

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
SEDE JAÉN



**“DETERMINACIÓN DE CAMBIO DE COBERTURA 2001 –
2013 DEL BOSQUE TROPICAL ESTACIONALMENTE
SECO DE LA CUENCA AMOJÚ- JAÉN, UTILIZANDO
IMÁGENES SATELITALES”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR LA BACHILLER:

CINTHIA TATIANA OBLITAS VÁSQUEZ

Jaén – Perú
2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de Febrero de 1,962

"Horte de la Universidad Peruana"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

SECCIÓN JAÉN

Bolívar N° 1342 - Plaza de Armas - Telfs. 431907 - 431080

JAÉN - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los doce días del mes de Julio del año dos mil diecisiete, 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° 179-2017-FCA-UNC, de fecha 17 de mayo de 2017, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: **"Determinación de cambio de cobertura 2001-2013 del bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú - Jaén, utilizando imágenes satelitales"**. Ejecutado por la Bachiller en Ciencias Forestales **doña CINTHIA TATIANA OBLITAS VÁSQUEZ**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las diecisiete horas y cinco minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando a la 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, la Bachiller queda expedita para que inicie los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las dieciocho horas y veinte minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Dr. Segundo P. Vaca Marquina
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Segundo M. Tafur Santillán
SECRETARIO

Ing. Leiver Flores Flores
VOCAL

Ing. M. Sc. Germán Pérez Hurtado
ASESOR

DEDICATORIA

A MI MADRE TERESA VASQUEZ LINARES POR SU ESFUERZO
CONSTANTE POR VER A SUS HIJOS REALIZADOS.
Y MIS HERMANOS MICHELLE Y OMAR POR BRINDARME ÁNIMO Y
APOYO EMOCIONAL.

AGRADECIMIENTO

La vida nos presenta distintos obstáculos con lo cual crecemos y maduramos mientras las enfrentamos en el camino, por eso un especial agradecimiento a Dios que siempre está presente y nos envía sus energías divinas para no retroceder y darnos un empujoncito para seguir adelante.

A mi asesor el Ingeniero Germán Pérez Hurtado, por su apoyo para la realización de esta investigación.

A las personas más cercanas de mi entorno, a mi madre y hermanos por su motivación y apoyo en el desarrollo de este trabajo y formación profesional.

A mis amigos Dany, Jarold, Nilser, Manuel y Gisela por su apoyo incondicional y acompañamiento en las salidas de campo.

Rosita Esquen y Yanina Coronel por su amistad y mantener mi ánimo en pie.

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Bosque seco	12
2.2. Antecedentes.....	14
2.3. Importancia del bosque tropical estacionalmente seco.....	14
2.4. Deforestación	14
2.5. Cobertura vegetal y uso del suelo	15
2.6. Herramientas para el estudio de la cobertura del suelo	15
2.6.1. Teledetección y sensores remotos.....	15
2.6.2. SIG.....	16
2.7. Imágenes satelitales	16
2.7.1. Imágenes Landsat	16
2.7.2. Imágenes Rapideye	18
2.8. Índice de Vegetación de Diferencias Normalizado (NDVI).....	18
2.9. Software	18
2.9.1. PCI Geomática.....	18
2.9.2. Erdas Imagine	18
2.9.3. ENVI.....	19
2.9.4. ArcGIS Desktop.....	19
2.10. Interpretación digital de las imágenes.....	19
2.10.1. Clasificación digital	19
2.10.2. Clasificación supervisada	20
2.10.3. Clasificación no supervisada	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	21
3.1.1. Clima, vegetación y fauna	22
3.1.2. Hidrografía.....	23
3.2. Materiales y equipos	23
3.2.1. Imágenes	23
3.2.2. Materiales, equipos y software	23
3.3. Metodología	24
3.3.1. Fase de condiciones previas - Recopilación y acondicionamiento de información.....	26
3.3.2. Fase gabinete.....	29
3.3.3. Fase campo	38
A. Preparación del trabajo de campo.....	38
B. Verificación de campo	38
C. Ajuste en oficina	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
4.1. Resultados.....	42
4.1.1. Definición de categorías según leyenda Corine Land Cover.....	42
A. Tejido urbano continuo (1.1.1)	42
B. Cultivos transitorios (2.1.1).....	43

C. Mosaico de cultivos y espacios naturales (2.4.5).....	43
D. Bosque abierto bajo (3.1.2).....	44
E. Bosque denso alto (3.1.3).....	45
F. Arbustal (3.3.2).....	45
G. Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4).....	46
H. Áreas arenosas naturales (3.4.1).....	46
I. Tierras desnudas, incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas (3.4.3)	47
J. Ríos (5.1.1).....	48
4.1.2. Cobertura vegetal y ocupación del suelo de los años 2001, 2007 y 2013	48
4.1.3. Análisis de los cambios de los BTES	50
A. Bosque abierto bajo (3.1.2).....	51
B. Arbustal (3.3.2).....	52
C. Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4).....	52
4.1.4. Elaboración del mapa final	53
4.1.5. Tasa promedio anual de deforestación (TMAD).....	58
4.2. Discusión	59
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. Conclusiones.....	60
5.2. Recomendaciones	61
VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	62
ANEXO	67
Anexo 1. Fotos para las clases de uso de la tierra.....	68
Anexo 2. Categorías de la clasificación Corine Land Cover Adaptada para Perú. ...	73
Anexo 3. Descripción de las categorías de la clasificación CLC para el área de la Cuenca Amojú.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del satélite LandSat	17
Tabla 2. Descripción de las imágenes descargadas	23
Tabla 3. Esquema Corine Land Cover Adaptada para Perú presentes en la cuenca Amojú.	25
Tabla 4. Información complementaria.....	30
Tabla 5. Indicadores de calidad para la evaluación del modelo	33
Tabla 6. Matriz de confusión para el proceso de validación con datos de campo.....	35
Tabla 7. Matriz de confusión para el proceso de validación en la clasificación de imágenes satelitales del año 2001.....	36
Tabla 8. Matriz de confusión para el proceso de validación en la clasificación de imágenes satelitales del año 2007.....	36
Tabla 9. Matriz de confusión para el proceso de validación en la clasificación de imágenes satelitales del año 2013.....	37
Tabla 10. Valoración de coeficiente kappa (Landis y Koch1977)	37
Tabla 11. Formato para la relación de puntos de verificación en campo.	39
Tabla 12. Cobertura y uso de la tierra en el área de la cuenca Amojú	48
Tabla 13. Área y porcentaje del bosque tropical estacionalmente seco en la cuenca Amojú.	49
Tabla 14. Persistencias y cambios en hectáreas del bosque tropical estacionalmente seco en la cuenca Amojú.	51
Tabla 15. Cobertura y uso de la tierra en sus tres niveles del año 2001	53
Tabla 16. Cobertura y uso de la tierra en sus tres niveles del año 2007.....	55
Tabla 17. Cobertura y uso de la tierra en sus tres niveles del año 2013.....	55
Tabla 18. Cobertura y uso de la tierra en el área de la cuenca Amojú	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las etapas y procesos de la metodología empleada para la representación cartográfica.....	25
Figura 2. Imagen Landsat del área de la cuenca Amojú visualizada desde el servidor EarthExplorer	26
Figura 3. Generación de segmentos con Envi Zoom.....	29
Figura 4. Generaciones áreas de entrenamiento en ArcMap	30
Figura 5. Generación de información complementaria en ENVI 4.8	31
Figura 6. Modelo de selección automática, selecciona segmentos que intersectan con áreas de entrenamiento.....	32
Figura 7. Imagen Rapideye de 5 m (izquierda), imagen Landsat 30 m combinación 432(derecha).....	34
Figura 8. Forma de localización de los recorridos en campo	41
Figura 9. Clasificación de las áreas sobre la imagen satelital	41
Figura 10. Uso actual de la cuenca Amojú para los años 2001, 2007 y 2013	49
Figura 11. Representación de área cubierta por el bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú para los años 2001, 2007 y 2013.....	50
Figura 12. Resultado de la superficie cubierta por las diferentes categorías del BTES en los años 2001, 2007 y 2013	50

Figura 13. Resultado del análisis de cambios por las diferentes categorías del BTES en los periodos 2001-2007 y 2007-2013	51
Figura 14. Bosque abierto bajo.....	52
Figura 15. Arbustal	52
Figura 16. Vegetación arbustiva / herbácea.....	53

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Vista de la ciudad de Jaén	42
Foto 2. Cultivos de arroz inundados de agua – Sector Catahuas.....	43
Foto 3. Cultivos de arroz - Fundo El Horizonte	43
Foto 4. Cultivos de café con plátano como sombra – trayecto a caserío Piñas	44
Foto 5. Bosque abierto bajo - Sector Iguaguanal.....	44
Foto 6. Presencia de Porotillo (<i>Capparis flexuosa</i>).....	44
Foto 7. Bosque Huamantanga.....	45
Foto 8. Bosque denso alto.....	45
Foto 9. Cuyishina (<i>Croton sp.</i>)	45
Foto 10. Palo verde (<i>Parkinsonia praecox</i>).....	45
Foto 11. Huanarpo (<i>Jatropha humboldtiana</i>).....	46
Foto 12. Vegetación arbustiva herbácea – caserío Pushura Alta.....	46
Foto 13. Río Marañón y bancos de arena – distrito Bellavista.....	47
Foto 14. Zonas erosionadas – sector Fila Alta.....	47
Foto 15. Áreas degradadas por cambio de uso del suelo – sector Fila Alta.....	47

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación geográfica del área de estudio – Cuenca Amojú de Jaén.....	21
Mapa 2. Catálogo de Imágenes Landsat obtenida de la Memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del Perú	27
Mapa 3. Distribución geográfica de los recorridos para el muestreo en campo.....	40
Mapa 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Amojú – año 2001.....	54
Mapa 5. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Amojú – año 2007.....	56
Mapa 6. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Amojú – año 2013.....	57

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se hizo con el propósito de determinar el cambio de cobertura del bosque tropical estacionalmente seco (BTES) de la cuenca Amojú – Jaén utilizando imágenes satelitales, periodo 2001 – 2013. La información y metodología utilizada para la generación de mapas temáticos de cobertura y uso de la tierra se fundamenta en el sistema de clasificación Corine Land Cover (CLC), propuesta adaptada por el Ministerio del Ambiente (MINAM 2012), utilizando imágenes satelitales Landsat y modelo digital de elevación de 30 m para desarrollar los análisis de indicadores complementarios de vegetación y topográficos de acuerdo a la aplicación de los protocolos marco de interpretación empleando segmentación y clasificación supervisada con Random Forest. El área total de la cuenca Amojú es de 42 733.2656 hectáreas, en la cual se identificaron 3 clases de cobertura y uso de la tierra según la metodología de CLC para el BTES; bosque abierto bajo 4561.782 ha (10.68 %), arbustal 324.7954 ha (0.76 %) y vegetación arbustiva / herbácea 11 679.3469 ha (27.33 %). El área cubierta por el bosque tropical estacionalmente seco al año 2001 fue de 18 718.6726 ha, con una disminución de 2152.7483 ha al año 2013. La deforestación de los BTES en la cuenca Amojú en el periodo 2001 – 2013 fue de 179.4 ha/año.

Palabras clave: cobertura vegetal, bosque tropical estacionalmente seco, cuenca Amojú, imágenes satelitales.

ABSTRACT

The present work was carried out with the purpose of determining the change of coverage of the seasonally dry tropical forest (BTES) of the Amojú - Jaén basin using satellite images, period 2001 - 2013. The information and methodology used for the generation of thematic maps Coverage and land use is based on the Corine Land Cover (CLC) classification system, a proposal adapted by the Ministry of the Environment (MINAM 2012), using Landsat satellite images and a 30 m digital elevation model to develop the analysis of Complementary vegetation and topographical indicators according to the application of the framework protocols of interpretation using segmentation and classification supervised with Random Forest. The total area of the Amojú basin is 42 733.2656 hectares, in which 3 classes of land cover and use were identified according to the CLC methodology for the BTES; Forest open under 4561.782 ha (10.68 %), shrub 324.7954 ha (0.76 %) and shrub / herbaceous vegetation 11 679.3469 ha (27.33 %). The area covered by the seasonally dry tropical forest to the year 2001 was 18 718.6726 ha, with a decrease of 2152.7483 ha to the year 2013. The deforestation of the BTES in the Amojú basin in the period 2001 - 2013 was 179.4 ha / year.

Key words: Vegetation cover, seasonally dry tropical forest, Amojú basin, satellite images.

I. INTRODUCCIÓN

Según el Mapa Forestal del Perú (INRENA 1995), el bosque seco abarca un área de 39 451 km² (3,07 % de la superficie del territorio peruano), con mayor extensión en los departamentos de Lambayeque, Piura y Tumbes. El bosque tropical estacionalmente seco del distrito de Jaén (Marcelo *et al.* 2007), reporta un total de 29 especies endémicas de ocho sectores en áreas no mayores de cuatro hectáreas cada una, y los considera como los bosques con valores más altos en endemismos para los BTES (Bosques Tropicales Estacionalmente Secos) del norte del Perú y sur occidente de Ecuador.

Bridgewater *et al.* (1999), mencionan que durante los últimos años los bosques secos del Norte del Perú en Cajamarca y Amazonas, notablemente en el valle del Marañón, han sido ocupados progresivamente por cientos de familias, quienes al encontrar valles fértiles los han intervenido y destruido para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas. Con el transcurrir de los años se ha producido una alta demanda por áreas fértiles para instalar cultivos de arroz, cacao y frutales, así como, de un número considerable de especies leñosas utilizadas como material combustible y otras para la construcción de viviendas, que han propiciado la destrucción de la vegetación, quedando bosques relictuales que en la actualidad se encuentran seriamente amenazados y que necesitan urgentemente ser documentados.

Los BTES han recibido poca atención por parte de conservacionistas y ecólogos comparados con los bosques lluviosos, a pesar que son los más amenazados. La presencia de altos niveles de endemismos, describe los riesgos potenciales de extinción por la influencia antrópica. Los BTES de la provincia de Jaén actualmente poseen un bajo potencial de especies forestales deseables por ser objeto de extracción selectiva de madera, realizada por el hombre cuyos productos generalmente los utilizan como energía, modificándose su medio natural por la erosión hídrica y eólica y otras alteraciones que se han agravado por las características climáticas, generándose desertificación con extinción de la biodiversidad.

Con el presente trabajo se busca determinar el cambio de cobertura del área de la cuenca Amojú del distrito de Jaén utilizando técnicas de teledetección y herramientas de los sistemas de información geográfica, por lo que el objetivo general fue determinar el cambio de cobertura a través del análisis multitemporal en el periodo 2001 – 2013 del bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú- Jaén, utilizando imágenes satelitales. Los objetivos específicos, fueron determinar el grado de cobertura del bosque tropical

estacionalmente seco de la cuenca Amojú - Jaén, identificar el uso de la tierra a través de interpretación visual de las imágenes satélite, los mapas de cobertura generados y trabajo de campo, identificar el cambio de cobertura y deforestación a través de análisis espacial.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bosque seco

A nivel mundial, los BTES ocupan 42 % de la superficie de los bosques tropicales (Miles 2006). Según Gentry (1995), el bajo interés que han despertado los BTES se debe a su baja diversidad, en comparación con los bosques húmedos; sin embargo, esta tendencia ha cambiado durante los últimos años gracias al reconocimiento de que los BTES son uno de los ecosistemas tropicales más amenazados y menos conocidos del mundo, al tiempo que dan cobijo a poblaciones humanas que dependen directamente de los servicios ecosistémicos que estos ofrecen (Balvanera 2012).

De acuerdo a Quijas (2010), los servicios ecosistémicos son los componentes de los ecosistemas que se consumen directamente, que se disfrutan, o que contribuyen, a través de interacciones entre ellos que generan condiciones adecuadas para el bienestar humano. Balvanera (2012), refiere que los principales servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales son: de suministro, regulación y cultural. Como suministro, ofrece una gama enorme de alimentos, fuentes energéticas, materiales de construcción, medicinas, especies ornamentales, plaguicidas; en lo cultural, aporta bienestar estético, ecoturismo, trabajo; como regulador del clima por sus efectos en la temperatura y en la humedad relativa, los árboles absorben una proporción importante de la energía proveniente de la radiación solar que incide sobre su dosel puesto que la transforman a través de la fotosíntesis, además contribuyen a la regulación de la erosión. Los sedimentos arrastrados llegan a los ríos, reduciendo la calidad del agua.

El término “bosques tropicales estacionalmente secos” (BTES) fue acuñado por Murphy y Lugo (1995), los BTES comprenden bosques caducifolios y semicaducifolios que crecen en áreas tropicales sujetas a una severa estacionalidad climática. Estos bosques reciben alrededor de 80 % de la precipitación durante cuatro meses, a lo largo de los cuales la media de precipitación puede sobrepasar con creces 200 mm por mes; en el otro extremo, el periodo de sequía se prolonga entre 5 a 6 meses al año, durante este periodo la precipitación raramente supera 10 mm mensuales (Maass 2011), creando un déficit hídrico (Gotsch *et al.* 2010) que determina una de las características más conspicuas de los BTES.

Según la Estrategia Regional de Biodiversidad de Cajamarca al 2021. El Perú es un país megadiverso, con 84 de las 117 zonas de vida existentes en el planeta, en la clasificación

biogeográfica, el mapa ecológico del Perú (ONERN 1976) utiliza el concepto de zonas de vida de Holdridge, clasificando las áreas terrestres según los efectos biológicos de la temperatura y la precipitación en la vegetación. Según esta clasificación, Cajamarca, presenta 24 zonas de vida y 3 transiciones de las 84 zonas de vida existentes en el Perú y características geográficas especiales, como es la depresión de Huancabamba, conformada por el profundo cauce de los ríos Huancabamba, Chamaya y Marañón, que constituye la frontera biográfica entre el extremo sur de los Andes del Norte y el extremo norte de los Andes Centrales. El clima del valle es cálido y seco en las partes bajas, y templado y húmedo en las laderas, con abundancia de cactáceas, arbustos espinosos y el ceibo o barrigón (*Eriotheca discolor*). Las laderas del valle, encima de los 1500 msnm en el norte y de los 2900 msnm en el sur, son formaciones vegetales que pasan del tipo seco al tipo húmedo y lluvioso. Es una de las regiones del país con el más alto índice de endemismos, debido a esta diversidad de ecosistemas y hábitats hacen de Cajamarca una de las regiones con mayor cantidad de endemismos en el país.

El CDC-UNALM (2006), propone 20 ecorregiones terrestres para el Perú, considerando los bosques secos del marañón dentro de ellas, comprendidos en los departamentos de Piura, Cajamarca, Amazonas, y La Libertad. Rodríguez (1996), no distingue esta zona como una ecorregión, sólo identifica los bosques secos ecuatoriales situados en los departamentos de Piura, Tumbes y Lambayeque. La WWF (2001), sí diferencia el valle del Marañón del bosque seco ecuatorial tratando ambas como dos ecorregiones diferentes. Sin embargo (Linares 2002, 2004 a y b) distingue para el Perú tres subunidades de bosques estacionalmente secos: los BTES ecuatoriales, los BTES interandinos y los BTES orientales. Dentro de los BTES interandinos se encontrarían los valles de los ríos Huancabamba, Marañón, Mantaro y Apurímac.

Según Pennigton *et al.* (2000), los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos, son aquellos donde la precipitación anual es menor a 1600 mm, y donde la sumatoria de la precipitación durante los meses más secos totaliza menos de 100 mm.

2.2. Antecedentes

Según Zorogastúa (2010), con el objetivo de evaluar el cambio de la cobertura y el uso de la tierra en el bosque seco de Piura, utilizando imágenes del satélite Landsat 5 registradas entre 1999 y el 2001, a través de una clasificación supervisada. Los resultados se compararon con el mapa de bosques secos elaborado por INRENA con imágenes Landsat 5 registradas entre 1986 y 1994. Donde constató que el 38 % del área del bosque seco permanece sin variación, mientras que el 23 % tiende a la reducción de cobertura, concluyendo que el procesamiento digital permite agilizar el proceso y ser más precisos que la interpretación visual.

2.3. Importancia del bosque tropical estacionalmente seco

Según Marcelo (2008), los BTES del distrito de Jaén muestran menor diversidad que los bosques tropicales húmedos. Sin embargo, presentan mayor diversidad que los BTES de regiones vecinas. Las familias más comunes y diversas son: Leguminosae, Cactaceae y Euphorbiaceae. Los géneros más diversos y comunes son Croton, Acacia, Cordia, Capparis y Espostoa

Según la ONG Perú ecológico (2012), en los bosques secos del marañón es urgente profundizar los estudios científicos sobre las especies endémicas, la flora y la fauna. La ocupación humana está avanzando en forma muy acelerada y se corre el riesgo de perder parte de nuestro patrimonio natural con la extinción de especies únicas a nivel nacional y mundial. La heterogeneidad del espacio y su desplazamiento latitudinal lo hacen muy interesante para estudios científicos y para el establecimiento de áreas de protección del patrimonio natural.

2.4. Deforestación

La FAO (2005), considera que la deforestación es la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del diez por ciento.

La CNUCC (2002), define deforestación como “la conversión por actividad humana directa de tierras boscosas en tierra no forestales”.

El SIATAC (2015), indica que la tasa de promedio anual de deforestación es la superficie de bosque que en términos promedio, se ha perdido anualmente entre los instantes de tiempo determinado.

2.5. Cobertura vegetal y uso del suelo

Martínez (2006), señala que la cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos.

Así mismo, Di Gregorio (2005), considera que el uso de tierra está caracterizado por los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. Esta definición establece un enlace directo entre la cobertura de la tierra y las acciones del hombre en su medio ambiente

La FAO (2009), sostiene que el uso de la tierra está referido al uso actual de la tierra, ya sea agrícola o no, en donde el suelo es localizado.

2.6. Herramientas para el estudio de la cobertura del suelo

2.6.1. Teledetección y sensores remotos

La teledetección es aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción (Chuvieco 2002) y el resultado usualmente, pero no necesariamente, es almacenado como una imagen (fuente de datos). Para esto se requiere al menos, tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor (Bakker y Jansen 2001)

Una de las formas de clasificarlos es el procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas y ellos son: (1) Pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y (2) Activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía (Chuvieco 2002)

2.6.2. SIG

Según la UAM (2011), los SIG es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones. Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial. Raster es cualquier tipo de imagen digital representada en mallas (pixel), divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Vectorial, esta forma de expresión espacial implica la utilización de los tres tipos de elementos espaciales, de carácter geométrico, en que pueden ser interpretados los objetos geográficos: puntos, líneas y polígonos. Los atributos temáticos, que corresponden a las unidades espaciales, se manejan, habitualmente, desde tablas de datos.

2.7. Imágenes satelitales

2.7.1. Imágenes Landsat

Ariza (2013), señala que gracias a los brillantes resultados que proporcionaron las primeras fotografía espaciales, la agencia espacial norteamericana (NASA) diseñó a finales de los años 60 el primer proyecto dedicado exclusivamente a la observación de los recursos terrestres. Fruto de estos trabajos fue la puesta en órbita del primer satélite de la serie ERTS (Earth Resource Technollogy Satellite) el 23 de Julio de 1972. Esta familia de satélites fue rebautizada como Landsat a partir del segundo lanzamiento en 1975 (Landsat 2). El 11 de febrero del 2013 fue lanzado el satélite Landsat 8 (cuyo nombre técnico es LDCM: Landsat Data Continuity Mission, Misión de Continuidad de la información Landsat) desde la fuerza aérea Vandenberg en California, gracias a una operación conjunta entre la Administración Nacional de Aeronáutica y del espacio (NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS 2013) (Tabla 1).

Landsat 8, en la actualidad cuenta con dos sensores de toma de datos: el OLI (Operational Land Imager, Generación Operacional de Imágenes de Tierra) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor, o Sensor Infrarrojo Térmico). Las escenas del Landsat 8 tienen 11 bandas espectrales, 9 tomadas por el OLI y 2 por el TIRS. Las imágenes pueden ser descargadas de manera gratuita desde el sitio web de EarthExplorer (earthexplorer.usgs.gov).

Tabla 1. Características del satélite Landsat

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodo (días)	Sensor	Banda: intervalo espectral (µm)	Resol. espacial (m)
Landsat 1 ERTS	23/07/72 06/01/78	917	18	RBV	(1) 0.48-0.57 (2) 0.58-0.68 (3) 0.70-0.83	80 80 80
				MSS	(4) 0.5-0.6 (5) 0.6-0.7 (6) 0.7-0.8 (7) 0.8-1.1	79 79 79 79
Landsat 2	22/01/75 25/02/82	917	18	Idéntica configuración que Landsat 1		
Landsat 3	05/03/78 31/03/83	917	18	RBV	(1) 0.5-0.75	40
				MSS	(4) 0.5-0.6 (5) 0.6-0.7 (6) 0.7-0.8 (7) 0.8-1.1 (8) 10.4-12.6	79 79 79 79 240
Landsat 4	16/07/82 (83)	705	16	MSS	(4) 0.5-0.6 (5) 0.6-0.7 (6) 0.7-0.8 (7) 0.8-1.1	82 82 82 82
				TM	(1) 0.45-0.52 (2) 0.52-0.60 (3) 0.63-0.69 (4) 0.76-0.9 (5) 1.55-1.75 (6) 10.4-12.5 (7) 2.08-2.35	30 30 30 30 30 120 30
Landsat 5				Idéntica configuración que Landsat 4		
Landsat 6	05/10/93 05/10/93	705	16	Fallos en el sistema de comunicación, no llego a funcionar		
Landsat 7	15/04/99	705	16	ETM	(1) 0.45-0.52 (2) 0.53-0.61 (3) 0.63-0.69 (4) 0.78-0.9 (5) 1.55-1.75 (6) 10.4-12.5 (7) 2.09-2.35 (8) PAN 0.5-0.90	30 30 30 30 30 120 30 15
Landsat 8	11/02/2013	705	16	OLI	B1: 0.433 - 0.453 (Costero/Aerosol) B2: 0.450 - 0.515 (visible-azul) B3: 0.525 - 0.600 (visible-verde) B4: 0.630 - 0.680 (visible-rojo) B5: 0.845 - 0.885 (NIR ¹) B6: 1.560 - 1.660 (SWIR ² 1) B7: 2.100 - 2.300 (SWIR 2) B8: 0.500 - 0.680 (Pancromática) B9: 1.360 - 1.390 (Cirrus)	15 30 30 30 30 30 30 15 30
				TIRS	B10: 10.30 - 11.30 (TIRS ³ 1) B11: 11.50-12.50 (TIRS 2)	100 100

(1) NIR infrarrojo cercano, (2) SWIR Infrarrojo de onda corta, (3) TIRS infrarrojo térmico

Fuente: Sabrino 2000 y USGS 2013

2.7.2. Imágenes Rapideye

Según MINAM en la guía técnica para el uso de imágenes Rapideye (2013), las imágenes Rapideye donación del gobierno de Japón, cubre el ámbito nacional con un detalle de 5 metros de resolución espacial, con dos niveles de procesamiento es decir producto con correcciones radiométricas y de sensor aplicadas.

2.8. Índice de Vegetación de Diferencias Normalizado (NDVI)

Sánchez (2010), indica que un índice de vegetación es una combinación de valores de reflectancia en diferentes longitudes de onda, con alta sensibilidad cambios en la vegetación y baja sensibilidad a otra información (atmósfera o suelo). La gran mayoría de los Índices de Vegetación están basados en el alto contraste entre la banda del rojo (R) y la del infrarrojo cercano (IRC) para la vegetación viva y verde.

Por su definición los valores del NDVI varían entre +1 y -1 con valores más altos para la vegetación densa y valores muy bajos (o negativos) para nieve, agua y nubes.

2.9. Software

2.9.1. PCI Geomática

Pérez (2006), señala que esta aplicación canadiense agrupa en un solo producto una serie de módulos que comprenden un amplio espectro de herramientas para el análisis y manipulación de información relacionada con la Tierra. En función del módulo utilizado, el procesamiento raster y vectorial permite aplicaciones en teledetección, GIS, cartografía y fotogrametría. Es un software bastante extendido en países anglosajones, y sobre todo en organismos académicos y de investigación.

2.9.2. Erdas Imagine

Zuñiga (2010), menciona que erdas imagine es un software diseñado específicamente para extraer información de imágenes. Incluye un conjunto completo de herramientas para crear imágenes base precisa para su inclusión en un SIG de ESRI y base de datos geográficos. Ofrece una variedad de herramientas tales como ortorectificación de imágenes, mosaicos, reproyección, clasificación e interpretación que permite al usuario analizar los datos de la imagen y lo presentará en formatos que van desde mapas impresos a los modelos 3D.

2.9.3. ENVI

Aguilera (2005), indica que ENVI es un programa construido sobre un lenguaje IDL (Lenguaje interactivo de datos) especializado en el manejo, visualización y análisis de datos multidimensionales. Se diferencia de otros programas similares en que contiene funciones especialmente adaptadas al trabajo con información espacial y datos provenientes de sensores remotos. Sus últimas versiones permiten trabajar con datos Radar y Lidar.

2.9.4. ArcGIS Desktop

La UAM (2011), considera que es un conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas para PC de escritorio (ArcCatalog, ArcMap, ArcToolBox, ArcReader, ArcScene, ArcGlobe y diversas extensiones específicas). Se distribuye bajo tres niveles de licencias que, en orden creciente de funcionalidades y coste, son las siguientes: ArcView, ArcEditor y ArcInfo.

- ArcMap: Es la aplicación central para visualización y manipulación de datos geográficos.
- ArcCatalog: Es la aplicación que se utiliza para gestionar los archivos a utilizar: mapas, bases de datos etc. Ayuda a organizar la información geográfica y es imprescindible para mantener nuestros datos en orden.
- ArcToolBox: Sirve para realizar operaciones de procesamiento de información geográfica: análisis de datos espaciales, conversión de formatos, gestión de datos y muchas más operaciones.
- ArcScene: Permite visualizar datos en 3D

2.10. Interpretación digital de las imágenes

2.10.1. Clasificación digital

En el proceso de clasificación digital de imágenes el operador instruye a la computadora que realice una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones predefinidas. Esta técnica forma parte de la interpretación digital de imágenes (Bakker y Jansen 2001).

Tradicionalmente se han dividido los métodos de clasificación en dos grupos: supervisado y no supervisado, de acuerdo a la forma en que son obtenidas las estadísticas de entrenamiento. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías. Por su parte, el método no

supervisado procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen (Chuvienco 2002).

2.10.2. Clasificación supervisada

Posada (2008), señala que la clasificación supervisada requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas, a través de una combinación de trabajo de campo, análisis de fotografías aéreas, referencias profesionales y locales. Con base de este conocimiento se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento o pilotos. Las características espectrales de estas áreas son utilizadas para "entrenar" un algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio piloto, para luego evaluar cada ND de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase. La clasificación supervisada pretende definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral, considerada por esto como un método artificial. El proceso de clasificación supervisada, se puede resumir en las siguientes etapas: análisis visual y estadístico de la imagen y de sus bandas, elaboración de la leyenda del mapa, selección y delimitación de áreas pilotos, generación y evaluación de sus estadísticas y reajustes, elección y aplicación del algoritmo de clasificación, reajustes y clasificación de nuevo, y finalmente, la evaluación de los resultados y su presentación.

Esta es realizada por un operador que define las características espectrales de las clases, mediante la identificación de áreas de muestreo (áreas de entrenamiento). Se requiere también que el operador esté familiarizado con el área de interés (Chuvienco 2002).

2.10.3. Clasificación no supervisada

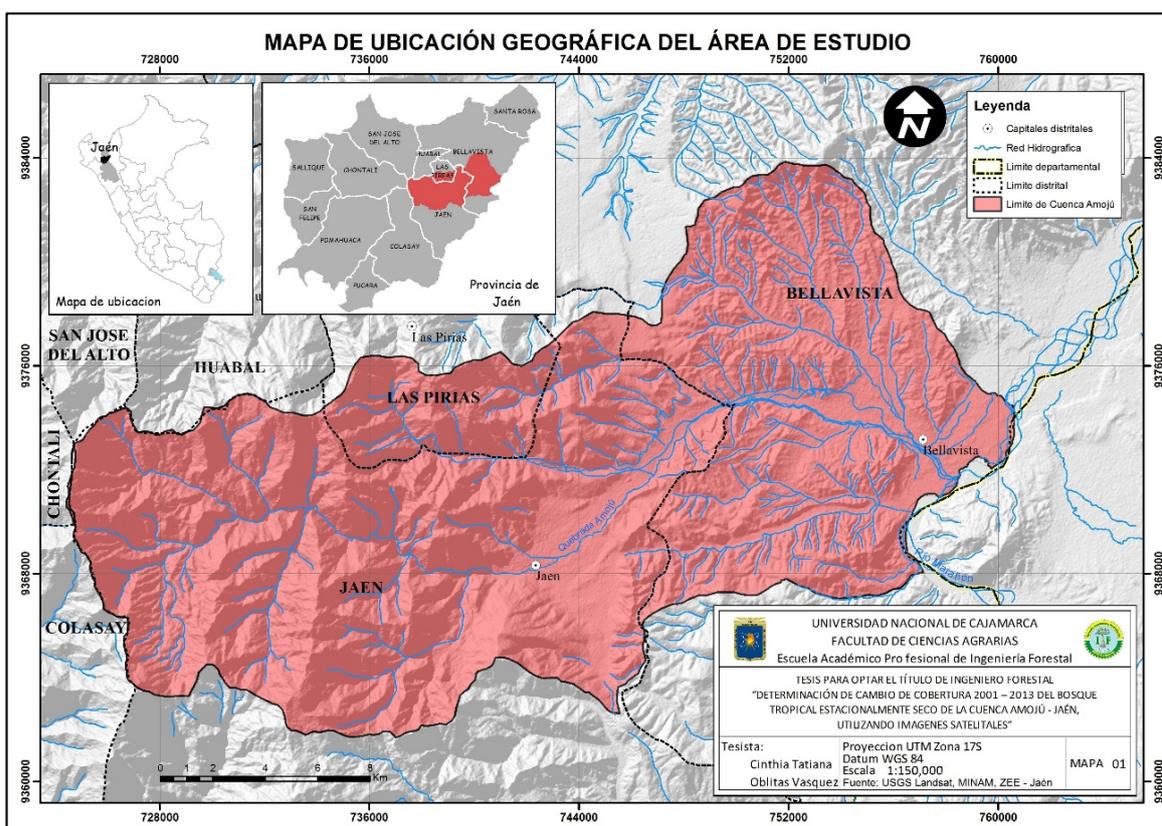
Este método se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. Esto implica que los ND (Números Digitales) de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados o "clusters" de píxeles con similares características. Basado en esto, la computadora localiza arbitrariamente vectores principales y los puntos medios de los grupos. Luego cada píxel es asignado a un grupo por la regla de decisión de mínima distancia al centroide del grupo (Bakker y Jansen 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La cuenca del Amojú (Mapa 1) se encuentra en los distritos de Jaén, Bellavista y las Pirias, provincia de Jaén, región Cajamarca con una extensión de 427.33 km². El distrito de Jaén limita por el norte con los distritos de Huabal, Las Pirias y Bellavista, por el sureste y sur con la provincia de Cutervo, separada por los ríos Huancabamba - Chamaya, por el oeste con los distritos de Colasay y Chontalí, por el noroeste con el distrito de San José del Alto y al noreste el distrito de Bellavista. Su capital la ciudad de Jaén está situada a 5°42' Latitud Sur y 78°42' Longitud Oeste, con una elevación de 729 msnm (Recavarren 2007).

Según la caracterización ecológica realizada por INRENA (1994) la cuenca Amojú presenta diferentes zonas de vida donde la distribución del bosque seco se encuentra entre los 400 – 1000 msnm.



Mapa 1. Ubicación geográfica del área de estudio – Cuenca Amojú de Jaén

3.1.1. Clima, vegetación y fauna

La zona de estudio se encuentra dentro de la zona de vida bosque muy seco tropical (bms-T) y bosque seco premonatano tropical (bs-PT) transicional a bosque seco tropical, está ocupada por especies perennifolias y caducifolias de porte arbóreo y arbustivo. El clima es seco con temperaturas que oscilan entre 24 a 26° C, con máximas que alcanzan los 30° C y mínimas que están alrededor de 20 a 21° C, la temperatura promedio se mantiene a lo largo del año. La precipitación oscila desde 350 hasta 1000 mm y presenta un periodo seco entre los meses de mayo a octubre y de mayores precipitaciones entre octubre y abril (Ediciones Peisa 2004).

La vegetación está constituida por arbustos, árboles, gramíneas y cactáceas, entre los árboles existen: sapote de perro (*Capparis scabrida*), algarrobo (*Prosopis juliflora*), faique (*Acacia macracantha*), catahua (*Hura crepitans*), acerillo (*Aspidosperma polyneuron*), porotillo (*Capparis flexuosa*), magllana (*Cyathostegia mathewsii*), tunsho (*Ceiba insignis*), etc.; arbustos como: palo verde (*Parkinsonia praecox*), papelillo (*Bougainvillea peruviana*), etc. Los principales pastos que se desarrollan en estos bosques son: la grama china (*Sonchus oleraceus*), chilena, nudillo, ñul; también se cultiva algunos pastos al secano, siendo la más común la grama rastreadora y el sácate. Este tipo de bosque está caracterizado por presentar formaciones xerofíticas, debido a las bajas precipitaciones, de formaciones secas y con abundantes cactáceas, arbustos espinosos, etc. Destacan las principales especies de fauna como, mamíferos: venado (*Odocoileus virginianus*), zorro (*Lycalopex culpaeus*), conejo (*Sylvilagus bachmani*); aves como: santa rosita (*Pygochelidon cyanoleuca*), chilala (*Furnarius leucopus*), tórtola (*Zenaida auriculata*), putias (*Pyrocephalus rubinus*), etc.; reptiles como: coralillos (*Micrurus mertensi*), colambos (*Drymarchon melanurus*), etc. Entre las aves endémicas destacan: paloma del Marañón (*Columba oenops*), perico del Marañón (*Forpus xanthops*), canastero del Marañón (*Phacellodomus dorsalis*), *Melanopareia maranonica*, *Turdus maranonicus*, *Incaspiza ortizi*, *Incaspiza laeta*, *Incaspiza watkinsi*. Los principales reptiles endémicos son: shushupe (*Sclerops sp.*), *Anomalepis spinosus*, *Dipsas latifasciata*, *Tropidophis taczanowskii*, *Phyllodactylus interandinus*, *Tropidurus stolzmanni* (MPJ 2012).

3.1.2. Hidrografía

El sistema hidrográfico de la cuenca está conformado por la unión de las quebradas Huamantanga, Rinconada Lajeña y La Cascarilla, las cuales forman la quebrada Miraflores (a la altura del caserío Miraflores); luego esta se une a la quebrada La Virginia y en su recorrido se une la quebrada Las Naranjas y se forma la quebrada Amojú. Aguas abajo de la ciudad de Jaén, se une la quebrada Tumbillán, a la altura del caserío Linderos, luego vierte sus aguas la quebrada Santa Cruz.

Se estima que tiene un recorrido de 34 km aproximadamente. La quebrada Amojú pasa por el centro de la ciudad de Jaén, hasta desembocar en el río Marañón, en el distrito de Bellavista, a la altura de la localidad de Bellavista Viejo, su caudal promedio es de 2.00 m³ /s.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Imágenes

Tabla 2. Descripción de las imágenes descargadas

Satélite	Fecha	Sensor	Escena
Landsat_7	2001-08-24	ETM	009/064
Landsat_5	2007-08-01	TM	009/064
Landsat_8	2013-09-18	OLI_TIRS	009/064

Imagen Rapideye del año 2012 con resolución de 5 metros. Abarca 3 cuadrantes, C1-1736525, C3-1736424, C4-1736425.

3.2.2. Materiales, equipos y software

Información digital: Modelo digital de elevación (“DEM”) con resolución de 30 metros del Geoservidor MINAM, cartografía base y temática del proyecto ZEE-OT – Jaén (Curvas de nivel, centros poblados, límites, red hidrográfica, red vial, ecorregiones, etc.), mapa de zonas de vida de la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales - INRENA - ONERN – MINAM.

Equipos: Navegador GARMIN GPS map 62s, brújula, cámara fotográfica digital, laptop Toshiba procesador de 2 GHz y memoria RAM 12 GB, impresora.

Software: Windows 8.1, Microsoft Office, PCI Geomatic, Map Source, ENVI 5.2, ArcGIS 10.2.2, Erdas imagine 2014. Software R. Programación y automatización: Scripts – Archivo de órdenes por lotes: RecogiendoInfoRaster.R. y Filtrar.tabla.todo.rf.2.R

Material de campo: Lapiceros, libreta de apuntes, pilas duracel, machete, botas de jebe, linterna, otros.

3.3. Metodología

Para evaluar la cobertura y el uso de la tierra en el bosque seco y área de la cuenca Amojú se han utilizado métodos basados en el análisis e interpretación de las coberturas a través de imágenes de satélite. La información y metodología para la generación de mapas temáticos de cobertura y uso de la tierra, se fundamenta en el empleo del sistema de clasificación Coríne Land Cover (CLC), propuesta adaptada para el Perú hasta el nivel III (Tabla 3), desarrollado por el Ministerio del Ambiente (MINAM 2012), utilizando imágenes satelitales Landsat y modelo digital de elevación con resolución espacial de 30 m para desarrollar los análisis de indicadores complementarios de vegetación y topográficos de acuerdo a la aplicación de los protocolos marco de interpretación empleando segmentación y clasificación supervisada con Random Forest, el cual presenta subprotocolos de áreas de referencia, generación de información complementaria, clasificación, validación, levantamiento de información de campo.

El Sistema geodésico de referencia utilizado es WGS84 y el Sistema cartográfico de representación UTM es la zona 17 sur.

La interpretación sobre imagen de referencia fue del satélite Landsat y la unidad mínima de mapeo cartografiable, fue de 25 ha y en algunos casos especiales de 5 ha.

En la Figura 1 muestra los procesos que se utilizaron para la clasificación de la cobertura y uso de la tierra empleando el algoritmo Random Forest y que requiere un conjunto de datos para el análisis semiautomático. Además muestra una etapa de evaluación de la consistencia del mapa que permite la revisión de los resultados contrastando con la imagen satelital cuantas veces sea necesario (proceso iterativo) para mejorar funcionalidad en el modelo y obtener el mejor resultado.

Tabla 3. Esquema Corine Land Cover adaptada para Perú presentes en la cuenca Amojú

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea
3.4. Área sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales	
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	3.4.3. Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)
		5.1.1. Ríos

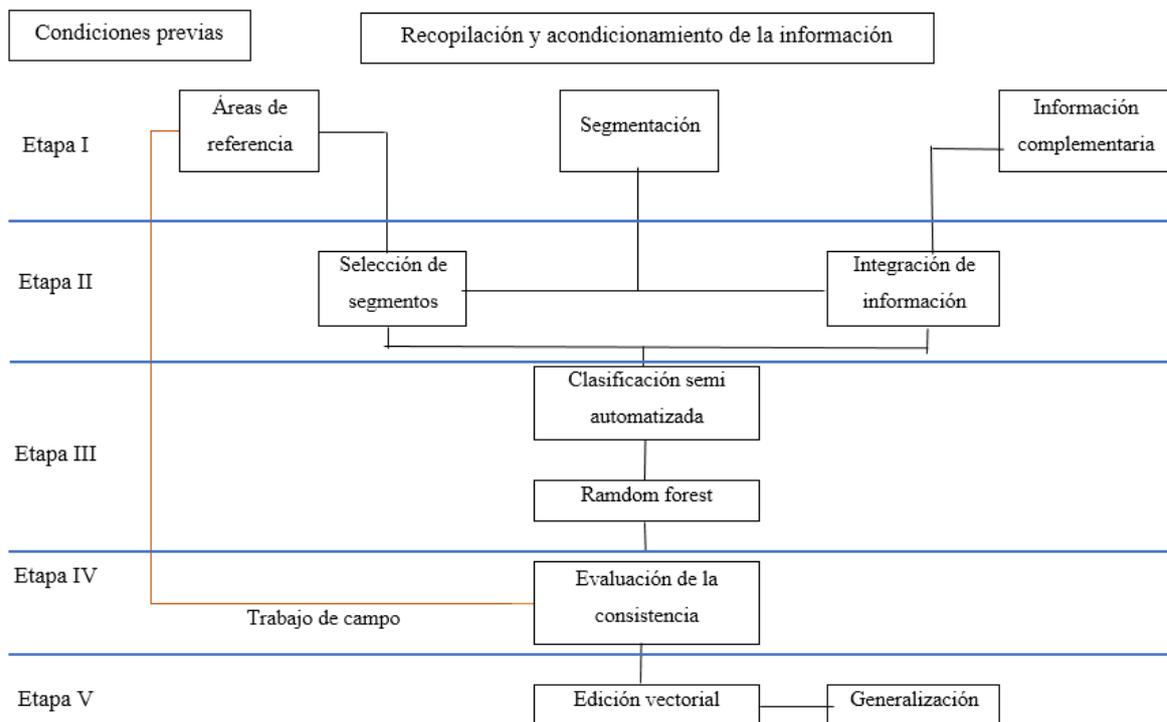


Figura 1. Esquema de las etapas y procesos de la metodología empleada para la representación cartográfica

Los software utilizados para la generación del mapa son el Software Envi Zoom (módulo feature extraction), Software ArcGis para la interpretación visual en pantalla y procesamiento digital de información vectorial, Software R para el análisis estadístico, evaluación de los indicadores de calidad cartográfica (Índice Porcentaje Correctamente

Clasificado e Índice de Kappa), Matriz de confusión y por lo siguiente formarán parte de la construcción del modelo para la generación del mapa de cobertura de la tierra.

Protocolos:

- Protocolo de Ortorectificación
- Protocolo de Reconocimiento de la escena
- Protocolo de Segmentación
- Protocolo de Generación de Información Complementaria
- Protocolo de Clasificación
- Protocolo de Generalización
- Protocolo de Validación
- Protocolo de Campo

3.3.1. Fase de condiciones previas - Recopilación y acondicionamiento de información

3.3.1.1. Adquisición de imágenes satelitales

Para generar la cartografía temática de cobertura de la tierra las imágenes Landsat fueron la base a partir de la cual se realizó la interpretación. Éstas fueron adquiridas por Internet a través del servidor de EarthExplorer (earthexplorer.usgs.gov), correspondientes a la Cuenca Amojú (Figura 2).

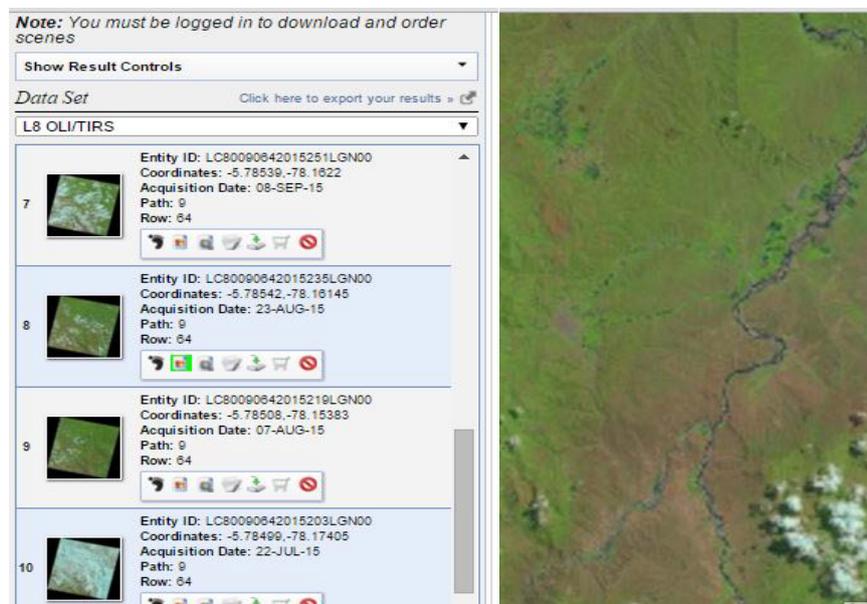


Figura 2. Imagen Landsat del área de la cuenca Amojú visualizada desde el servidor EarthExplorer

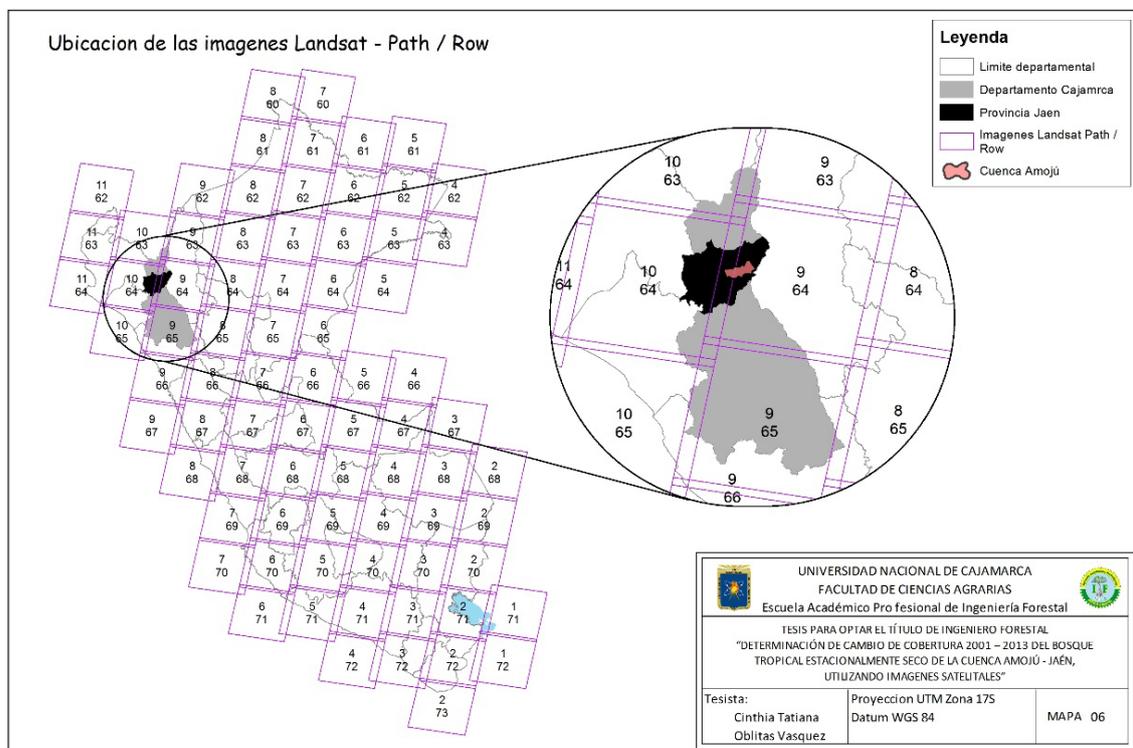
La metodología Corine Land Cover, favorece el uso de imágenes de satélite en consideración con las siguientes características: Están disponibles para la mayor parte de la superficie terrestre, con una frecuencia de adquisición de 16 días, es relativamente de bajo costo, cubren grandes superficies terrestres: 35.000 km²

El sensor se eligió por la disponibilidad de imágenes para el período 2001 - 2013 para la zona de estudio que permite contar con una gran base de datos disponible para la aplicación en la evaluación de las coberturas de la tierra.

Para la selección de las imágenes, se tuvieron en cuenta los siguientes requisitos:

- Que las imágenes tuvieran las 6 bandas espectrales (1, 2, 3, 4, 5 y 7).
- Un porcentaje de nubes menor al 20 % de cubrimiento de la imagen.
- Que las imágenes fueran preferiblemente tomadas en una misma época del año (normalmente la estación seca).
- Que las imágenes tuvieran disponibles los datos auxiliares de toma.

La selección de las imágenes satelitales de Landsat se realizó teniendo en cuenta su distribución de Path y Row (009-064).



Mapa 2. Catálogo de Imágenes Landsat obtenida de la Memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del Perú

3.3.1.2. Adquisición del modelo digital de elevación

En este paso se descargó modelo digital de elevación (DEM) 06W079 del geoservidor del Ministerio del Ambiente con una resolución espacial de 30 metros. (http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx) de una manera gratuita.

3.3.1.3. Mezcla de imágenes para eliminar nubes

Para este proceso se utilizó una herramienta llamada Smart geofill, herramienta avanzada e inteligente que se utiliza para copiar y pegar geoespacialmente áreas de interés y de una imagen a otra y así mejorar problemas en las imágenes.

3.3.1.4. Ortorectificación

Consistió en la transformación de la imagen satelital en una proyección ortogonal para eliminar la inclinación de los elementos por efecto del relieve. En este proceso se utilizó el DEM de 30 m.

3.3.1.5. Información temática de referencia

Estandarización de sistema de referencia cartográfica. Información de vías de acceso, ríos, centros poblados, capitales, áreas urbanas, etc.

3.3.1.6. Calibración radiométrica

El sensor satelital cuando registra datos, detecta la energía reflejada de la superficie terrestre y de la atmósfera, estos datos son colectados a través del sistema de imágenes y almacenados de forma digital; sin embargo, para usar las imágenes de manera cuantitativa, los datos registrados en cada pixel debieron calibrarse con unidades de números digitales a unidades de energía reflejada.

3.3.1.7. Corrección atmosférica

Los datos radiométricos contienen información de la superficie terrestre y de su atmósfera. De esta forma, para trabajar las áreas de vegetación, fue necesario minimizar la contribución de la atmósfera a los valores de cada píxel en la imagen de satélite. Esto se logra a través de un proceso llamado corrección atmosférica, que minimiza el efecto del vapor de agua (humedad), aerosoles (del polvo, volcanes, etc.) y otros factores.

3.3.2. Fase gabinete

3.3.2.1. Generación de segmentación

La segmentación de imágenes es una técnica de agrupación de datos, en la cual solamente regiones espacialmente adyacentes, y de características espectrales semejantes, pueden ser agrupadas.

Para realizar este proceso de segmentación se utilizó el Software Envi Zoom (Figura 3). Cuyo módulo empleado es el Feature Extracción, teniendo como función la extracción de áreas y luego clasificarlos en base a sus atributos espectrales y relaciones espaciales.

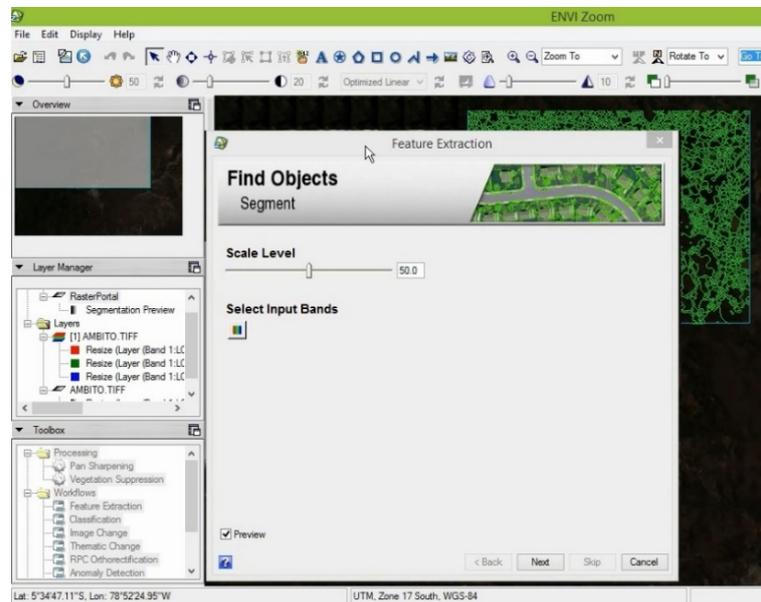


Figura 3. Generación de segmentos con Envi Zoom

3.3.2.2. Generación de áreas de referencia

El intérprete reconoció las unidades de la leyenda en el área de estudios, donde la segmentación se muestra consistente, es decir reconoció correctamente los bordes entre clases y constituyó el conjunto de información de entrada que alimento el proceso de clasificación automática, estas son las áreas de entrenamiento, polígonos que constituyen una muestra representativa de cada una de las clases presentes en la escena que sirvió como insumo para la selección de segmentos (unidad de análisis para el clasificador) y se generaran áreas de referencia (Figura 4).

Se construyeron tantos polígonos por clase como fueron necesarios para garantizar una buena representación de la clase en la escena.

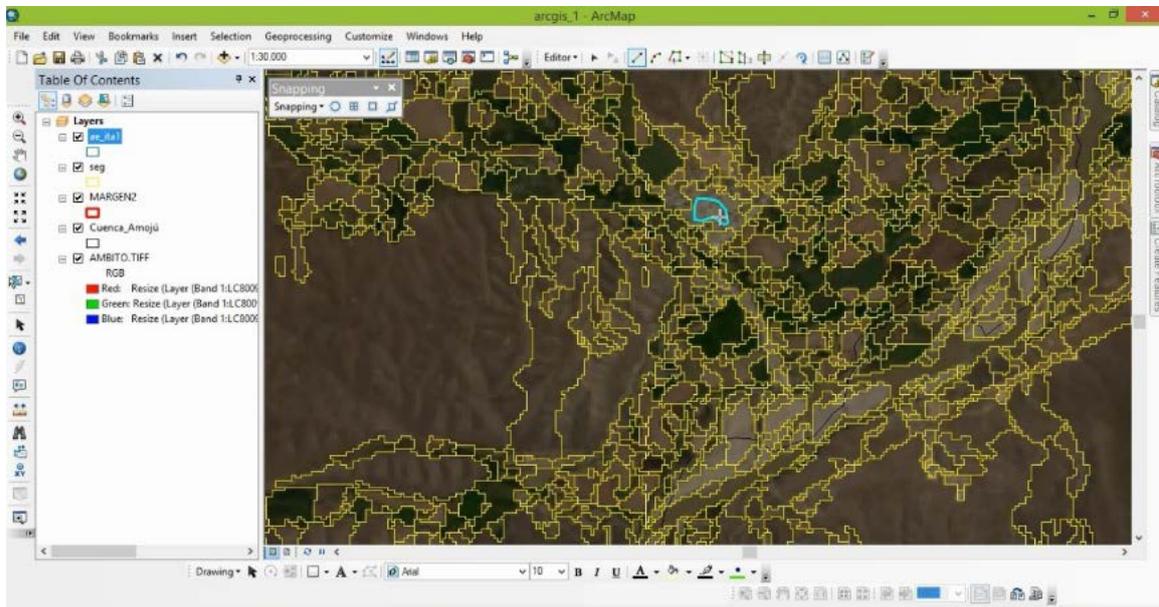


Figura 4. Generaciones áreas de entrenamiento en ArcMap

3.3.2.3. Generación de información complementaria

La generación de esta información sirvió como insumo que enriqueció el análisis en el proceso de clasificación (Tabla 4).

Para generar este tipo de información se demandó de información satelital (imágenes Landsat y modelo digital de elevación del terreno - DEM) y segmentación final de la escena.

A partir de la Imagen satelital Landsat y modelo de elevación digital generamos algunos indicadores (Figura 5).

Tabla 4. Información complementaria

NDVI Índice de brillo del suelo (brightness) Índice de vegetación verde (greenness) Índice de humedad en la vegetación (Wetness)	Bandas Landsat
Información topográfica Indicador de superficie Pendiente Altura Curvatura	DEM

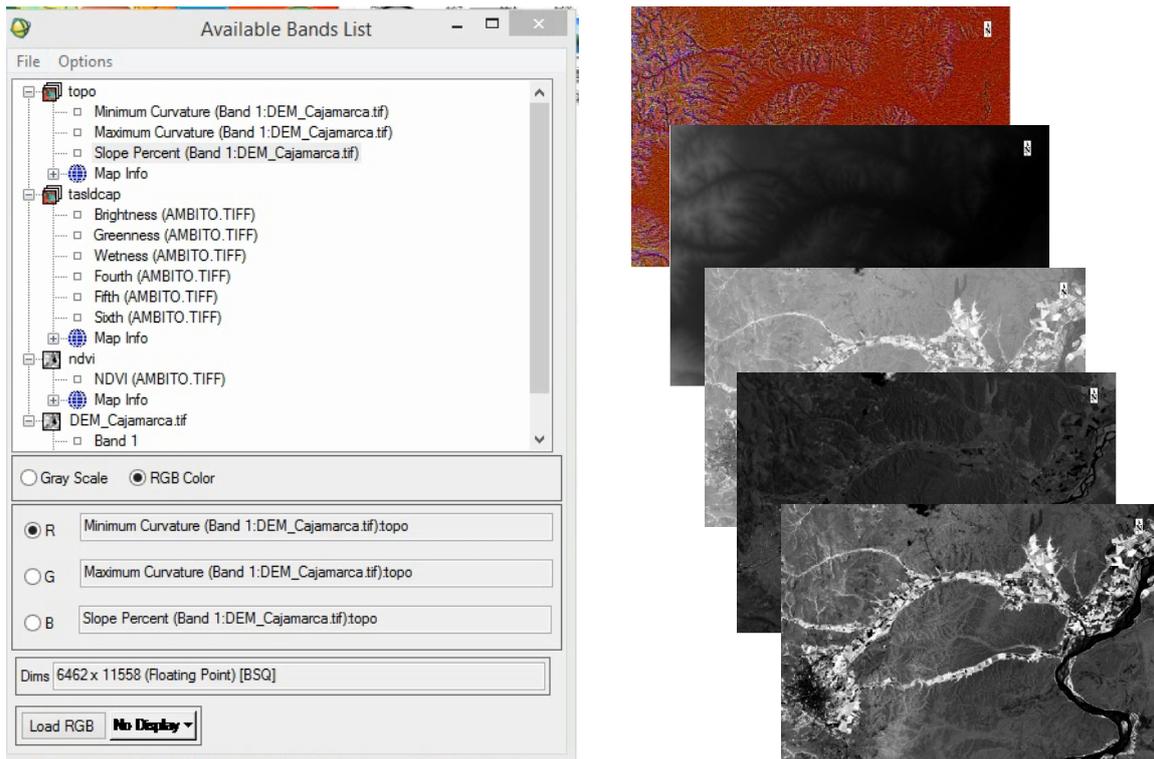


Figura 5. Generación de información complementaria en ENVI 4.8

Posteriormente se realizó un compilado y descompilado para asegurarse que tengan una misma extensión, tamaño de celda, proyección espacial y estén almacenados los índices en un mismo directorio. Para el desarrollo del proceso los archivos deben de estar en formato grid de ArcGis.

3.3.2.4. Selección de segmentos

Proceso mediante el cual se seleccionaron los segmentos que se intersectan con las áreas de entrenamiento, haciendo una interrelación entre ambas asignando así las clases ya definidas en las áreas de entrenamiento, definidos por el intérprete (Figura 6).

Se unieron ambas tablas y se produjo un nuevo shapefile (“SegSelec_A1.shp”) de manera que no exista un segmento asignado a dos o más clases, es decir, que no se presenten duplicidades.

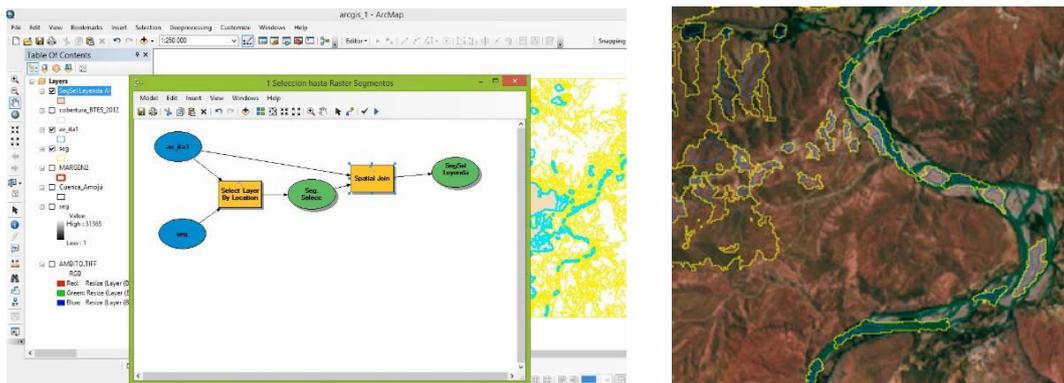


Figura 6. Modelo de selección automática, selecciona segmentos que intersectan con áreas de entrenamiento

3.3.2.5. Integración de información

Script: `RecogiendoInfoRaster.R`, para la integración de información del proceso de segmentación y la información complementaria.

La información complementaria generada se incorporó al proceso de clasificación automática, mediante un archivo de órdenes en bloques (script) desarrollado para el Software R, que permitió la construcción de una tabla llamada “`Todo_seg`”.

La construcción de la tabla consistió en la agregación de la información complementaria a las estadísticas zonales de los segmentos (se calculan automáticamente en el proceso de segmentación con el Software Envi).

Las estadísticas zonales de los segmentos generan una gran cantidad de información, de las cuales se filtran sólo los siguientes datos, mediante un archivo de órdenes elaborado para ser procesado en R:

- Datos de rango, promedio, variancia, desviación estándar, mínima y máxima de las bandas espectrales.

3.3.2.6. Clasificación semiautomática - Random Forest

Script: Filtrar.tabla.todo.rf.2.R, para realizar la clasificación. Se aplicó el clasificador Random Forest a los segmentos seleccionados (“SegSelec_A1.shp”). Se interceptó las áreas de entrenamiento con la segmentación final (con el archivo .dbf modificado de la tabla Todo_seg). Se empleó el script desarrollado para el Software R, que contiene las órdenes para realizar este procedimiento y generar indicadores (Tabla 5) y matriz de confusión (Tabla 6).

Tabla 5. Indicadores de calidad para la evaluación del modelo

Indicadores de la calidad del modelo	Evaluación
Matriz de confusión	Consistencia de áreas de entrenamiento
Índice kappa (k)	>75%
Porcentaje correctamente clasificados	>80%

Fuente: MINAM 2014

Si el resultado de la clasificación no supera los criterios mínimos, se debe revisar los errores, evaluar posibles fuentes de confusión.

Posteriormente se realizó la edición visual de este producto, para lo cual fue necesario convertir el resultado de la predicción (.tiff) a formato grid y finalmente en Shapefile.

3.3.2.7. Edición vectorial y generalización

Se realizó un dissolve del mapa y luego un explode del mismo para convertir las multipartes en partes individuales. Se realizó la edición visual de este producto, corrigiendo los polígonos que presentaban confusiones de clases directamente sobre el shapefile y generación de mapa de cobertura y uso de la tierra.

Reglas de generalización. Durante la interpretación se aplicaron reglas básicas de generalización que permitieron decidir sobre polígonos que no cumplían el criterio de área mínima de mapeo establecida, es decir mayor o igual a 25 hectáreas, mayor o igual a 5 hectáreas y ancho mayor a 50 metros (áreas artificializadas, áreas quemadas, cuerpos de agua, lagunas). Esas reglas se acogieron del Sistema Corine Land Cover.

3.3.2.8. Evaluación de los indicadores de calidad (matriz de confusión, porcentaje correctamente clasificado e índice kappa)

La evaluación de exactitud en los trabajos de teledetección y fotointerpretación suele hacerse con la matriz de error denominada también tabla de contingencia o de confusión. El

ordenamiento de esta matriz suele ser tal que las *clases reales* (verdad terreno) aparecen en columnas, mientras que las *unidades cartografiadas* (unidades del mapa) aparecen en las filas de la matriz. La tabla así formada presenta una visión general de las asignaciones, tanto de las correctas (elementos de la diagonal) como de las migraciones o fugas (elementos fuera de la diagonal). De esta forma se recogen los denominados errores de comisión y de omisión. Los *errores de comisión* lo forman los elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella, mientras que los de *omisión* están formados por los elementos que perteneciendo a esa clase no aparecen en ella por estar incorrectamente incluidos en otra. Estos errores se denominan también como errores del usuario y del productor, respectivamente.

La matriz de confusión se conforma de filas y columnas en donde se ubican los valores que expresan el número de píxeles de referencia asignados a una categoría particular, en relación con la verdadera categoría, verificada con la información auxiliar.

La evaluación de la precisión se efectuó comparando dos fuentes de información: el mapa derivado de la clasificación digital, y la información de referencia que comprende la interpretación de las imágenes de 5 metros como la Rapideye de mayor resolución e imágenes del Google Earth (Figura 7).



Figura 7. Imagen Rapideye de 5 m (izquierda), imagen Landsat 30 m combinación 432(derecha).

Para la realización de esta etapa se ubicaron las áreas de entrenamiento o píxeles de referencia, 155 áreas para el año 2001, 149 para año 2007 y 154 para el año 2013.

Se realizó la matriz de confusión para los años 2001, 2007 y 2013 (Tabla 7,8 y 9), en cada matriz se obtienen las medidas de precisión, medidas para evaluar la exactitud a nivel de clases, y la métrica para evaluar la precisión del mapa.

A. Medidas de precisión

Error de comisión: Indica la probabilidad de que el usuario del mapa encuentre información incorrecta durante su uso.

Error de omisión: Indica en qué medida el productor del mapa representó incorrectamente los rasgos del terreno.

B. Métricas para evaluar la exactitud a nivel de clases

Conjunto de medidas que permiten determinar la probabilidad de que una clase de referencia haya sido clasificada en el mapa y represente esa clase en la realidad.

Exactitud del usuario: Valor correctamente clasificado de una clase respecto al total dado como dicha clase.

Exactitud del productor: Porcentaje de elementos bien clasificados para cada clase en las columnas. Indica en qué medida ha sido bien clasificada una clase dada.

C. Métrica para evaluar la precisión del mapa (índice de Kappa)

El índice de Kappa es la proporción de coincidencias obtenidas en un producto cartográfico sustrayendo aquellos generados de forma fortuita.

Tabla 6. Matriz de confusión para el proceso de validación con datos de campo

Clasificación	1	2	Total	Exactitud del usuario (%)	Error de comisión (%)
1	a	b	$X_1=a+b$	X_1/a	$1-(X_1/a)$
2	c	d	$X_2=c+d$	X_2/d	$1-(X_2/d)$
Total	$Y_1=a+c$	$Y_2=b+d$	M		
Exactitud del productor (%)	Y_1/a	Y_2/d			
Error de omisión (%)	$1-(Y_1/a)$	$1-(Y_2/d)$			

$$M = a + b + c + d$$

$$Po = (a + d) / M$$

$$Pe = ((X_1 * Y_1) + (X_2 * Y_2)) / M^2$$

$$K = (Po - Pe) / (1 - Pe)$$

Donde:

M = Total de clases o total de puntos de muestreo

Po = Exactitud global o porcentaje correctamente clasificado

Pe = Calculo generado desde la matriz de confusión

K = índice kappa

Tabla 7. Matriz de confusión para el proceso de validación en la clasificación de imágenes satelitales del año 2001

CATEGORIA	111	211	245	312	313	332	334	341	343	511	TOTAL	Exactitud Usuario	Error Comisión
111	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	100	0
211	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	16	100	0
245	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	25	100	0
312	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	11	100	0
313	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	15	100	0
332	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	23	100	0
334	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	14	100	0
341	1	0	0	0	0	0	0	13	0	0	14	92.86	7.14
343	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100	0
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	100	0
TOTAL	13	16	25	11	15	23	14	13	13	12	155		
Exactitud productor	92.31	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
Error omisión	7.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

Po= 99.35%

Pe= 0.1083

Índice kappa = 0.9928 = 99.28%

Tabla 8. Matriz de confusión para el proceso de validación en la clasificación de imágenes satelitales del año 2007

CATEGORIA	111	211	245	312	313	332	334	341	343	511	TOTAL	Exactitud Usuario	Error Comisión
111	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	100	0
211	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	0
245	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	14	100	0
312	0	0	0	12	0	0	0	1	0	0	13	92.31	7.69
313	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	15	100	0
332	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	15	100	0
334	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	14	100	0
341	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	17	100	0
343	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	16	100	0
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	100	0
TOTAL	16	15	14	12	15	15	14	18	16	14	149		
Exactitud productor	100	100	100	100	100	100	100	94.44	100	100			
Error omisión	0	0	0	0	0	0	0	5.56	0	0			

Po= 99.32%

Pe= 0.1007

Índice kappa = 0.9925 = 99.25%

Tabla 9. Matriz de confusión para el proceso de validación en la clasificación de imágenes satelitales del año 2013

CATEGORIA	111	211	245	312	313	332	334	341	343	511	TOTAL	Exactitud Usuario	Error Comisión
111	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	100	0
211	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	100	0
245	0	0	18	0	1	0	0	0	0	0	19	94.74	5.26
312	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	14	100	0
313	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	16	100	0
332	0	0	0	0	0	9	2	0	0	0	11	81.82	18.18
334	0	0	0	0	0	1	15	0	0	0	16	93.75	6.25
341	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	16	100	0
343	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	15	100	0
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	100	0
TOTAL	15	20	18	14	17	10	17	16	15	12	154		
Exactitud productor	100	100	100	100	94.12	90.00	88.24	100	100	100			
Error omisión	0	0	0	0	5.88	10.00	11.76	0	0	0			

Po= 97.40%

Pe= 0.1029

Índice kappa = 0.9710 = 97.10%

En las (Tabla 7, 8 y 9) se aprecia que la precisión de la clasificación para la cobertura muestra valores elevados tanto en la precisión del productor como en el usuario; esto indica, que estas clases logran clasificarse sin grave riesgo de confusión con otro tipo de cobertura vegetal.

Esta matriz demuestra que la metodología usada es adecuada para determinar vegetación natural de acuerdo a la valoración de coeficiente kappa, la cual resultó casi perfecta.

Tabla 10. Valoración de coeficiente kappa (Landis y Koch 1977)

Coeficiente kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 - 0.20	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi Perfecta

3.3.3. Fase campo

3.3.3.1. Verificación del mapa y levantamiento de información en campo

Cada zona tuvo su correspondiente trabajo de verificación de campo, concentrándose en las áreas que presentaban duda en la interpretación y/o en la adaptación de la nomenclatura.

El trabajo de campo tuvo como propósito realizar la verificación de las unidades de cobertura interpretadas y que presentaron mayor incertidumbre en su identificación y delimitación, mediante el proceso de interpretación de las imágenes de satélite, se programaron los trabajos de campo con el propósito de verificar y efectuar las correcciones necesarias para garantizar calidad de los resultados.

El trabajo de campo se realizó en tres etapas, las cuales fueron:

La preparación del trabajo de campo, la verificación en campo de la información interpretada y la realización de las correcciones encontradas como resultado de las comprobaciones de campo.

A. Preparación del trabajo de campo

Para llevar a cabo esta fase, fueron necesarios el computador, requerido tanto en la fase de oficina previa al trabajo de campo, como en las tareas posteriores, vehículo, GPS, leyenda de la nomenclatura previamente definida, hoja con Impresión de la zona de estudio (imagen Landsat), cartografía básica (vías, red hidrográfica, poblaciones) con el mayor detalle posible, cámara fotográfica digital, Fichas de campo.

Se hizo la evaluación de las condiciones de acceso y seguridad en la zona. Se determinan las áreas de mayor incertidumbre y se formuló la ruta del recorrido para verificación.

B. Verificación de campo

Una vez definida y aprobada la ruta para la verificación de campo, se realizó el desplazamiento y la observación de las unidades a comprobar.

El empleo de GPS con navegador permitió la incorporación de las rutas para facilitar la captura de información de puntos a lo largo del itinerario y las correspondientes fotografías terrestres, diligenciando los formatos diseñados Tabla 11, que sirvieron como respaldo de la información digital y permitieron incorporar las observaciones específicas. En el Mapa 3, se

presenta la distribución geográfica de los recorridos para el muestreo en campo que suman un total de 218 puntos.

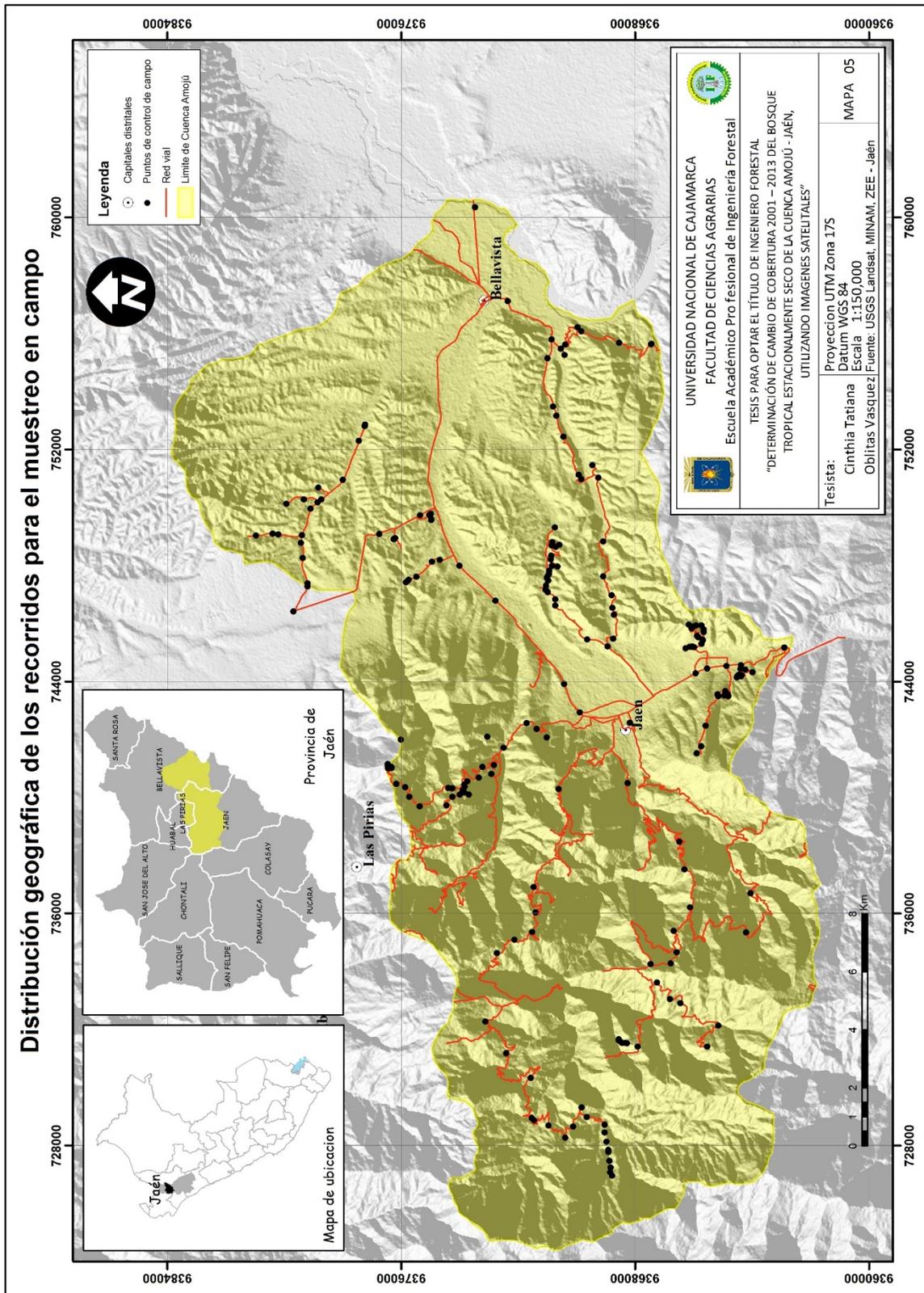
Tabla 11. Formato para la relación de puntos de verificación en campo

No. del punto	No. de foto	Coordenadas	Descripción del punto	Observaciones
1				
2				
3				
...				
n				

C. Ajuste en oficina

Una vez realizado el recorrido en campo, fue necesario descargar la información recopilada y realizar el análisis correspondiente. Se realizó el ajuste de polígonos conforme a las observaciones en donde se relacionan los puntos GPS, las coordenadas, las fotografías digitales del sitio y la descripción del ajuste realizado.

En la Figura 8 se presenta un ejemplo de la forma en que se relacionan los puntos de verificación en campo, la imagen de satélite y la fotografía digital de campo.



Mapa 3. Distribución geográfica de los recorridos para el muestreo en campo



Figura 8. Forma de localización de los recorridos en campo

3.3.3.2. Control de Calidad

El primer procedimiento comprendió la revisión interpretada en formato análogo a partir de la observación de la imagen Landsat respectiva, dispuesta en formato impreso, con apoyo de las imágenes Rapideye y del Google Earth más recientes existentes para la zona interpretada.

El segundo procedimiento comprendió la revisión interpretada en formato digital sobre la pantalla, sobrepuesta a la imagen Landsat. Se realizaron los ajustes que se consideraban requeridos para las unidades incorrectamente interpretadas.

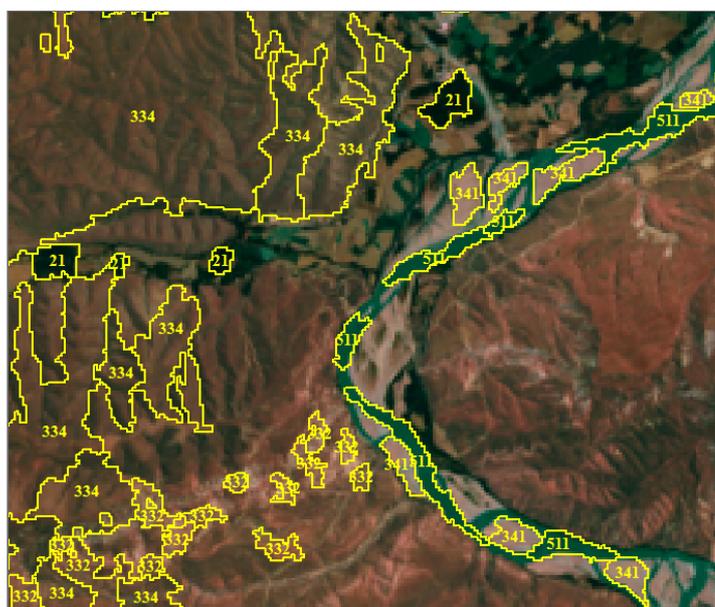


Figura 9. Clasificación de las áreas sobre la imagen satelital

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

El estudio de cambio de cobertura se ha realizado en el área de la cuenca Amojú que tiene un área de 42 733.2656 hectáreas.

4.1. Resultados

4.1.1. Definición de categorías según leyenda Corine Land Cover

El esquema de clasificación utilizado para la elaboración de los mapas de cobertura vegetal, se basó en la propuesta tomada de la metodología Corine Land Cover. Por tal motivo se dividió la cobertura vegetal del área de estudio en:

A. Tejido urbano continuo (1.1.1)

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 continuo que son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente. Este tipo de categoría (Foto 1) abarca una superficie de 984.6986 hectáreas.



Foto 1. Vista de la ciudad de Jaén

B. Cultivos transitorios (2.1.1)

Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser de solo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz y arroz), los tubérculos, la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores a cielo abierto. Este tipo de categoría abarca una superficie de 3966.6042 hectáreas. (Foto 2 y 3)



Foto 2. Cultivos de arroz inundados de agua – Sector Catahuas



Foto 3. Cultivos de arroz - Fundo El Oriente

C. Mosaico de cultivos y espacios naturales (2.4.5)

Las áreas agrícolas heterogéneas 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.

El mosaico de cultivos y espacios naturales, corresponde a las superficies ocupadas principalmente por cultivos en combinación con espacios naturales, donde el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. En esta unidad, los espacios naturales se presentan como pequeños parches o relictos que se distribuyen en forma irregular y heterogénea, a veces entremezclada con las áreas de cultivos, dificultando su diferenciación. Este tipo de categoría abarca una superficie de 12195.1182 hectáreas (Foto 4).



Foto 4. Cultivos de café con plátano como sombra – trayecto a caserío Piñas

El bosque comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida. De acuerdo con FAO (2001), esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones.

D. Bosque abierto bajo (3.1.2)

El Bosque abierto bajo corresponde a una cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros e inferior a 15 metros. Este tipo de categoría abarca una superficie de 4561.782 hectáreas (Foto 5 y 6).

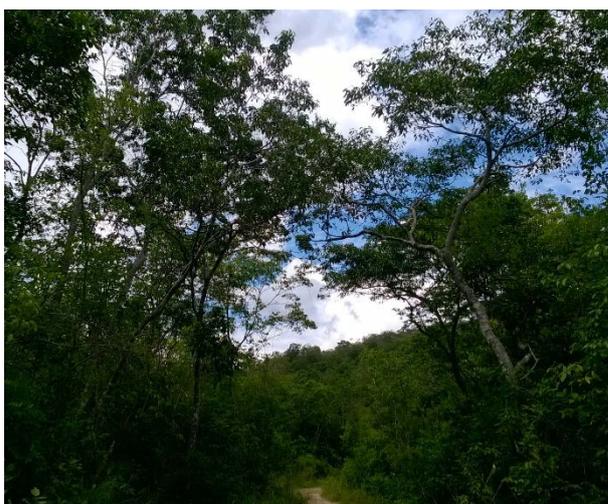


Foto 5. Bosque abierto bajo - Sector Iguaguanal



Foto 6. Presencia de Porotillo (*Capparis flexuosa*)

E. Bosque denso alto (3.1.3)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, y que en promedio presentan una altura del dosel superior a los 15 metros. Este tipo de categoría abarca una superficie de 4094.8637 hectáreas (Foto 7 y 8).



Foto 7. Bosque Huamantanga



Foto 8. Bosque denso alto

Las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.

F. Arbustal (3.3.2)

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta con una altura entre 0.5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO 2001). Este tipo de categoría abarca una superficie de 324.7954 hectáreas (Foto 9 y 10).



Foto 9. Cuyishina (*Croton sp.*)



Foto 10. Palo verde (*Parkinsonia praecox*)

G. Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4)

Comprende los territorios cubiertos por una mezcla de vegetación arbustiva y herbácea, desarrolladas en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Este tipo de categoría abarca una superficie de 11679.3469 hectáreas (Foto 11 y 12).



Foto 11. Huanarpo (*Jatropha humboldtiana*)



Foto 12. Vegetación arbustiva herbácea – caserío Pushura Alta

Las áreas sin o poca vegetación, 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, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.

H. Áreas arenosas naturales (3.4.1)

Son terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal ralo y bajo. Se encuentran conformando playas litorales, playas de ríos, bancos de arena de los ríos y campos de dunas. Este tipo de categoría abarca una superficie de 121.7711 hectáreas (Foto 13).



Foto 13. Río Marañón y bancos de arena – distrito Bellavista

I. Tierras desnudas, incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas (3.4.3)

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas. Este tipo de categoría, abarca una superficie de 4737.7378 hectáreas (Foto 14 y 15).



Foto 14. Zonas erosionadas – sector Fila Alta



Foto 15. Áreas degradadas por cambio de uso del suelo – sector Fila Alta

Las aguas continentales son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares.

J. Ríos (5.1.1)

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Se considera como unidad mínima cartografiada aquellos ríos que presenten un ancho del cauce mayor o igual a 50 metros. Este tipo de categoría abarca una superficie de 66.5477 hectáreas (Foto 13).

4.1.2. Cobertura vegetal y ocupación del suelo de los años 2001, 2007 y 2013

Tal como se puede apreciar, la leyenda que acompaña a los mapas es el resultado de un proceso realizado con la clasificación de la cobertura y uso de la tierra de acuerdo a la metodología Corine Land Cover, ajustando las características descritas a las formaciones existentes en el área de la cuenca Amojú, encontrándose 10 categorías dentro del área de estudio (Tabla 12 y Figura 10).

Con respecto al BTES existente tenemos al bosque abierto bajo (3.1.2), arbustal (3.3.2), vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4) que son los nombres que se ajustan a la leyenda de CLC (Tabla 13 y Figura 11 y 12).

Tabla 12. Cobertura y uso de la tierra en el área de la cuenca Amojú

Cobertura y uso de la tierra				2001		2007		2013		Ganancia o pérdida 2001-2013 (%)
Nivel I	Nivel II	Nivel III		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		534.7315	1.25	642.5188	1.50	984.6986	2.30	1.05
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1. 1. Cultivos transitorios		3803.8387	8.90	3648.7951	8.54	3966.6042	9.28	0.38
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales		10611.0025	24.83	12446.9811	29.13	12195.1182	28.54	3.71
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo		10094.8427	23.62	9955.2177	23.30	4561.782	10.68	-12.94
		3.1.3. Bosque denso alto		4849.3605	11.35	4431.6789	10.37	4094.8637	9.58	-1.77
		3.3.2. Arbustal		323.4021	0.76	156.1925	0.37	324.7954	0.76	0
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea		8300.4278	19.42	6772.8392	15.85	11679.3469	27.33	7.91
		3.4 Área sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales		85.353	0.20	131.1674	0.31	121.7711	0.28
	3.4.3. Tierras desnudas			4058.027	9.50	4461.5988	10.44	4737.7378	11.09	1.59
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos		72.2798	0.17	86.2761	0.20	66.5477	0.16	-0.01
TOTAL				42733.2656	100.00	42733.2656	100.00	42733.2656	100.00	

En el área de la cuenca Amojú la categoría predominante en los años 2001 – 2013 es mosaico de cultivos y espacios naturales con una extensión de 12 195.1182 ha (Figura 10).

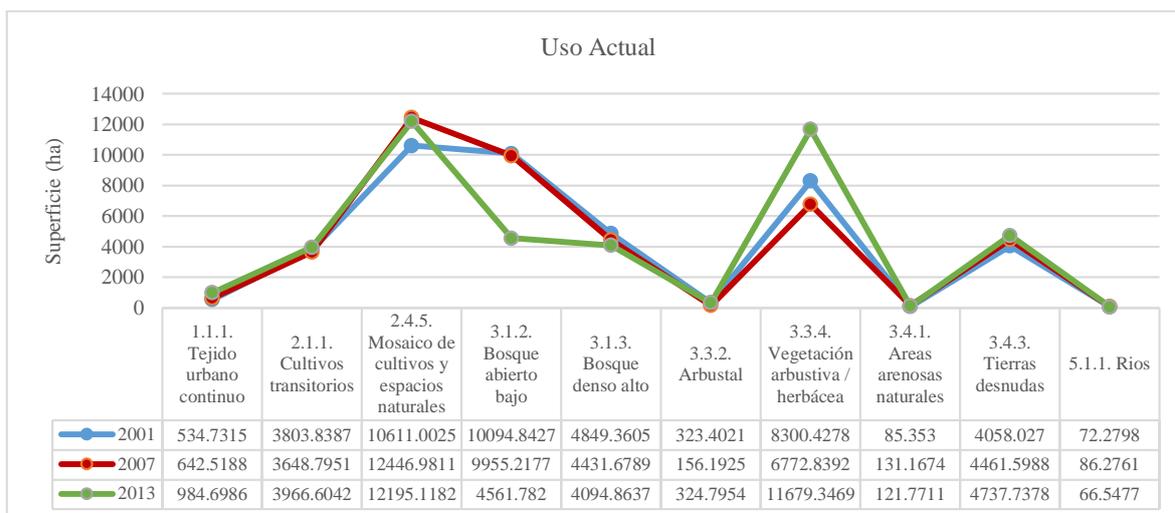


Figura 10. Uso actual de la cuenca Amojú para los años 2001, 2007 y 2013

Por otro lado los BTES cubrían un área aproximada de 18 000 ha para el año 2001 que ha ido disminuyendo en el transcurso de los años. El aumento de áreas desboscadas convertidas para uso agrícola, la presencia de áreas con vegetación secundaria es decir purma, y el crecimiento de la zona urbana y entre otras actividades asociadas a la extracción de materiales para la fabricación de ladrillo, han contribuido en el descenso de superficie propia de BTES.

Tabla 13. Área y porcentaje del BTES en la cuenca Amojú

Clasificación	2001		2007		2013	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
3.1.2. Bosque abierto bajo	10094.8427	53.93	9955.2177	58.96	4561.782	27.54
3.3.2. Arbustal	323.4021	1.73	156.1925	0.93	324.7954	1.96
3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	8300.4278	44.34	6772.8392	40.11	11679.3469	70.50
TOTAL BTES	18718.6726	100.00	16884.2494	100.00	16565.9243	100.00

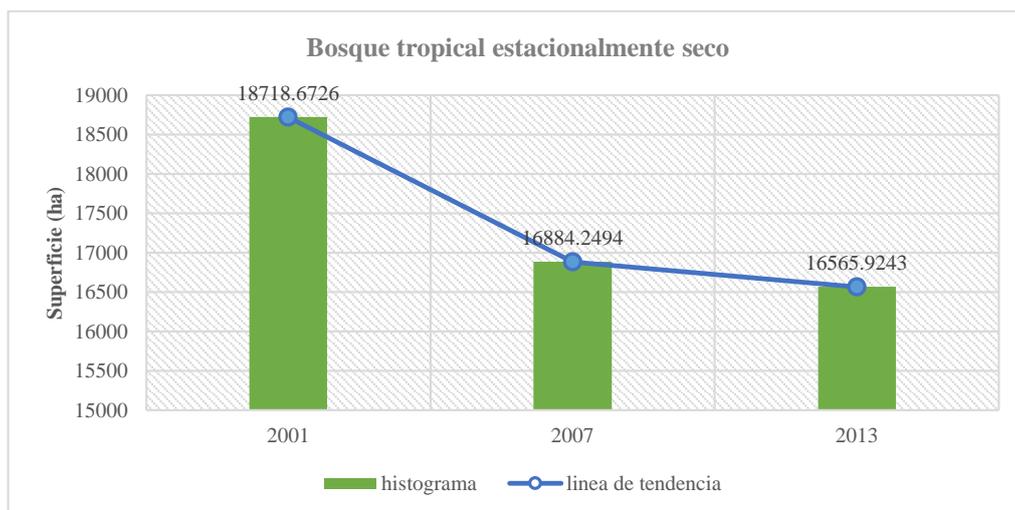


Figura 11. Representación de área cubierta por el bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú para los años 2001, 2007 y 2013

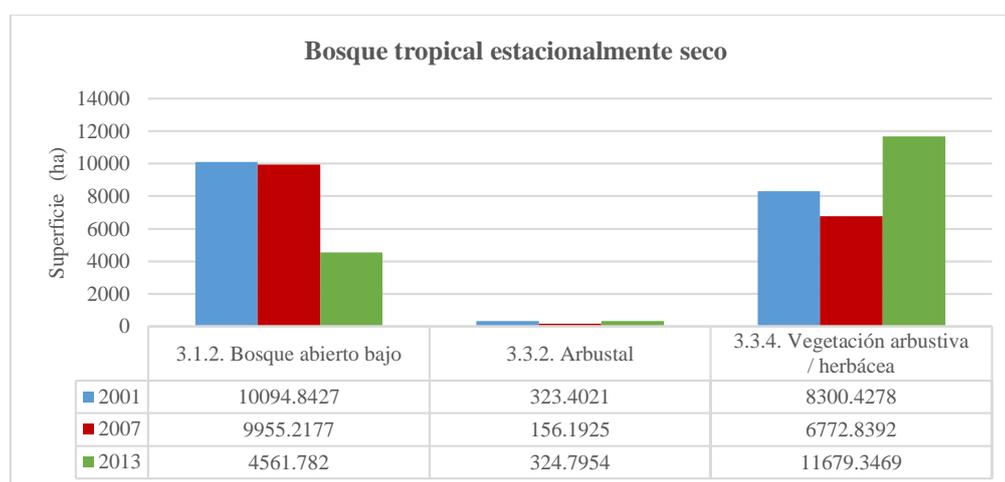


Figura 12. Resultado de la superficie cubierta por las diferentes categorías del BTES en los años 2001, 2007 y 2013

4.1.3. Análisis de los cambios de los BTES

El análisis de cambios se realizó con los mapas de coberturas correspondientes a los años 2001, 2007 y 2013. En este sentido los resultados destacan los cambios ocurridos en 12 años alternados cada 6 años. El área correspondiente a los BTES ha descendido en el periodo 2001 – 2007 en 1834.4232 ha, como también en los años 2007 – 2013 con 318.3251 ha, totalizando 2152.7483 ha, desde el año 2001 – 2013 (Tabla 14 y Figura 13).

Como se puede observar en la Tabla 14, el área del bosque tropical estacionalmente seco paso de un 43.80 % en el 2001, a un 38.77 % en el 2013 del total del área de la cuenca.

Tabla 14. Persistencias y cambios en hectáreas del bosque tropical estacionalmente seco en la cuenca Amojú.

Clasificación	Área (ha) 2001	Persiste	Cambio	Área (ha) 2007	Persiste	Cambio	Área (ha) 2013
3.1.2. Bosque abierto bajo	10094.8427	9955.2177	-139.625	9955.2177	4561.782	-5393.4357	4561.782
3.3.2. Arbustal	323.4021	156.1925	-167.2096	156.1925	156.1925	168.6029	324.7954
3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	8300.4278	6772.8392	-1527.5886	6772.8392	6772.8392	4906.5077	11679.347
TOTAL BTES (ha)	18718.6726	16884.2494	-1834.4232	16884.2494	11490.8137	-318.3251	16565.924
Porcentaje BTES	43.80			39.51			38.77

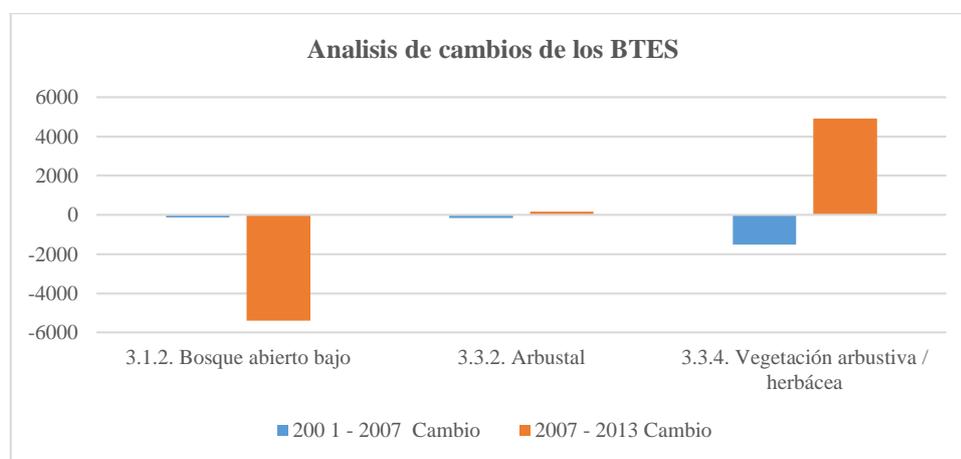


Figura 13. Resultado del análisis de cambios por las diferentes categorías del BTES en los periodos 2001-2007 y 2007-2013

A. Bosque abierto bajo (3.1.2)

El área del bosque seco con el transcurso de los años ha sufrido una disminución de su área, tanto por erosión, como por la intervención humana, quien ha realizado cambios de uso de la tierra convirtiéndolas en áreas productoras de cultivos; tales como: maíz, yuca, arroz y piña (Figura 14).

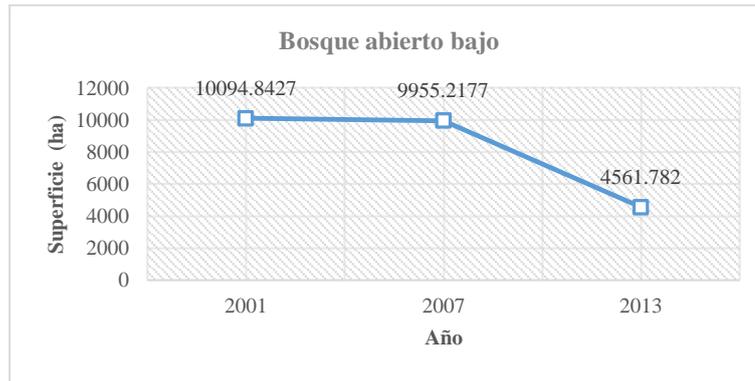


Figura 14. Bosque abierto bajo

B. Arbustal (3.3.2)

Los arbustales en el periodo 2001 – 2007 sufrieron un decremento de 167.2096 ha; y un aumento de 168.6029 ha en el periodo 2007 - 2013 (Figura 15).

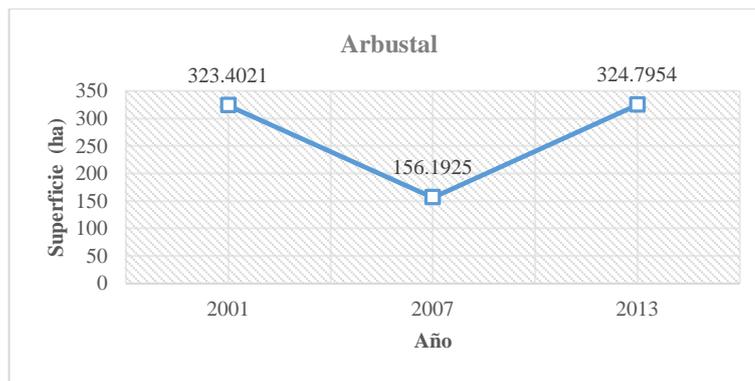


Figura 15. Arbustal

C. Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4)

Este tipo de vegetación es una mixtura distribuida de manera dispersa de estrato arbustivo y herbáceo efímero. Del 2001 – 2007 el área de la Vegetación arbustiva / herbácea disminuyó en 1527.5886 ha, pero se recuperó en el periodo 2007 – 2013 aumentando en 4906.5077 ha (Figura 16).



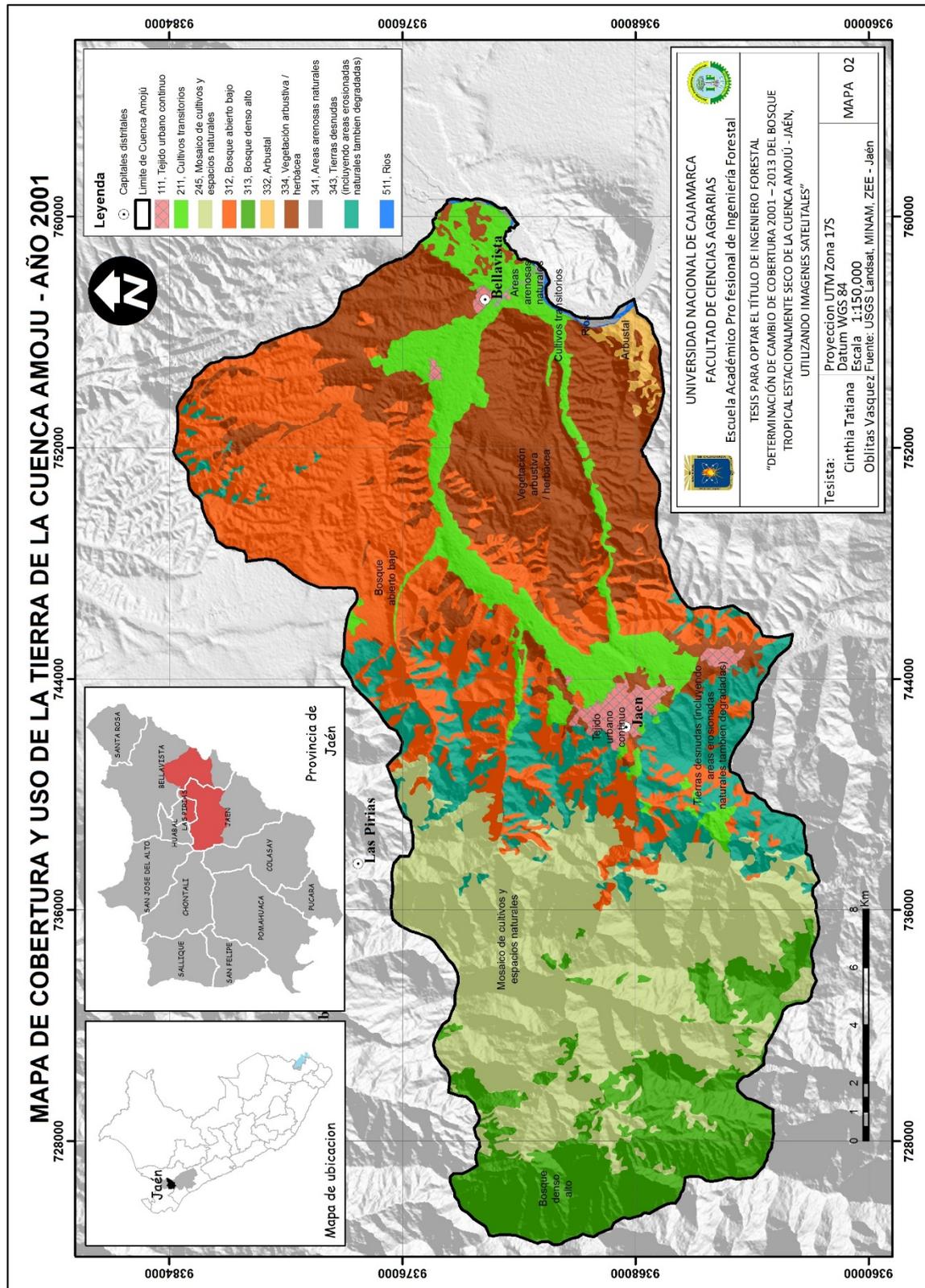
Figura 16. Vegetación arbustiva / herbácea

4.1.4. Elaboración del mapa final

Se prepararon tres mapas de cobertura y uso de la tierra de los años 2001, 2007 y 2013. (Mapa 4, 5 y 6) y sus respectivos niveles de cobertura con sus áreas y porcentajes (Tabla 15, 16 y 17).

Tabla 15. Cobertura y uso de la tierra en sus tres niveles del año 2001

Cobertura y uso de la tierra año 2001					
Nivel I	Nivel II	Nivel III		Área (ha)	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		534.7315	1.25
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios		3803.8387	8.90
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales		10611.0025	24.83
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo		10094.8427	23.62
		3.1.3. Bosque denso alto		4849.3605	11.35
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal		323.4021	0.76
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea		8300.4278	19.42
	3.4. Área sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales		85.353	0.20
		3.4.3. Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)		4058.027	9.50
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos		72.2798	0.17
TOTAL				42733.2656	100.00



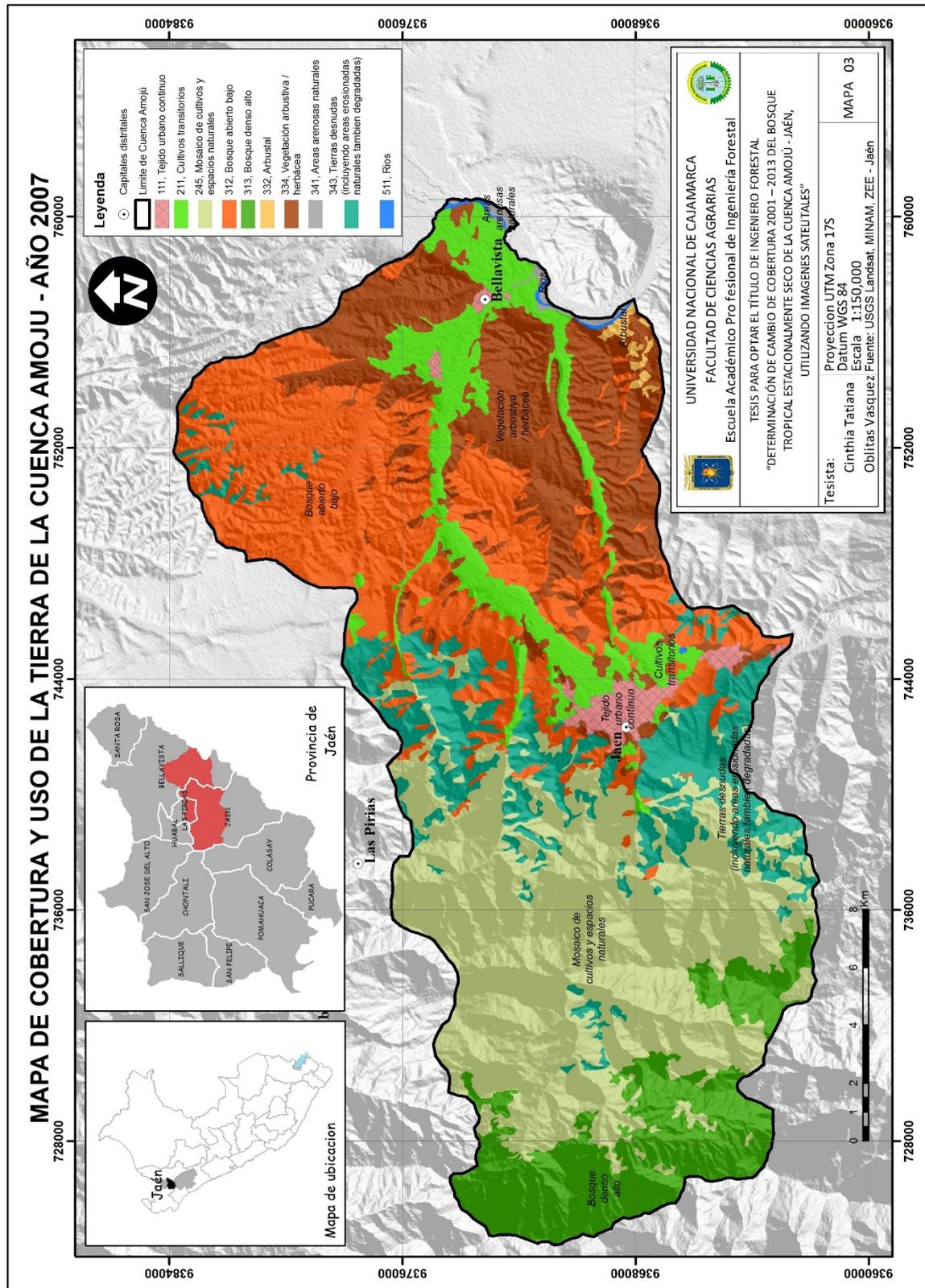
Mapa 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Amojú – año 2001

Tabla 16. Cobertura y uso de la tierra en sus tres niveles del año 2007

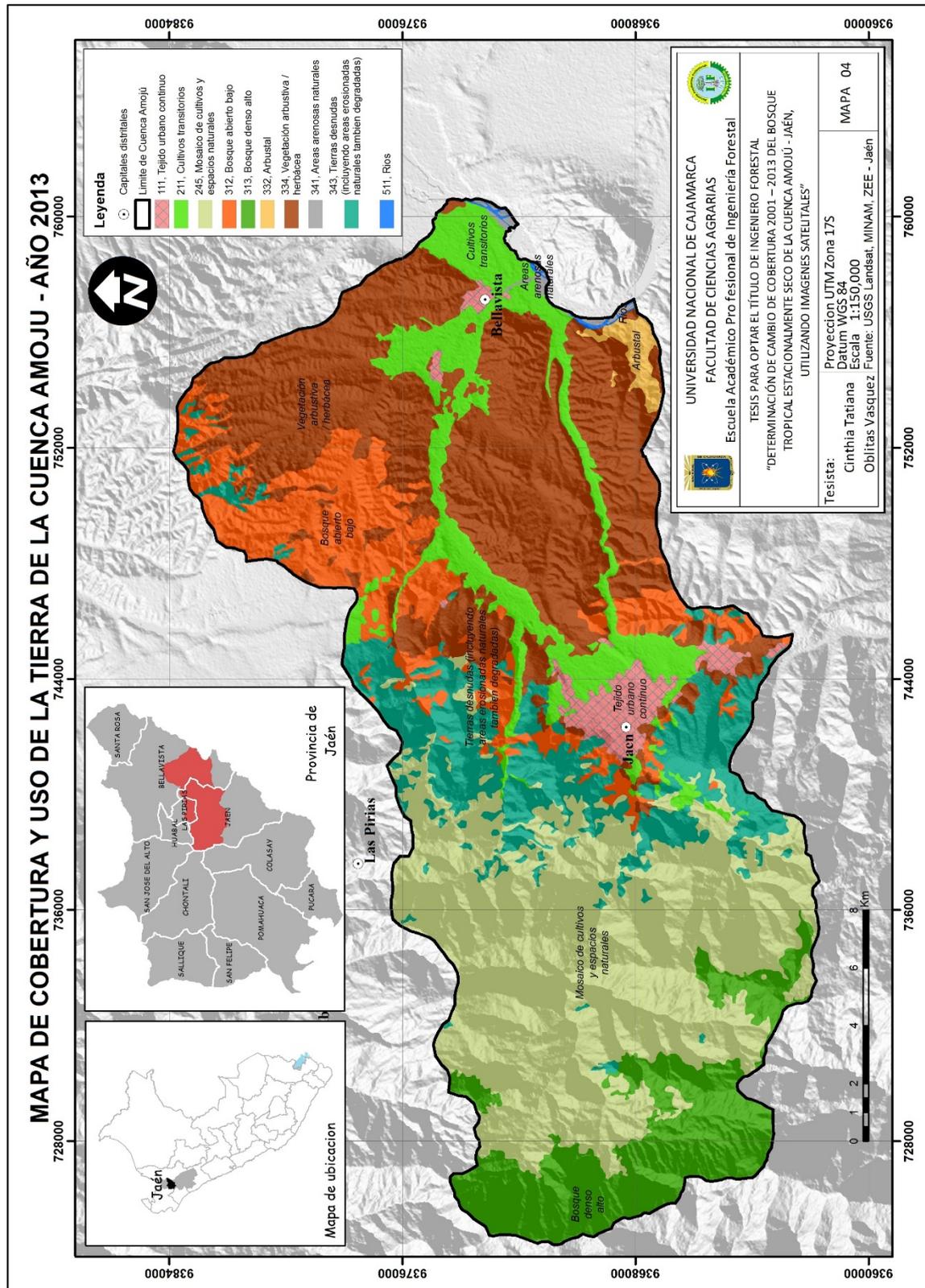
Cobertura y uso de la tierra año 2007					
Nivel I	Nivel II	Nivel III		Área (ha)	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		642.5188	1.50
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios		3648.7951	8.54
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales		12446.9811	29.13
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo		9955.2177	23.30
		3.1.3. Bosque denso alto		4431.6789	10.37
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal		156.1925	0.37
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea		6772.8392	15.85
	3.4 Área sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales		131.1674	0.31
		3.4.3. Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)		4461.5988	10.44
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos		86.2761	0.20
TOTAL				42733.2656	100.00

Tabla 17. Cobertura y uso de la tierra en sus tres niveles del año 2013

Cobertura y uso de la tierra año 2013					
Nivel I	Nivel II	Nivel III		Área (ha)	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		984.6986	2.30
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios		3966.6042	9.28
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales		12195.1182	28.54
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo		4561.782	10.68
		3.1.3. Bosque denso alto		4094.8637	9.58
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal		324.7954	0.76
		3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea		11679.3469	27.33
	3.4 Área sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales		121.7711	0.28
		3.4.3. Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)		4737.7378	11.09
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos		66.5477	0.16
TOTAL				42733.2656	100.00



Mapa 5. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Amojú – año 2007



Mapa 6. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Amojú – año 2013

4.1.5. Tasa promedio anual de deforestación (TMAD)

Su cálculo se genera a partir de los datos de superficie de bosque tropical estacionalmente seco que no sufrió cambio entre los años 2001 y 2013 (Tabla 18).

Tabla 18. Cobertura y uso de la tierra en el área de la cuenca Amojú

BTES	2001	2013	TMAD
	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
3.1.2. Bosque abierto bajo	10094.8427	4561.782	461.0883
3.3.2. Arbustal	323.4021	324.7954	-0.1161
3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	8300.4278	11679.3469	-281.5765
TOTAL	18718.6726	16565.9243	179.3956

$$TMAD_{t1-t2} = (S_{t1} - S_{t2}) / N$$

Donde:

$TMAD_{S_{t1-t2}}$, es la tasa promedio anual de deforestación de la cuenca Amojú, entre los momentos t1 (2001) y t2 (2013).

S_{t1} , es la superficie cubierta por bosque en la cuenca, en el momento t1 (2001).

S_{t2} , es la superficie cubierta por bosque en la cuenca, en el momento t2 (2013).

N, es la diferencia de años entre el momento t1 y el momento t2, en este caso.

$$TMAD_{2001-2013} = (S_{2001} - S_{2013}) / N$$

$$TMAD_{2001-2013} = (18718.6726 - 16565.9243) / 12$$

$$TMAD_{2001-2013} = 179.3956 \text{ ha/año.}$$

La deforestación total en el BTES desde año 2001 hasta el 2013 ha sido de 179.3956 ha/año.

- La deforestación del Bosque abierto bajo es de 461.0883 ha/año
- En el caso Arbustal hubo una mejora en 0.1161 ha/año y vegetación arbustiva / herbácea en 281.5765 ha/año lo que indica que durante esos años este tipo de cobertura ha ido ganando espacio en otras áreas.

4.2. Discusión

Según el Mapa de cobertura vegetal del Perú 2015, los bosques secos registran 36 743 km² que representa el 2,86 % del territorio peruano notable diferencia con los datos recogidos por INRENA en el Mapa Forestal del Perú para el año 1995 que abarcaba un área de 39 451 km² representado por 3,07 % del territorio.

El Bosque Tropical Estacionalmente Seco (BTES) de la cuenca Amojú está comprendido dentro de los bosques secos del marañón que al año 2001 abarcaba un área de 18 718.6726 ha y que al año 2013 solo registra 16 565.9243 ha, lo que representa una reducción del 11.5 % (2152 ha) con respecto al área total del BTES, reflejando así, un porcentaje relativamente menor al reportado por Zorogastua (2010) en la región Piura con el 23 %. Por su parte Olaya (2011) en el estudio multitemporal realizado en la cuenca Amojú, registra una reducción del 11.89 % (2307 ha) del área correspondiente al bosque seco.

En el área evaluada de la cuenca Amojú se observa actividades agrícolas y pecuarias de secano donde se afecta a la vegetación y fauna endémica y se propicia nuevos asentamientos humanos, estos problemas concuerdan con lo reportado por el Instituto de Investigaciones Científicas Sinchi en 2011 (Colombia) quienes indican una tasa de deforestación para bosques y otras coberturas de 153 600 hectáreas durante 5 años dedicadas actividades de potreros praderizados para ganadería.

En un estudio realizado por Saldaña 2010 sobre cambio de cobertura en el ACM bosque Huamantanga para un periodo de 17 años registra una disminución de 2126 ha para la vegetación natural, 164 ha para cultivos diversos y vegetación natural; y un aumento de 2338 ha pastos cultivados y naturales.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se identificaron 3 clases de cobertura y uso de tierra según la metodología de Corine Land Cover para el bosque tropical estacionalmente seco, como se detallan a continuación:

- Bosque abierto bajo (3.1.2.)
- Arbustal (3.3.2.)
- Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4).

El área total de la cuenca Amojú es de 42 733.2656 hectáreas, de la cual el área cubierta por el BTES para el año 2001 fue de 18 718.6726 ha, con una disminución de 2152.7483 ha al año 2013.

El grado de cobertura para el año 2013 se distribuye en:

- Bosque abierto bajo 4561.782 ha (10.68 %)
- Arbustal 324.7954 ha (0.76 %)
- Vegetación arbustiva / herbácea 11 679.3469 ha (27.33 %).

La deforestación en la cuenca Amojú en el periodo 2001 – 2013 es de 179.3956 ha/año. Sin medidas que aporten a la conservación, tras el avance de la zona urbana y los cambios de uso de la tierra, sin un manejo sostenible podrían ocasionar sucesos tales como erosión, deslizamientos, inundación al dejar desprotegidos estos suelos, e incluso una disminución en el caudal de los ríos afectando en distintas maneras el desarrollo integral de nuestras vidas.

5.2. Recomendaciones

Al realizar nuevos estudios de cambio de cobertura con imágenes satelitales se recomienda buscar imágenes con la mínima nubosidad en el área de estudio de preferencia épocas de verano de julio – setiembre, que permita ampliar el área de análisis.

Procesar imágenes de preferencia del mismo sensor, pues sus características son similares en el transcurso del tiempo con respecto al número de bandas, resolución espacial, etc., ofreciendo resultados homogéneos.

Realizar estudios con imágenes satelitales con mayor resolución, para identificar áreas con coberturas a mayor detalle.

Sensibilizar a la población de los servicios ecosistémicos que nos brinda el BTES y de la importancia de gestionar Áreas de Conservación Privada (ACP) que es un trámite gratuito y sin áreas mínimas para su creación, con la finalidad de conservar y proteger la biodiversidad florística, de esta manera preservar el endemismo del bosque tropical estacionalmente seco, sin afectar el área agrícola y habilitando áreas no productivas para expansión.

VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Aguilera, Raúl 2005. Curso Tutorial de ENVI. Laboratorio de Geoinformación del Departamento de Geofísica Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Ariza, Alexander 2013. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. Colombia.

Balvanera, P. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revistas ecosistemas Ecosistemas* vol 21

Bakker, WH; Jansen, LF. 2001. Principles of Remote Sensing. ITC. The Netherlands.

Bridgewater, S.; R. T. Pennington; C. Reynel; A. Daza & T. D. Pennington. 2003. A preliminary floristic and phytogeographic analysis of the woody flora of seasonally dry forest in northern Peru. *Candollea* 58: 129-148.

CDC-UNALM. 2006. Análisis del recubrimiento ecológico del sistema nacional de áreas naturales protegidas por el estado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina.

CNUCC. 2002. Informe de la Conferencia de las Partes 7mo Periodo de Sesiones celebrado en MarraKech en Noviembre del 2001, Adición sobre medidas adoptadas por la Conferencia; FCCC/CP/2001/13/Add.1

Chuvioco, E. 2002. Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia. España.

_____. 1995. Fundamentos de la teledetección especial. Madrid. Ediciones Rialp. 2 ed.

Di Gregorio, A. 2004. Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra. FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT); PNUMA (Medio Ambiente y Recursos Naturales, UN). (Serie 8) .Versión 2.

Ediciones Peisa, 2004. Atlas regional del Perú. Tomo 13: Cajamarca. Imagen geográfica, estadística, histórica y cultural. Ediciones Peisa. Perú. Pp. 103.

Enciclopedia ecología del Perú. Enciclopedia virtual de ONG Perú ecológico 2012. Por Antonio brack y Cecilia Mendiola. Capítulo 7 bosque seco ecuatorial. Bosques secos del marañón. Disponible en: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c7_t09.htm

Gentry, A. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forests. En: Bullock, S.H., Mooney, H.A., Medina, E. (eds.). *Seasonally Dry Tropical Forests*. pp. Pages 146-194. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Gobierno Regional de Cajamarca. 2009. Estrategia Regional de Biodiversidad de Cajamarca al 2021. Cajamarca. 148 pág.

- Gotsch, S. G., Powers, J.S., Lerda, M.T. 2010. Leaf traits and water relations of 12 evergreen species in Costa Rican wet and dry forests: patterns of intra-specific variation across forests and seasons. *Plant Ecology* 211:133-146.
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 1995. Mapa Forestal del Perú Esc. 1:1 000 000 con guía explicativa.
- Landis J. R., Koch G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33.
- Linares, R. 2002. A floristic and phytogeographic analysis of peruvian seasonally dry tropical forests. Thesis presented for the degree of M.Sc. University of Edinburgh, United Kingdom. 109 pp.
- Linares, R. 2004a. Los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos: El concepto de los bosques secos en el Perú.
- Linares, R. 2004b. Los Bosques Tropicales Estacionalmente Secos: II. Fitogeografía y Composición Florística.
- Lizardo, F. 2012. Manejo de Datos Geográficos para el Desarrollo Sostenible. Pucallpa.
- Marcelo P, J. L; Reynel, C; Zevallos P.; Bulnes, F; Ojeda, A. 2007. Diversidad, composición florística y endemismos de la vegetación leñosa en los bosques estacionalmente secos alterados del distrito de Jaén, Perú. *Rev. Ecol. Aplic.* 6 (1,2)
- Marcelo P, J. L. 2008. Vegetación leñosa, endemismos y estado de conservación en los bosques estacionalmente secos de Jaén, Perú. *Rev. Perú. biol.* 15(1): 43-42. © Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM.
- Martínez R, E. 2006. Convenio de Cooperación ANAM – ACP. Monitoreo de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Programa de Vigilancia de la Cobertura Vegetal Región Oriental de la Cuenca del Canal.
- Maass, M., Burgos, A. 2011. Water Dynamics at the Ecosystem Level in Seasonally Dry Tropical Forests. En: Dirzo, R.,
- Miles, L., Newton, A.C., DeFries, R., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V., Gordon, J.E. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests.
- MINAM 2012. Clasificación de cobertura y uso de la tierra, utilizando imágenes satelitales Landsat como herramienta para el ordenamiento territorial

_____ 2012. Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la tierra en la Comunidad Andina Dirección General de Ordenamiento Territorial. CDC-UNALM, LTAUNALM, DGOT – MINAM, FDA. Lima - Perú. pp. 56.

_____ 2013. Guía técnica para el uso de las imágenes rapideye. Ministerio del Ambiente. Dirección general de ordenamiento territorial.

_____ 2014. Protocolo: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la tierra en la Comunidad Andina. Dirección General de Ordenamiento Territorial - Lima: Ministerio del Ambiente, 2014. 72 p.

MPJ 2012. Diagnóstico de la biodiversidad de fauna silvestre del ámbito de la provincia de Jaén. Municipalidad provincial de Jaén. Proyecto zonificación ecológica económica de la provincia de Jaén. 95 p.

_____ 2012. Diagnóstico de la diversidad florística de la provincia de Jaén. Municipalidad provincial de Jaén. Proyecto zonificación ecológica económica de la provincia de Jaén. 104 p.

Murcia, G.U.G.; Huertas, M.C.; Rodríguez, J.M.; Castellanos, H.O. 2011. Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C., 226 p.

Murphy, P. G., Lugo, A.E. 1995. Dry forests of Central America and the Caribbean. En: Bullock, S.H., Mooney, H.A., Medina, E. (eds.). Seasonally Dry Tropical Forests, pp 9-34, Cambridge University Press, New York. USA.

Olaya B, C. Estudio multitemporal para calcular la tasa de deforestación en la cuenca Amojú del distrito de Jaén, departamento de Cajamarca, 2010. Universidad nacional de Cajamarca.

ONG Perú ecológico 2012. Disponible en: <http://www.peruecologico.com.pe/opciones.html>

ONERN. 1976. Mapa ecológico del Perú. Guía explicativa. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima. 146 p.

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO) 2001, Situación de los bosques del mundo 2001.

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación FAO 2005; Informe de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005; términos y definiciones.

Pérez, G. C. 2006. Teledetección nociones y aplicaciones. Universidad de Salamanca.

Pennington, R. T. 2000. Neotropical Seasonally dry forests and quaternary vegetation changes.

Posada, E. 2012. Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá.

Portuguez, M. 2000. SIG y Técnica de Procesamiento de Imágenes. Perú.

Quijas, S., Schmid, B., Balvanera, P. 2010. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology* 11.

Recavarren, P. 2007. Diagnostico Forestal de la Microcuenca del Amojú. Programa Agroambiental Proyecto Jaén, San Ignacio y Bagua (PEJSIG) & KFW.

Rodríguez, L. (ed.) 1996. Diversidad biológica del Perú. Zonas prioritarias para su conservación. FANPE GTZ-INRENA. Lima. 191 p.

Sabrino, J.A. 2000. Teledetección. Universidad de valencia. Guada impresoras S.L.

Sánchez, I. P. 2010. Procesado de imágenes de satélite: obtención de magnitudes biofísicas de la vegetación. Universidad de Castilla La Mancha. Instituto de desarrollo regional.

Saldaña, M. K. 2010. Determinación del Cambio de Cobertura Vegetal en el Área de Conservación Municipal “Bosques de Huamantanga”, Utilizando Imágenes de Satélite. Tesis Ing. Forestal. Jaén, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de ciencias Agrarias. 76 p.

SIATAC 2015. Sistema de información ambiental territorial de la amazonia colombiana. Disponible en: <http://siatac.co/web/guest/tasadeforestacion>

USGS 2013. Introducción al Procesamiento de las imágenes del satélite Landsat 8.

UAM 2011. Tutorial (nivel básico) para la elaboración de mapas con ArcGIS. Biblioteca y archivo de la universidad autónoma de Madrid. Cartoteca Rafael Mas. Disponible en <http://biblioteca.uam.es/cartoteca>

WWF. 2001. Terrestrial ecoregions. World Wild life Fund. Fondo Mundial para la Naturaleza. Disponible en <http://worldwildlife.org/wildworld/profiles/>

Zorogastúa, C.P; Quiroz, G.R; Garatuza, P.J. 2011. Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura – Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

Zuñiga, C. 2010. Opciones tecnológicas para la trazabilidad. Organización internacional de maderas tropicales (ITTO).

ANEXO

Anexo 1. Fotos para las clases de uso de la tierra



Coordenadas

Este: 751131

Norte: 9369918

Altitud: 599

Descripción

Vegetación arbustiva/
herbácea



Coordenadas

Este: 752437

Norte: 9370448

Altitud: 570

Descripción

Vegetación arbustiva/
herbácea



Coordenadas

Este: 755684

Norte: 9368539

Altitud: 510

Descripción

Arbustales

**Coordenadas**

Este: 755630

Norte: 9367442

Altitud: 499

Descripción

Arbustales

**Coordenadas**

Este: 740026

Norte: 9374236

Altitud: 1432

Descripción

Mosaico de cultivos y espacios naturales, cultivo de café y plátano

**Coordenadas**

Este: 740340

Norte: 9374377

Altitud: 1330

Descripción

Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)

**Coordenadas**

Este: 747510

Norte: 9375738

Altitud: 644

Descripción

Bosque abierto bajo con especies entre 5 – 15 metros

**Coordenadas**

Este: 749080

Norte: 9380199

Altitud: 734

Descripción

Bosque abierto bajo con especies entre 5 – 15 metros

**Coordenadas**

Este: 745960

Norte: 9366145

Altitud: 1045

Descripción

Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)

**Coordenadas**

Este: 745940

Norte: 9365713

Altitud: 885

Descripción

Degradación del bosque -
Ladrilleras

**Coordenadas**

Este: 745482

Norte: 9368742

Altitud: 711

Descripción

Cultivos transitorios de
arroz

**Coordenadas**

Este: 760350

Norte: 9373464

Altitud: 409

Descripción

Rio y áreas arenosas

**Coordenadas**

Este: 728282

Norte: 9370379

Altitud: 2072

Descripción

Bosque denso alto, área del
Bosque Huamantanga

Anexo 2. Categorías de la clasificación Corine Land Cover Adaptada para Perú.

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Definición a nivel II (IDEAM 2010)
1. Áreas Artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo 1.1.2. Tejido urbano discontinuo	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.
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas industriales o comerciales 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 1.2.3. Áreas portuarias 1.2.4. Aeropuertos 1.2.5. Obras hidráulicas 1.2.6. Infraestructura petrolera	Comprende las áreas cubiertas por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad.
	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	Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras e hidrocarburíferas, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen. (Incluye colas y desmontes).
	1.4. Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Áreas verdes urbanas 1.4.2. Instalaciones recreativas	Comprende las áreas verdes localizadas en las zonas urbanas, sobre las cuales se desarrollan actividades comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, donde los diferentes usos del suelo no requieren de infraestructura construida apreciable. En general, estas áreas verdes son el resultado de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro de la ciudad.
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	2.1.1 Cultivos Transitorios	Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores a cielo abierto.
	2.2 Cultivos permanentes	2.2.1 Cultivos permanentes	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 de caña, los cultivos de herbáceas como plátano y banano; los cultivos arbustivos como café y cacao; y los cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales.
	2.3 Pastos		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. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace.
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos 2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos 2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales 2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	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

		2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	tenencia de la tierra 70% intervenido en la UMM. Si él % es menor, la cobertura continua define a la matriz.	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	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 3.1.6. Bosque ripario	Altura mayor a 5m. Cobertura mayor a 10%. Umbral entre denso y abierto: 70% de cobertura. Los bosques riparios y otros ecológicamente discernibles entrarían como nivel 4. Se consideran excepciones importantes definidas por restricciones bioclimáticas y biogeográficas (particularmente en Perú y Bolivia), como los bosques de <i>Polylepis</i> o <i>Prosopis</i> .	
	3.2 Bosques plantados	3.2.1. Plantación forestal	Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal		Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).
		3.3.2 Arbustal		Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 2 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001).
		3.3.3 Vegetación secundaria o en transición		Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.
		3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea		Comprende los territorios cubiertos por una mezcla de vegetación arbustiva y herbácea, desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos.
		3.3.5 Arbustal / área intervenida		
		3.3.6 Herbazal / área intervenida		
		3.3.7 Arbustal-Herbazal/área intervenida		
	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		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, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.
4. Áreas húmedas	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	Las áreas húmedas hacen referencia a los diferentes tipos de zonas inundables, pantanos y terrenos anegadizos en los cuales el nivel freático está a nivel del suelo en forma temporal o permanente.	

	4.2 Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros 4.2.2. Salitral 4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar	Sobre las zonas costeras se diferenciaron las zonas de pantanos litorales y las áreas que presentan procesos de inundación relacionados con la marea.
5. Superficies de Agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos (50 m) 5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes 5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales 5.1.4. Canales 5.1.5. Cuerpos de agua artificiales	Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares. Las aguas continentales son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce (no salina), embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales.
	5.2 Aguas costeras	5.2.1. Lagunas costeras 5.2.2. Mares y océanos 5.2.3. Estanques para acuicultura marina	

Fuente: Clasificación de Cobertura y Uso de la Tierra, utilizando Imágenes Satelitales Landsat como herramienta para el Ordenamiento Territorial-MINAM 2012

Anexo 3. Descripción de las categorías de la clasificación CLC para el área de la Cuenca Amojú.

Nivel III	Definición a nivel II (IDEAM 2010)
1.1.1. Tejido urbano continuo	Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más del 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano. La superficie de la unidad debe ser superior a cinco hectáreas.
2.1.1. Cultivos transitorios	Son las tierras ocupadas por cultivos transitorios no incluidos en los grupos de cereales, oleaginosos, leguminosas, hortalizas y tubérculos considerados en esta leyenda.
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	Corresponde a las superficies ocupadas principalmente por cultivos en combinación con espacios naturales, donde el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. En esta unidad, los espacios naturales se presentan como pequeños parches o relictos que se distribuyen en forma irregular y heterogénea, a veces entremezclada con las áreas de cultivos, dificultando su diferenciación. Las áreas de cultivos representan entre 30% y 70% de la superficie total de la unidad. Los parches y residuos de espacios naturales están conformados por aquellas áreas cubiertas por relictos de bosque, arbustales, bosque de galería y/o ripario, vegetación secundaria o en transición, zonas pantanosas u otras áreas no intervenidas o poco transformadas que permanecen en estado natural o casi natural.
3.1.2. Bosque abierto bajo	Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros e inferior a 15 metros, y cuya área de cobertura arbórea representa entre 30% y 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales.
3.1.3. Bosque denso alto	Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, y que en promedio presentan una altura del dosel superior a los 15 metros.
3.3.2. Arbustal	Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001).

3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	<p>Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.</p> <p>Para la leyenda de CORINE Land Cover adaptada para Colombia, en esta clase se incluyen otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de bajo porte.</p> <p>Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Quer, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).</p>
3.4.1. Áreas arenosas naturales	<p>Son terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal ralo y bajo. Se encuentran conformando playas litorales, playas de ríos, bancos de arena de los ríos y campos de dunas. También se incluyen las superficies conformadas por terrenos cubiertos por arenas, limos o guijarros ubicados en zonas planas de los ambientes litoral y continental, que actualmente no están asociadas con la actividad de los ríos, el mar o el viento.</p>
3.4.3. Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)	<p>Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas</p>
5.1.1. Ríos	<p>Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río.</p>

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Determinación de cambio de cobertura 2001 – 2013 del bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú- Jaén, utilizando imágenes satelitales

Determination of change of cover 2001 - 2013 of the seasonally dry tropical forest of the Amojú - Jaen basin, using satellite imagery

*Oblitas Vásquez Cinthia Tatiana*¹ (ctuoblitas@gmail.com).

*Pérez Hurtado German*² (gperez@unc.edu.pe). Profesor

¹ Graduando, Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca. Sede Jaén – Perú.

² Docente, Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Cajamarca. Sede Jaén – Perú.

Resumen

La investigación se hizo con el propósito de determinar el cambio de cobertura del bosque tropical estacionalmente seco (BTES) de la cuenca Amojú – Jaén utilizando imágenes satelitales, periodo 2001 – 2013. La información y metodología utilizada para la generación de mapas temáticos de cobertura y uso de la tierra se fundamenta en el sistema de clasificación Corine Land Cover (CLC), propuesta adaptada por el Ministerio del Ambiente (MINAM 2012), utilizando imágenes satelitales Landsat y modelo digital de elevación de 30 m para desarrollar los análisis de indicadores complementarios de vegetación y topográficos de acuerdo a la aplicación de los protocolos marco de interpretación empleando segmentación y clasificación supervisada con Random Forest. El área total de la cuenca Amojú es de 42 733.2656 hectáreas, en la cual se identificaron 3 clases de cobertura y uso de la tierra según la metodología de CLC para el BTES; bosque abierto bajo 4561.782 ha (10.68 %), arbustal 324.7954 ha (0.76 %) y vegetación arbustiva / herbácea 11 679.3469 ha (27.33 %). El área cubierta por el bosque tropical estacionalmente seco al año 2001 fue de 18 718.6726 ha, con una disminución de 2152.7483 ha al año 2013. La deforestación de los BTES en la cuenca Amojú en el periodo 2001 – 2013 fue de 179.4 ha/año.

Palabras clave: cobertura vegetal, bosque tropical estacionalmente seco, cuenca Amojú, imágenes satelitales.

Abstract

The research was done with the purpose of determining the change of coverage of the seasonally dry tropical forest (BTES) of the Amojú - Jaen basin using satellite images, period 2001 - 2013. The information and methodology used for the generation of thematic coverage maps and Land use is based on the Corine Land Cover classification system (CLC), a proposal adapted by the Ministry of the Environment (MINAM 2012), using Landsat satellite imagery and a 30 m digital elevation model to develop the analysis of complementary indicators of vegetation and topography according to the application of the framework protocols of interpretation using segmentation and classification supervised with Random Forest. The total area of the Amojú basin is 42 733.2656 hectares, in which 3 classes of land cover and use were identified according to the CLC methodology for the BTES; Forest open under 4561.782 ha (10.68 %), shrub 324.7954 ha (0.76 %) and shrub / herbaceous vegetation 11 679.3469 ha (27.33 %). The area covered by the seasonally dry tropical forest in 2001 was 18 718.6726 ha, with a decrease of 2152,7483 ha by 2013. The deforestation of the BUEs in the Amojú basin in the period 2001-2013 was 179.4 ha / year.

Key words: Vegetation cover, seasonally dry tropical forest, Amojú basin, satellite images.

INTRODUCCIÓN

Según el Mapa Forestal del Perú (INRENA 1995), el bosque seco abarca un área de 39 451 km² (3,07 % de la superficie del territorio peruano), con mayor extensión en los departamentos de Lambayeque, Piura y Tumbes. El bosque tropical estacionalmente seco del distrito de Jaén (Marcelo *et al.* 2007), reporta un total de 29 especies endémicas de ocho sectores en áreas no mayores de cuatro hectáreas cada una, y los considera como los bosques con valores más altos en endemismos para los BTES (Bosques Tropicales Estacionalmente Secos) del norte del Perú y sur occidente de Ecuador.

Bridgewater *et al.* (1999), mencionan que durante los últimos años los bosques secos del Norte del Perú en Cajamarca y Amazonas, notablemente en el valle del Marañón, han sido ocupados progresivamente por cientos de familias, quienes al encontrar valles fértiles los han intervenido y destruido para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas. Con el transcurrir de los años se ha producido una alta demanda por áreas fértiles para instalar cultivos de arroz, cacao y frutales, así como, de un número considerable de especies leñosas utilizadas como material combustible y otras para la construcción de viviendas, que han propiciado la destrucción de la vegetación, quedando bosques relictuales que en la actualidad se encuentran seriamente amenazados y que necesitan urgentemente ser documentados. La presencia de altos niveles de endemismos, describe los riesgos potenciales de extinción por la influencia antrópica. Los BTES de la provincia de Jaén actualmente poseen un bajo potencial de especies forestales deseables por ser objeto de extracción selectiva de madera, realizada por el hombre cuyos productos generalmente los utilizan como energía, modificándose su medio natural por la erosión hídrica y eólica y otras alteraciones que se han agravado por las características climáticas, generándose desertificación con extinción de la biodiversidad.

Con el presente trabajo se busca determinar el cambio de cobertura del área de la cuenca Amojú del distrito de Jaén utilizando técnicas de teledetección y herramientas de los sistemas de información geográfica, por lo que el objetivo general fue determinar el cambio de cobertura a través del análisis multitemporal en el periodo 2001 – 2013 del bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú- Jaén, utilizando imágenes satelitales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La cuenca del Amojú (Mapa 1) se encuentra en los distritos de Jaén, Bellavista y las Pirias, provincia de Jaén, región Cajamarca con una extensión de 427.33 km². El distrito de Jaén limita por el norte con los distritos de Huabal, Las Pirias y Bellavista, por el sureste y sur con la provincia de Cutervo, separada por los ríos Huancabamba - Chamaya, por el oeste con los distritos de Colasay y Chontalí, por el noroeste con el distrito de San José del Alto y al noreste el distrito de Bellavista. Su capital la ciudad de Jaén está situada a 5°42' Latitud Sur y 78°42' Longitud Oeste, con una elevación de 729 msnm (Recavarren 2007).

Mapa 1. Ubicación geográfica del área de estudio – Cuenca Amojú de Jaén



Materiales

Modelo digital de elevación (“DEM”) con resolución de 30 metros. Imágenes satelitales indicadas en la Tabla 1, y los softwares Envi, ArcGis, Erdas y PCI Geomatic.

Tabla 1. Descripción de las imágenes descargadas

Satélite	Fecha	Sensor	Escena
Landsat_7	2001-08-24	ETM	009/064
Landsat_5	2007-08-01	TM	009/064
Landsat_8	2013-09-18	OLI_TIRS	009/064

Metodología

La determinación de la cobertura y uso de la tierra en el bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú, se fundamenta en el empleo del sistema de clasificación CORÍNE Land Cover (CLC), propuesta adaptada para el Perú hasta el nivel III (Tabla 2), desarrollado por el Ministerio del Ambiente (MINAM 2012), utilizando métodos basados en el análisis e interpretación de las coberturas a través de

imágenes de satélite Landsat y modelo digital de elevación con resolución espacial de 30 m, para desarrollar los análisis de indicadores complementarios de vegetación y topográficos de acuerdo a la aplicación de los protocolos marco de interpretación empleando segmentación y clasificación supervisada con Random Forest, el cual presenta subprotocolos de áreas de referencia, generación de información complementaria, clasificación, validación y levantamiento de información de campo (Figura 1).

Protocolos:

- Protocolo de Ortorectificación
- Protocolo de Reconocimiento de la escena
- Protocolo de Segmentación
- Protocolo de Generación de Información Complementaria
- Protocolo de Clasificación
- Protocolo de Generalización
- Protocolo de Validación
- Protocolo de Campo

Con los cuales se generaron los diferentes mapas de cobertura y uso de la tierra, para el periodo 2001, 2007 y 2013.

La interpretación sobre imagen de referencia fue del satélite Landsat y la unidad mínima de mapeo cartografiado, fue de 25 ha y en algunos casos especiales de 5 ha.

El Sistema geodésico de referencia utilizado es WGS84 y el Sistema cartográfico de representación UTM es la zona 17 sur.

Tabla 2. Esquema Corine Land Cover adaptada para Perú presentes en la cuenca Amojú

Nivel I	Nivel II	Nivel III	
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto bajo 3.1.3. Bosque denso alto	
	3.3. Área con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal 3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	
	3.4 Área sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales	3.4.3. Tierras desnudas (incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas)
		5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos

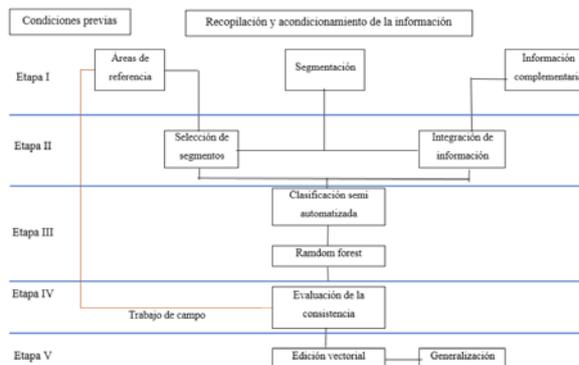


Figura 1. Esquema de las etapas y procesos de la metodología empleada para la representación cartográfica

RESULTADOS Y DISCUSION

En el estudio de cambio de cobertura realizado en la cuenca Amojú de 42 733.2656 hectáreas, de las 10 clases de cobertura vegetal determinadas en toda el área, solo 3 corresponden al BTES y 7 a otros tipos de cobertura, tal como se detallan a continuación.

Tejido urbano continuo (1.1.1)

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 continuo que son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente. Este tipo de categoría abarca una superficie de 984.6986 hectáreas.

Cultivos transitorios (2.1.1)

Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser de solo unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz y arroz), los tubérculos, la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores a cielo abierto. Este tipo de categoría abarca una superficie de 3966.6042 hectáreas.

Mosaico de cultivos y espacios naturales (2.4.5)

El mosaico de cultivos y espacios naturales, corresponde a las superficies ocupadas principalmente por cultivos en combinación con espacios naturales, donde el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de

distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. En esta unidad, los espacios naturales se presentan como pequeños parches o relictos que se distribuyen en forma irregular y heterogénea, a veces entremezclada con las áreas de cultivos, dificultando su diferenciación. Este tipo de categoría abarca una superficie de 12195.1182 hectáreas

Bosque abierto bajo (3.1.2)

El Bosque abierto bajo corresponde a una cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros e inferior a 15 metros. Este tipo de categoría abarca una superficie de 4561.782 hectáreas.

Bosque denso alto (3.1.3)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, y que en promedio presentan una altura del dosel superior a los 15 metros. Este tipo de categoría abarca una superficie de 4094.8637 hectáreas.

Las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.

Arbustal (3.3.2)

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta con una altura entre 0.5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO 2001). Este tipo de categoría abarca una superficie de 324.7954 hectáreas

Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4)

Comprende los territorios cubiertos por una mezcla de vegetación arbustiva y herbácea, desarrolladas en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Este tipo de categoría abarca una superficie de 11679.3469 hectáreas

Áreas arenosas naturales (3.4.1)

Son terrenos bajos y planos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de

vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal ralo y bajo. Se encuentran conformando playas litorales, playas de ríos, bancos de arena de los ríos y campos de dunas. Este tipo de categoría abarca una superficie de 121.7711 hectáreas

Tierras desnudas, incluyendo áreas erosionadas naturales y degradadas (3.4.3)

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Este tipo de categoría, abarca una superficie de 4737.7378 hectáreas

Las aguas continentales son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares.

Ríos (5.1.1)

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Se considera como unidad mínima cartografiable aquellos ríos que presenten un ancho del cauce mayor o igual a 50 metros. Este tipo de categoría abarca una superficie de 66.5477 hectáreas

Cobertura vegetal y ocupación del suelo de los años 2001, 2007 y 2013

Tal como se puede apreciar, la leyenda que acompaña a los mapas es el resultado de un proceso realizado con la clasificación de la cobertura y uso de la tierra de acuerdo a la metodología Corine Land Cover, ajustando las características descritas a las formaciones existentes en el área de la cuenca Amojú, encontrándose 10 categorías dentro del área de estudio (Tabla 3 y Figura 2).

Con respecto al BTES existente tenemos al bosque abierto bajo (3.1.2), arbustal (3.3.2), vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4) que son los nombres que se ajustan a la leyenda de CLC (Tabla 4 y Figura 3 y 4).

Tabla 3. Cobertura y uso de la tierra en el área de la cuenca Amojú

Cobertura y uso de la tierra				2001		2007		2013	
I	II	III		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	1.1	1.1.1		534.7315	1.25	642.5188	1.50	984.6986	2.30
2	2.1	2.1.1		3803.8387	8.90	3648.7951	8.54	3966.6042	9.28
	2.4	2.4.5		10 611.0025	24.83	12446.9811	29.13	12195.1182	28.54
	3.1	3.1.2		10094.8427	23.62	9955.2177	23.30	4561.782	10.68
3	3.1	3.1.3		4849.3605	11.35	4431.6789	10.37	4094.8637	9.58
	3.3	3.3.2		323.4021	0.76	156.1925	0.37	324.7954	0.76
	3.3	3.3.4		8300.4278	19.42	6772.8392	15.85	11679.3469	27.33
	3.4	3.4.1		85.353	0.20	131.1674	0.31	121.7711	0.28
	3.4	3.4.3		4058.027	9.50	4461.5988	10.44	4737.7378	11.09
5	5.1	5.1.1		72.2798	0.17	86.2761	0.20	66.5477	0.16
TOTAL				42733.2656	100.00	42733.2656	100.00	42733.2656	100.00

En el área de la cuenca Amojú la categoría predominante en los años 2001 – 2013 es mosaico de cultivos y espacios naturales con una extensión de 12 195.1182 ha (Figura 2).

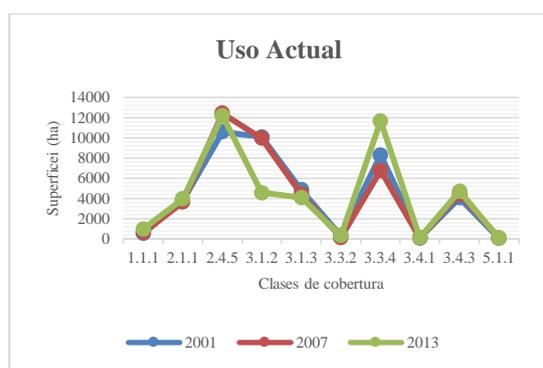


Figura 2. Uso actual de la cuenca Amojú para los años 2001, 2007 y 2013

Por otro lado los BTES cubrían un área aproximada de 18 000 ha para el año 2001 que ha ido disminuyendo en el transcurso de los años. El aumento de áreas desboscadas convertidas para uso agrícola, la presencia de áreas con vegetación secundaria es decir purma, y el crecimiento de la zona urbana y entre otras actividades asociadas a la extracción de materiales para la fabricación de ladrillo, han contribuido en el descenso de superficie propia de BTES.

Tabla 4. Área y porcentaje del BTES en la cuenca Amojú

Clases	2001		2007		2013	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
3.1.2	10094.8427	53.93	9955.2177	58.96	4561.782	27.54
3.3.2	323.4021	1.73	156.1925	0.93	324.7954	1.96
3.3.4	8300.4278	44.34	6772.8392	40.11	11679.3469	70.50
Total	18718.6726	100	16884.2494	100	16565.9243	100

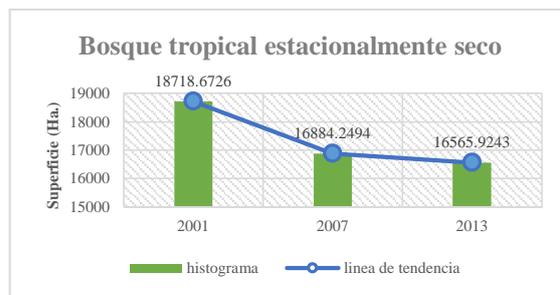


Figura 3. Representación de área cubierta por el bosque tropical estacionalmente seco de la cuenca Amojú para los años 2001, 2007 y 2013

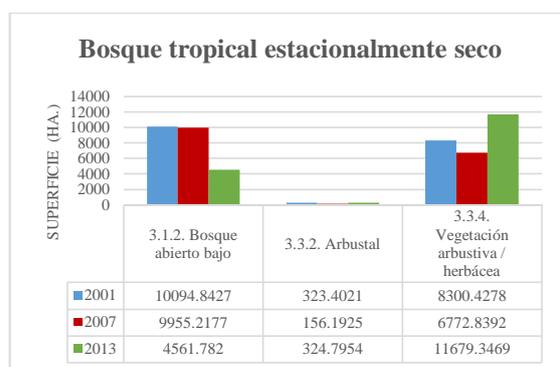


Figura 4. Resultado de la superficie cubierta por las diferentes categorías del BTES en los años 2001, 2007 y 2013

Análisis de los cambios de los BTES

El análisis de cambios se realizó con los mapas de coberturas correspondientes a los años 2001, 2007 y 2013. En este sentido los resultados destacan los cambios ocurridos en 12 años alternados cada 6 años. El área correspondiente a los BTES ha descendido en el periodo 2001 – 2007 en 1834.4232 ha, como también en los años 2007 – 2013 con 318.3251 ha, totalizando 2152.7483 ha, desde el año 2001 – 2013 (Tabla 5 y Figura 5).

Como se puede observar en la Tabla 5, el área del bosque tropical estacionalmente seco paso de un 43.80 % en el 2001, a un 38.77 % en el 2013 del total del área de la cuenca.

Tabla 5. Persistencias y cambios en hectáreas del bosque tropical estacionalmente seco en la cuenca Amojú.

Clases	Área (ha) 2001	Persiste	Cambio	Área (ha) 2007	Persiste	Cambio	Área (ha) 2013
3.1.2	10094.84	9955.21	-139.62	9955.21	4561.782	-5393.43	4561.78
3.3.2	323.40	156.19	-167.20	156.19	156.19	168.60	324.79
3.3.4	8300.42	6772.83	-1527.58	6772.83	6772.83	4906.50	11679.34
Total (ha)	18718.67	16884.24	-1834.42	16884.24	11490.81	-318.32	16565.92
%	43.80			39.51			38.77

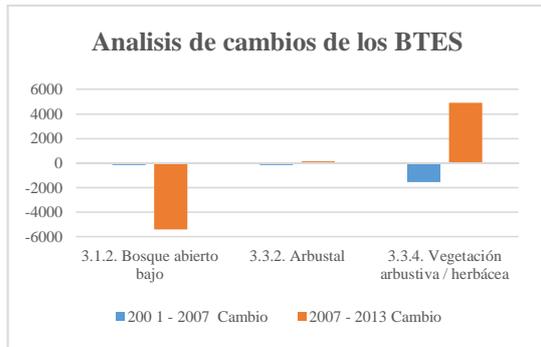


Figura 5. Resultado del análisis de cambios por las diferentes categorías del BTES en los periodos 2001-2007 y 2007-2013

Bosque abierto bajo (3.1.2)

El área del bosque seco con el transcurso de los años ha sufrido una disminución de su área, tanto por erosión, como por la intervención humana, quien ha realizado cambios de uso de la tierra convirtiéndolas en áreas productoras de cultivos; tales como: maíz, yuca, arroz y piña (Figura 6).

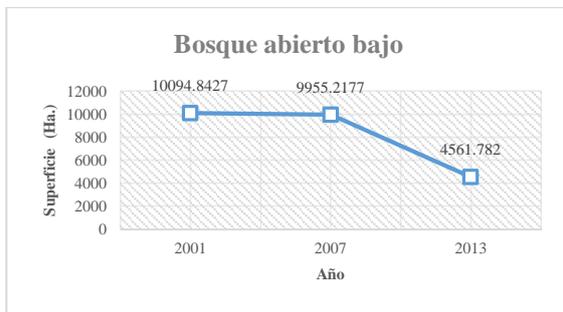


Figura 6. Bosque abierto bajo

Arbustal (3.3.2)

Los arbustales en el periodo 2001 – 2007 sufrieron un decremento de 167.2096 ha; y un aumento de 168.6029 ha en el periodo 2007 - 2013 (Figura 7).



Figura 7. Arbustal

Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4)

Este tipo de vegetación es una mixtura distribuida de manera dispersa de estrato arbustivo y herbáceo efímero. Del 2001 – 2007 el área de la Vegetación arbustiva / herbácea

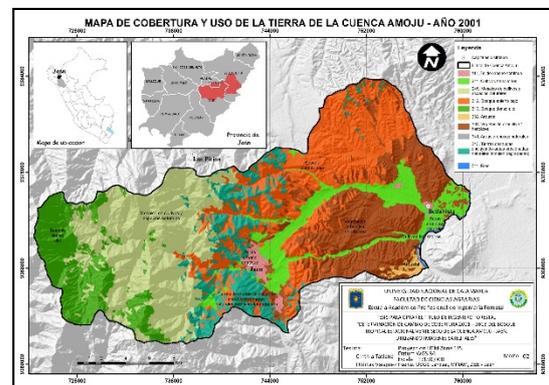
disminuyó en 1527.5886 ha, pero se recuperó en el periodo 2007 – 2013 aumentando en 4906.5077 ha (Figura 8).



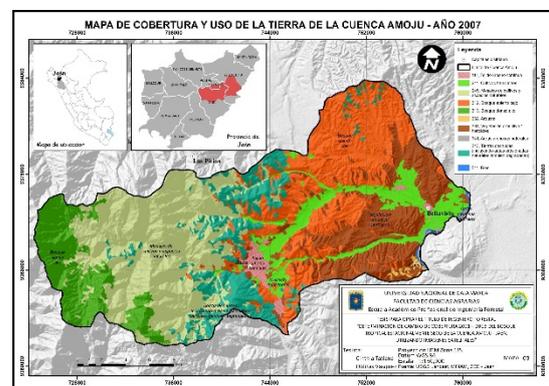
Figura 8. Vegetación arbustiva / herbácea

Elaboración del mapa final

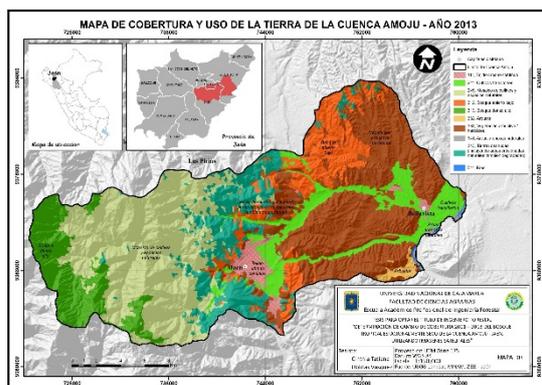
Se prepararon tres mapas de cobertura y uso de la tierra de los años 2001, 2007 y 2013. (Mapa 2, 3 y 4) y sus respectivos niveles de cobertura con sus áreas y porcentajes (Tabla 3)



Mapa 2. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Ajojú – año 2001



Mapa 3. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Ajojú – año 2007



Mapa 4. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la cuenca Amojú – año 2013

Tasa promedio anual de deforestación (TMAD)

Su cálculo se genera a partir de los datos de superficie de bosque tropical estacionalmente seco que no sufrió cambio entre los años 2001 y 2013 (Tabla 6).

Tabla 6. Cobertura y uso de la tierra en el área de la cuenca Amojú

BTES	2001	2013	TMAD
	Área (ha)	Área (ha)	
3.1.2. Bosque abierto bajo	10094.8427	4561.782	461.0883
3.3.2. Arbustal	323.4021	324.7954	-0.1161
3.3.4. Vegetación arbustiva / herbácea	8300.4278	11679.3469	-281.5765
TOTAL	18718.6726	16565.9243	179.3956

$$TMAD_{t1-t2} = (S_{t1} - S_{t2}) / N$$

Donde:

TMAD_{S_{t1-t2}}, es la tasa promedio anual de deforestación de la cuenca Amojú, entre los momentos t1 (2001) y t2 (2013).

S_{t1}, es la superficie cubierta por bosque en la cuenca, en el momento t1 (2001).

S_{t2}, es la superficie cubierta por bosque en la cuenca, en el momento t2 (2013).

N, es la diferencia de años entre el momento t1 y el momento t2, en este caso.

$$TMAD_{2001-2013} = (S_{2001} - S_{2013}) / N$$

$$TMAD_{2001-2013} = (18718.6726 - 16565.9243) / 12$$

$$TMAD_{2001-2013} = 179.3956 \text{ ha/año.}$$

La deforestación total en el BTES desde año 2001 hasta el 2013 ha sido de 179.3956 ha/año.

- La deforestación del Bosque abierto bajo es de 461.0883 ha/año

- En el caso Arbustal hubo una mejora en 0.1161 ha/año y vegetación arbustiva / herbácea en 281.5765 ha/año lo que indica que durante esos años este tipo de cobertura ha ido ganando espacio en otras áreas.

Discusión

Según el Mapa de cobertura vegetal del Perú 2015, los bosques secos registran 36 743 km² que representa el 2,86 % del territorio peruano notable diferencia con los datos recogidos por INRENA en el Mapa Forestal del Perú para el año 1995 que abarcaba un área de 39 451 km² representado por 3,07 % del territorio.

El Bosque Tropical Estacionalmente Seco (BTES) de la cuenca Amojú está comprendido dentro de los bosques secos del marañón que al año 2001 abarcaba un área de 18 718.6726 ha y que al año 2013 solo registra 16 565.9243 ha, lo que representa una reducción del 11.5 % (2152 ha) con respecto al área total del BTES, reflejando así, un porcentaje relativamente menor al reportado por Zorogastua (2010) en la región Piura con el 23 %. Por su parte Olaya (2011) en el estudio multitemporal realizado en la cuenca Amojú, registra una reducción del 11.89 % (2307 ha) del área correspondiente al bosque seco.

En el área evaluada de la cuenca Amojú se observa actividades agrícolas y pecuarias de secano donde se afecta a la vegetación y fauna endémica y se propicia nuevos asentamientos humanos, estos problemas concuerdan con lo reportado por el Instituto de Investigaciones Científicas Sinchi en 2011 (Colombia) quienes indican una tasa de deforestación para bosques y otras coberturas de 153 600 hectáreas durante 5 años dedicadas a actividades de potreros praderizados para ganadería.

En un estudio realizado por Saldaña 2010 sobre cambio de cobertura en el ACM bosque Huamantanga para un periodo de 17 años registra una disminución de 2126 ha para la vegetación natural, 164 ha para cultivos diversos y vegetación natural; y un aumento de 2338 ha pastos cultivados y naturales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se identificaron 3 clases de cobertura y uso de tierra según la metodología de Corine Land Cover para el bosque tropical estacionalmente seco, como se detallan a continuación:

- Bosque abierto bajo (3.1.2.)
- Arbustal (3.3.2.)
- Vegetación arbustiva / herbácea (3.3.4.)

El área total de la cuenca Amojú es de 42 733.2656 hectáreas, de la cual el área cubierta por el BTES para el año 2001 fue de 18 718.6726 ha, con una disminución de 2152.7483 ha al año 2013.

El grado de cobertura para el año 2013 se distribuye en:

- Bosque abierto bajo 4561.782 ha (10.68 %)
- Arbustal 324.7954 ha (0.76 %)
- Vegetación arbustiva / herbácea 11 679.3469 ha (27.33 %).

La deforestación en la cuenca Amojú en el periodo 2001 – 2013 es de 179.3956 ha/año. Sin medidas que aporten a la conservación, tras el avance de la zona urbana y los cambios de uso de la tierra, sin un manejo sostenible podrían ocasionar sucesos tales como erosión, deslizamientos, inundación al dejar desprotegidos estos suelos, e incluso una disminución en el caudal de los ríos afectando en distintas maneras el desarrollo integral de nuestras vidas.

Recomendaciones

Al realizar nuevos estudios de cambio de cobertura con imágenes satelitales se recomienda buscar imágenes con la mínima nubosidad en el área de estudio de preferencia épocas de verano de julio – setiembre, que permita ampliar el área de análisis.

Procesar imágenes de preferencia del mismo sensor, pues sus características son similares en el transcurso del tiempo con respecto al número de bandas, resolución espacial, etc., ofreciendo resultados homogéneos.

Realizar estudios con imágenes satelitales con mayor resolución, para identificar áreas con coberturas a mayor detalle.

Sensibilizar a la población de los servicios ecosistémicos que nos brinda el BTES y de la importancia de gestionar Áreas de Conservación Privada (ACP) que es un trámite gratuito y sin áreas mínimas para su creación, con la finalidad de conservar y proteger la biodiversidad florística, de esta manera preservar el endemismo del bosque tropical estacionalmente seco, sin afectar el área agrícola y habilitando áreas no productivas para expansión.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Bridgewater, S.; R. T. Pennington; C. Reynel; A. Daza & T. D. Pennington. 2003. A preliminary floristic and phytogeographic analysis of the woody flora of seasonally dry forest in northern Peru. *Candollea* 58: 129-148.

Bridgewater, S.; R. T. Pennington; C. Reynel; A. Daza & T. D. Pennington. 2003. A preliminary floristic and phytogeographic analysis of the woody flora of seasonally dry forest in northern Peru. *Candollea* 58: 129-148.

INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 1995. Mapa Forestal del Perú Esc. 1:1 000 000 con guía explicativa.

Marcelo P, J. L.; Reynel, C; Zevallos P.; Bulnes, F; Ojeda, A. 2007. Diversidad, composición florística y endemismos de la vegetación leñosa en los bosques estacionalmente secos alterados del distrito de Jaén, Perú. *Rev. Ecol. Aplic.* 6 (1,2)

MINAM 2012. Clasificación de cobertura y uso de la tierra, utilizando imágenes satelitales Landsat como herramienta para el ordenamiento territorial

Murcia, G.U.G.; Huertas, M.C.; Rodríguez, J.M.; Castellanos, H.O. 2011. Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C., 226 p.

Olaya B, C. Estudio multitemporal para calcular la tasa de deforestación en la cuenca Amojú del distrito de Jaén, departamento de Cajamarca, 2010. Universidad nacional de Cajamarca.

Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO) 2001, Situación de los bosques del mundo 2001.

Recavarren, P. 2007. Diagnostico Forestal de la Microcuenca del Amojú. Programa Agroambiental Proyecto Jaén, San Ignacio y Bagua (PEJSIG) & KFW.

Saldaña, M. K. 2010. Determinación del Cambio de Cobertura Vegetal en el Área de Conservación Municipal “Bosques de Huamantanga”, Utilizando Imágenes de Satélite. Tesis Ing. Forestal. Jaén, Perú. Universidad

Nacional de Cajamarca. Facultad de ciencias Agrarias. 76 p.

Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

Zorogastúa, C.P; Quiroz, G.R; Garatuza, P.J. 2011. Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura – Perú. Departamento Académico de Biología,