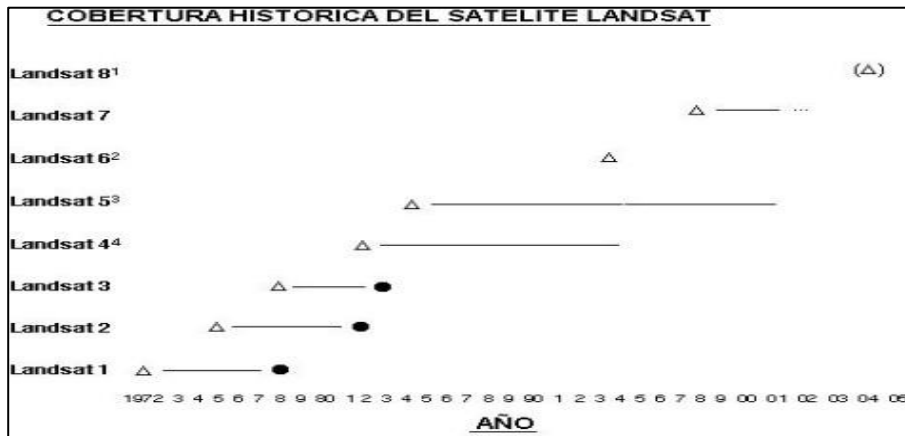
Lillesand & Kiefer (2003), manifiestan que las imágenes de satélite pueden interpretarse mediante un análisis visual o en forma digital. Las técnicas de interpretación visual, sirven para evaluar cualitativamente patrones espectrales en la imagen, diferenciando tonalidades, texturas, formas y otras características. Esta técnica tiene desventajas, pues ciertas características espectrales, no son siempre evaluadas, ya que el ojo humano tiene una capacitación limitada para discernir tonalidades similares en la imagen. Por otro lado, el análisis digital se aplica cuando los patrones espectrales contienen mucha información. El procesamiento digital de imágenes comprende la manipulación y clasificación de imágenes en forma digital, con ayuda de un computador. Esta forma de teledetección empezó en la década de 1960, pero no fue hasta el lanzamiento del LANDSAT 1 en 1972 que los datos digitales se encuentran ampliamente disponibles para el estudio de los recursos naturales (Eastman 1999).

2.2.12. Satélite Landsat

Los Landsat son una serie de satélites contruidos y puestos en órbita por EE. UU. Para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. Los Landsat orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98. 2° respecto del Ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador de Norte a Sur lo hacen entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. (Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ImgSatelite/Landsat.aspx>)

Figura 1

Cobertura histórica del satélite Landsat



Nota. La imagen se extrajo del documento publicado en (Cartesia.org., s.f).

2.2.13. Aspectos técnicos de las imágenes Landsat

A. Landsat5

Opera simultáneamente en siete bandas espectrales, siendo tres en el visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo termal. Tiene una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120 metros en la banda del infrarrojo termal, (Tabla 2).

Tabla 2
Características de Landsat5

Modo espectral	Resolución espacial (m)	Resolución espectral (micras)		Resolución radiométrica	Resolución temporal
Multiespectral	30	Banda 1	azul:		
		0.45- 0.52			
		Banda 2	verde:		
		0.52 – 0.60			
		Banda 3	roja:		
		0.63 – 0.69			
		Banda 4 infrarrojo cercano			
		1: 0.76 – 0.90			
		Banda 5 infrarrojo cercano			
		2: 1.55 – 1.75			
				8 bits	16 días
		Banda 7 infrarrojo medio:			
		2.08 – 2.35			
Termal	120	Banda 6 Infrarrojo térmico:			
		10.4 – 12.5			

Fuente:http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf

B. Landsat8

Las imágenes Landsat8 obtenidas por el sensor (OLI) y(TIRS) constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul- profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles. La nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (Tabla 3). El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (Ariza 2013).

Tabla 3
Características de Landsat8

Landsat8	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución espacial (m)
Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45-0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53-0.59	30
	Banda 4- Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6- SWIR 1	1.57-1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11-2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9-Cirrus	1.36-1.38	30
	•Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60-11.19	100
	•Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50-12.51	100

2.2.14. Resolución de un sensor

Mientras que en otros tipos de sistemas cartográficos estamos acostumbrados a relacionar de forma exclusiva resolución y precisión geométrica, en los sistemas sensores de Teledetección se habla de cinco resoluciones distintas. Gracias a ellas pueden evaluarse rangos de precisión referentes a distintos conceptos de suma importancia para el análisis de las imágenes espaciales. Dichas resoluciones son: espacial, radiométrica, espectral, temporal y angular (Pérez et al. 2006).

A. Resolución espacial

Este concepto describe la capacidad del sistema para distinguir objetos en función de su tamaño. Dicho de otro modo, la resolución espacial suele interpretarse como el tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen: tamaño del píxel sobre el terreno (Pérez et al. 2006).

B. Resolución radiométrica

Indica la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia. La energía electromagnética recibida por el sensor, cuando se convierte a nivel digital, necesita un formato binario (número de bits) para codificarse. A mayor número de bits reservados para almacenar el valor de la reflectividad de un píxel, mayor resolución radiométrica. De este modo el sensor TM de LANDSAT tiene una resolución radiométrica de 8 bits con lo que pueden registrarse valores decimales equivalentes en un rango de 0 a 255, es decir 25628 (Pérez et al. 2006).

C. Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este sentido, un sensor tendrá una resolución espectral más grande cuanto mayor sea el número de bandas proporcione. A la vez conviene que estas bandas sean suficientemente estrechas con objeto de recoger el serial sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés (Pérez et al. 2006).

D. Resolución temporal

Mide el tiempo de paso del satélite sobre el mismo punto. Con ello se determina la periodicidad de adquisición de imágenes de una misma zona. De este modo podemos cuantificar la capacidad que tiene un sistema sensor para registrar los cambios temporales acaecidos sobre una determinada cubierta, lo cual es de vital importancia a la hora de abordar estudios evolutivos. La resolución temporal está condicionada por el tipo de órbita, el ángulo de barrido y la velocidad del satélite (Pérez et al. 2006).

E. Resolución angular

Por ella se entiende la capacidad que tiene un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta propiedad permite no solamente acortar los ciclos temporales de recubrimiento, sino que posibilita la generación de imágenes estereoscópicas y por tanto la reconstrucción del relieve. En un análisis conjunto de las diferentes resoluciones de los satélites llegaríamos a la conclusión de que un satélite no es mejor ni peor que otro debido a su resolución. Cada misión espacial ha concebido unos sensores adaptados a unos determinados usos y eso es lo importante (Pérez et al. 2006).

2.2.15. Realce y mejoramiento visual de imagen satelital

Las primeras manipulaciones que han de llevarse a cabo tienen como finalidad restaurar la imagen reestableciendo, en la medida de lo posible, las condiciones de la toma. Ello implica el desarrollo de dos tipos de correcciones: unas de índole geométrica y otras de carácter radiométrico (Pérez et al. 2006).

Las correcciones geométricas tienen como finalidad reconstruir la geometría de la imagen, adaptándola a una determinada Proyección cartográfica y a su sistema de coordenadas asociado. Para denominar este tipo de operaciones se ha consolidado el nombre de georreferenciación. Los procedimientos matemáticos que resuelven este problema y las metodologías usadas para su implementación mediante algoritmos en las aplicaciones informáticas de Teledetección son muy variados (Pérez et al. 2006).

A. Pre procesamiento de imágenes satelitales

El pre procesamiento de las imágenes, consiste en hacer las correcciones de las imágenes, con el fin de eliminar cualquier anomalía detectada en la imagen, ya sea en su localización o radiometría de los píxeles que la componen. Cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, presenta una serie de alteraciones radiométricas y geométricas debidas a muy variados factores, en el caso concreto de las imágenes espaciales (Chuvienco 2008).

B. Correcciones geométricas – georreferenciación

La corrección geométrica es la modificación de la geometría de la imagen respecto de la geometría de la superficie terrestre. La georreferenciación es su adaptación a un sistema geodésico de referencia (por ejemplo: ED50, ETRF 89) y una proyección geográfica determinada (ejemplo

la UTM Universal Transversal Mercator). Los procedimientos matemáticos que resuelven este problema y las metodologías usadas para su implementación, mediante algoritmos en las aplicaciones informáticas de teledetección son muy variados (Pérez 2006).

Correcciones radiométricas

Una vez que la radiación electromagnética es generada y se propaga, interactúa con la atmósfera afectando a la radiación en su longitud de onda, intensidad, distribución espectral y/o su dirección. Hay dos tipos de efectos que produce la atmósfera: absorción y dispersión. El objetivo general de las correcciones atmosféricas es convertir los valores obtenidos por el sensor remoto en valores de reflectancia en superficie, que es la magnitud física de interés. Estos valores son necesarios cuando se utilizan datos satelitales para el análisis cuantitativo de las propiedades biofísicas de los elementos de la superficie terrestre, identificar y evaluar los procesos que en ella ocurren mediante la comparación de diferentes escenas en estudios temporales (APN 2005) y cuando se deriven índices a partir de bandas ubicadas en diferentes regiones del espectro electromagnético.

Correcciones atmosféricas

Los procedimientos para abordar las correcciones atmosféricas con exactitud son muy laboriosos y requieren datos sobre las condiciones de la atmósfera en el momento de tomar la imagen, que no suelen estar disponibles. Además, el efecto de la atmósfera no es constante en la imagen, algunas zonas pueden estar afectadas más que otras, en función de la diversa presencia de aerosoles o vapor de agua (Chuvieco 2002).

C. Combinación de bandas

Las imágenes de satélite se distribuyen en bandas espectrales separadas, las cuales se pueden combinar para crear otras imágenes. Para realizar este procedimiento, los programas de interpretación de imágenes traen comandos especiales que permiten combinar bandas y asignar a cada una un color de visualización específico. La combinación de las bandas espectrales correspondientes al azul, verde y rojo permiten preparar una imagen en color verdadero, la cual es semejante a una fotografía aérea en colores. En el caso de las imágenes Landsat para construir esta

imagen se combinan las bandas 1-2-3 y se asigna a cada banda su correspondiente color; esto es, azul, verde y rojo, respectivamente (Orozco et al. 2002).

En una imagen de falso color no se sigue este patrón, sino que los colores azul, verde y rojo se asignan a diferentes bandas espectrales. Una imagen de falso color muy utilizada en interpretación de imágenes de satélite se obtiene al combinar las bandas Landsat 2-3-4. y asignando a cada una un color. El color azul se asigna a la banda 2 (la que registra la radiación verde), el color verde a la banda 3 (la que registra la radiación roja), y el color rojo a la banda espectral 4 (la que registra la radiación infrarroja cercana). El resultado es una imagen de falso color, en donde la vegetación en áreas boscosas se verá de color rojo intenso, dado que la vegetación activa refleja una gran proporción de la radiación infrarroja cercana incidente, y en donde la vegetación bajo estrés (por enfermedad o sequía) se verá de color amarillo claro. Asimismo, el río de agua limpia se verá negro, y los ríos con alto contenido de sedimentos se verán de color azul. Finalmente, en esta imagen los terrenos sin cobertura vegetal se verán de color gris-azulado, mientras que los pastos y terrenos con cultivos agrícolas se mostrarán de color rojo claro (Orozco et al. 2002)

2.2.16. Índice de vegetación de diferencia normalizada

El Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja.

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

2.2.17. Modelos de elevación digital

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM) son definidos como una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de la altitud en la superficie terrestre, almacenados en una base de datos digital, georreferenciada en un sistema de proyección cartográfica (Felicísimo 1994). Es llamado modelo porque, a través de algoritmos matemáticos, los datos

altitudinales pueden ser modelados automáticamente en una computadora y así lograr analizar la superficie terrestre en un modelo en tres dimensiones (Maune 2001).

2.2.18. Random Forest

Es un algoritmo de clasificación no lineal que permite identificar patrones en los datos que se incorporan como entrada de información. Dicho algoritmo construye cientos de árboles de regresión y emplea un sistema de “votos” entre el conjunto de árboles para “decidir” la clase – cada árbol calibrado es un voto, y se asigna la clase en función de cuántos votos obtiene cada una de las unidades a ser clasificadas (Breiman 2001); citado por Arnillas et al. (2012).

2.2.19. Índice Kappa

El Índice Kappa de Cohen (Tabla 4), es una medida estadística que ajusta el efecto del azar en la proporción de la concordancia observada para elementos cualitativos (variables categóricas). En general se cree que es una medida más robusta que el simple cálculo del porcentaje de concordancia, ya que Kappa tiene en cuenta el acuerdo que ocurre por azar (Carletta 1996).

Tabla 4
Escala de valores Índice Kappa

Kappa	Grado de acuerdo
< 0.00	Sin acuerdo
>0.00 – 0.20	Insignificante
0.21 – 0.40	Discreto
>0.41 – 0.60	Moderado
0.61 – 0.80	Sustancial
0.81 – 1.00	Casi perfecto

2.2.20. Matriz de confusión

La matriz, de confusión es una tabla en la que se contabilizan los píxeles de cada clase (reconocida en la imagen) que han sido clasificados dentro de su propia clase o en otra diferente. La matriz tiene tantas filas y columnas como clases se hayan definido en la escena y las celdas de esa matriz contienen el número de píxeles que, siendo de una clase, dada por la fila (según el

conocimiento a priori de la zona de estudio o según comprobaciones hechas a posteriori), han sido clasificados como otra clase, dada por la columna. La clasificación perfecta sería una matriz en la que el 100 % de los píxeles clasificados estuviesen contabilizados en las celdas de la diagonal de esa matriz; en ese caso, todos los píxeles estarían correctamente clasificados (August 2016).

A. Área ganada

Por otra parte, se estima la ganancia (G_j), como la diferencia del área total de la categoría j en la fecha 2 (P_{+j}) y la persistencia expresada en la diagonal de la matriz (P_{jj}) (August 2016).

$$G_j = (P_{+j}) - (P_{jj})$$

B. Área perdida

Finalmente, la pérdida (L_{ij}) es la diferencia entre el área total de una categoría i en la fecha 1 (P_{i+}) y la persistencia (August 2016).

$$(P_{jj}), L_{ij} = (P_{i+}) - (P_{jj})$$

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación

El estudio se realizó en el distrito de Las Pirias, provincia de Jaén y departamento de Cajamarca. Limita al norte con el distrito de Bellavista, mientras que al sur limita con el distrito de Jaén y al este con el distrito de Huabal. Geográficamente la zona de estudio se ubica en la Red hidrográfica del Amazonas, en las cuencas Chinchipe e Intercuenca Marañón III, entre las coordenadas UTM 733378 y 743289 m y entre 9382149 y 9372049 m, los límites altitudinales oscilan entre 820 msnm y 2200 msnm, tiene una extensión de 6532.97 Ha. INEI (2003). Figura 2.

Hidrografía

La hidrografía del distrito de Las Pirias está conformada por las quebradas Pacorillo y Bravo que pertenecen a la cuenca Chinchipe, quebrada Tumbillan, Shanango, Sánora de Guayaquil y De la Bolsa que a la vez es el límite con el distrito de Jaén, pertenecen a la Intercuenca Marañón III (INEI 2003). Figura 3.

Demografía

Tabla 5

Demografía de Las Pirias

Provincia	Distrito	Total Población	Total Viviendas
Jaén	Bellavista	15,571	4,542
	Chontali	10,118	2,664
	Colasay	11,432	3,182
	Huabal	7,732	2,005
	Jaén	86,021	23,171
	Las Pirias	4,344	1,416
	Pomahuaca	8,763	2,423
	Pucara	7,110	2,283
	Sallique	7,798	1,964
	San Felipe	5,664	1,642
	San José Del Alto	6,936	1,942
	Santa Rosa	12,145	3,425

Nota. Información extraída del INEI (2017).

Figura 2
Ubicación de la investigación

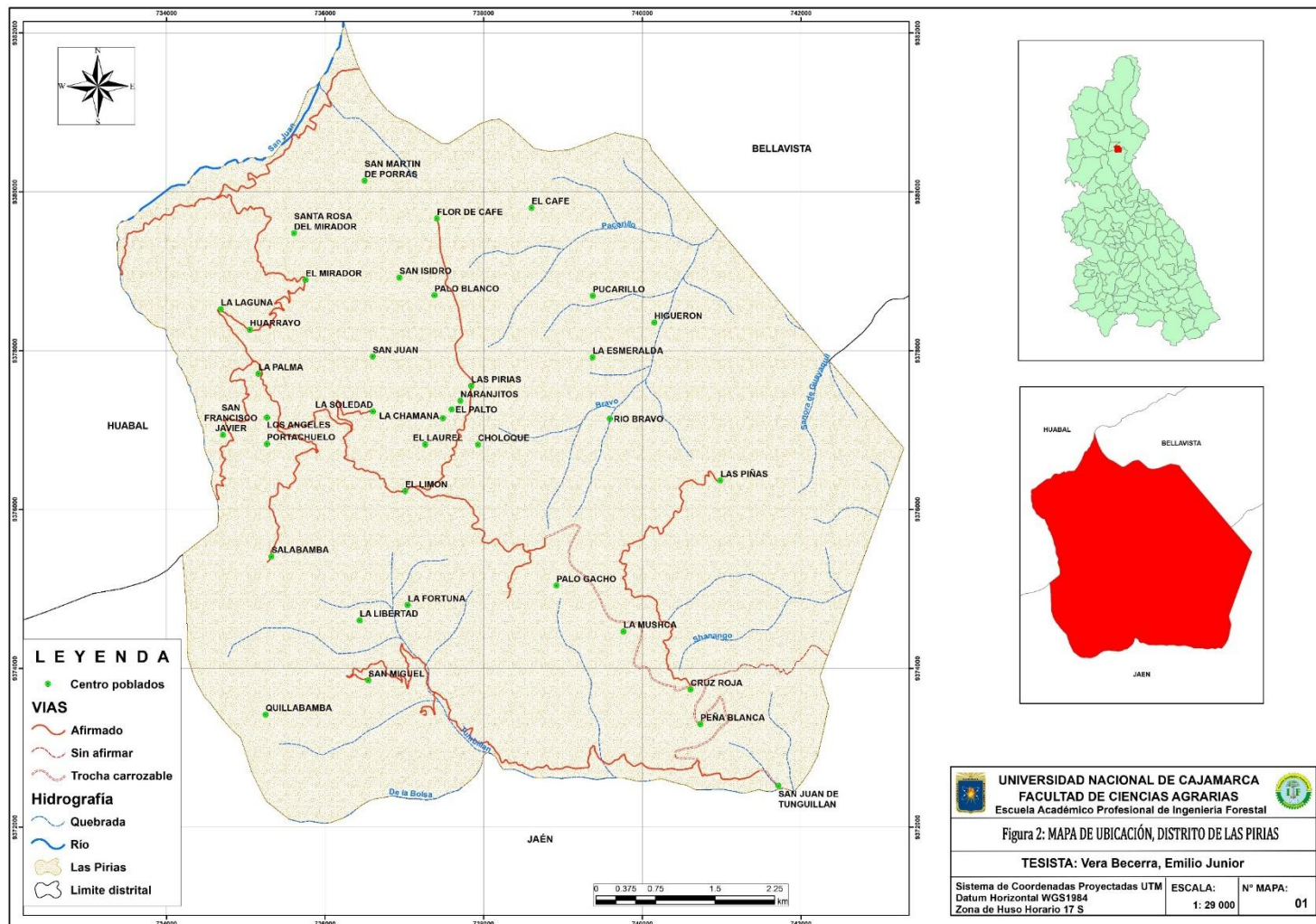
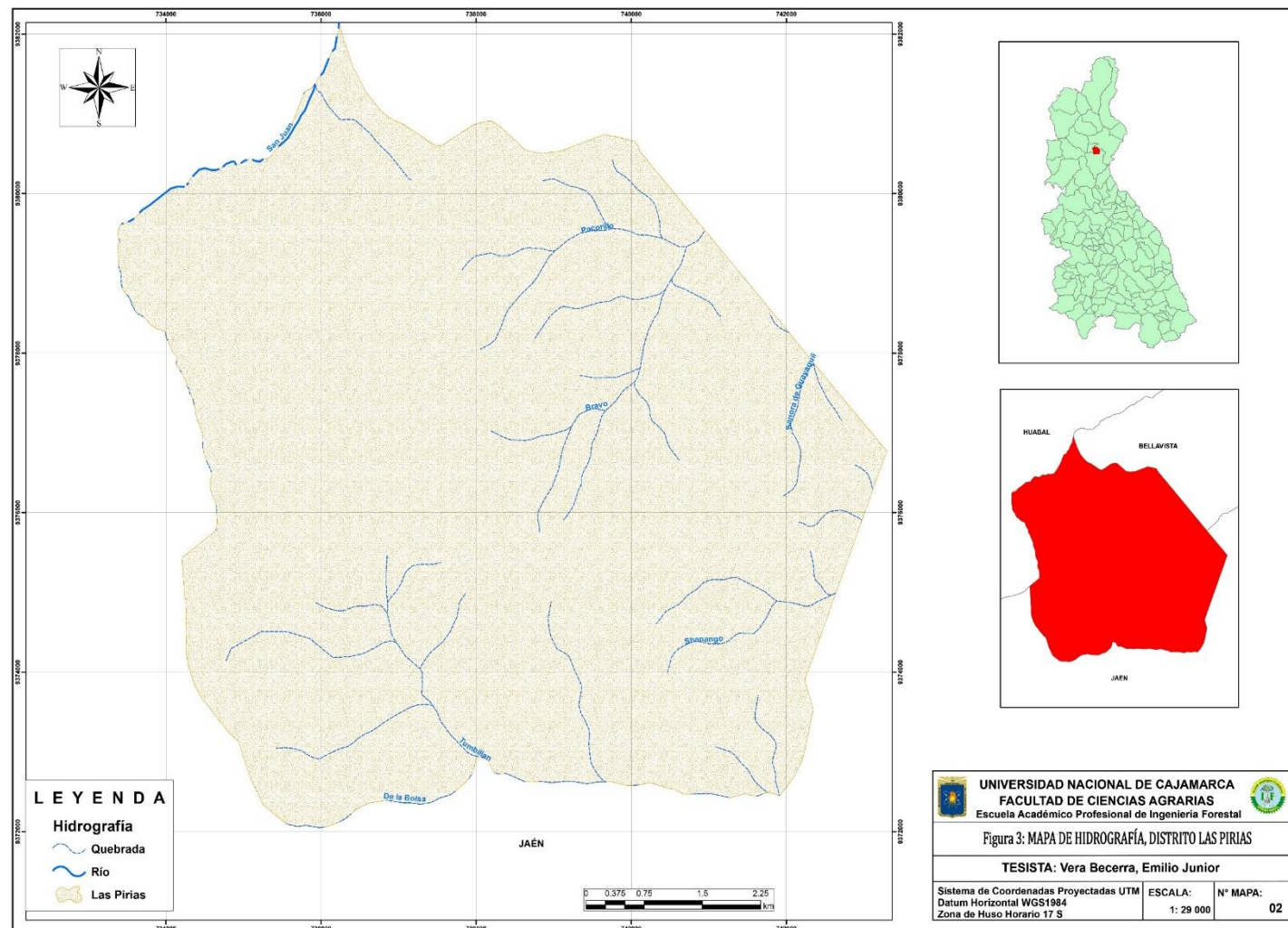


Figura 3
Mapa de la hidrografía de Las Pirias



3.2. Materiales

3.2.1. *Materiales*

Libreta de apuntes, formatos de campo, lápices y lapiceros, wincha, botiquín de primeros auxilios, Papel bond A4 de 80 gramos, lapiceros y lápices.

3.2.2. *Herramientas*

Machete, linternas, botas de jebe, poncho impermeable, bolsa de dormir (sleeping).

3.2.3. *Instrumentos y equipos*

Sistema de posicionamiento global-GPS, binoculares de largo alcance, cámara fotográfica digital semi profesional, Laptop, impresora y escáner.

3.2.4. *Material cartográfico*

Carta nacional del Perú escala 1: 100 000. Shapefile del distrito obtenido del gobierno regional de Cajamarca, base de datos de la oficina de la ZEE Cajamarca.

3.2.5. *Software*

Microsoft Windows 10, Microsoft Office 2013, ArcGis 10.3.1., Envi 5.3., RGui 2.15.

3.3. Metodología

El análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra, periodos 2003-2018, se realizó en el ámbito del distrito de Las Pirias, provincia de Jaén y departamento de Cajamarca. La metodología se basó en la obtención de imágenes satelitales de Landsat4 y Landsat8, luego se trabajó en cinco etapas de clasificación como se describe en el esquema número uno (1), la clasificación se hizo con la leyenda Corine Land Cover – CLC en un nivel III, desarrollado por el Ministerio del Ambiente (MINAM).

Para la generación de los mapas temáticos de cobertura y uso de la tierra, se utilizó la metodología del Ministerio del Ambiente-MINAM.

3.3.1. Fase inicial de gabinete

A. Recopilación, selección de información bibliográfica, cartográfica y elaboración de mapas base de los años 2003-2018. Consistió en la recopilación y análisis del mayor número de información relacionada con el uso de la tierra en el distrito de Las Pírias

Instituciones visitadas. Gobierno Regional de Cajamarca – Sub gerencia de acondicionamiento territorial, Autoridad Nacional del Agua (ANA), y el Ministerio del Ambiente – MINAM, del cual se obtuvo información temática y cartográfica.

Información bibliográfica. Documento especializado de cambios y usos de la tierra 2014 del Gobierno Regional de Cajamarca.

Descarga del modelo de elevación digital DEM. Se realizó a través del geo servidor del Ministerio del Ambiente de la zona 17 S.

Selección y descarga de imágenes landsat. Imágenes landsat del distrito de Las Pírias, estas fueron adquiridas del servidor de www.glovis.usgs.gov vía internet lo cual constituyó la base para el análisis de los cambios de cobertura y uso actual de la tierra (Tabla 5), cuyas especificaciones son las siguientes:

Figura 4

Datos de las imágenes descargadas

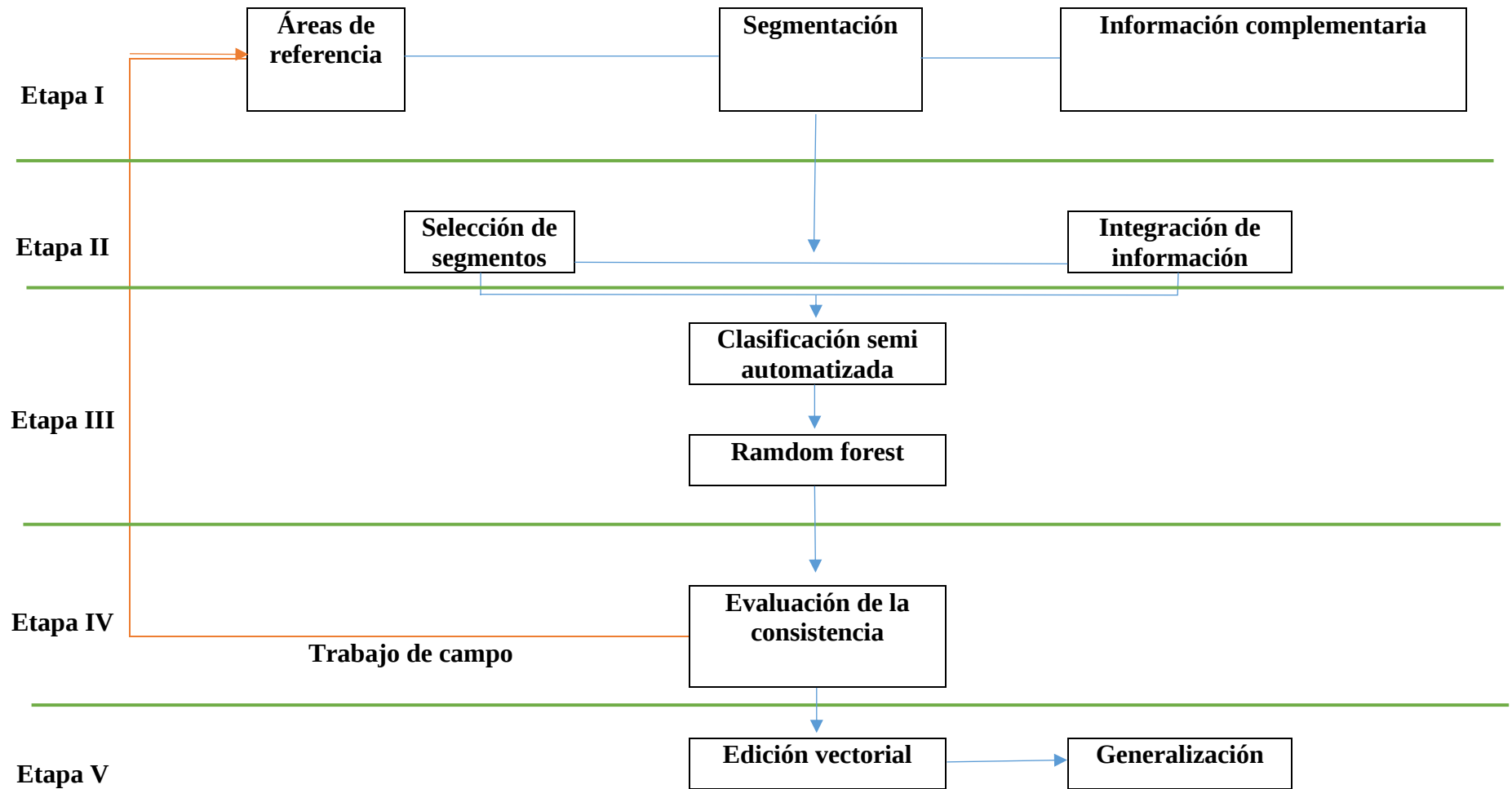
Imagen	Año	Bandas	Fecha
LT05L1TP00906420030721	2003	321	21/07/2003
LC08L1TP00906420180115	2018	432	15/01/2018

Corrección atmosférica de las imágenes descargadas

La corrección atmosférica se realizó con el software Erdas 2014, en donde se corrigió el ángulo de toma de imagen.

En la fase inicial se trabajó en las etapas I, II y III del esquema, como se detalla a continuación:

Figura 5
Flujograma de corrección atmosférica de las imágenes descargadas



A. Etapa I

Áreas de referencia

Se creó un shapefile en el software ArcGIS de forma geométrica (polígono) para poder delimitar el área de trabajo y posteriormente cortar las imágenes de Landsat5, Landsat7 y Landsat8 obteniendo como resultado un archivo con formato raster.

Segmentación

Para realizar el proceso de segmentación se utilizó el software Envi Zoom 4.8, con la finalidad de dividir en segmentos por medio de una agrupación de píxeles vecinos cuyas características (Brillo, textura, color) tienen valores similares, se consideró los siguientes parámetros. Tabla 6.

Escale: Para segmentar las imágenes se requiere solo un parámetro (scale level), este parámetro puede variar entre 0 y 100, valores altos generan pocos segmentos.

Merge: Es un parámetro opcional, tiene un rango de 0 a 100 se utiliza para integrar segmentos muy pequeños a segmentos más grandes, elementos como árboles y nubes pueden generar segmentos no deseados.

Tabla 6

Valores obtenidos de la segmentación

Segmentación	Landsat5	Landsat8
Escale	20	30
Merge	30	35

Información complementaria

Se utilizó el ModelBuilder “Coberturas_tablas para R” obtenido del Ministerio del Ambiente (MINAM), que nos permite la generalización de la selección de segmentos que posteriormente son utilizados como análisis en el proceso de clasificación, proceso mediante el cual se selecciona los segmentos que se intersectan con las áreas de

entrenamiento haciendo una interrelación entre ambos asignando así las clases ya definidas en las áreas de entrenamiento digitalizadas.

B. Etapa II

Selección de segmentos (áreas de entrenamiento)

Se creó un shapefile con el nombre de aeita_1 con el software ArcGIS, que nos permite reconocer los segmentos que se muestran consistentes, constituye el conjunto de información de entrada que alimentara el proceso de clasificación automática.

Integración de información

La información complementaria se obtuvo con el software RGui 2.15 y el algoritmo “recogiendoInfoRaster” obtenido del Ministerio del Ambiente, consiste en unir la información obtenida del Modelo de Elevación Digital (DEM) y las imágenes satelitales como son:

Brightness: Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de brillo generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat4 y Landsat8.

Greenness: Archivos en formato ráster que contiene datos sobre índice de verdor generado a partir de las imágenes satelitales de Landsat4 y Landsat8.

Slope: Archivo en formato ráster que contiene datos sobre altitud, generados a partir del Modelo de Elevación digital (DEM).

Curvatura: Describe las características físicas de una cuenca de drenaje para intentar entender los procesos de erosión y escorrentía. La pendiente afecta la tasa general de movimiento descendente. La orientación define la dirección del flujo. La curvatura del perfil afecta la aceleración y desaceleración del flujo y, por lo tanto, influye en la erosión y la sedimentación. La curvatura de la plataforma influye en la convergencia y divergencia del flujo.

En donde se nos genera una tabla llamada “Todo seg” en formato .dbf y .Rdata.

C. Etapa III

Clasificación semi automatizada: La clasificación semi automatizada se obtuvo con el software RGui 2.15 y el algoritmo “filtrar. tabla. todo.rf.2” obtenido del Ministerio del Ambiente, consiste en procesar los archivos “Todo seg, aeita_1, y el archivo obtenido de la información complementaria”, en donde se obtiene un mapa preliminar de las coberturas en un formato ráster.

Random forest: Es un algoritmo de clasificación no lineal que permite evaluar la veracidad del mapa obtenido en la fase inicial de gabinete.

3.3.2. Fase de campo

En esta fase se trabajó la etapa IV. Figura 4.

Evaluación de la consistencia: Los mapas obtenidos en la fase inicial fueron contrastados y validados In Situ y con una distribución al azar de puntos GPS, con los actores directos; es decir, sobre el mapa y la imagen satelital se realizaron las correcciones que eran necesarias, paralelamente se hizo anotaciones sobre el tipo de vegetación más importante, altitud, erosión, y datos referentes al uso actual de la tierra como cultivos, herbazales, arbustales, etc.

3.3.3. Fase Final de gabinete

En esta fase se trabajó la etapa V. Figura 4.

Edición vectorial: Procesamiento que consistió en efectuar mediante el programa ArcGIS 10.3 sobre las imágenes satelitales, todos los ajustes espaciales corregidos a nivel de campo.

Generalización: La generalización se ha desarrollado luego de haber validado en campo los mapas obtenidos utilizando como simbología una tonalidad de color para cada una de las clasificaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Categorías identificadas de cobertura y uso de la tierra bajo la clasificación de Corine Land Cover

Del análisis de las 2 figuras utilizadas en la presente investigación, se obtuvieron 6 categorías (Tabla 7), las cuales han sido clasificadas en el Nivel III de Corine Land Cover adaptada para Perú. Cada una de estas categorías sirvió para el análisis cuantitativo y cualitativo (análisis multi temporal) en el distrito de Las Pirias. A continuación, se muestra las categorías obtenidas de la clasificación:

Tabla 7

Categorías del uso actual de la tierra identificadas en el distrito de Las Pirias

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	Tu
	2.2. Cultivos permanentes		Cp
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos		Pa
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mcpe
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo	Bab
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td

4.1.1. Áreas artificializadas

A. Áreas urbanizadas”

Tejido urbano continuo – Tu

Las áreas urbanizadas incluyen los espacios cubiertos por infraestructura urbana y todas aquellas áreas verdes y redes de comunicación asociadas con ellas, que configuran un tejido urbano. Figura 6.

Figura 6

Categoría de tejido urbano continuo distrito de Las Piraas



4.1.2. Áreas agrícolas

A. “2.2. Cultivos permanentes - Cp”

Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a dos años, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos industriales como café (*Coffea Sp.*) Figura 7.

Figura 7

Categoría de cultivos permanentes



B. “2.3. Pastos - Pa”

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por las familias Poaceae y Fabaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje de su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, mequerron (*Setaria sphacelata*). Figura 8,

Figura 8
Categoría de pastos



C. “2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales - Mcpe”

Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales. Están, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tenencia de la tierra. Las especies encontradas en pastos fueron el sorgo (*Sorghum Sp.*), cultivos como yuca (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*). Figura 9.

Figura 9

Categoría de Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales



4.1.3. Bosques y áreas mayormente naturales

A. “3.1. Bosques”

“3.1.2. Bosque abierto bajo - Bab”

Se considera bosque abierto bajo a los árboles con altura mayor a 5m, cobertura mayor a 10 %, umbral entre denso y abierto con una aproximación de 70 % de cobertura. Las principales especies encontradas fueron *Cordia iguaguana*, *Cordia alliodora*. Figura 10.

Figura 10

Categoría de Bosque abierto bajo



“3.4.3. Tierras desnudas”

Comprende aquellos territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa, compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos. Figura 11.

Figura 11
Categoría tierras desnudas



4.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra, ocurridos en el periodo 2003 – 2018

Del procesamiento de las imágenes satelitales, se obtuvieron los mapas de cobertura y uso actual de la tierra de cada periodo como se describe a continuación.

4.2.1. Cobertura y uso de la tierra 2003

A. Matriz de confusión

Se realizó la matriz de confusión para el año 2003 (Tabla 8), en dicha matriz se obtuvo la Fiabilidad del productor y la Fiabilidad del usuario como se muestra a continuación:

Tabla 8*Matriz de confusión año 2003*

		Categorías asignadas en la imagen							F. usuario %
		Cp	Mcpe	Bab	Td	Pa	Tu	Total	
Resultados de la clasificación	Cp	9	0	0	0	2	0	11	81.82
	Mcpe	0	13	0	0	0	0	13	100
	Bab	0	2	12	0	0	0	14	85.71
	Td	0	0	0	13	0	0	13	100
	Pa	0	0	0	0	15	0	15	100
	Tu	0	0	0	0	0	11	11	100
	Total	9	15	12	13	17	11	77	F. Global 94.59
F. Productor %		100	86.67	100	100	88.24	100		

En las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario, teniendo que en la primera fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales 9 fueron correctamente clasificadas y 2 confundidas con Pastos (Pa). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 81.82 %.

En la segunda fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

En la tercera fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque abierto bajo (Bab), de las cuales 12 fueron correctamente clasificadas y 2 confundidas con mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 85.71 %.

En la cuarta fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a tierras desnudas (Td), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

En la quinta fila se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a pastos (Pa), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

En la sexta fila se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a tejido urbano continuo (Tu), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

En la columna se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría, dando como resultados que, en la primera columna se digitalizaron 9 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

En la segunda columna se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de cultivos, de las cuales 13 se clasificaron correctamente y 2 fueron confundidas con Bosque abierto bajo (Bab). Equivalente a una fiabilidad de usuario 86.67 %

En la tercera columna se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque abierto bajo (Bab), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

En la cuarta columna se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (Td), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

En la quinta columna se digitalizaron 17 áreas de entrenamiento que pertenecen a Pastos (Pa), de las cuales 15 se clasificaron correctamente y 2 fueron confundidas con Cultivos permanentes (Cp). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 88.24 %.

En la sexta columna se digitalizaron 11 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tejido urbano continuo (Tu), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %.

B. Índice Kappa

Cálculo del índice Kappa para el año 2003.

$$P_o = \frac{9 + 13 + 12 + 13 + 15 + 11}{77} = 0.95$$

$$P_e = \frac{(9 \times 11) + (13 \times 15) + (12 \times 14) + (13 \times 13) + (17 \times 15) + (11 \times 11)}{77^2} = 0.17$$

$$k = \frac{0.95 - 0.17}{1 - 0.17} = 0.94$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de Índice Kappa 0.94 que según la fuerza de concordancia es Casi perfecto.

C. Porcentaje correctamente clasificado

El porcentaje correctamente clasificado para el año 2003 fue de 93.74 %

D. Categorías encontradas en el año 2003

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en julio de 2003 fueron:

Tabla 9

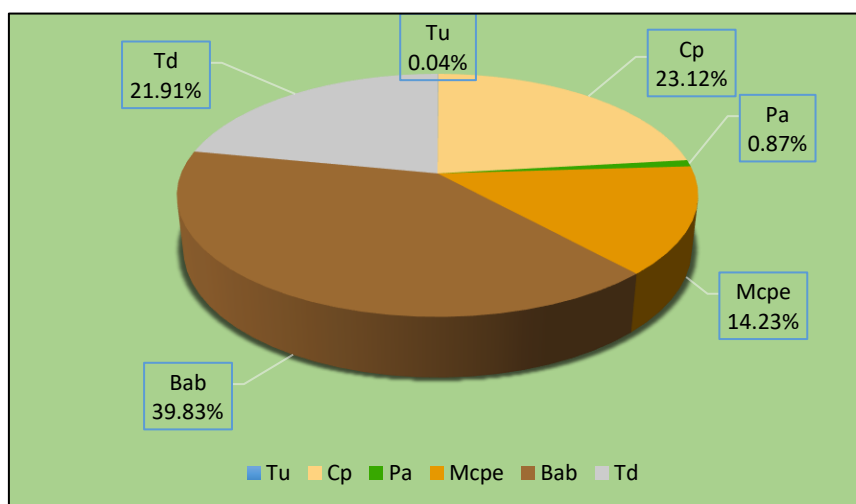
Categorías obtenidas para el año 2003

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área	
				ha	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	Tu	2.47	0.04
	2.2. Cultivos permanentes		Cp	1510.24	23.12
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos		Pa	57.09	0.87
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mcpe	929.40	14.23
	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo	Bab	2602.22	39.83
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	1431.55	21.91
Total				6532.97	100

En la tabla 9, observamos la superficie en hectáreas y porcentaje de las diferentes categorías en un nivel III del distrito de Las Pirias

Figura 12

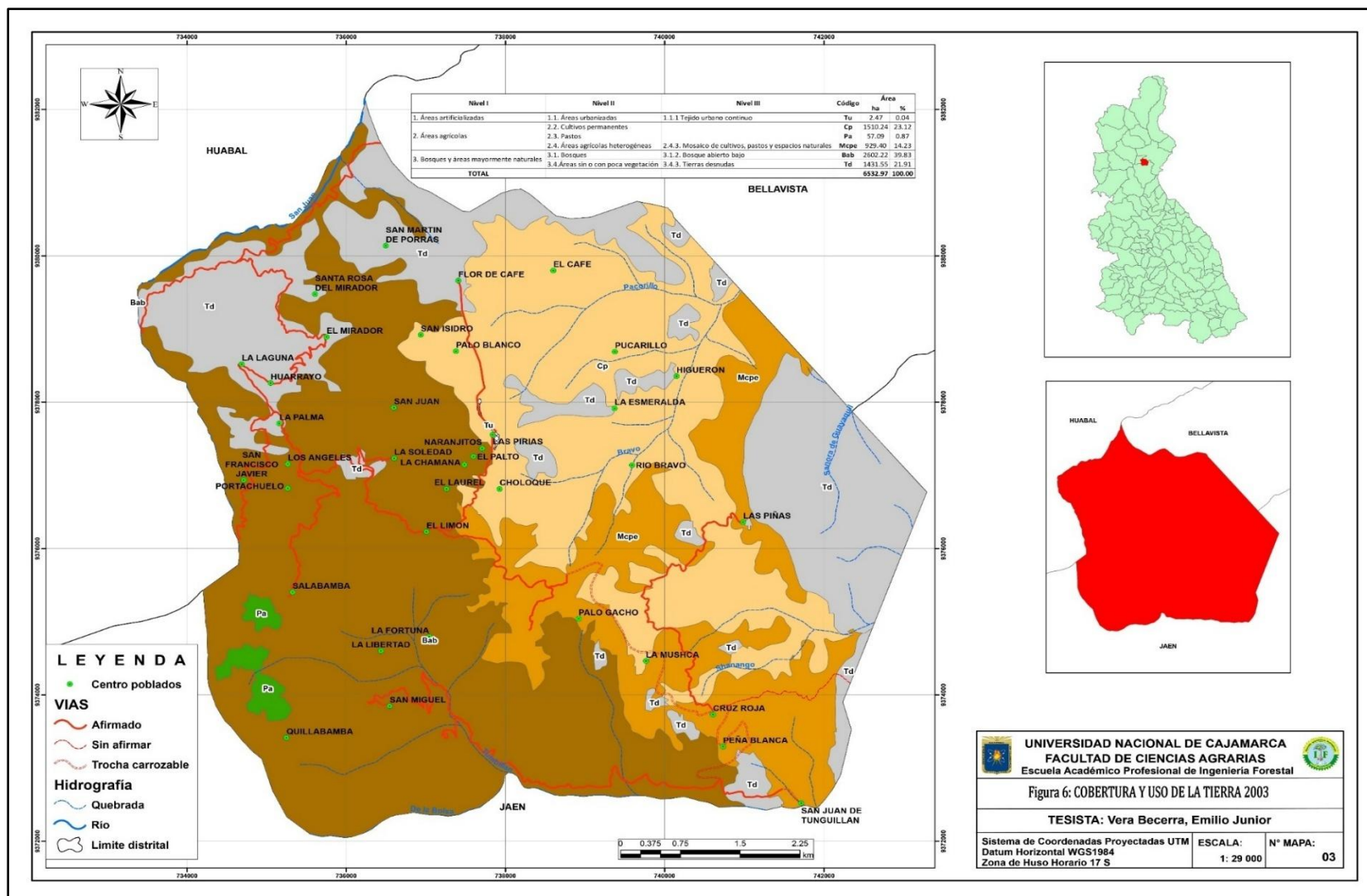
Distribución porcentual de cobertura año 2003



En la figura 12 y figura 13, observamos que el 0.04 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Tejido Urbano Continuo (Tu), el 23.12 % de la superficie del

distrito de Las Pirias está cubierta por Cultivos permanentes (Cp), el 0.87 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Pastos (Pa), el 14.23 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales (Mcpe), el 39.83 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Bosque abierto bajo (Bab), el 21.91 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Tierras desnudas (Td).
Figura 13.

Figura 13
Superficie del distrito de Las Pírias



4.2.2. Cobertura y uso de la tierra año 2018

A. Matriz de confusión

Se realizó la matriz de confusión para el año 2018 en dicha matriz se obtuvo la Fiabilidad del productor y la Fiabilidad del usuario (Tabla 10), como se muestra a continuación:

Tabla 10

Matriz de confusión año 2018

Categorías asignadas en la imagen									
Resultados de la clasificación	Categorías	Cp	Mcpe	Bab	Td	Pa	Tu	Total	F. usuario %
	Cp	18	0	0	0	0	0	18	100
	Mcpe	0	13	0	0	0	0	13	100
	Bab	0	0	19	0	0	0	19	100
	Td	0	0	0	13	0	1	14	92.86
	Pa	0	0	0	0	21	0	21	100
	Tu	0	0	0	0	0	12	12	100
	Total	18	13	19	13	21	13	97	F. Global
									98.81
F. Productor %		100	100	100	100	100	92.31		

En las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario, obteniendo que en la primera fila se digitalizaron 18 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la segunda fila se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la tercera fila se digitalizaron 19 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque abierto bajo (Bab), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la cuarta fila se digitalizaron 14 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (Td), de las cuales 13 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Tejido urbano continuo (Tu). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.86 %. (Tabla 10).

En la quinta fila se digitalizaron 21 áreas de entrenamiento que pertenecen a Pastos (Pa), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la sexta fila se digitalizaron 12 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tejido urbano continuo (Tu), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la columna se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría, teniendo que en la primera columna se digitalizaron 18 áreas de entrenamiento que pertenecen a Cultivos permanentes (Cp), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la segunda columna se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la tercera columna se digitalizaron 19 áreas de entrenamiento que pertenecen a Bosque abierto bajo (Bab), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la cuarta columna se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tierras desnudas (Td), e las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la quinta columna se digitalizaron 21 áreas de entrenamiento que pertenecen a Pastos (Pa), de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100 %. (Tabla 10).

En la sexta columna se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a Tejido urbano continuo (Tu), de las cuales 13 fueron correctamente digitalizadas y 1 fue confundida con Tierras desnudas (Td). Equivalente a una fiabilidad del usuario de 92.31 %. (Tabla 10).

B. Índice Kappa

Cálculo del índice kappa para el año 2018

$$P_o = \frac{18 + 13 + 19 + 13 + 21 + 12}{97} = 0.99$$

$$P_e = \frac{(18 \times 18) + (13 \times 13) + (19 \times 19) + (13 \times 14) + (21 \times 21) + (13 \times 22)}{97^2} = 0.17$$

$$k = \frac{0.99 - 0.17}{1 - 0.17} = 0.99$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de Índice Kappa 0.99 que según la fuerza de concordancia es casi perfecto.

C. Porcentaje correctamente clasificado

El porcentaje correctamente clasificado para el año 2018 fue de 98.97 %

D. Categorías encontradas en el año 2018

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en julio de 2018 (Tabla11), fueron:

Tabla 11

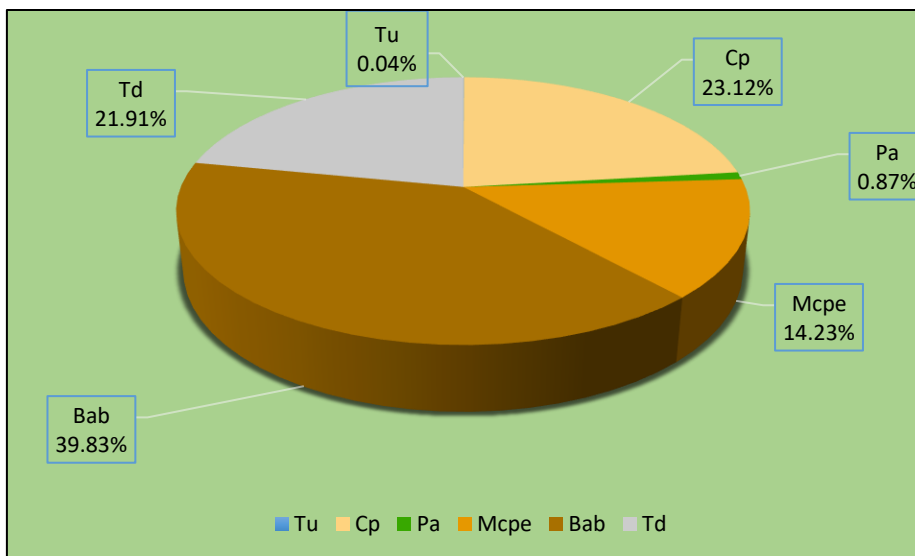
Categorías obtenidas para el año 2018.

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Área	
				ha	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	Tu	9.42	0.14
	2.2. Cultivos permanentes		Cp	2552.31	39.02
2. Áreas agrícolas	2.3. Pastos		Pa	343.40	5.26
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mcpe	742.66	11.37
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo	Bab	1675.91	25.65
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	1209.27	18.51
Total				6532.97	100

En la tabla 11, observamos la superficie en hectáreas y porcentaje de las diferentes categorías en un nivel III del distrito de Las Pirias

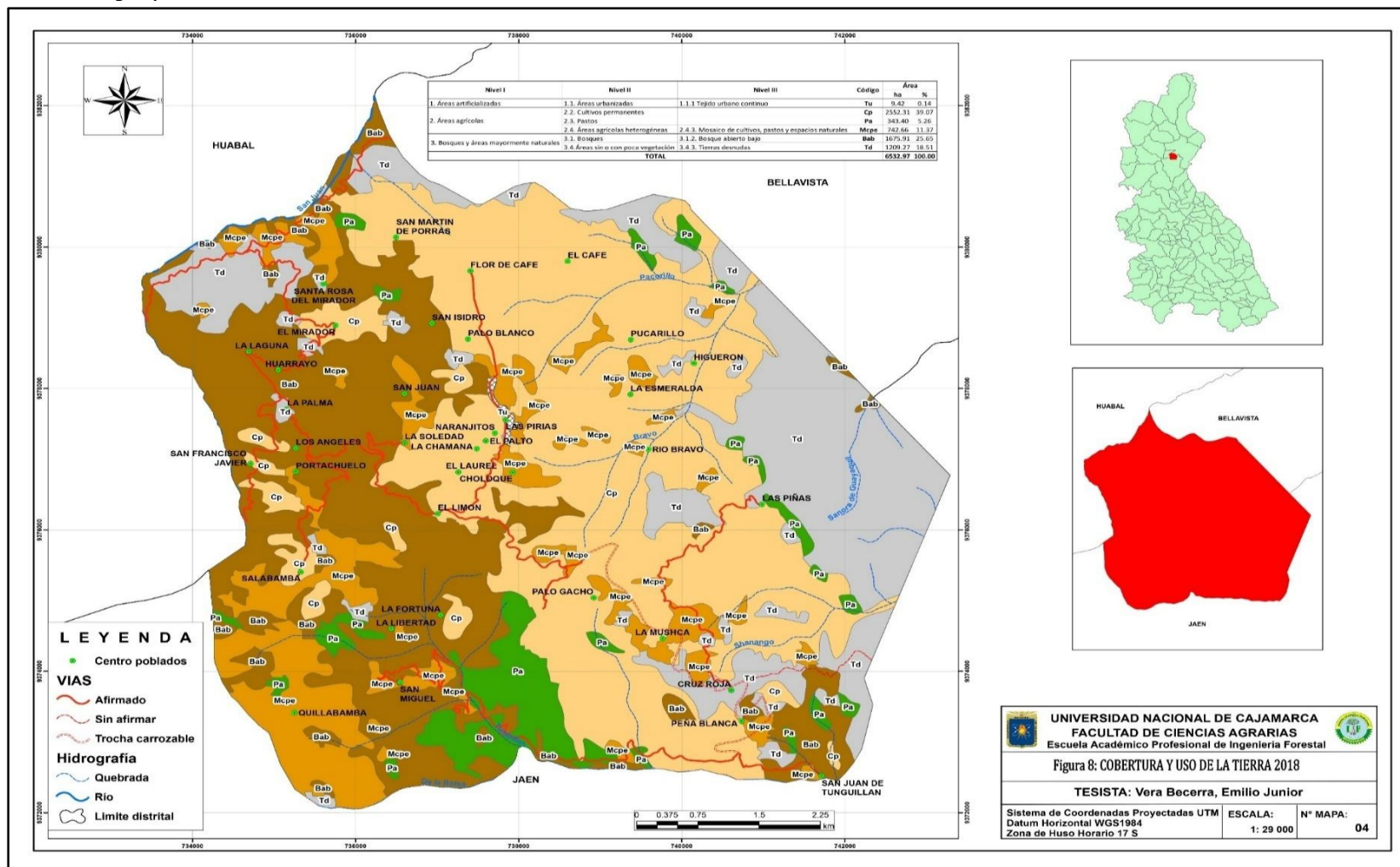
Figura 14

Distribución porcentual de cobertura año 2018



En la figura 14 y 15, observamos que el 0.14 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Tejido Urbano Continuo (Tu), el 39.07 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Cultivos permanentes (Cp), el 5.26 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Pastos (Pa), el 11.37 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales (Mcpe), el 25.65 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Bosque abierto bajo (Bab), el 18.51 % de la superficie del distrito de Las Pirias está cubierta por Tierras desnudas (Td).
Figura 15.

Figura 15
Superficie del distrito de Las Píras



4.3. Análisis de cambio y no cambio del uso de la tierra

Para determinar el cambio y no cambio de cobertura, se evaluó la variación de los polígonos de forma global entre cada periodo de evaluación (2003 -2018), sin importar los motivos o a que categorías de cobertura vegetal cambiaron dichos polígonos. A continuación, se muestra los resultados del análisis:

4.3.1. Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2003 – 2018

En el periodo 2003 – 2018 se puede observar ganancias de área (+) como también perdida (-) en las categorías obtenidas, el cambio en mayor proporción se dio en las categorías Cultivos permanente (Cp) con una área de +1042.07 ha, Pastos (Pa) con una área de +286.31 ha, Tejido urbano continuo (Tu) con una área de +6.95 ha con un cambio positivo; por otro lado las categorías Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) con una área de -186.74 ha, Bosque abierto bajo (Bab) con una área de -926.31 ha, Tierras desnudas (Td) con una área de -222.28 ha con un cambio negativo (Tabla 12).

Tabla 12

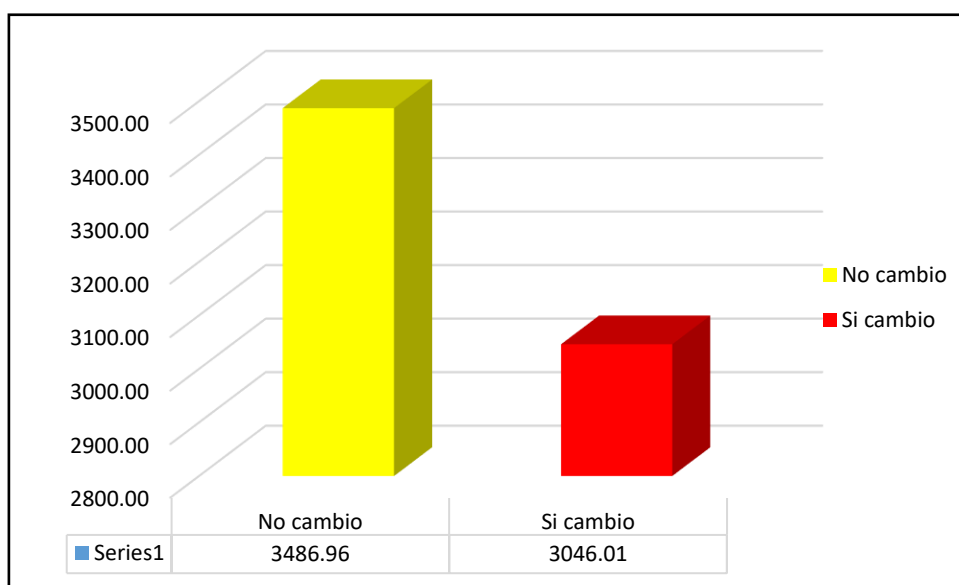
Perdida o ganancia de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 - 2018

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Código	Superficie 2003		Superficie 2018		2003 - 2018	
				ha	%	ha	%	ha	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	Tu	2.47	0.04	9.42	0.14	6.95	0.11
		2.2. Cultivos permanentes	Cp	1510.24	23.12	2552.31	39.07	1042.07	15.95
	2.3. Pastos		Pa	57.09	0.87	343.40	5.26	286.31	4.38
2. Áreas agrícolas	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Mcpe	929.40	14.23	742.66	11.37	-186.74	-2.86
		3.1.2. Bosque	Bab	2602.22	39.83	1675.91	25.65	-926.31	-14.18

mayormente naturales	abierto bajo							
3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	1431.55	21.91	1209.27	18.51	-222.28	-3.40
Total			6532.97	100	6532.97	100	0.00	0.00

Figura 16

Cambio y no cambio del uso de la tierra periodo 2003 - 2018



En la figura 16 y 17, se aprecia el cambio y no cambio de la superficie del distrito de Las Pirias en hectáreas, de un total de 6532.97 ha sufrieron cambios 3486.96 ha equivalente al 53.37 % y no cambio 3046.01 ha equivalente al 46.63 %. Figura 17.

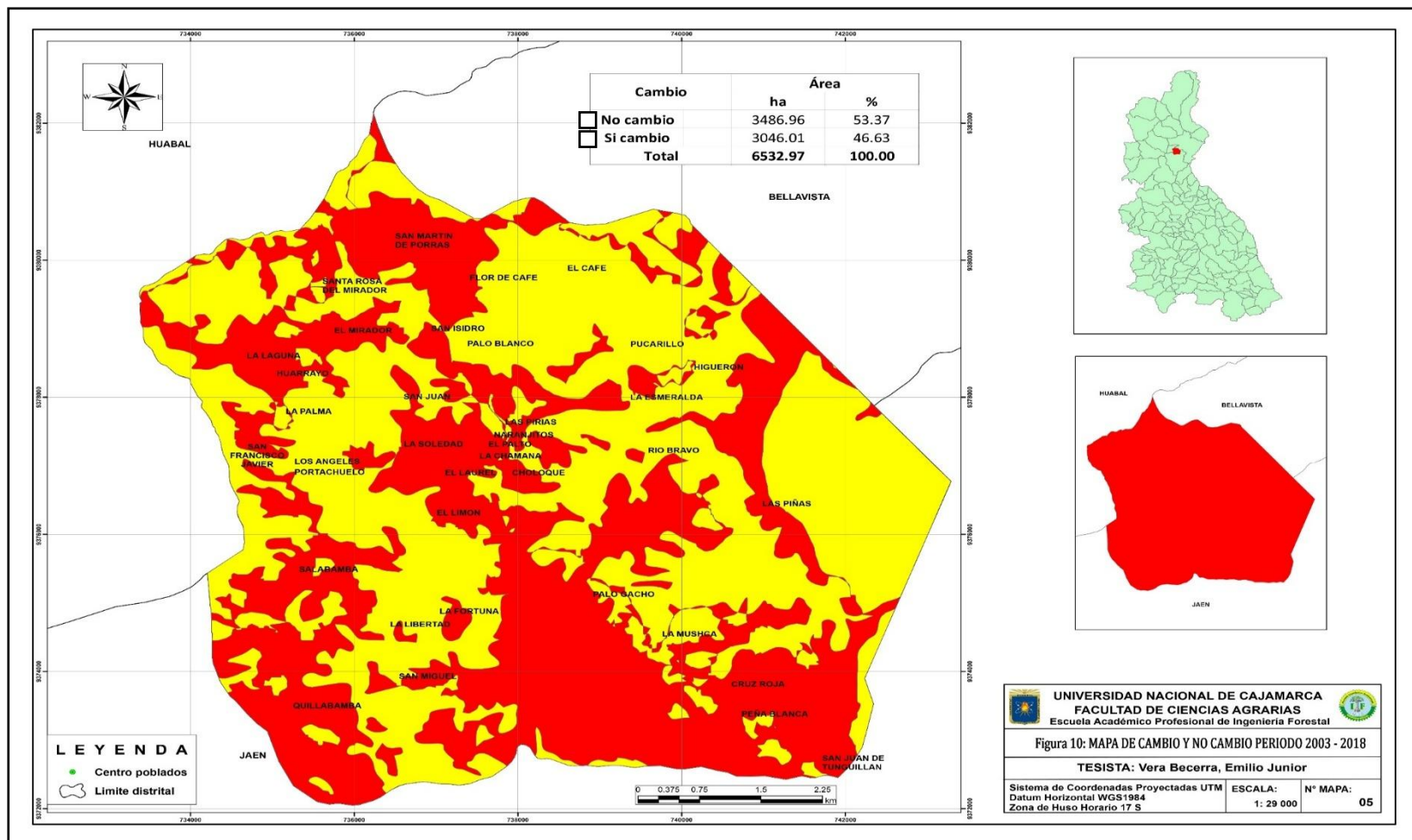
Los resultados para el caso de la cobertura urbanizada son similares que los que encontró Tamiru (2025), donde observó que el área urbana se incrementó un 2,05 %; sin embargo, en el caso del presente estudio, este incremento fue superior. De la misma manera Pushpalatha et al. (2025), encontró que el área urbana se incremento en un rango de diez años, este valor encontrado fue superior al de la presente investigación; de igual manera Bill et al. (2024) encontró incrementos del área urbana al doble de proporción que en el presente trabajo. El crecimiento del área urbana es común en todas las investigaciones realizadas, y es

validado por Hasan et al (2023) y los investigadores mencionados. También los investigadores consultados indican que el crecimiento del área urbana es mayor en los poblados que administran los recursos y la inversión como municipios, capitales de distritos u otra organización administrativa territorial.

Los otros dos tipos de coberturas que también han tenido crecimiento en el distrito de Las Pirias, son los pastizales y los cultivos permanentes, alcanzando incrementos de 4,38 y 15,95 % respectivamente. En el mismo sentido se encuentra la investigación de Tamiru (2025), quien obtuvo que el área de cultivo se incrementó un 5,8 %, resultado que es ligeramente inferior al de la presente investigación; de igual manera investigadores como Pushpalatha et al. (2025), Lumba (2023) y Muñoz (2018), encontraron que la cobertura de los cultivos permanentes y pastizales se incrementaron durante los periodos de evaluación. Por su parte Hasan et al (2023) encontró un comportamiento diferente, pues en su estudio la cobertura de los cultivos permanentes descendió, debido al uso distinto del suelo.

Lo más resaltante del presente estudio es la alta disminución de la cobertura vegetal tipo bosque, que paso a perder un 14,18 % de su valor durante el periodo de vegetación; esto quiere decir que, durante los años de evaluación, el distrito de chirinos perdió un total de 926,31 ha, lo cual da una tasa de deforestación de 61,75 ha por año. Los resultados se encuentran en el mismo sentido de pérdida de cobertura boscosa que los encontrados por (2025), quien indica una pérdida de cobertura alta de hasta 55 %. Por su parte el investigador Tamiru (2025), también encontró una pérdida de bosque, aunque en un porcentaje inferior de solo el 8,6 %; similar porcentaje encontró Pushpalatha et al. (2025), donde la cobertura solo bajó 149 ha. Por su parte Tabaco (2023), encontró una pérdida de bosque de hasta 9,8 %, y la tasa de deforestación encontrada fue de 93,2 ha/año, lo cual es un valor parecido a la tasa de deforestación que se sucedió en el distrito de Las Pirias durante el periodo evaluado.

Figura 17
Cambios de la superficie del distrito de Las Pirias



4.4. Análisis de transición de cobertura y uso de la tierra

4.4.1. Análisis de cambio por cobertura

El análisis de cambio por cobertura, consta en la evaluación del cambio por cobertura es decir de una cobertura inicial a una actual entre cada periodo de evaluación. En este proceso, solo se evalúa las áreas en las que hubo cambio, dejándose de lado los de no cambio. A continuación, se muestran los resultados de este análisis.

A. Cambios de cobertura del periodo 2003 – 2018

En cuanto a los cambios de cobertura del periodo 2003 – 2018 en el distrito de Las Pirias, se determinó que los principales cambios de cobertura son:

- La categoría Bosque abierto bajo (Bab) fue reemplazada por Cultivos permanentes (Cp) con un área de 609.66 Ha, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) con un área de 440.59 Ha, Pastos (Pa) con un área de 251.79 Ha, Tierras desnudas (Td) con un área de 32.23 Ha y Tejido urbano continuo (Tu) con un área de 0.35 Ha. La categoría Bosque abierto bajo (Bab) tuvo una pérdida total de 926.31 Ha.
- La categoría Cultivos permanentes (Cp) fue reemplazada por Bosque abierto bajo (Bab) con un área de 42.94 Ha, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) con un área de 113.39 Ha, Pastos (Pa) con un área de 19.47 Ha, Tierras desnudas (Td) con un área de 43.21 Ha y Tejido urbano continuo (Tu) con un área de 6.60 Ha. La categoría Cultivos permanentes (Cp) tuvo una ganancia de 1042.07 Ha.
- La categoría Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) fue reemplazada por Bosque abierto bajo (Bab) con un área de 125.78 Ha, Cultivos permanentes (Cp) con un área de 358.02 ha, Pastos (Pa) con un área de 51.39 Ha, Tierras desnudas (Td) con un área de 300.26 Ha. La categoría Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) tuvo una pérdida total de 186.74 Ha.
- La categoría Pastos (Pa) fue reemplazada por Bosque abierto bajo (Bab) con un área de 14.09 Ha, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) con un área de 38.26 Ha. La categoría Pastos (Pa) tuvo una ganancia total de 286.31 Ha.
- La categoría Tierras desnudas (Td) fue reemplazada por Cultivos permanentes (Cp) con un área de 300.00 ha, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe)

con un área de 56.76 Ha, Pastos (Pa) con un área de 15.71 Ha, Bosque abierto bajo (Bab) con un área de 225.50 Ha. La categoría Tierras desnudas (Td) tuvo una pérdida total de 222.28 Ha.

- En conclusión, en el periodo 2003 – 2018 la categoría Tejido Urbano continuo tuvo un área de 6.95 Ha, Cultivos permanentes un área de 1042.07 Ha, Pastos (Pa) 286.31 Ha, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (Mcpe) tuvo un área de -186.74 Ha, Bosque abierto bajo (Bab) tuvo un área de -926.31 Ha y Tierras desnudas (Td) tuvo un área de -22.28 Ha.

A continuación, en la tabla 13, se presenta los resultados de la transición de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 – 2018 en el distrito de Las Pirias.

Tabla 13

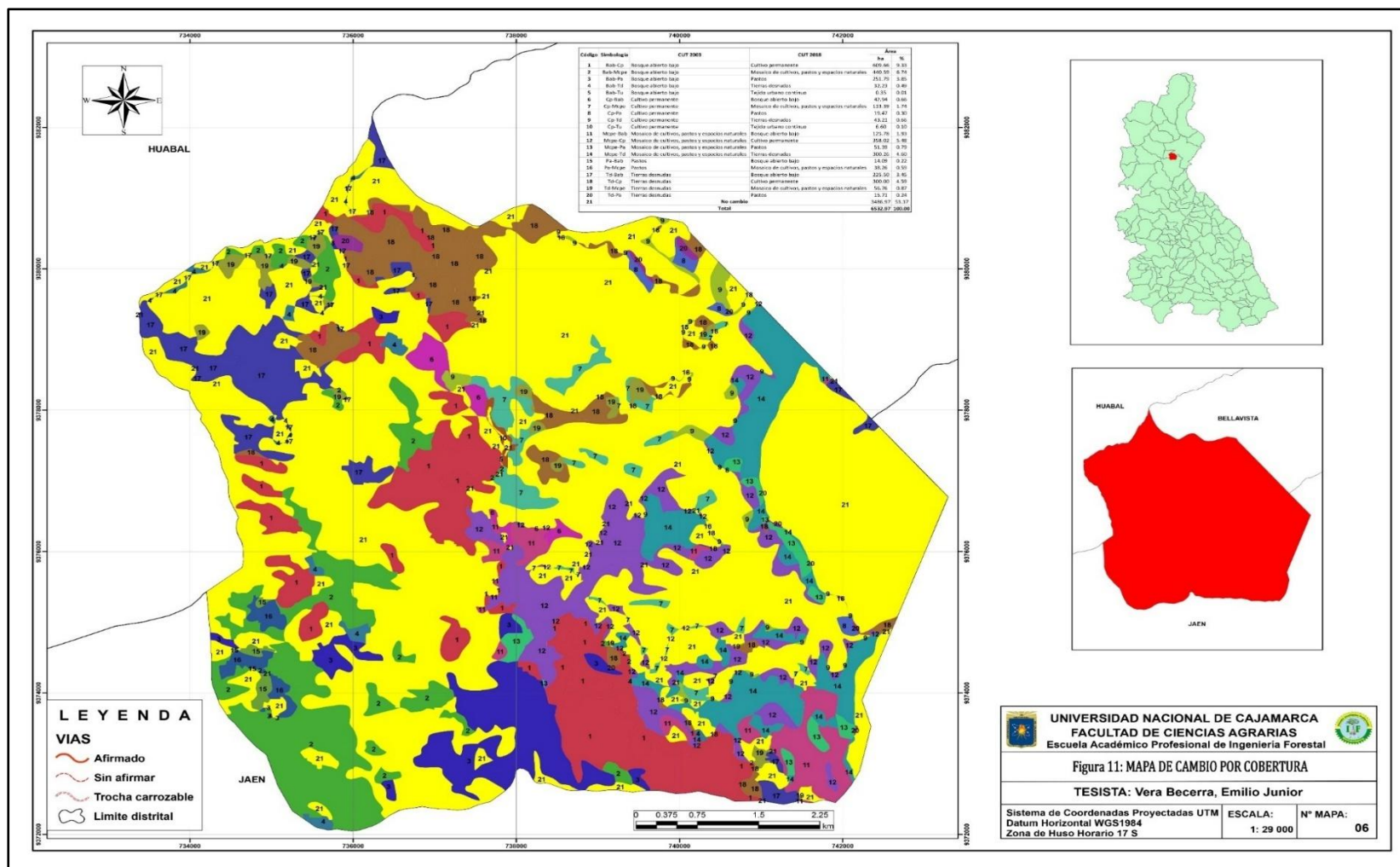
Transición de la cobertura y uso de la tierra, periodo 2003 - 2018

Código	Simbología	CUT 2003	CUT 2018	Área	
				ha	%
1	Bab-Cp	Bosque abierto bajo	Cultivos permanentes	609.66	9.33
2	Bab-Mcpe	Bosque abierto bajo	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	440.59	6.74
3	Bab-Pa	Bosque abierto bajo	Pastos	251.79	3.85
4	Bab-Td	Bosque abierto bajo	Tierras desnudas	32.23	0.49
5	Bab-Tu	Bosque abierto bajo	Tejido urbano continuo	0.35	0.01
6	Cp-Bab	Cultivos permanentes	Bosque abierto bajo	42.94	0.66
7	Cp-Mcpe	Cultivos permanentes	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	113.39	1.74
8	Cp-Pa	Cultivos permanentes	Pastos	19.47	0.30
9	Cp-Td	Cultivos permanentes	Tierras desnudas	43.21	0.66
10	Cp-Tu	Cultivos permanentes	Tejido urbano continuo	6.60	0.10
11	Mcpe-Bab	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Bosque abierto bajo	125.78	1.93
12	Mcpe-Cp	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Cultivos permanentes	358.02	5.48
13	Mcpe-Pa	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Pastos	51.39	0.79

14	Mcpe-Td	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	Tierras desnudas	300.26	4.60
15	Pa-Bab	Pastos	Bosque abierto bajo	14.09	0.22
16	Pa-Mcpe	Pastos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	38.26	0.59
17	Td-Bab	Tierras desnudas	Bosque abierto bajo	225.50	3.45
18	Td-Cp	Tierras desnudas	Cultivos permanentes	300.00	4.59
19	Td-Mcpe	Tierras desnudas	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	56.76	0.87
20	Td-Pa	Tierras desnudas	Pastos	15.71	0.24
21	No cambio			3486.97	53.37
Total				6532.97	100

Figura 18

Transición de la cobertura y uso de la tierra del distrito Las Piraas



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los cambios de cobertura y uso actual en el distrito de Las Pirias para el periodo 2003 – 2018 fueron: si cambio 3046,01 Ha y no cambio 3486,96 HA.

Se generó los mapas temáticos de cobertura y uso actual de la tierra del distrito de Las Pirias para el periodo 2003 – 2018, siendo categorizados con la metodología Corine Land Cover en un nivel III, obteniendo seis categorías las cuales son: Tejido Urbano Continuo, Tierras denudas, Cultivos permanentes, Pastos, Bosque abierto bajo y Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales

La cobertura que más cambio sufrió en el periodo 2003 – 2018 fue Cultivos permanentes (Cp) con una ganancia de 1042,07 Ha equivalente al 15,95 %, la cobertura con menos cambio fue Tejido Urbano Continuo con un aumento de área de 6,95 Ha equivalente al 0,11 %.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda usar la mayor cantidad de imágenes satelitales y de varios años, para reducir el error que ocasiona las áreas cubiertas por nubes y sombras en el análisis.

Se recomienda realizar más estudios usando imágenes satelitales actuales para confirmar y uniformizar información y que nos permita tomar las mejores decisiones y sirva de herramienta para la zonificación ecológica y económica, para el ordenamiento territorial, y para el desarrollo de proyectos de desarrollo en esta zona.

Conociendo que las herramientas SIG y de procesamiento de imágenes de sensores remotos son materia de especialistas, pero sus aplicaciones deben ser conocidas por los administradores de proyectos de desarrollo para poder tomar decisiones con la mejor información posible sobre lo que ocurre en el entorno geográfico. Recomendándose que la capacitación en estos temas es muy importante, y esta se puede obtener de varias instituciones que la brindan, tales como universidades, defensa civil, entre otras.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, H; Horna, J. 2012. Mapa de cobertura y uso actual de las tierras. Departamento de Lambayeque.
- Alcántara, G. 2014. Estudio Especializado Análisis de los Cambios de la Cobertura y Uso de la Tierra – Departamento de Cajamarca.
- APN – SIB (Administración de Parques Nacionales - Sistema de Información de Biodiversidad). 2005. Protocolo para el pre procesamiento de imágenes satelitales Landsat para aplicaciones de la administración de parques nacionales. Buenos Aires – Argentina. (En línea).
- Arnillas, C.A; Barrena, V; Llactayo, W; Ortiz, H; Regal, F; Rubín, E de Celis; Vásquez, P; Drenkhan, F; Llerena, CE; Espino, P; García, V; Gonzáles-Zúñiga, S; Gushiken, E; López, D y Vásquez, R. 2012. Informe final del proyecto: análisis de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la comunidad andina. Componente nacional Perú – Primera Etapa. Centro de datos para la conservación (CDC-UNALM). Laboratorio de teledetección (LTAUNALM). Dirección general de ordenamiento territorial - Ministerio del Ambiente (DGOT - MINAM). Fundación para el Desarrollo Agrario (FDA). Lima - Perú. pp. 56.
- Bill, L. M., Clobite, B. B., & Meris Midel, M. L. (2024). Land use land cover change detection using multi-temporal Landsat imagery in the North of Congo Republic: A case study in Sangha region. *Geocarto International*, 39(1), 2425184. <https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2425184>
- Carletta, Jean. 1996. Assessing agreement on classification tasks: The kappa statistic. *Computational Linguistics*, 22(2), pp. 249–254.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección especial. 3ª. Ed. Revisada. Ediciones Rialp. Madrid, España.

- Chuvieco, E. 2002. Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona. Ariel Ciencia. 584 p.
- Chuvieco, E. 2008. Teledetección Ambiental 3ra edición. Barcelona España: Editorial Ariel S.A. 595 p.
- Cohen J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas* 20:37-46.
- Eastman, RJ. 1999. Guide to GIS and image processing. Volume, 2. Ed. Clark Labs. Worcester, MA. 170 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 1990. Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia). 2010. Metodología corine land cover. (En línea).
- Jansen, L.; Di Gregorio, A. 1998. Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, ecosystems & environment*, 91(1), 89-100.
- Lambin, EF; Turner, BL; Geist, HJ; Agbola, SB; Angelsen, A; Bruce, JW; Coomes, OT; Dirzo, R; Fischer, G; Folke, C; George, PS; Homewood, K; Imbernon, J; Leemans, R; Li, X; Moran, EF; Mortimore, M; Ramakrishnan, PS; Richards, JF; Skanes, H; Steffen, W; Stone, GD; Svedin, U; Veldkamp, TA; Vogel, C & Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.
- Lillesand, T & Kiefer, R. 2003. Remote sensing and image interpretation, Wiley, New York.
- Linares, M. 2012. Plan de Desarrollo Concertado Local al 2021. Gobierno Distrital de Jaén 124 p.

- Lozano, E. 2006. Análisis de cambio multitemporal de uso de la tierra en la cuenca alta del Río Santo Domingo, Estado Mérida, Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 147 p.
- Lumba, E. N. (2023). *Análisis de la cobertura y usos de la tierra en el periodo 2000-2020 del distrito de Chalamarca- Chota-Perú*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/443>
- Malleux Jorge. 2002. Evaluación integral de los recursos forestales. Universidad Nacional Agraria la Molina- UNALM. Perú. 98 p.
- Maune, D. F. 2001. Digital Elevation Model Technologies and Applications: the DEM User's Manual, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, USA.
- Mendoza, M. E. & Masera, O. 2011. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas, Boletín N° 44. Instituto de Geografía – UNAM. México. 18-38 p.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2014. Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina (en línea). Lima, Perú. Consultado 22 abri. 2018. Disponible en: <content/uploads/sites/18/2013/10/Informe-final-de-Proyecto-Dinamica-de-los-ambios-de-la-Tierra-CAN.pdf>
- Morgan Urbano & López Urbano. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ediciones mundi – prensa. 87, 205, 209. 210 p.
- Muñoz, R. (2018). *Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de José Manuel Quiroz periodo 2000—2018*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2598>

- Murdiyarso, D. & Wasrin, U. R. 1995. Estimating land-use change and carbon release from tropical forest conversion using remote-sensing techniques. *Journal of Biogeography*, 22: 715-721.
- Ñique A., M.; Gutiérrez G., R.; Vivar L., L.; Durand T., E. & Verastegui P., M. 2006. Experiencias de educación ambiental no formal en áreas adyacentes al Parque Nacional Tingo María.
- Orozco, L y Brumér, C. 2002. Inventario forestal para bosques Latifolia dos en América Central. Costa Rica. Cosude. 263 p.
- Ortiz, E. 2001. Sistemas de Información Geográfica. In: Informe de Proyecto: Aplicación de los sistemas de información geográfica al manejo de recursos naturales (ASIGMARN). Vicerrectoría de Investigación y Extensión, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. p. 34-37.
- Pérez, U. 1997. Principios de los sistemas de información geográfica y su aplicación dentro de la planificación y manejo ambiental de las cuencas hidrográficas. Universidad de Tolima. Ibagué, CO. 130 p.
- Petraglia, C; Acosta, S; Acosta, L. 2015. Sistema de clasificación de cobertura de la ttietta – FAO. Uruguay.; 23 jul. Consultado en 18 ene. 2018. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2567871>.
- Pushpalatha, V., Mallikarjuna, P. B., Mahendra, H. N., Rama Subramoniam, S., & Mallikarjunaswamy, S. (2025). Land use and land cover classification for change detection studies using convolutional neural network. *Applied Computing and Geosciences*, 25, 100227. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2025.100227>
- Robbins, C.S., J.R. Sauer, R.S. Greenberg and S. Droege. 1989. “Population declines North American birds that migrat to the tropics”, *Proc. Of National Academy of Sciences*, Vol. 86. N° 19. 7658-7662 p.
- Seyam, M. M. H., Haque, M. R., & Rahman, M. M. (2023). Identifying the land use land cover (LULC) changes using remote sensing and GIS approach: A case study at

- Bhaluka in Mymensingh, Bangladesh. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7, 100293. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100293>
- SRGIS (Sensores Remotos y Gis). 2005. Guía Básica sobre Imágenes Satelitales y sus Productos.
- Tabaco, L. P. (2023). *Cambios de cobertura boscosa y uso de suelo en la microcuenca Huamanpata, provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas (1990 – 2020)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3658>
- Tahir, Z., Haseeb, M., Mahmood, S. A., Batool, S., Abdullah-Al-Wadud, M., Ullah, S., & Tariq, A. (2025). Predicting land use and land cover changes for sustainable land management using CA-Markov modelling and GIS techniques. *Scientific Reports*, 15(1), 3271. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87796-w>
- Tamiru, T. (2025). Land Use Land Cover Change Detection Analysis Using GIS and Remote Sensing Techinques: In Case of Guto Wayu Woreda, Weastern Ethiopia. *American Journal of Remote Sensing*, 13(1), 1-12. <https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20251301.11>
- Turner II, B. L. 2001. Land–use and land-cover change: advances in 1.5 decades of sustained international research, GAIA, vol 10, no. 4, 269-272 p.
- Woodwell, G.M., J.E. Hobie, R.A. Houghton, J.M. Mellilo, B.J. Peterson, G.R. Shaver, T.A. Stone, B. Moore and A.B. Park. 1983. Deforestation measured by landsat: steps toward a method, DOE, Springfield, Virginia, EUA.
- Yanapa, C. G. T., Sumerinde, L. D. V., Roman, I. O. C., & Catari, M. E. (2024). Analysis of Vegetation Cover Change with Satellite Images using Landsat 8 in the Inambari District in the Period 2013-2023. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 4(1), 1124-1132. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i1.150>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1. Figuras del proceso metodológico

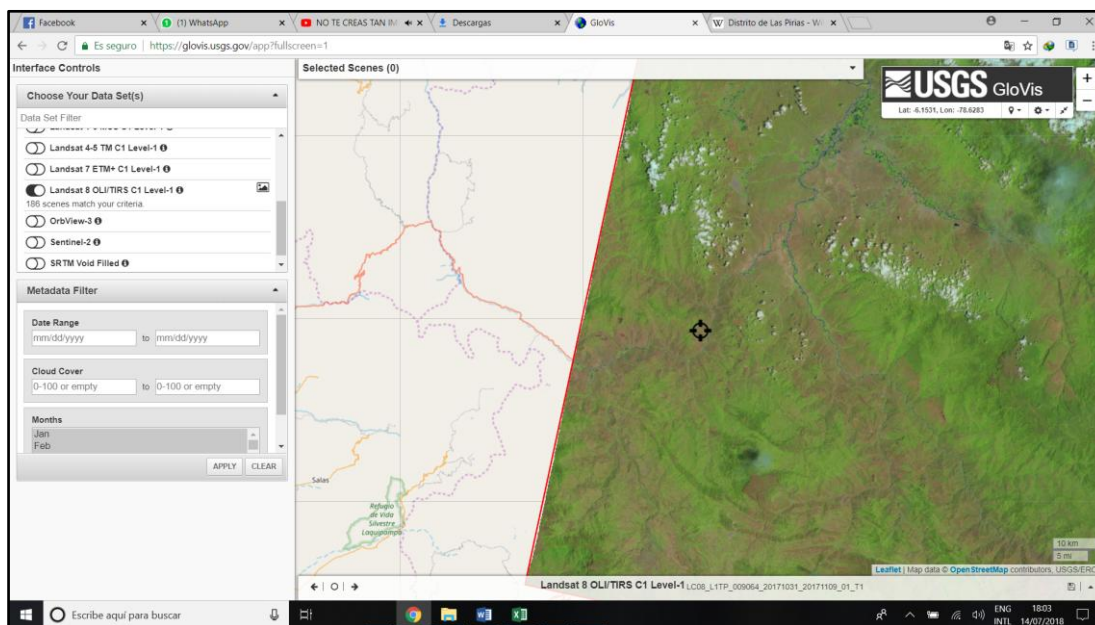


Foto 1. Selección de imagen para el área de estudio.

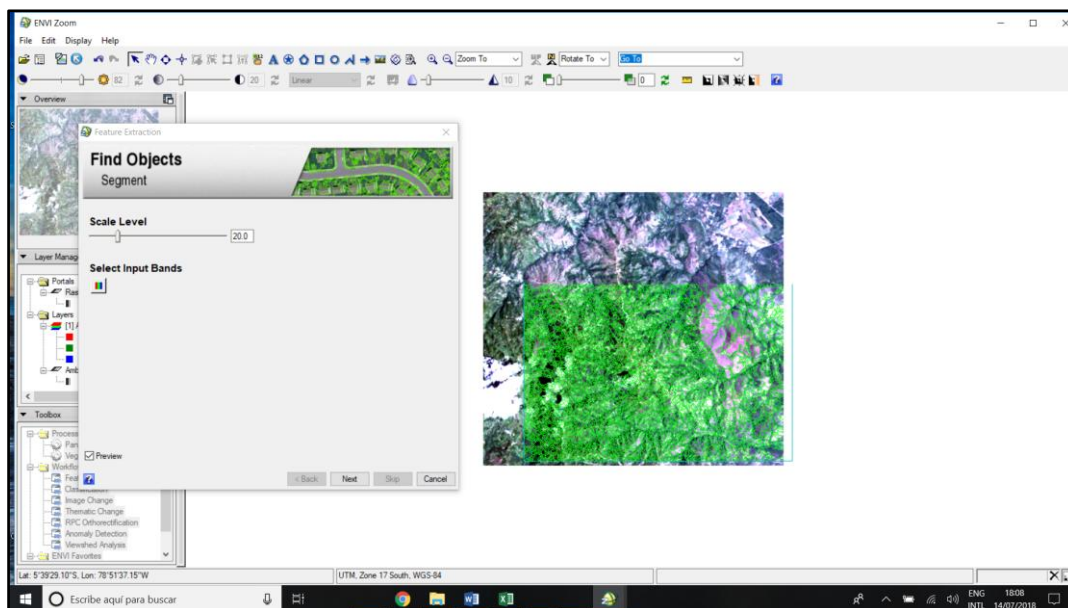


Foto 2. Segmentación del área de estudio.

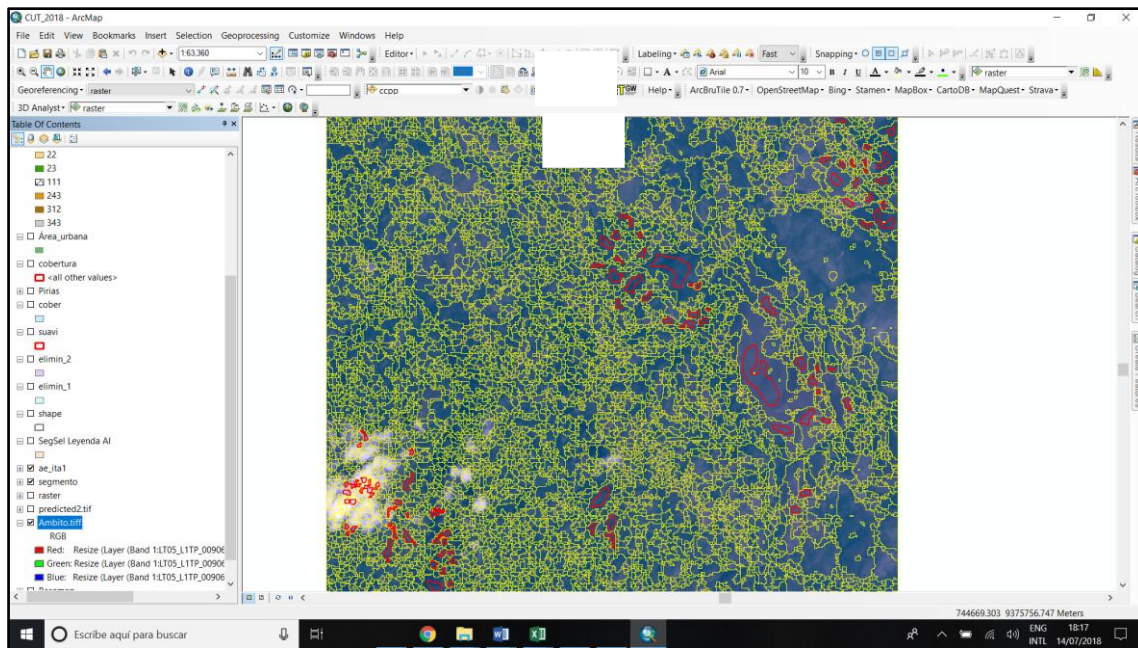


Foto 3. Digitalización de áreas de entrenamiento.

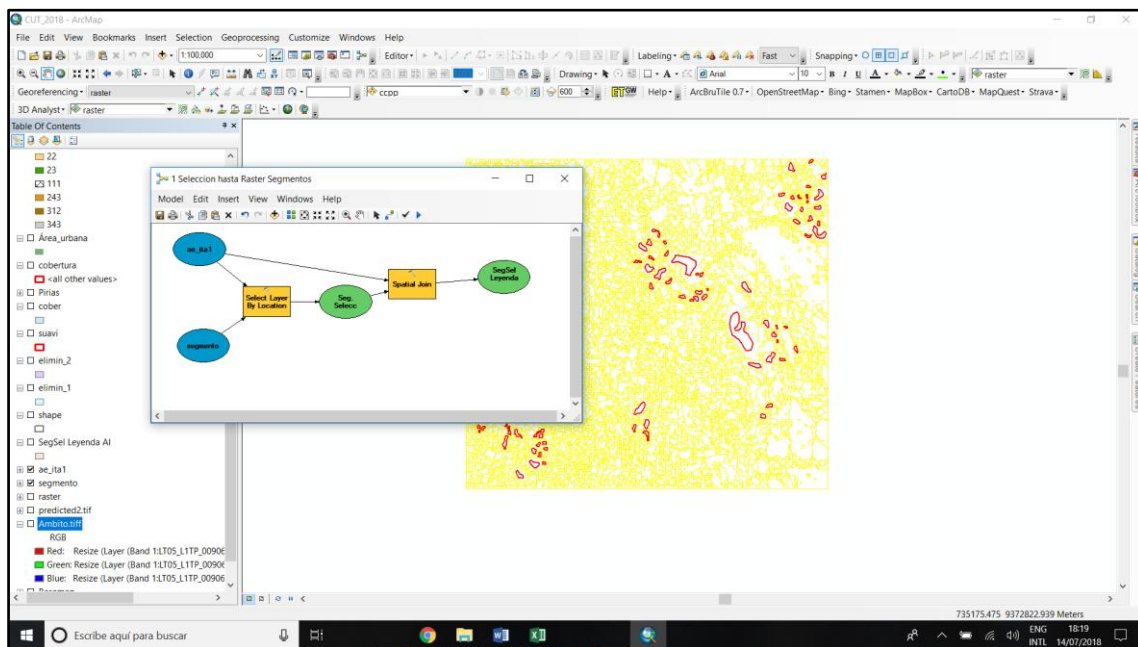


Foto 4. Aplicación del ModelBuilder para generar el SegSele.

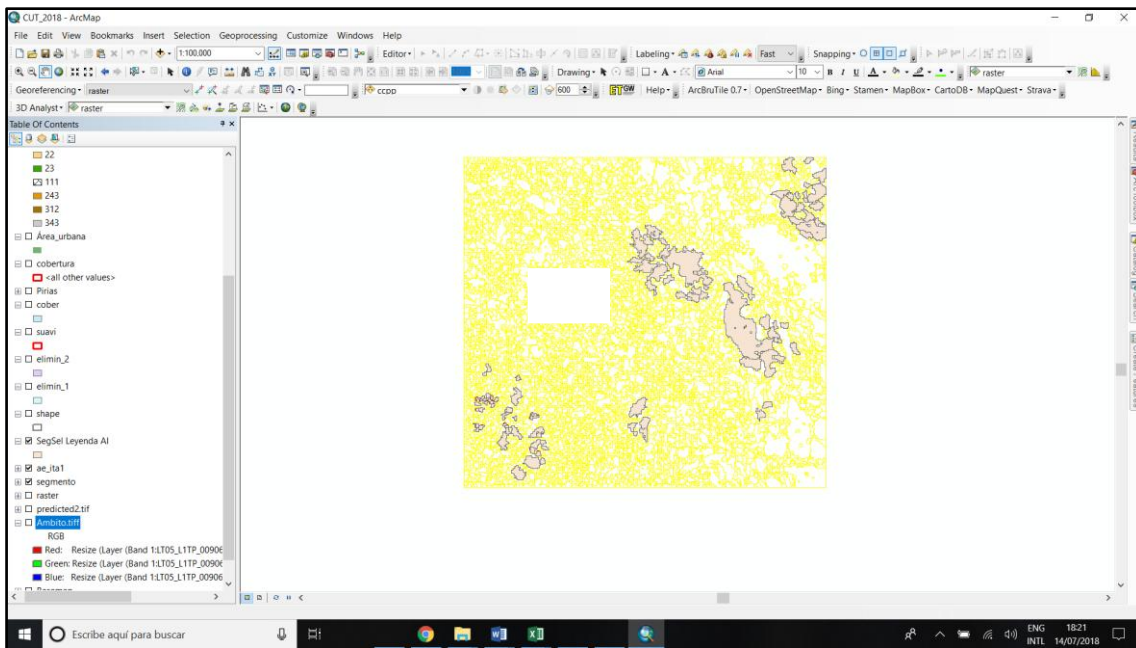


Foto 5. SegSelecc.

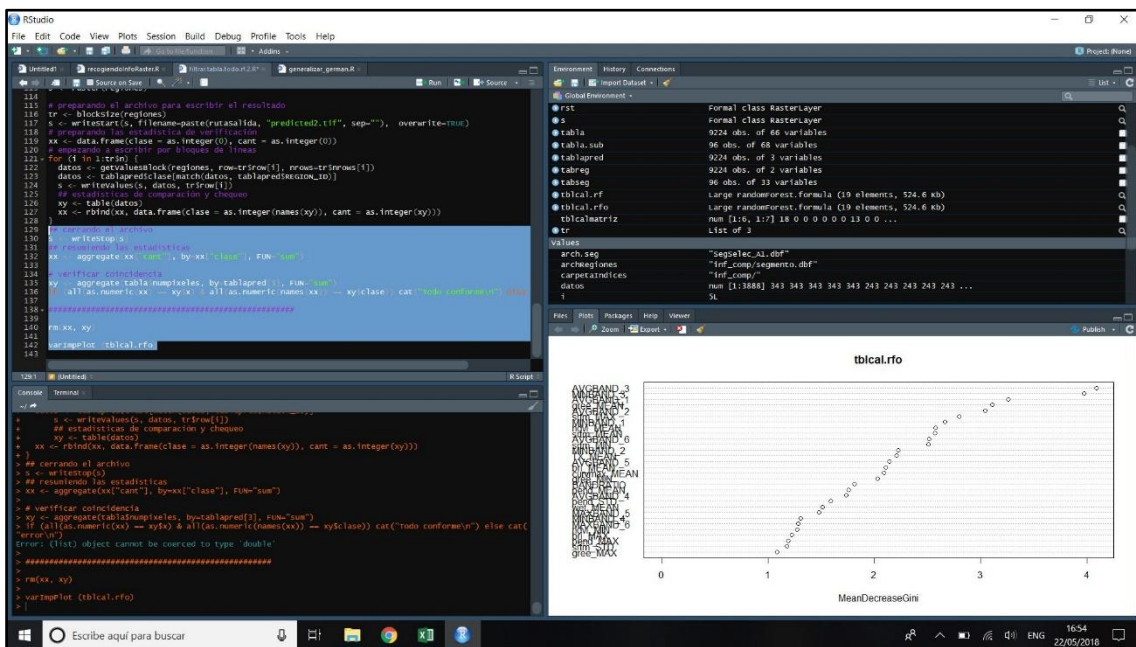


Foto 6. Ejecución del scrip Random Forest.

ANEXO 2. Fotografías de trabajo campo

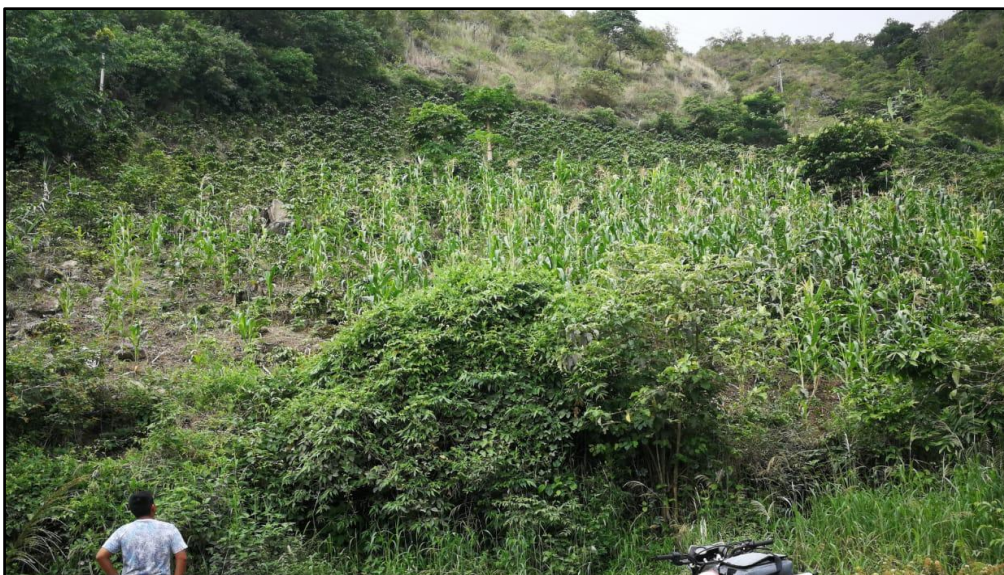


Foto 7. Mosaico de cultivos, pastos.

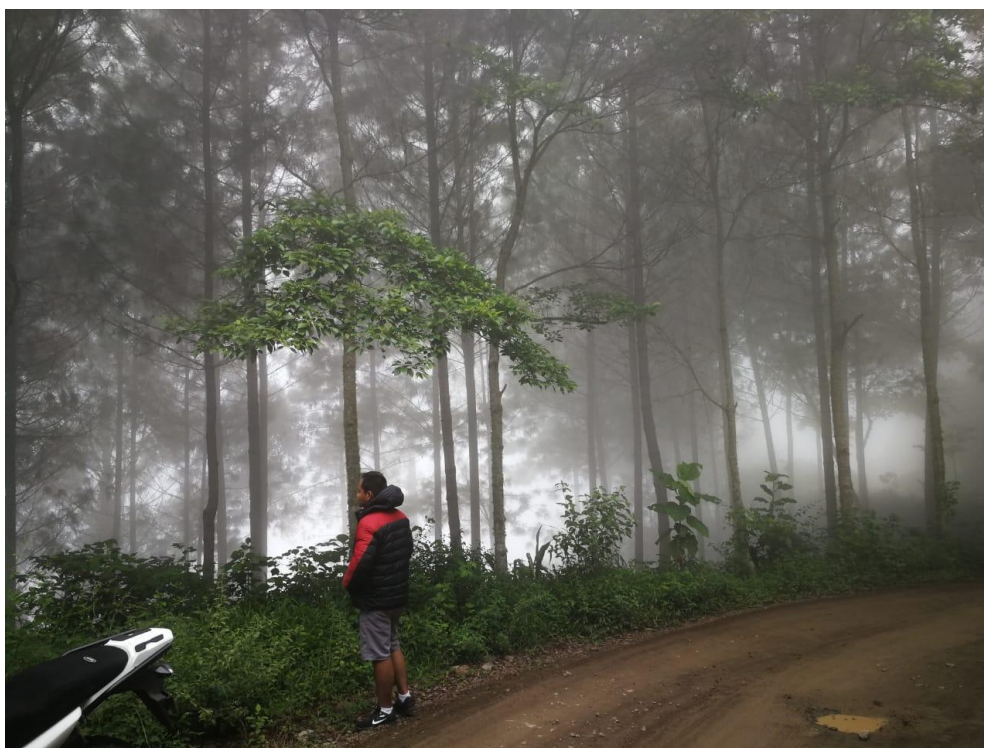


Foto 8. Bosque abierto bajo.



Foto 9. Toma de datos, bosque abierto bajo.



Foto 10. Tejido urbano continuo.



Foto 11. Mosaico de cultivos, pastos.



Foto 12. Toma de datos bosque abierto bajo