

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN EL PERIODO 2006 –  
2018 DEL DISTRITO DANIEL ALOMÍA ROBLES – HUÁNUCO**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO FORESTAL**

Presentado por:

**ELVER CHAHUA MELGAR**

**Tingo María - Perú**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN EL PERIODO 2006 – 2018 DEL  
DISTRITO DANIEL ALOMÍA ROBLES – HUÁNUCO**

**Autor** : Bach. Chahua Melgar, Elver

**Asesor de Tesis** : Ing.M.Sc. Quispe Janampa, David P.

**Programa de Investigación** : Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales.

**Línea de Investigación** : Deforestación y cambio climático

**Eje temático de investigación** : Análisis de la fragmentación de ecosistemas  
Forestales.

**Lugar de Ejecución** : Distrito Daniel Alomía Robles, Huánuco.

**Duración** : Inicio: 28 de agosto 2018  
Fin : 28 de marzo 2019

**Financiamiento** : FDEU : No  
: Propio : S/.5,821.00  
: Otros : No

## DEDICATORIA

A Dios que me dio la oportunidad de vivir, y me regaló una familia donde pueda apoyarme.

A mis queridos padres: Reynalda Melgar B. y Venancio Chahua R. porque me han dado la vida y estado conmigo en todo momento guiándome hacia la concepción de mis logros, aconsejándome e inculcándome valores y principios desde muy pequeño.

A mi hermano Julio Chahua M. por su apoyo incondicional desde el inicio y hasta el término de este proceso.

A mis hermanas: Elva, Maribel, Janeth; por ser cada uno de ellas mi motivo de superación y participes de hacer realidad de este sueño.

A mis docentes, por compartir sus conocimientos en cada proceso de aprendizaje, por ser mi guía y motivo.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por guiarme en el sendero correcto de la vida, cada día en el transcurso de mi camino e iluminándome en todo lo que realizo en mi convivir diario.

A mi Alma Mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María, por darme la oportunidad de hacer realidad uno de mis anhelos, el sueño de formarme como profesional.

A mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en especial al Departamento Académico de Ciencias Forestales, por impartir sus conocimientos, dando formación con capacidad técnica, profesional y humanística.

Al Ing. M.Sc. David Prudencio Quispe Janampa, asesor del presente trabajo de investigación, por su oportuna y acertada orientación en la ejecución del trabajo.

Al Ing. M.Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, Ing. M.Sc. Warren Ríos García y al Ing. Erle Bustamante Scaglioni, por sus valiosos aportes como jurado del presente trabajo.

A mis hermanos: Julio, Elva, Maribel, Janeth, por su apoyo y por la paciencia que tuvieron conmigo.

A mis amigos y compañeros por su apoyo durante el tiempo de mi vida universitaria; Lins Díaz Meza, Shalle Ramírez Silva, y a todas las personas que en forma directa e indirecta hicieron posible el término del presente trabajo de tesis.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Bosque.....	3
2.2. Deforestación .....	4
2.3. Causas de la deforestación .....	4
2.3.1. Deforestación en el Perú .....	5
2.3.2. Deforestación en Huánuco .....	6
2.4. Teledetección.....	7
2.4.1. Elementos del análisis en la teledetección.....	7
2.4.2. Condiciones de la longitud de onda .....	8
2.5. Imágenes satelitales.....	8
2.6. Misiones espaciales de observación de la Tierra .....	9
2.6.1. El programa espacial Landsat .....	9
2.7. Tratamiento de imágenes satelitales multitemporales .....	12
2.8. Clasificación digital.....	13
2.9. Revalidación de datos .....	14
2.9.1. Medir la confiabilidad del mapa.....	14
2.10. Antecedentes .....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.1. Lugar de ejecución .....	18
3.1.1. Ubicación política y geográfica .....	18

3.1.1.	Fisiografía.....	19
3.1.2.	Hidrografía.....	19
3.1.3.	Clima .....	19
3.1.4.	Zonas de vida .....	19
3.1.5.	Población.....	20
3.2.	Materiales, equipos y herramientas.....	20
3.2.1.1.	Materiales y equipos de gabinete .....	20
3.2.2.	Materiales y equipos de campo .....	20
3.3.	Metodología .....	21
3.3.1.	Cálculo de la superficie deforestada al 2018 en el distrito Daniel Alomia Robles a partir de la clasificación de imágenes Sentinel 2A .....	21
3.3.2.	Estimación de las tasas de deforestación en los periodos: 2006 – 2010, 2010 – 2014 y 2014 – 2018.....	23
3.3.3.	Exactitud temática del mapa de deforestación 2018 del distrito Daniel Alomia Robles .....	24
IV.	RESULTADOS .....	28
4.1.	Superficie deforestada al 2018 en el distrito Daniel Alomía Robles .	28
4.2.	Tasas de deforestación 2006 - 2010, 2010 - 2014 y 2014 - 2018....	33
4.3.	Exactitud temática del mapa de deforestación al 2018.....	35
V.	DISCUSIÓN .....	37
5.1.	Superficie deforestada al 2018 del distrito Daniel Alomía Robles ....	37
5.2.	De las tasas de deforestación 2006 - 2010, 2010 - 2014 y 2014 - 2018.....	38

5.3. De la exactitud temática del mapa de coberturas 2018 .....	38
VI. CONCLUSIONES .....	40
VII. RECOMENDACIONES.....	41
VIII. ABSTRACT .....	42
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
ANEXO.....	47

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Descripción de las bandas del Landsat 8.....	10
2. Descripción de las bandas del Sentinel 2A .....	11
3. Valores de Kappa de acuerdo al grado de concordancia .....	14
4. Categorías de clasificación de la imagen .....	22
5. Superficie (ha) de clases y tasa anual de deforestación (ha/año). .....	33
6. Matriz de confusión para la validación con imagen .....	35
7. Matriz de confusión para la validación en campo .....	36
8. Tabla de atributos de los puntos verificados en la Imagen SPOT 6. ....	48
9. Tabla de atributos de los puntos verificados en campo.....	49
10. Resumen estadístico en SPSS de la validación en la Imagen SPOT .....	50
11. Resumen estadístico en SPSS de validación en campo .....	51

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura	Página
1. Deforestación (ha) periodo 2001 - 2017 por departamento. ....	5
2. Deforestación (ha) por año en el departamento Huánuco. ....	7
3. Ubicación política del distrito Daniel Alomía Robles. ....	18
4. Superficie (ha) por clase para el 2018. ....	28
5. Mapa de deforestación al 2018 en el distrito Daniel Alomía Robles ....	29
6. Cobertura boscosa con bosque secundario ....	30
7. Clase no bosque, arrozal en zona de planicie del distrito. ....	31
8. Clase hidrografía: río Tulumayo. ....	32
9. Deforestación 2006 al 2018 en el distrito Daniel Alomía Robles. ....	34
10. Zona de ex cocal perteneciente a la clase no bosque. ....	52
11. Cultivo de piña perteneciente a la clase no bosque. ....	52
12. Zona con bosque secundario. ....	53
13. Verificación de puntos en campo ....	53
14. Mapa de verificación de puntos en Imagen SPOT 6 ....	54
15. Mapa de Verificación de puntos en campo. ....	55
16. Mapa de deforestación 2006. ....	56
17. Mapa de deforestación 2010. ....	57
18. Mapa de deforestación 2014. ....	58

## RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló en el distrito Daniel Alomía Robles, provincia Leoncio Prado y región Huánuco. Donde se realizó un análisis de la deforestación durante el período 2006 – 2018 mediante una clasificación supervisada de imágenes satelitales Sentinel 2A, Landsat 5 TM y Landsat 8. Los objetivos fueron: calcular la superficie deforestada al año 2018, estimar la tasa de deforestación anual en los periodos 2006 - 2010, 2010 - 2014 y 2014 – 2018 e indicar la exactitud temática del mapa de deforestación al 2018. Como resultado se determinó que la superficie deforestada al 2018 es de 8,366.33 ha, lo que representa el 54.91% del total del distrito, mientras que la cobertura boscosa alcanzó 6,056.91 ha. La mayor tasa anual de deforestación fue en el periodo 2014 – 2018 con una pérdida de cobertura forestal de 176.8 ha/año, seguido del periodo 2006 – 2010 con 140.4 ha/año y finalmente 2010 – 2014 con 39.78 ha/año. Asimismo, respecto a la exactitud temática del mapa de deforestación al 2018 de acuerdo al Protocolo propuesto por el MINAM, se consiguió una exactitud global y un valor de Kappa de 87.8% y 0.75 respectivamente. Para la validación con imagen SPOT 6 y para la validación en campo la exactitud global fue 89.5% con un valor de Kappa de 0.78. Por ello se concluye, para ambos casos el grado de concordancia es considerable para el mapa de deforestación al 2018 del distrito Daniel Alomia Robles.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en la cuenca del Alto Huallaga las actividades destinadas a la ampliación de la frontera agrícola han contribuido con la reducción de las áreas boscosas, en especial en el distrito Daniel Alomía Robles, por lo que es de imperiosa necesidad que estos procesos de variación de cobertura boscosa a bosque sin cobertura sean monitoreados periódica y sistemáticamente, con la finalidad de generar información espacial que permitan proponer alternativas de solución a esta problemática ambiental.

Hoy en día, utilizando herramientas informáticas es posible evaluar la pérdida de bosques, mediante el cálculo de tasas de deforestación, que permiten determinar la velocidad para sustituir los bosques naturales por cultivos agrícolas, pastos, construcciones entre otros. Los equipos tecnológicos a los que nos referimos son a las herramientas de información geográfica (SIG) y teledetección, que nos permiten la recolección, procesado y modelado de la información forestal, hidrológica, ambiental, minera y demás recursos naturales.

Actualmente, a pesar de la creciente presión antrópica a los que son sometidos los ecosistemas boscosos no se cuenta con información espacial y temporal a nivel distrital con respecto a la deforestación en la región Huánuco, es por ello que el trabajo de investigación pretende responder la siguiente interrogante:

¿Cuál será la tasa de deforestación en el periodo de doce años y la cobertura boscosa para el año 2018, en el distrito Daniel Alomía Robles?

Frente a este contexto, se planteó los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

- Analizar la deforestación del distrito Daniel Alomías Robles, en el periodo 2006 - 2018 mediante el uso de imágenes satelitales.

### **Objetivos específicos**

- Calcular la superficie deforestada al 2018 en el distrito “Daniel Alomía Robles” a partir de la clasificación de imágenes Sentinel 2 A.
- Estimar la tasa de deforestación en los periodos 2006 – 2010, 2010 – 2014 y 2014 - 2018.
- Indicar la exactitud temática del mapa de deforestación al 2018, del distrito Daniel Alomia Robles

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Bosque

Se entiende al bosque como el lugar donde interactúan y habitan diferentes conjuntos de individuos arbóreos en cualquier etapa de su vida, que debido a diferentes condiciones del suelo (áridas o semiáridas), el ambiente y el clima la cobertura de copa supera el 10% o el 25% respectivamente. Por lo que, generalmente existen dos tipos: boscaje que ha evolucionado de manera natural sin sufrir ningún tipo de fragmentación, donde se pueden observar la abundancia de árboles maduros con el conjunto de individuos del dosel preferente o imperioso, más conocido como bosque primario y el bosque remanente, que es producto de la recuperación natural, capacidad que están tienen al pasar de áreas donde la abundancia de árboles maduros fue alterada por diferentes actividades del hombre, o las que pudieron ser modificadas en su estado originario a causa de deslizamientos o fallas de la naturaleza (MINAGRI, 2015).

El conjunto de individuos de flora, fauna y seres inertes que se desarrollan en un entorno arbóreo y tienen una relación muy compleja. Así mismo, las que se encuentran habitando en áreas por encima de media hectárea predominado por árboles que alcanzan valores superiores a dos metros de altura o que sean aptos de conseguir este valor “in situ” logrando así una cubierta de copa al 10% es llamado “bosque” (MINAM, 2015).

## **2.2. Deforestación**

Es el cambio del bosque para un uso heterogéneo de la tierra o la disminución de la densidad de copa de los árboles menor al 10%. Por lo tanto, se debe comprender este término como “el cambio prolongado de la cubierta forestal o la metamorfosis del bosque a un estadio diferente; lo que conlleva dedicarlo a una actividad diferente como: la agricultura, ganadería, cultivos ilícitos u otra actividad que involucre la pérdida invariada del bosque con la remoción de su estado natural o remanente”. Las superficies que están en proceso de restauración no se consideran en este concepto, también aquellas que albergan arboles remanentes o áreas sobre los cuales se aplique la administración forestal, por lo general a toda actividad que prolongue la existencia de la cubierta arbórea (FAO, 2005). Ésta, además, es descrita como la destrucción del dosel arbóreo de un bosque a raíz de la intervención antrópica o las distintas fuerzas de la naturaleza (MINAGRI, 2015).

## **2.3. Causas de la deforestación**

El incremento del consumo de alimentos originario de la agricultura, de la ganadería y la fuerte necesidad del combustible en los últimos años para satisfacer las necesidades básicas del hombre, son causantes de la eliminación de la cubierta forestal en países del trópico y subtropicales con valores del 50% y 60%, ocasionando un impacto sobre el cambio climático de la tierra. Se reconoce como “commodities de riesgo para los bosques, a los bienes y las materias primas negociadas en general que se producen en el medio ambiente de bosque tropical, sea directamente dentro de las áreas forestales, o en áreas

que previamente tenían cobertura forestal, y que aquella actividad contribuye considerablemente a la pérdida de la cubierta y la degradación del trópico. Como ejemplo de estas actividades tenemos al cultivo de la soya en Brasil y la palma aceitera en Indonesia”. Del mismo modo, otras de las causas indirectas del cambio de cobertura, son: la natalidad, el incremento exponencial del pueblo, alta necesidad alimenticia, la poca gobernabilidad del sector forestal, estrategias incorrectas implementadas en políticas y las acciones no permitidas de países que tienen bosques tropicales, así como la pobreza (RAUTNER, *et al.*, 2013).

### 2.3.1. Deforestación en el Perú

MINAM (2018) menciona que, las áreas de cubierta forestal perdidas a partir del 2001 hasta el 2017 fue de 2'130,123 ha, lo cual representa una pérdida 125,301.29 ha/año, siendo los más afectados las regiones: San Martín, Loreto, Ucayali, Huánuco y Madre de Dios, en conjunto ascienden el 78.2% del total de deforestación en los últimos 17 años (Figura 1).

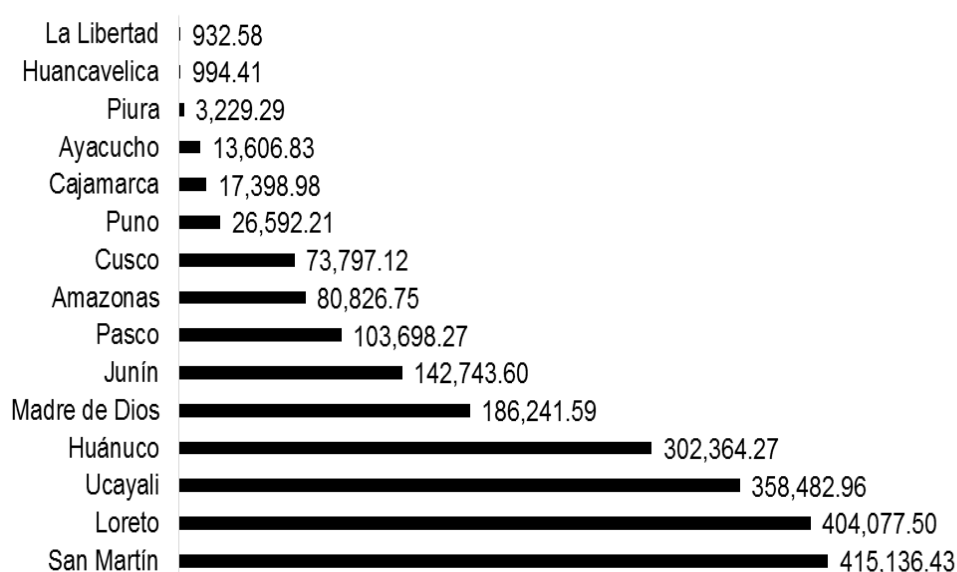


Figura 1. Deforestación (ha) periodo 2001 - 2017 por departamento.

La diversidad de motivos de pérdida en cuanto a la cobertura de bosques en el Perú es diversa. Así como: agricultura migratoria, tala ilegal, plantaciones industriales, cultivos ilegales de coca, entre otros. Pero, detrás de estas actividades que ponen en peligro la biomasa boscosa le sumamos las causas indirectas como: pobreza, densidad poblacional y necesidad de tierras, la economía deficiente, malas políticas económicas, decisiones políticas inadecuadas, corrupción e ilegalidad en el sector forestal y sobre todo la carencia de una educación ambiental activa y eficiente (DANCÉ y SÁENZ, 2013).

### **2.3.2. Deforestación en Huánuco**

Es conocido que, uno de los sectores deficientes que tiene el Perú, es el sector forestal. Mostrando así valores altos de cambio de cubierta forestal en la región Huánuco. Por la precaria oportunidad laboral, la economía local deficiente débilmente proyectados a un horizonte de desarrollo económico estable, son una de las tantas causas de migración interna desde las zonas de sierra hasta la selva con propósitos de aprovechamiento de madera, sembrío de pastos y cultivos agrícolas (CALDERON, 2007).

De acuerdo a estudios y parámetros y en el cambio de cobertura en la Amazonia peruana en el periodo 2001 – 2017, trabajo realizado por el MINAM (2018), la región Huánuco presenta el 14.19% deforestación y una tasa de 13,538 ha/año perdida de bosques en el periodo 2001 – 2008, no obstante; desde el año 2009 – 2017 aumento a 21,562 ha/año, con un reporte mayor de deforestación en el 2014, se muestra en la Figura 2.

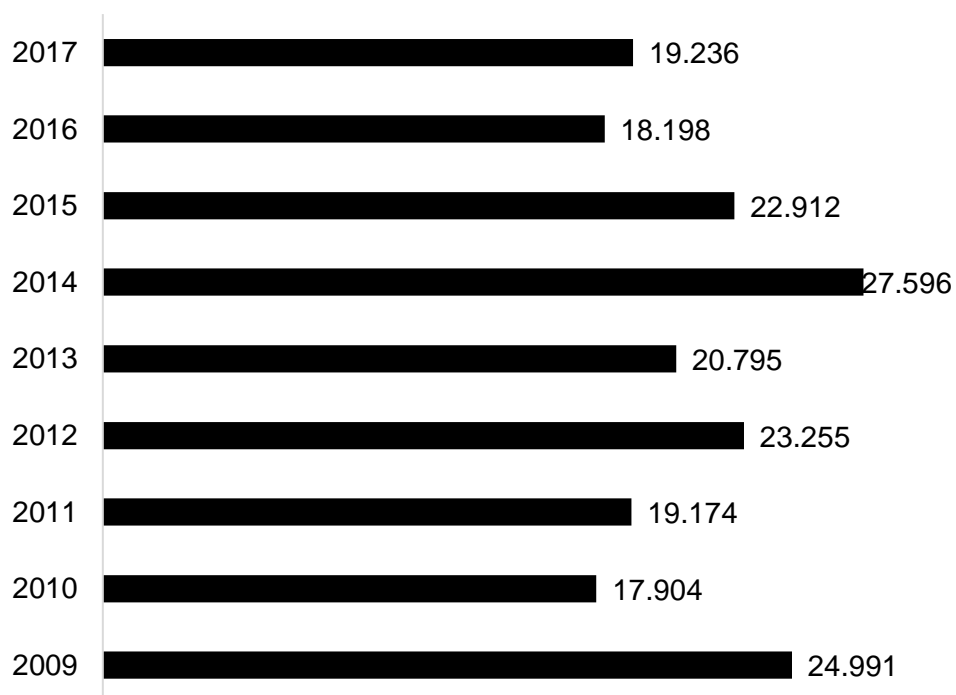


Figura 2. Deforestación (ha) por año en el departamento Huánuco.

## 2.4. Teledetección

Es la ciencia y arte de la obtención, procesamiento y análisis de los datos que son recolectados mediante instrumentos y equipos especializados sobre objetos y fenómenos naturales que ocurren sobre la superficie terrestre. Por consiguiente, este arte se difiere en dos secuencias prácticas: recopilación y observación de datos ( LILLESAND y KIEFER, 1994 ).

### 2.4.1. Elementos del análisis en la teledetección

Esta tiene tres partes fundamentales e indispensables en la teledetección: el sensor, el individuo observado y el movimiento de energía que vincula entre ambos. Este movimiento de energía, puede ser producto del objeto por reflexión solar o por otra diferente que puede ser producido por el propio sensor y objeto de estudio ( CHUVIECO, 1996 ).

### **2.4.2. Condiciones de la longitud de onda**

CHUEVIECO ( 1996 ) menciona que, las diversas condiciones de la “longitud de onda”, que podría dividirse o separarse “en el espectro electromagnético”, se denominan “región espectral o bandas espectrales”, valores que son válidos para reconocer las cualidades y características físicas en un elemento cualesquiera existente en el globo terrestre. Constituye indispensable mencionar que “las longitudes del espectro electromagnético en la percepción remota son: espectro visible (0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ); infrarrojo cercano (IRC, 0.7 a 1.3  $\mu\text{m}$ ); Infrarrojo medio (1.3 a 8  $\mu\text{m}$ ); Infrarrojo lejano o termino (IRT, 8 a 14  $\mu\text{m}$ ); Microondas (M, por encima de 1 mm).”

### **2.5. Imágenes satelitales**

La imagen satelital son producto de la energía del sol irradiada en distintas longitudes de onda que son captadas por los sensores pasivos en el barrido sobre la superficie terrestre. Que son reunidos de acuerdo a sus características (bandas espectrales) en cada uno de los equipos de obtención de datos y teniendo así datos en “matrices digitales de pixeles” que agrupados forman una imagen o también llamados como “raster”. En consecuencia, toda esta metamorfosis tiene un lenguaje de procesamiento nombrados “ND (Nivel digital)” (NASA, 2004).

Estos “raster” ostentan una información de acuerdo al equipo que captan estos datos y estas depende de: “ I) la frecuencia del tiempo con que el satélite pase por el mismo punto en la tierra, dentro de su órbita (R. Temporal);

II) las bandas espectrales que permita captar el sensor (R. Espectral); III) el área real que presenta un pixel en la superficie terrestre (R. Espacial) y IV) la cantidad de niveles digitales (ND) que permita captar el sensor (R. Radiométrica) (CHUVIECO, 2002 ).

## **2.6. Misiones espaciales de observación de la Tierra**

### **2.6.1. El programa espacial Landsat**

El programa Landsat ha cambiado e innovado la cosmovisión del estudio del planeta. Estas diferentes misiones de observación de la Tierra, que se dio inicio a partir de los años 1972, es la más prolongada de la historia y eterniza los cambios, fenómenos y sucesos que se registran sobre la superficie terrestre desde lo alto del espacio. Landsat está programado, también dirigido para recolectar información con la amplia frecuencia sobre el globo terrestre, en diferentes tiempos con una “resolución” mediana lo cual es registrado de la mano de la “NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)”. En los últimos tiempos este se halla en su 8va adaptación conocida como: “*Landsat Data Continuity Mission*”, comúnmente llamado Landsat 8, “este es el octavo satélite de observación de la serie Landsat” con lo que prosigue la recolección y almacenamiento de información de las primeras versiones, formando un futuro inmediato de los satélites de mediana y alta resolución que vigilan la tierra, incrementando su importancia y registrando cambios con mayor detalle a través del tiempo. Este programa aumenta, mejora y no se detiene en el “registro de imágenes multiespectrales”, conservando las virtudes de su antecesor Landsat 7

que fue lanzado al espacio en 1999 y aún está en órbita (ARIZA, 2013). En el Cuadro 1 se detalla las peculiaridades que posee “Landsat 8” con sus 11 bandas.

Cuadro 1. Descripción de las “bandas del Landsat 8”.

Nº de Banda	Descripción de la banda	Rango de longitud de onda (um)	Resolución espacial (m)
1	Aerosol costero	0.435 - 0.451	30 m
2	Azul	0.452 - 0.512	30 m
3	Verde	0.533 - 0.590	30 m
4	Rojo	0.636 - 0.673	30 m
5	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 - 0.879	30 m
6	Infrarrojo de onda corta (SWIR-1)	1.566 - 1.651	30 m
7	Infrarrojo de onda corta (SWIR-2)	2.107 - 2.294	30 m
8	Pancromático	0.503 - 0.676	15 m
9	Cirrus	1.363 - 1.384	30 m
10	Infrarrojo térmico (TIR -1)	10.60 - 11.19	100 m
11	Infrarrojo térmico (TIR -2)	11.50 - 12.51	100 m

Fuente: ARIZA, 2013

### 2.6.2. Programa Copérnico

La agencia europea (ESA), creó el “Programa Copérnico para la observación de la tierra” con el afán del monitoreo espacial en el tiempo, lo cual

proporciona información real y de fácil acceso con un enfoque de la mejora en la gestión del ambiente, para entender y establecer estrategias para aminorar las consecuencias del cambio brusco del clima. Este tiene dentro de sus planes cinco misiones independientemente formada por diversos “satélites”. “la misión Sentinel 2 se basa en una constelación de dos satélites: Sentinel 2A lanzado el 23 de junio de 2015 y Sentinel 2B fue lanzado el 7 de marzo de 2017”. Estos dos satélites entregarán información en tiempo real de todo el globo terrestre con una frecuencia de cinco días de revisita en el Ecuador, como se describe en el siguiente cuadro 2 (BORRÁS *et al.*, 2017).

Cuadro 2. Descripción de las bandas del Sentinel 2A

Nº de Banda	Descripción de la banda	Longitud de onda central (nm)	Ancho de banda (nm)	Resolución Espacial (m)
1	Aerosol costero	442.7	21	60
2	Azul	492.4	66	10
3	Verde	559.8	36	10
4	Rojo	664.6	31	10
5	Visible e infrarrojo cercano VNIR	704.1	15	20
6	Visible e infrarrojo cercano VNIR	740.5	15	20
7	Visible e infrarrojo cercano VNIR	782.8	20	20
8	Infrarrojo cercano NIR	832.8	106	10
8a	Visible e infrarrojo cercano VNIR	864.7	21	20
9	Vapor de agua	945.1	20	60
10	Cirrus	1373.5	31	60
11	Onda corta infrarroja (SWIR)	1613.7	91	20
12	Onda corta infrarroja (SWIR)	2202.4	175	20

Fuente: BORRAS *et al.*, 2017

La misión Sentinel 2 suministra información para la elaboración de productos, como: “mapas de usos del suelo, mapas de cambios a lo largo del tiempo, mapas de riesgo, e imágenes rápidas para prevención de desastres. Igualmente abastece datos para la generación de variables biofísicas como contenido de clorofila entre otros” (BORRÁS *et al.*, 2017).

## **2.7. Tratamiento de imágenes satelitales multitemporales**

Cuando se trabajen con imágenes multitemporales es muy importante realizar las respectivas correcciones antes de realizar cualquier tipo de análisis de los datos (JENSEN, 1996). El desarrollo de “*Image Préprocessing*” está orientado mejorar variaciones “de la obtención de la información y que puede alterar la calidad de los datos recogidos del sensor” ( CHUVIECO, 2002).

### **2.7.1. Conversión de ND a radiancia**

Las correcciones radiométricas, así como también las correcciones atmosféricas tienen como finalidad de transformar la información de “los niveles digitales de la imagen de satélite a valores de reflectancia”. Este proceso involucra modificar primero “los valores de radiancia que son los percibidos por el satélite y que han sido escalados al rango de 0 - 255, por lo que habrá que regresar a sus valores iniciales” ( GARCIA 2006).

### **2.7.2. Corrección atmosférica**

La corrección atmosférica trata de eliminar las distorsiones producidos por la atmosfera ( CHUVIECO, 1996 ).

Los métodos de correcciones atmosféricas suelen estar separados en dos grandes grupos. Los que utilizan modelos numéricos de transferencia radiativa y aquellas que utilizan modelos más simples a través de la sustracción del valor del pixel oscuro (VERMOTE *et al*; 1997)

### **2.7.3. Corrección del sombreado topográfico**

Este proceso mejora la clasificación y la obtención de mejores resultados. Por ello, diferentes autores señalan que la fiabilidad global del proceso al corregir topográficamente aumenta del orden del 3% a 4% (RECONDO *et al*; 2001).

## **2.8. Clasificación digital**

Este trabajo se desarrolla con el proceso de categorizar o agrupar en zonas similares una imagen multi-banda. En conocimientos estadísticos se refiere a disminuir la escala medida ( CHUVIECO, 1996 ). Así mismo, existen: “la clasificación supervisada y no supervisada”, el primero está basado en la trata de información del área con conocimiento previo de la zona y se eligen los ejemplares (ROI) de acuerdo al discernimiento previo del operador para asignarle al cálculo, y la segunda no tiene alguna incidencia referencial del lugar, la búsqueda de semejanzas es automática por el software que se usa en el proceso.

### **2.8.1. Método mínima distancia**

La forma natural para explicar la clasificación “es añadirlo en la más próxima a él, es decir en aquella que reduzca la distancia entre ese pixel y el centroide de clase. Esta distancia no es una distancia geográfica sino espectral

como consecuencia de comparar los niveles digitales de cada pixel con los del centro de las distintas categorías para todas las bandas que intervienen en el análisis o proceso de evaluación de la información” (CHUVIECO, 1996).

## **2.9. Revalidación de datos**

Las técnicas de revisión descriptiva en los trabajos de elaboración de mapas, se han desarrollado desde tiempos mucho tiempo. Pero, “toman mayor realce en los últimos años, y se debe incluir a cualquier estudio, debido a que permite al usuario del mapa valorar su grado de acuerdo con la realidad. Una de las medidas de fiabilidad, consiste en tener áreas test, que permite tener una medida independiente del acuerdo entre el mapa y verdadero-terreno. Esto pasa por muestrear el terreno clasificado a fin de tener medidas necesarias para verificar los resultados” ( CHUVIECO, 1996 ).

### **2.9.1. Medir la confiabilidad del mapa**

Una de las herramientas para medir la confiabilidad del mapa es el Índice de Kappa, que es el resultado de las marginales de la clasificación, como se detalla en el Cuadro 3 (MINAM, 2014).

Cuadro 3. Valores de Kappa de acuerdo al grado de concordancia

Kappa	Grado de concordancia
0.00	Pobre
0.01 - 0.2	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable

---

0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi perfecta

---

Fuente: MINAM, 2014

### **2.9.2. Protocolo de evaluación de exactitud temática**

El Ministerio del Ambiente a través de la Dirección General de Ordenamiento territorial presenta una herramienta elaborado para “la evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación”. Por ello, en la elaboración de este documento fue considerado los estándares internacionales ISO 19113, ISO 19114 e ISO 19138 referente a los principios de calidad, procedimientos y órdenes de la calidad. (MINAM, 2014).

#### **“Etapa 1: validación con imágenes de mayor resolución”**

Para ello, se debe seleccionar el área de referencia, determinar el tamaño de muestra y elegir el método de muestreo adecuado que sea representativo con el área de estudio.

#### **“Etapa 2: Validación en Campo”**

Esta etapa comprende en verificar la concordancia de cada uno de las clases establecidas e identificadas en el trabajo resultante con las observadas en el campo. Por este motivo, se debe seleccionar el área de referencia, determinar el tamaño de muestra y elegir el método de muestreo adecuado que sea representativo con el área de estudio “método de muestreo a utilizar será la de aleatorio sistemático no alineado estratificado”

## **Métricas para evaluar la exactitud**

Estas son herramientas para verificar, constatar y dar validez al trabajo final de los resultantes de los diferentes mapas elaboradas mediante el uso de los SIG; que nos permite dar confiabilidad que el trabajo realizado tiene validez con la realidad en campo. Además, este se apoya de: “exactitud del usuario, exactitud del productor y la exactitud global o confiabilidad del mapa”.

### **2.10. Antecedentes**

MINAM (2018) ha elaborado el mapa de bosque y pérdida de bosque al 2017 generado a partir de la clasificación de imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8, determinando en la provincia Leoncio Prado la pérdida de 2,249 ha de bosques en el 2017, siendo los distritos más deforestados Mariano Dámaso Beraún (452 ha), seguido de José Crespo y Castillo (421 ha) y Daniel Alomía Robles (402 ha). Otro estudio de cambio de cubierta forestal utilizando imágenes Landsat se desarrolló en el distrito Florida, departamento Amazonas, en la que se determinó la tasa de deforestación de 232.2 ha/año en el periodo 1987 al 2000, mientras que a partir del 2001 al 2013 la tasa fue de 19,52 ha/año (SALAS, *et al.*, 2016). Además, en la cuenca Bolsón Cuchara en la provincia Leoncio Prado, departamento Huánuco utilizando imágenes de resolución espacial alta SPOT se encontró una tasa de deforestación de 83.54 ha/año en el período 2004 – 2014 (MENESES, 2017).

En un trabajo más reciente, en el que se ha empleado diferentes algoritmos para clasificar imágenes Sentinel 2 y SPOT, en zonas agrícolas de

Argentina y España, “se ha encontrado que el mejor clasificador para imágenes Sentinel 2 es el K-Nearest Neighbor, y la combinación de éste con el Random Forest. Además, se ha demostrado la mejora de S2 respecto a SPOT cuantificándose entre 2 y 5% por encima. Por otro lado, la precisión global para la huerta de Burjassot fue 96,52%, mientras que para la zona de Argentina fue del 85,28%, es decir, el porcentaje de que las muestras estuviesen correctamente clasificadas fue mejor en España que en Argentina. Finalmente, los resultados de este trabajo muestran que la mejora en la resolución espacial y radiométrica de Sentinel 2 respecto a otras misiones operativas, permite también la mejora en los resultados de la clasificación” (BORRÁS *et al.*, 2017).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política y geográfica

El trabajo de investigación se realizó en la jurisdicción del distrito Daniel Alomías Robles, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. La capital del distrito es la localidad de Pumahuasi, a una altitud de 600 msnm.



Figura 3. Ubicación política del distrito Daniel Alomía Robles.

### **3.1.1. Fisiografía**

La zona presenta las siguientes unidades: En el paisaje planicie encontramos terraza fluvial baja ligeramente inclinada que va con pendientes de 2 a 4%, en el paisaje colinoso: cimas de colina moderadamente inclinada y cimas de colina fuertemente empinadas, laderas de colinas moderadamente inclinadas y laderas de colinas moderadamente empinadas además de laderas de colinas empinadas y laderas de colinas muy empinadas (GRH, 2016).

### **3.1.2. Hidrografía**

Las quebradas del distrito forman parte de cuatro cuencas importantes: río Tulumayo, río Azul, río Topa y río Pendencia que desembocan en el río Huallaga.

### **3.1.3. Clima**

La biotemperatura media anual de la zona de estudio oscila entre 18.0° y 24.0 °C, el clima se puede considerar como húmedo con una humedad relativa media mensual de 80%, observándose el periodo más seco los meses de Mayo, Junio y Julio y más húmedos en Enero, Febrero. La precipitación pluvial varía de 1,500 a 3,500 mm acumulado al año (GRH, 2012).

### **3.1.4. Zonas de vida**

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida y el diagrama bioclimático de HOLDRIDGE (1971) “el distrito Daniel Alomías Robles, con su capital Pumahuasi se encuentra ubicada en la formación vegetal transicional de

bosque muy húmedo Pre montano Tropical a bosque húmedo tropical (bmh - PT). De acuerdo a las regiones naturales del Perú, se encuentra en la selva alta o Rupa Rupa”

### **3.1.5. Población**

En el censo poblacional realizado el 2017, el distrito registró una población de 6,142 habitantes, todos considerado en zona rural, de los cuales 3,192 son varones y 2,950 son mujeres, con 4,245 pobladores en edad para trabajar (INEI, 2018).

## **3.2. Materiales, equipos y herramientas**

### **3.2.1.1. Materiales y equipos de gabinete**

Para la fase de gabinete se empleó los siguientes materiales y equipos: Laptop Hp Intel inside <sup>TM</sup>, Software Map source, Software QGis v 3.2.2, Software Arc Gis, SPSS Statistic 20, Microsoft Excel 2010 y Microsoft Word 2010, Servidor de imagen Landsat 8, Servidor de imágenes Sentinel de la ESA, mapas del distrito Daniel Alomía Robles procedentes de la Meso Zonificación Huánuco 2017.

### **3.2.2. Materiales y equipos de campo**

En la fase de campo se usó los siguientes materiales: Mapas temáticos de la Mesozonificación 2017 elaborados por el Gobierno Regional Huánuco, matriz de datos de campo, Tablero y libreta de apunte, GPS Garmin 62s y movilidad.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Cálculo de la superficie deforestada al 2018 en el distrito Daniel Alomia Robles a partir de la clasificación de imágenes Sentinel 2A**

##### **3.3.1.1. Descarga de imagen**

Se inició el proceso, con la descarga de la imagen Sentinel 2A del Programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea, que se encuentra disponible en la página web (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), la imagen tiene una resolución espacial de 10 m x 10 m y un total de trece bandas espectrales, se descargó la imagen de fecha 08 de setiembre del 2018. Así mismo, se procedió a la descarga de las imágenes landsat 5 TM y Landsat 8 que se encuentran disponible en la web (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

##### **3.3.1.2. Pre procesamiento de la imagen**

Antes de extraer la información de la imagen, se corrigió radiométrica y atmosféricamente, para lo cual se utilizó la herramienta Semi Automatic classification Plugin instalado en el programa Qgis que consistió en convertir la radiancia en reflectancia (corrección radiométrica) y seguidamente la reflectancia en el tope de la atmosfera (TOA) convertirla a reflectancia bajo la atmosfera (BOA) o en la superficie (corrección atmosférica).

##### **3.3.1.3. Clasificación de la imagen**

Del mismo modo, la clasificación supervisada se realizó con el programa Qgis utilizando la herramienta Semi Automatic classification Plugin,

clasificando la imagen en las siguientes categorías como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Categorías de clasificación de la imagen

<b>Criterio de clasificación</b>	<b>Definición en la imagen</b>
Bosque	Área con cobertura boscosa natural, cuya formación natural, textura y color fue contrastado con puntos de muestreo de campo, bajo la formación de bosque.
No bosque	Áreas sin cobertura vegetal natural, cuya formación natural, textura y color fue contrastado con puntos de muestreo de campo.
Hidrografía	Espejos de agua
Rural	Caseríos, Centros Poblados

Fuente: Adaptado de RECAVARREN *et al.* 2011.

#### **3.3.1.4. Elaboración del Mapa de deforestación**

Posteriormente, la imagen resultante (clasificada) de la asignación de clases fue cambiado de formato a (Shapefile) para la elaboración del mapa de deforestación al 2018 a una escala de trabajo 1/20,000 y una unidad mínima de mapeo de 0.5 ha y proyectado en el Datum WGS 1984 y ubicado en la zona 18 S.

### 3.3.2. Estimación de las tasas de deforestación en los periodos: 2006 – 2010, 2010 – 2014 y 2014 – 2018

Teniendo en cuenta que las imágenes Sentinel 2 recién fueron distribuidas en el 2015, para estimar las tasas de deforestación en los periodos 2006 – 2010, 2010 - 2014 y 2014 - 2018 se optó por trabajar con la imagen del satélite Landsat 5 TM para determinar las coberturas boscosas al 2006 y 2010, mientras que para la cobertura 2014 se empleó imágenes de Landsat 8, todas ellas con una resolución espacial 30 m x 30 m. El pre procesamiento y la clasificación de imágenes se realizó en el programa QGis, mientras que la elaboración de los mapas de coberturas en el programa ArcGis, con las que se calculó las tasas anuales de deforestación (TAD) en el distrito Daniel Alomía Robles, utilizando la fórmula sugerida por LAURENTE, (2011), que se muestra en la Formula 1.

$$D = \frac{Df - Di}{N} \quad \text{Ecuación 01}$$

Dónde:

TAD = Tasa anual de deforestación

ABfin = Área boscosa en el año final (ha)

ABini = Área boscosa en el año inicial (ha)

N = Número de años del periodo de análisis

El valor positivo de D indicó pérdida de áreas arboladas, mientras que un valor negativo indicó ganancia.

### **3.3.3. Exactitud temática del mapa de deforestación 2018 del distrito Daniel Alomia Robles**

La validación del mapa de cobertura del 2018 se realizó en dos etapas, de acuerdo a lo establecido en el Protocolo para la evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación (MINAM, 2014).

#### **3.3.3.1. Validación con imagen SPOT 6**

En esta primera etapa, se utilizó una imagen SPOT 6 ORTHO PMS (Ortorrectificada con bandas Pancromático y Multiespectral) con una resolución espacial de 1.5 m x 1.5 m, proporcionada a la UNAS) por la Comisión Nacional para la Investigación y Desarrollo AeroEspacial (CONIDA) – Perú. Consistió en contrastar los resultados encontrados en el mapa de deforestación al 2018 versus la imagen de resolución espacial alta, para lo cual se creó una capa de puntos de verificación siguiendo los siguientes pasos:

##### **a). Método de muestreo**

Se utilizó el método de muestreo aleatorio estratificado no alienado, por ser uno de los más utilizados en trabajos de verificación. Donde, los puntos de muestreo fueron divididos en todo el mapa en las dos principales clases: Bosque y no bosque, cada uno de ellos en proporción a la superficie encontrada en el mapa.

### b). Tamaño de muestra

MINAM (2014) menciona que, para imágenes clasificadas, donde la variable no es cualitativa sino categórica, se recomienda la distribución binomial de probabilidad, de acuerdo a la Fórmula 2.

$$n = \frac{S^2 * P * Q}{e^2} \quad \text{Ecuación 02}$$

Dónde:

n: tamaño de la muestra

S: es el valor de la abscisa de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad, se obtiene de la tabla Z,

p: indica el porcentaje de aciertos estimado por el área de la clase,

q: indica del porcentaje de errores ( $q = 1 - p$ ), e: el nivel permitido del error.

Para este primer proceso de validación se utilizó un porcentaje de acierto de 85% y un porcentaje de error de 15%, obteniendo 49 puntos de verificación de las cuales 29 puntos para la clase No bosque y 20 para la clase bosque.

### c). Extracción de datos de la imagen

Se superpuso la capa de puntos de muestreo sobre la imagen y se verificó la coincidencia de las clases: bosque y no bosque. Los datos fueron insertados en la tabla de atributos de la capa de puntos (Cuadro 8).

**d). Análisis de los datos**

Los datos se analizaron a través de una matriz de confusión, que determinó la exactitud global del mapa, exactitud del usuario y exactitud del productor. En esta matriz las filas representaron las clases del mapa y las columnas las clases de la imagen. La diagonal de la matriz expresó el número de verificaciones para los cuales hubo concordancia entre el mapa y la imagen, mientras los marginales indican la exactitud del productor y del usuario.

**e). Métrica para indicar la exactitud del mapa**

MINAM (2014) menciona que, para determinar la exactitud del mapa, se utilizó el índice de Kappa, que es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación y la exactitud de lograr una clasificación correcta con la imagen de alta resolución se utilizó la Formula 3.

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \quad \text{Ecuación 03}$$

Dónde:

Po : es el número de aciertos entre n

Pe : se calcula desde la matriz de confusión.

Este valor de kappa, se determinó utilizando el programa SPSS Statistic 20, a partir de los (49) puntos verificados en el mapa y la imagen de alta resolución.

### **3.3.3.2. Validación en campo**

Por último, se realizó salidas al campo, que consistió en verificar 19 puntos (coordenadas) en el mismo lugar si las clases de bosque y no bosque correspondían a las descritas en el mapa de deforestación 2018. En este proceso se utilizó el método de muestreo sistemático estratificado no alienado para la dispersión de los puntos en campo, teniendo en cuenta su accesibilidad para disminuir costos. Todas las observaciones quedaron anotadas en un cuaderno de apuntes que posteriormente fueron transcritos a una hoja de cálculo (ver anexo, Cuadro 9).

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Superficie deforestada al 2018 en el distrito Daniel Alomía Robles

En la Figura 4, se muestra las superficies por cada clase para el año 2018. Se puede observar que la clase con mayor superficie corresponde a la clase no bosque o tierras que no presentan cobertura boscosa, abarcando 8,366.33 ha que representa el 54.91% del total del área de estudio, seguida de la clase bosque con 6,056.91 (39.76%) y finalmente con menor superficie las clases Hidrografía y Rural que en conjunto representan 5.33%.

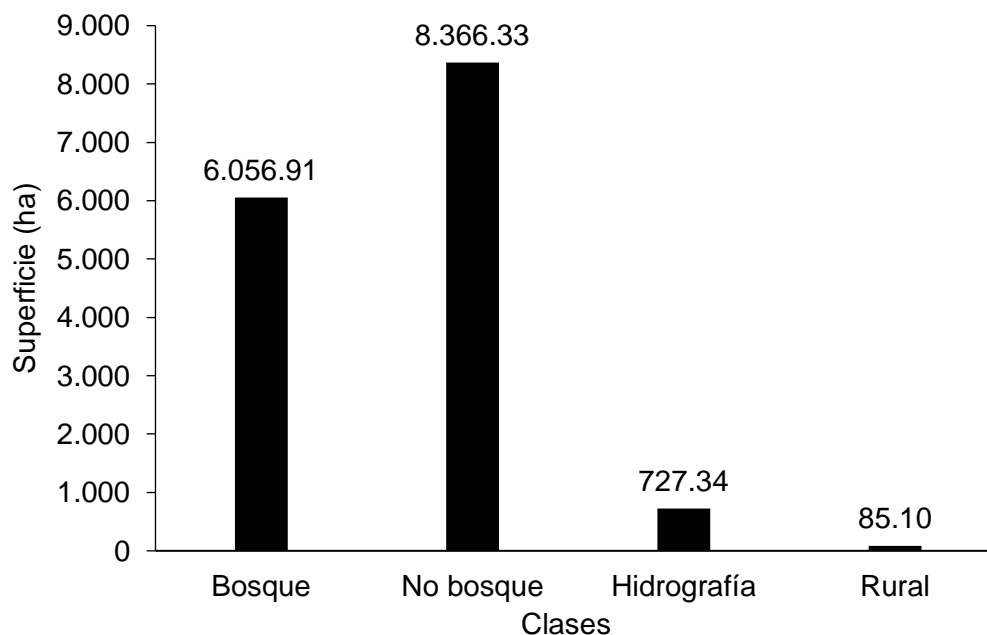


Figura 4. Superficie (ha) por clase para el 2018

A continuación, se describe las coberturas observadas en el mapa y resaltadas en las salidas realizadas a campo. Así como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Mapa de deforestación al 2018 en el distrito Daniel Alomía Robles

#### 4.1.1. Cobertura boscosa

En esta clase se encontró bosques primarios y principalmente bosques intervenidos o secundarios. Las pocas áreas con bosque primarios se ubican principalmente en la parte noreste y más alta del distrito, dentro de la Zona 2A del Bosque de Producción Permanente Huánuco. En el año 2003 estas unidades de aprovechamiento forestal fueron otorgadas por el Estado a empresarios madereros mediante la modalidad de concesiones, sin embargo; a la fecha se encuentran ocupadas ilegalmente por parceleros.

Mientras que los bosques secundarios se encuentran generalmente en la parte central del distrito, en forma de parches lo que evidencia lo fuertemente que han sido intervenidos por acción antrópica.



Figura 6. Cobertura con bosque secundario

#### 4.1.2. No bosque

Esta clase corresponde a las áreas con vegetación diferente al bosque, así como las áreas desprovistas de vegetación. Se encontró cultivos de pan llevar como plátano (*Musa paradisiaca* L.), sistemas agroforestales con el componente cacao (*Theobroma cacao* L.), cultivos en limpio como piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) principalmente en la zonas bajas y de planicie, mientras que en las zonas de ladera se encontró áreas cubiertas con macorilla o shapumbales (*Pteridium caudatum* (L.) Maxon) y rabo de zorro (*Andropogon bicomis* L.) que caracteriza a los ex cicales (*Erythroxylum coca* Lam.) establecidas en décadas anteriores.

Además, se encontró pastizales para ganado vacuno y áreas con suelo descubierto listas para establecimiento de nuevos cultivos.



Figura 7. Clase no bosque, arrozal en zona de planicie del distrito.

### 4.1.3. Hidrografía

Esta categoría corresponde a los cursos de agua y playones del distrito, río Pendencia ubicado al norte, que constituye el límite natural con el distrito Pueblo Nuevo, quebrada San Carlos Grande ubicado en la parte central del distrito y el río Tulumayo ubicado en la parte Sur, constituyendo el límite con el distrito Padre Felipe Luyando. Los dos primeros desembocan en el río Tulumayo y éste en el río Huallaga.



Figura 8. Clase hidrografía: río Tulumayo.

### 4.1.4. Rural

En esta categoría se incluye las infraestructuras de viviendas, instituciones educativas y campos deportivos de las localidades de Pendencia, Alto Peregrino, La Victoria, Delicias, Las vegas, Huamancoto, Flores de Belén, Provenir de Marona, Alto Marona, Huayhuante, Alto Huayhuante y Huayhuantillo.

#### 4.2. Tasas de deforestación 2006 - 2010, 2010 - 2014 y 2014 - 2018

En el Cuadro 5, se muestra las superficies (ha) de las diferentes clases correspondiente a los años: 2006, 2010, 2014 y 2018 del distrito Daniel Alomía Robles. La clase no bosque en el 2006 presenta una superficie de 7,051.72 ha lo que corresponde al 46.28% del área total del distrito (ver anexo, Figura 16), mientras que al 2018 alcanza 8,366.33 ha, es decir; 54.91% del área en estudio (Figura 5). Respecto a la tasa de deforestación; en el periodo 2006 – 2010 (ver anexo, Figura 18) en el distrito se ha deforestado a una velocidad de 140.4 ha por año, para el periodo 2010 – 2014 (ver anexo, Figura 18) tuvo una disminución importante alcanzando sólo 39.78 ha/año y finalmente del 2014 al 2018 se incrementó a 176.8 ha/año. La clase que también ha tenido un incremento, aunque representa una porción pequeña del distrito, es la clase rural representadas por infraestructura de viviendas entre otros (Figura 9).

Cuadro 5. Superficie (ha) de clases y tasa anual de deforestación (ha/año).

Clase	2006	2010	2014	2018
No bosque	7,051.72	7,649.56	7,716.78	8,366.33
Bosque	7,484.72	6,923.06	6,763.94	6,056.91
Hidrografía	694.07	645.48	721.73	727.34
Rural	5.49	17.59	33.23	85.10
TAD*		140.4	39.78	176.8

\* Tasa anual de deforestación

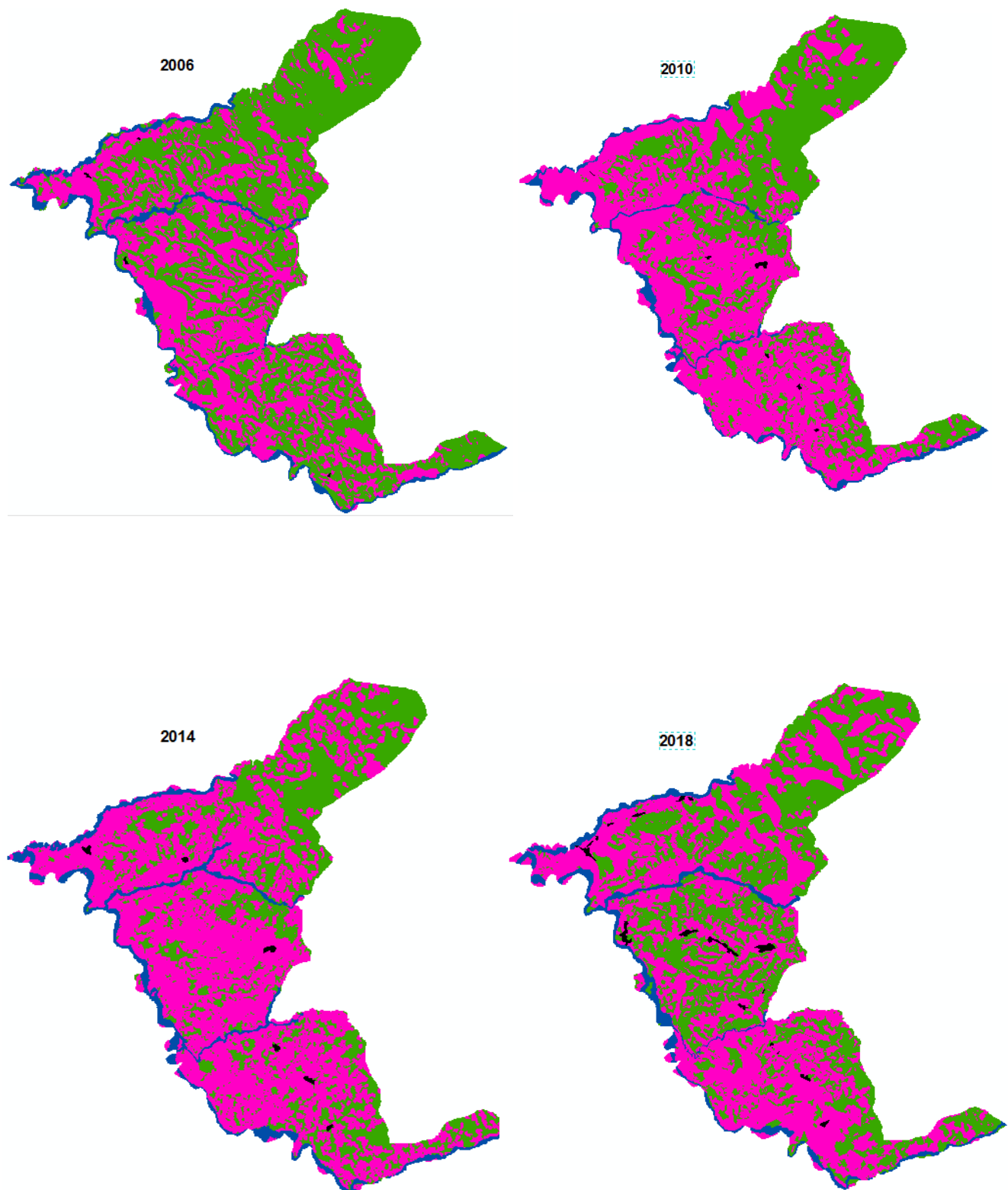


Figura 9. Deforestación en el año 2006, 2010, 2014 y 2018 en el distrito Daniel Alomía Robles.

### 4.3. Exactitud temática del mapa de deforestación al 2018

#### 4.3.1. Validación con imagen satelital de resolución espacial alta

En el Cuadro 6, se muestra la matriz de confusión empleada para determinar la exactitud temática del mapa de deforestación 2018, en la que se observa la distribución de una muestra de 49 puntos que fueron superpuestos en la imagen satelital de resolución espacial alta: 29 corresponde a la clase No bosque y 20 a la clase Bosque. Las columnas representan las clases obtenidas en la imagen satelital, mientras que las filas representan las clases obtenidas en el mapa. Las celdas sombreadas expresan el número de puntos de la muestra de verificación en la que concuerdan mapa e imagen, obteniéndose una exactitud global de 87.8%. La exactitud del usuario y del productor presentaron los mismos valores para la clase bosque con 85% y para la clase no bosque con 89.6%. El índice de Kappa obtenido para esta verificación fue de 0.75 (ver anexo, Cuadro 10).

Cuadro 6. Matriz de confusión para la validación con imagen

Clase en el Mapa	Clase en la imagen		Total	Exactitud del usuario
	Bosque	No bosque		
Bosque	17	3	20	85%
No Bosque	3	26	29	89.6%
Total	20	29	49	
Exactitud del productor	85%	89.6%		87.8%

### 4.3.2. Validación en campo

En el Cuadro 7, se muestra la segunda matriz de confusión empleada para determinar la exactitud temática del mapa de deforestación 2018, en la que se observa la distribución de una muestra de 19 puntos que fueron verificados en campo: 11 corresponde a la clase No bosque y ocho a la clase Bosque. Se obtuvo una exactitud global de 89.5%. La exactitud del usuario y del productor presentaron los mismos valores para la clase bosque con 87.5% y para la clase no bosque con 90.9%. El índice de Kappa obtenido para esta verificación es 0.78 (ver anexo, Cuadro 11).

Cuadro 7. Matriz de confusión para la validación en campo

Clase en el Mapa	Clase en campo		Total	Exactitud del usuario
	Bosque	No bosque		
Bosque	7	1	8	87.5%
No Bosque	1	10	11	90.9%
Total	8	11	19	
Exactitud del productor	87.5%	90.9%		89.5%

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Superficie deforestada al 2018 del distrito Daniel Alomía Robles

El 54.91% de la superficie del distrito Daniel Alomía Robles ha sido deforestado. Y esta pérdida de cobertura forestal ha ocurrido principalmente en la zona noreste del distrito, hacia las concesiones forestales con fines maderables de la región Huánuco. También, otras de las zonas fuertemente impactadas se ubican en la parte central del distrito, en el poblado de Provenir de Marona, donde se encontró más de 30 ha de cultivos agrícolas, en las zonas más bajas se hallaron sistemas agroforestales, mientras que en las zonas más altas se encontró principalmente zonas cafetaleras. Lo que ratifica la investigación realizada por (RAUTNER, *et al.*, 2013), al mencionar que, el incremento del consumo de alimentos originario de la agricultura, ganadería y la fuerte necesidad de combustible en los últimos años, han producido más del 50% y el 60% de la degradación forestal en países del trópico y subtropicales. Así mismo, concuerda con (CALDERON, 2007) al mencionar que, Por la precaria oportunidad laboral, la economía local deficiente débilmente proyectados a un horizonte de desarrollo económico estable, son una de las tantas causas de migración interna desde las zonas de sierra hasta la selva con propósitos de extracción forestal e instalación de actividades agropecuarias.

## **5.2. De las tasas de deforestación 2006 - 2010, 2010 - 2014 y 2014 - 2018**

En el Cuadro 5, se muestra las tasas anuales de deforestación en los tres periodos evaluados, siendo el periodo 2014 – 2018, el que presenta mayor tasa anual de deforestación; con una velocidad de 176.8 ha/año deforestadas en el distrito Daniel Alomía Robles. Este valor es concordante con lo encontrado por el Ministerio del Ambiente, quienes a través de la plataforma Goebosques determinaron que el 2014 fue el año que más se deforestó en Huánuco en los últimos nueve años, con un total de 27,596 ha (MINAM, 2018).

Si calculamos un promedio entre los tres periodos evaluados, obtendríamos una tasa de deforestación de 118.98 ha/año, que es un valor relativamente alto en comparación a lo encontrado en el periodo 2004 - 2014 en la microcuenca Bolsón Cuchara con 83.54 ha/año (MENESES, 2017), mientras que el distrito Florida en Amazonas, entre los años 2000 - 2013 determinaron una tasa de 19.52 ha/año (SALAS *et al.*, 2016). Este índice elevado de deforestación ocurre debido que los bosques del distrito y de toda la Amazonía están siendo talados no solo por la madera sino para conseguir tierras baratas para el establecimiento de cultivos y la crianza de ganado, debido a la gran demanda de alimentos para el consumo humano, para animales y biocombustibles (RAUTNER *et al.*, 2013).

## **5.3. De la exactitud temática del mapa de coberturas 2018**

La validación del mapa de cobertura 2018 se llevó a cabo en dos etapas: la primera comparando las clases encontradas en el mapa con la

imágenes SPOT 6 (Cuadro 10), en la que se encontró una exactitud global de 87.8% y un índice de Kappa de 0.75, mientras que en la segunda etapa realizada en campo (Cuadro 11) se obtuvo valores similares, con una exactitud global de 89.5% y un índice de Kappa de 0.78. Según el Protocolo de exactitud temática de los mapas deforestación, los valores de Kappa encontrados en la investigación tiene una concordancia considerable (MINAM, 2014), esto se debe a la mejora en la resolución espacial y radiométrica de las imágenes Sentinel 2A empleadas en la elaboración del mapa de coberturas 2018, que permite la mejora en los resultados de la clasificación (BORRÁS *et al.*, 2017).

## VI. CONCLUSIONES

1. La superficie deforestada al 2018 en el distrito Daniel Alomía Robles es de 8,366.33 ha, que representa 54.91% del total del distrito que cuenta con una superficie de 15,235.68 ha, mientras que el área de cobertura boscosa abarca 6,056.91 ha que corresponde a 39.75% del distrito.
2. El periodo con mayor tasa anual de deforestación corresponde al 2014 – 2018 con 176.8 ha/año, seguido del periodo 2006 – 2010 con 140.4 ha/año y finalmente el periodo 2010 – 2014 con solo 39.78 ha/año.
3. En el mapa de deforestación al 2018 del distrito Daniel Alomía Robles, para la validación con la imagen SPOT 6 se obtuvo una exactitud temática global de 87.8% y un índice de Kappa de 0.75, mientras que en la validación en campo se adquirió una exactitud de 89.5% y un Kappa de 0.78. Para ambos casos de validación el grado de concordancia es considerable según el Protocolo de evaluación de exactitud temática utilizado.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Continuar con el uso de las imágenes satelitales Sentinel 2 para la evaluación y monitoreo anual del avance de la deforestación en la provincia Leoncio Prado y otras partes de la Amazonía.
2. Difundir la utilización de métricas de exactitud temáticas en los mapas de deforestación, debido que son herramientas estadísticas muy útiles para determinar la confiabilidad del producto cartográfico final.
3. Considerar los resultados de la presente investigación a fin que puedan ser utilizados como línea base para la elaboración de proyectos de reforestación en la Región.

## VIII. ABSTRACT

### **AN ANALYSIS OF THE DEFORESTATION DURING THE 2006 – 2018 PERIOD IN THE DANIEL ALOMIA ROBLES DISTRICT - HUANUCO**

The work was executed in the Daniel Alomía Robles district, Leoncio Prado province and Huánuco region, Peru. An analysis of the deforestation during the 2006 – 2018 period was done through the use of a supervised classification of Sentinel 2A, Landsat 5 TM and Landsat 8 satellite images. The objectives were: to calculate the deforested surface in the year 2018, to estimate the annual deforestation rate during the 2006 - 2010, 2010 - 2014 and 2014 – 2018 periods. As well as to evaluate the thematic exactitude of the deforestation map through 2018. For the results, it was determined that the deforested surface through 2018 was 8,366.33 ac, which represents 54.91% of the total district, while the forest cover reached 6,056.91 ac. The greatest annual rate of deforestation was for the 2014 – 2018 period with a forest coverage loss of 176.8 ac/year, followed by the 2006 – 2010 period with 140.4 ac/year and finally, 2010 – 2014 with 39.78 ac/year. At the same time, with respect to the thematic exactitude of the deforestation map through 2018, according to the protocol proposed by MINAM (acronym in Spanish), the global exactitude was 87.8% and the Kappa value was 0.75 for the validation with the SPOT 6 image and for the field validation, the global exactitude was 89.5% with a Kappa value of 0.78. For both cases, the degree of concordance is considerable.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIZA, A. 2013. Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 46 p.
- BORRÁS, J., DELEGIDO, J., PEZZOLA, A., PEREIRA, M., MORASSI, G., & CAMPS-VALLS, G. 2017. Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, (48), 55–66.
- CALDERON, R. 2007. Serie reforestación; manual práctico de producción de plantones. Gobierno Regional de Huánuco, Perú. 5p
- CHAVEZ, S; 1996. “Image-based atmospheric corrections-revisited and improved”, *Photogrammetric Engineering, Remote Sensing* (62). 1025p.
- CHUEVIECO, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, S.A. Madrid, España. 326 – 374p.
- CHUEVIECO, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ed. Ariel Ciencia. Madrid, España.
- CHUVIECO, E. 2008. Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio. 3 ed. Barcelona, España. 162 p.
- DANCÉ, J; SÁENZ, D. 2013. Estado de la situación y gestión ambiental en el Perú. Universidad de San Martín de Porras. 1ª versión. Lima. 179 p.

- FAO, (2005); Informe de Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005; términos y definiciones.
- GARCIA, E. 2006. Corrección del sombreado topográfico en imágenes Landsat ETM+, aplicado al inventario de cuerpos de agua. Tesis Ing. Geógrafo. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 45 – 58p.
- GRH, 2012. Estudio climático y zonas de vida de las provincias Pachitea, Huánuco, Puerto Inca, Leoncio Prado y Marañón de departamento de Huánuco. Gobierno Regional de Huánuco. 68 p.
- GRH, 2016. Estudio fisiográfico de la provincia Leoncio Prado. Zonificación Ecológica y Económica Huánuco. Gobierno Regional Huánuco. 25 p.
- HOLDRIDGE, L. 1971. Ecología: Basado en zonas de vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 216 p.
- INEI, 2018. Huánuco. Resultado definitivos del Censo Nacional 2017. Instituto Nacional de estadística e Informática. Lima, Perú. 1106 p.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). 1996. Guía Explicativa del Mapa Forestal, 1995. Dirección General Forestal, Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 129 p.
- JENSEN, J. 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 2° Edición. Prentice Hall. 316p.

- LAURENTE, M. 2011. Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú, GeoFocus (Informes), nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157.
- LILLESAND, T; KIEFER, R. 1994. Remote sensing and image interpretation Jhon Wiley & Sons. New York, EEUU. 3ª Edición. 748p.
- MENESES, F. 2017. Análisis del cambio de bosque a no bosque en la cuenca Bolsón Cuchara periodo 2004 - 2014. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María - Perú. 57 p.
- MEYER, P; ITTEN, K; KELLEMBERG, T; SANDMEIER, S; SANDMEIER, R; 1993. Radiometric correction of topographically induced effects on Landsat TM data in an Alpine Environment", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 17-28p.
- MINAGRI 2014. Reglamento de Gestión Forestal de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre Ley 29763. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú.
- MINAM, 2014. Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. Dirección General de Ordenamiento Territorial -- Lima: Ministerio del Ambiente. Primera Edición. Lima, Perú. 13-32p.
- MINAM. 2018. Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos 2017. Reporte de Geobosques. Lima, 15 p.
- RAUTNER, M; LEGGETT M.; DAVIS, F. 2013. El pequeño libro de las grandes causas de la deforestación. Programa Global Canopy. Oxford. 231 p.

- RECAVARREN, P; DELGADO M.; ANGULO, M.; LEÓN, A.; CASTRO, A. 2011. Proyecto REDD en Áreas Naturales Protegidas de Madre de Dios. Insumos para la elaboración de la línea base de carbono. Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral -AIDER. Lima, Perú. 201 p.
- RECONDO, C; MÉNDEZ, A; GARCÍA, M; GONZÁLES, R; SÁEZ, E; 2001. Un método sencillo para la corrección topográfica de imágenes de satélite. Madrid, España. 32p.
- SALAS, R., CASTILLO, E. B., & OLIVA, M. 2016. Dinámica multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Florida, departamento de Amazonas, Perú. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(1), 18–27.
- SOBRINO, J. 2000. Teledetección. Servicios de publicación de la Universidad de Valencia. Madrid, España. 476p.
- SONG, C; WOODCOCK, C; SETO, K; LENNEY, M; MACOMBER, S; 2001. Clasification and change detection using Landsat TM: when and how to correct atmospheric effects. *Remote Sensing of environment*. 230p.
- VERMOTE, F; TANRE, D; DEUZE, L; HERMAN, M; MORCRETE, J; 1997. Second simulation the satellite signal in the solar spectrum. New York, EEUU. (3). 675 p.

**ANEXO**

**Anexo 1.**

Cuadro 8. Tabla de atributos de los puntos verificados en la Imagen SPOT 6.

<b>Punto</b>	<b>Mapa</b>	<b>Imagen</b>	<b>Verificación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	Bosque	Bosque	V	398347	8978340
2	Bosque	Bosque	V	401523	8976299
3	Bosque	No bosque	F	404266	8978691
4	No bosque	No bosque	V	404177	8973665
5	No bosque	No bosque	V	404445	8977897
6	No bosque	Bosque	F	403606	8977796
7	Bosque	Bosque	V	398581	8980414
8	No bosque	No bosque	V	400729	8980233
9	Bosque	Bosque	V	402755	8978961
10	No bosque	No bosque	V	400231	8977844
11	Bosque	Bosque	V	401405	8980431
12	Bosque	Bosque	V	401173	8979676
13	No bosque	No bosque	V	398448	8980748
14	No bosque	No bosque	V	402247	8978348
15	No bosque	No bosque	V	400888	8980136
16	Bosque	Bosque	V	404293	8974495
17	No bosque	Bosque	F	400233	8979136
18	Bosque	Bosque	V	399618	8977266
19	No bosque	No bosque	V	400400	8980292
20	No bosque	No bosque	V	402880	8979443
21	No bosque	No bosque	V	399687	8979687
22	No bosque	No bosque	V	400007	8978253
23	No bosque	No bosque	V	401851	8979261
24	No bosque	No bosque	V	397600	8979159
25	No bosque	No bosque	V	400771	8979037
26	No bosque	No bosque	V	403455	8975577
27	No bosque	No bosque	V	400168	8976672
28	Bosque	Bosque	V	400151	8980647
29	No bosque	No bosque	V	401098	8976379
30	Bosque	Bosque	V	398149	8980238
31	No bosque	No bosque	V	402564	8977661
32	No bosque	No bosque	V	397446	8978624
33	No bosque	No bosque	V	403927	8978227
34	No bosque	No bosque	V	400482	8981067
35	Bosque	Bosque	V	404254	8977050
36	No bosque	No bosque	V	399472	8976161

37	No bosque	No bosque	V	399532	8980678
38	Bosque	Bosque	V	398108	8979508
39	Bosque	Bosque	V	397279	8979499
40	Bosque	Bosque	V	400189	8977494
41	Bosque	No bosque	F	401177	8978363
42	Bosque	Bosque	V	399671	8977611
43	No bosque	Bosque	F	403758	8976458
44	Bosque	No bosque	F	400335	8980709
45	No bosque	No bosque	V	400916	8975875
46	Bosque	Bosque	V	401916	8979716
47	No bosque	No bosque	V	398971	8976867
48	No bosque	No bosque	V	401725	8979952
49	Bosque	Bosque	V	401412	8978945

Cuadro 9. Tabla de atributos de los puntos verificados en campo

<b>Punto</b>	<b>Mapa</b>	<b>Campo</b>	<b>Verificación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	Bosque	Bosque	V	395406	8985076
2	Bosque	Bosque	V	395606	8984576
3	Bosque	Bosque	V	396406	8989576
4	Bosque	Bosque	V	402906	8992076
5	Bosque	Bosque	V	400906	8989076
6	Bosque	No bosque	F	398906	8988076
7	No Bosque	Bosque	F	397906	8987576
8	Bosque	Bosque	V	395906	8987076
9	No Bosque	No bosque	V	401289	8982793
10	No Bosque	No bosque	V	400870	8981686
11	No Bosque	No bosque	V	399296	8981255
12	No Bosque	No bosque	V	398219	8980600
13	Bosque	Bosque	V	401207	8984702
14	No Bosque	No bosque	V	397034	8982583
15	No Bosque	No bosque	V	397280	8981950
16	No Bosque	No bosque	V	397267	8981102
17	No Bosque	No bosque	V	397143	8981138
18	No Bosque	No bosque	V	399765	8980964
19	No Bosque	No bosque	V	397126	8985379

### Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Mapa * Imagen	49	100,0%	0	0,0%	49	100,0%

### Tabla de contingencia Mapa \* Imagen

			Imagen		Total
			Bosque	No bosque	
Mapa	Bosque	Recuento	17	3	20
		% del total	34,7%	6,1%	40,8%
	No bosque	Recuento	3	26	29
		% del total	6,1%	53,1%	59,2%
Total		Recuento	20	29	49
		% del total	40,8%	59,2%	100,0%

### Medidas simétricas

		Valor	Error típ. asint. <sup>a</sup>	T aproximada <sup>b</sup>	Sig. aproximada
Medida de acuerdo	Kappa	,747	,097	5,226	,000
N de casos válidos		49			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

Cuadro 10. Resumen estadístico en SPSS de la validación en la Imagen SPOT

### Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Mapa * Campo	19	100,0%	0	0,0%	19	100,0%

### Tabla de contingencia Mapa \* Campo

			Campo		Total
			Bosque	No Bosque	
Mapa	Bosque	Recuento	7	1	8
		% del total	36,8%	5,3%	42,1%
	No Bosque	Recuento	1	10	11
		% del total	5,3%	52,6%	57,9%
Total		Recuento	8	11	19
		% del total	42,1%	57,9%	100,0%

### Medidas simétricas

		Valor	Error típ. asint. <sup>a</sup>	T aproximada <sup>b</sup>	Sig. aproximada
Medida de acuerdo	Kappa	,784	,144	3,418	,001
N de casos válidos		19			

a. Asumiendo la hipótesis alternativa.

b. Empleando el error típico asintótico basado en la hipótesis nula.

## Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 10. Zona de ex cocal perteneciente a la clase no bosque.



Figura 11. Cultivo de piña perteneciente a la clase no bosque.



Figura 12. Zona con bosque secundario.



Figura 13. Verificación de puntos en campo

Figura 14. Mapa de verificación de puntos en Imagen SPOT 6

Figura 15. Mapa de Verificación de puntos en campo

Figura 16. Mapa de deforestación 2006

Figura 17. Mapa de deforestación 2010

Figura 18. Mapa de deforestación 2014