

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



TESIS

**“CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS POR LA
MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA MEDIANTE EL USO DE
TÉCNICAS DE GEOINFORMACIÓN EN HUEPETUHE - MADRE
DE DIOS EN EL PERIODO DEL 2006 - 2016”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

GERMAN LOPEZ FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

ASESOR METODOLÓGICO

MAG. JORGE LUIS FLORES LOPEZ

PIURA - PERÚ

2018

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD
UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS POR LA
MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA MEDIANTE EL USO DE
TÉCNICAS DE GEOINFORMACIÓN EN HUEPETUHE - MADRE
DE DIOS EN EL PERIODO DEL 2006 – 2016”

.....
GERMAN LOPEZ FLORES

BACHILLER

.....
MAG. ING. JORGE LUIS FLORES LOPEZ

ASESOR METODOLÓGICO

PAGINA DE FIRMAS
UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS POR LA
MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA MEDIANTE EL USO DE
TÉCNICAS DE GEOINFORMACIÓN EN HUEPETUHE - MADRE
DE DIOS EN EL PERIODO DEL 2006 – 2016”**

APROBADO EN CONTENIDO Y ESTILO

MAG. ING. LUIS ÁNGEL VIGNOLO FARFÁN

PRESIDENTE

DR. ING. ALEX SEGUNDO GARCÍA CRISANTO

MIEMBRO/SECRETARIO

MAG. ING. JUAN MANUEL TUME RUIZ

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, por ser el soporte espiritual para lograr cada una de mis metas.

A mis padres Roberto y Olga, por todo su amor, comprensión, enseñanzas y apoyo constante en cada meta que me propongo.

A mis hermanos Yoni, Rodrigo, Dimas y Amelia, por su apoyo incondicional y cariño que nos une.

A mi hija y su hermosa madre Anya y Prysia, por todo su amor y cariño incondicional.

German Lopez Flores

AGRADECIMIENTO

El resultado de la presente tesis, se lo debo a un sin número de personas que me apoyaron en todo momento con pequeñas observaciones puntuales, sugerencias de corrección contextual correspondientes a sus disciplinas de interés y consejos en general.

Quisiera comenzar por agradecer a mi madre y padre, la señora Olga Flores Calle y el señor Roberto López Arraíza, respectivamente por su paciencia, apoyo y comprensión en todo momento.

A mis hermanos Yoni, Amelia, Rodrigo y Dimas, a mí querida hija y su hermosa madre. Su soporte, en todo sentido, fue de vital importancia para el desarrollo de mi carrera y de este trabajo de investigación.

Al May. FAP Fernando Joel Díaz Salinas por encaminarme al conocimiento aeroespacial, de igual forma al Mag. Jorge Luis Flores López, quienes me brindaron apoyo constante durante la investigación, asesorándome lo más posible y haciendo correcciones precisas en materias que no conocía, así como sugiriendo bibliografía relevante al tema de investigación.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron con el presente trabajo de investigación y que por omisión no constan en esta lista, pido disculpas y agradezco.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página.
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	ii
PAGINA DE FIRMAS	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	19
CAPITULO I.....	22
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.	22
1.1.2. Caracterización del problema.....	22
1.1.3. Definición del problema:.....	24
1.2. Formulación del Problema.....	24
1.2.1. Problema General.....	24
1.2.2. Problemas Específicos.	25
1.3. Objetivos de la investigación	25
1.3.1. Objetivo General.....	25
1.3.2. Objetivos Específicos.	25
1.4. Justificación de la investigación.....	26
1.4.1. Justificación Teórica:.....	26
1.4.2. Justificación Metodológica:.....	26
1.4.3. Justificación Práctica:.....	26
1.5. Importancia de la Investigación.....	27
1.6. Limitaciones de Investigación.....	28
CAPITULO II.....	29
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	29

2.1. Antecedentes de la Investigación.	29
2.1.1. Internacionales.	29
2.1.2. Nacionales.	32
2.1.3. Locales.	35
2.2. Marco Legal.	36
2.3. Marco Conceptual.	39
2.4. Marco Teórico.	41
2.4.1. Geoinformación	41
2.4.2. Teledetección	42
2.4.3. Comportamiento del agua, suelo y vegetación.	45
2.4.4. Modelo Lineal de Mezcla Espectral	48
2.4.5. Sistemas de Información Geográfico	50
2.4.6. Clasificación de imágenes satelitales.	51
2.4.7. Satélite Landsat	54
CAPITULO III	59
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.	59
3.1. Tipo, Nivel.	59
3.1.1. Tipo de Investigación	59
3.1.1. Nivel de Investigación.	59
3.2. Método de la Investigación.	60
3.3. Diseño de la Investigación.	60
3.4. Hipótesis de la Investigación.	60
3.5. Variables.	60
3.5.1. Variable 1: Técnicas de Geoinformación	60
3.6. Cobertura del Estudio de Investigación.	60
3.6.1. Universo	60
3.6.2. Población	60
3.6.3. Muestra	60
3.6.4. Muestreo	62
3.7. Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos	63
3.7.1. Técnicas de la Investigación.	63
3.7.2. Instrumentos de la Investigación.	64
3.7.3. Fuentes de Recolección de Datos.	64

3.8. Procesamiento estadístico de la Información	64
3.8.1. Estadísticos	64
3.8.2. Representación	64
3.9. Descripción Metodológica para la cuantificación de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en Huepetuhe	65
CAPITULO IV	79
ORGANIZACIÓN, REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
4.1. Presentación de Resultados	79
4.1.1. Resultados Parciales	79
4.1.2. Resultados Generales	93
4.2. Discusión de Resultados	99
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	106
REFERENCIAS	108
ANEXO. Matriz de Consistencia	116

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- CONIDA : Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial de Perú.
- ESA : Agencia Espacial Europea.
- EE : Espectro Electromagnético.
- FAO : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.
- IIAP : Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana.
- INPE : Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil.
- MDD : Madre De Dios
- MINAM : Ministerio del Ambiente
- MLME : Modelo Lineal de Mezcla Espectral
- NASA : Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio.
- LEGAL : Lenguaje Espacial de Geoprocesamiento Algebraico.
- ONERN : Organismo Nacional de Evaluación de los Recursos Naturales.
- PNCBMCC : Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático.
- SPRING : Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciado.
- SPDA : Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- SIG : Sistema de Información Geográfico.
- SIVAN – SIPAN : Sistema de Vigilancia y Protección de la Amazonia.
- USGS : Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- WWF : Fondo Mundial para la Naturaleza.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina
Tabla 1.	
Escala de los valores Kappa	50
Tabla 2.	
Características principales de los sensores a bordo del satélite Landsat 5	56
Tabla 3.	
Características principales de los sensores a bordo del satélite Landsat 7	57
Tabla 4.	
Características principales de los sensores a bordo del satélite Landsat 8	58
Tabla 5.	
Imágenes para realizar el proceso de cuantificación de áreas deforestadas... 64	
Tabla 6	
Valores seleccionados para los componentes puros del MLME 2006.	68
Tabla 7.	
Valores seleccionados para los componentes puros del MLME 2011.	68
Tabla 8.	
Valores seleccionados para los componentes puros del MLME 2016.	69
Tabla 9.	
Clases temáticas comprende:	77
Tabla 10.	
Intersección de las clases temática.....	78
Tabla 11.	
Medida de clases de los años 2006, 2011 y 2016.	80
Tabla 12.	
Datos de tabulación cruzada a probabilidades (periodo 2006 – 2011).	84
Tabla 13.	
Datos de tabulación cruzada a probabilidades (periodo 2011 – 2016).	85
Tabla 14.	
Media para el periodo 2006 – 2016.....	86
Tabla 15.	
Matriz para el periodo 2006 – 2011.....	86

Tabla 16.	
Matriz para el periodo 2011 – 2016.....	86
Tabla 17.	
Matriz para el periodo 2016 – 2021.....	87
Tabla 18.	
Datos reales de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera, en el periodo 2006 – 2016.	94
Tabla 19.	
Datos de la proyección de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera periodo 2006 - 2021.	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.	
Espectro electromagnético.....	44
Figura 2.	
Firmas espectrales típicas del suelo, agua y vegetación en el rango visible e infrarrojo reflejado en el Espectro Electromagnético.....	46
Figura 3.	
Capas temáticas representadas en un SIG.	51
Figura 4.	
Etapas necesarias para la clasificación supervisada.	53
Figura 5.	
Ubicación del área de estudio.....	62
Figura 6.	
Esquema para determinar las cuantificaciones de las áreas deforestadas en Huepetuhe – Madre de Dios.	65
Figura 7.	
Bandas en RGB: 5, 4, 3 de la imagen Landsat 5/TM del año 2006.	66
Figura 8.	
Bandas en RGB: 5, 4, 3 de la imagen Landsat 5/TM del año 2011	67
Figura 9.	
Bandas en RGB: 6, 5, 4 de la imagen Landsat 8/OLI del año 2016.....	67
Figura 10.	
Comportamiento de los píxeles puros de las bandas 3, 4 y 5 de la imagen del año 2006.	69
Figura 11.	
Comportamiento de los píxeles puros de las bandas 3, 4 y 5 de la imagen del año 2011.	70
Figura 12.	
Comportamiento de los píxeles puros de las bandas 4, 5 y 6 de la imagen del año 2016.	70

Figura 13.	
Imagen fracción en RGB: Agua, Suelo y Vegetación de la Imagen Landsat 5/TM del año 2006.	71
Figura 14.	
Imagen fracción en RGB: Agua, Suelo y Vegetación de la Imagen Landsat 5/TM del año 2011.	72
Figura 15.	
Imagen fracción en RGB: Agua, Suelo y Vegetación de la Imagen Landsat 8/OLI del año 2016.....	72
Figura 16.	
Segmentación del MLME (similitud 10 y área 30) del año 2006.	73
Figura 17.	
Segmentación del MLME (similitud 10 y área 30) del año 2011:	74
Figura 18.	
Segmentación del MLME (similitud 10 y área 30) del año 2016:	74
Figura 19.	
Imagen clasificada del MLME, del año 2006:.....	75
Figura 20.	
Imagen clasificada del MLME, del año 2011	76
Figura 21.	
Imagen clasificada del MLME, del año 2016:.....	76
Figura 22.	
Cantidad y equivalencia porcentual de clases para el año 2006.....	80
Figura 23.	
Cantidad y equivalencia porcentual de clases para el año 2011.....	81
Figura 24.	
Cantidad y equivalencia porcentual de clases para el año 2016.....	81
Figura 25.	
Tabulados cruzada de los años 2006 – 2011.....	82
Figura 26.	
Tabulados cruzada de los años 2011 – 2016.....	83

Figura. 27.	
Matriz de confusión de la clasificación del MLME del año 2006	88
Figura 28.	
Matriz de confusión de la clasificación del MLME del año 2011:	88
Figura 29.	
Matriz de confusión de la clasificación del MLME del año 2016	89
Figura 30.	
Mapa de Deforestacion de Huepetuhe – Madre de Dios del año 2006.....	90
Figura 31.	
Mapa de Deforestacion de Huepetuhe – Madre de Dios del año 2011.....	91
Figura 32.	
Mapa de Deforestacion de Huepetuhe – Madre de Dios del año 2016.....	92
Figura 33.	
Medida de la clase agricultura del periodo 2006 – 2016.	95
Figura 34.	
Medida de la clase minería del periodo 2006 – 2016.....	96
Figura 35.	
Medida de la clase rio del periodo 2006 – 2016.....	96
Figura 36.	
Medida de la clase bosque del periodo 2006 – 2016.	97
Figura. 37.	
Medida de la clase suelo del periodo 2006 – 2016.	97
Figura. 38.	
Proyección de la minería al 2021.	99

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el objetivo de cuantificar las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera mediante el uso de técnicas de geoinformación en Huepetuhe – Madre de Dios en el periodo 2006 al 2016.

Es una investigación de tipo aplicada, de nivel descriptivo, de método cuantitativo y de diseño no experimental. Teniendo como delimitación el área de estudio que comprende las coordenadas geográficas $13^{\circ} 08' 30.00''$ y $12^{\circ} 28' 30.00''$ de latitud Sur y $70^{\circ} 52' 52.45''$ y $70^{\circ} 02' 00.00''$ de longitud Oeste.

Se utilizaron las imágenes de satélite Landsat 5 y 8 del área de estudio, las cuales fueron transformadas en imágenes fracción agua, suelo y vegetación a fin de evaluar el Modelo Lineal de Mezcla Espectral. Las imágenes fueron segmentadas con el algoritmo de crecimiento por regiones para luego realizar una clasificación supervisada mediante el método Battacharya, permitiendo así, desarrollar los mapas de deforestación de los años 2006, 2011 y 2016. El

software utilizado para el procesamiento de las imágenes es el SPRING 5.4.2, desarrollado por el INPE.

La medida de las clases temáticas arrojó como resultado que la minería aluvial aurífera para el año 2006 es 7004.70 hectáreas, para el año 2011 es de 21055.23 hectáreas y el año 2016 es de 31174.83 hectáreas, con un desempeño de la metodología del Modelo Lineal de Mezcla Espectral de 99.66 %, 96.02 % y 99.93 %, respectivamente para cada año.

Esto permitió determinar que el MLME alcanzó los objetivos propuestos, por lo que se recomienda su aplicación en otras áreas de bosque amazónico que se desarrolle la minería aluvial aurífera.

PALABRAS CLAVE: Modelo Lineal de Mezcla Espectral, Imagen satelital, clasificación, segmentación, tabulación cruzada.

ABSTRACT

This research work was developed with the objective of quantifying the areas deforested by gold alluvial mining by using geoinformation techniques in Huepetuhe - Madre de Dios in the period 2006 to 2016.

It is a research of applied type, descriptive level, quantitative method and non-experimental design. Having as delimitation the study area that includes the geographical coordinates $13^{\circ} 08' 30.00''$ and $12^{\circ} 28' 30.00''$ of South latitude and $70^{\circ} 52' 52.45''$ and $70^{\circ} 02' 00.00''$ of West longitude.

The Landsat 5 and 8 satellite images of the study area were used, which were transformed into water, soil and vegetation fraction images in order to evaluate the Linear Model of Spectral Mixture. The images were segmented with the growth algorithm by regions to then perform a supervised classification using the Battacharya method, thus allowing the development of deforestation maps for the years 2006, 2011 and 2016. The software used for the processing of the images is the SPRING, developed by INPE.

The measurement of the thematic classes showed as a result that the gold alluvial mining for the year 2006 is 7004.70 hectares, for the year 2011 it is 21055.23 hectares and the year 2016 is 31174.83 hectares, with a performance of the methodology of 99.66%, 96.02 % and 99.93%, respectively for each year.

This made it possible to determine that the MLME achieved the proposed objectives, for which reason it is recommended that it be applied in other areas of the Amazon rainforest when gold alluvial mining is developed.

KEYWORDS: Linear Model of Spectral Mixing, Satellite image, classification, segmentation, cross tabulation.

INTRODUCCIÓN

El Perú posee una gran cantidad de bosques, siendo considerado el segundo país con bosques amazónicos en el mundo, el cuarto con mayor área de bosques tropicales y el noveno país en el planeta de bosques en general, esta riqueza forestal, lo convierte en un foco de interés mundial, para el cuidado y protección del ambiente, debido a que los bosques son una gran fuente de emisión de oxígeno y captura de carbono, siendo necesario su cuidado y preservación, con la finalidad de reducir el dióxido de carbono en la atmosfera y regular el equilibrio dinámico del planeta.

Sin embargo, en las últimas décadas, estas zonas boscosas se reducen en número debido a actividades antrópicas que agrupa una serie de agentes, como la tala ilegal, apertura de campos para actividades agrícolas, construcción de vías de acceso y desarrollo de actividades extractivas. En ese sentido, en el Perú existen instituciones encargadas de la fiscalización, cuidado y protección de bosques, adscritas al Ministerio del Ambiente, así como instituciones usuarias

y/o de investigación que precisan tener conocimiento del avance de la deforestación, en relación al tiempo y espacio.

En la actualidad con el avance tecnológico aeroespacial ha permitido el desarrollo de herramientas que permiten realizar un monitoreo de áreas deforestadas, mediante el uso de técnicas de geoinformación, accediendo a monitorear grandes áreas en el menor tiempo posible y con el uso mínimo de recursos humanos y económicos. Las técnicas de geoinformación permiten generar información a partir de la evaluación de las firmas espectrales que contienen las imágenes satelitales, mediante la clasificación de las mismas.

La presente investigación tiene su enfoque, en la cuantificación de áreas deforestadas por las actividades de minería aluvial aurífera, mediante técnicas de geoinformación, abordando la comparación de áreas deforestadas del año 2006, 2011 y 2016, además se proyectará un escenario de áreas deforestadas para el año 2021, en el distrito de Huepetuhe – Madre de Dios – Perú.

En el Capítulo I de la presente investigación se describe el planteamiento de la realidad problemática, donde se busca justificar de manera clara y concisa, la importancia que amerita la realización de la presente investigación, así mismo, los objetivos y las limitaciones que representa el área de estudio.

El Capítulo II, se presenta los fundamentos de la investigación, donde se puede apreciar investigaciones y estudios en el ámbito internacional, nacional y local, donde se utiliza la geoinformación como instrumento de determinar áreas deforestadas en la amazonia. Asimismo, se presenta conceptos y definiciones importantes que permiten una mejor comprensión, exponiendo datos bibliográficos que robustecen el presente estudio.

El Capítulo III, se presenta el Planteamiento Metodológico donde se describe el tipo, nivel, método, diseño de la investigación, el planteamiento de hipótesis, definición y operacionalización de variable y la cobertura del estudio. A su vez, se describe la técnica, instrumentos y fuentes de recolección de datos, así como la metodología para la obtención de resultados, mediante la clasificación de las imágenes por el método del Modelo Lineal de Mezcla

Espectral, la tabulación cruzada y la evaluación de resultados de la matriz de confusión.

El Capítulo IV, se presenta los resultados parciales donde se muestra la medida de clases, tabulación cruzada, evaluación de resultados, mapas de los años 2006, 2011 y 2016., los resultados generales donde se muestran los resultados por objetivos y finalmente la discusión de resultados.

Por último, se presenta las conclusiones y recomendaciones, donde se expresa a donde nos conlleva el estudio y de manera específica las acciones a tomar en cuenta para futuras investigaciones relacionadas con la geoinformación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática.

1.1.2. Caracterización del problema

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2016). La superficie total mundial de bosques en el año 2015 es de 3.999 millones de hectáreas, correspondiente al 30.6% de la superficie terrestre, estos datos comparados con lo que respecta a datos del año 1990 el planeta tenía 4.128 millones de hectáreas que representa el 31.6 % de la superficie del planeta. Analizando estos datos, la superficie deforestada es de 129 millones de hectáreas en este periodo, que representa el 1 % de la superficie del planeta, siendo la pérdida de bosques más importante en los trópicos, especialmente en América del Sur y África.

De acuerdo al Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC, 2016). El Perú en el año 2016, la superficie de bosques es de 68 733 265 hectáreas, que representa al 60% del territorio nacional, distribuida en costa, sierra y selva del país, casi en su totalidad las superficies de bosques son tropicales, encontrándose la mayor superficie forestal en la región amazónica con casi 64 609 269 hectáreas, que representa el 94 % de superficie bosques. Sin embargo, el país en el periodo del 2001 al 2016, ha perdido un total de 1 974 209 ha de bosques, lo que equivale a una pérdida promedio de 123 388 ha al año. Siendo la mayor cantidad de áreas deforestadas en la amazonia peruana.

En el País, una de las principales causas directas de la pérdida de masa forestal, es la minería aluvial aurífera. (Muñoz y Freitas, 2016). De acuerdo a los datos obtenidos por la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA, s. f.). El país está considerado, después de los bosques de Guyana, Surinam y Guayana Francesa, una de las superficies más extensas de deforestación por minería aurífera en Sudamérica, con aproximadamente 473 km² (47 300 ha). Siendo el departamento más afectado, Madre de Dios donde se deforestaron 25 mil hectáreas de bosque tropical entre los años 2005 y 2012.

En el caso del departamento de Madre de Dios, el desarrollo de las actividades de minería aluvial aurífera, se desarrolla principalmente en la cuenca del río Colorado, que incluye las microcuencas de Puquiri y Huepetuhe, así mismo las cuencas de Inambari, Madre de Dios, Malinowki y Tambopata. Según Gonzales, Casas, Zarate, Rivera y Rodríguez (2012), señala que Huepetuhe es una de las zonas de mayor interés por su actividad extractiva aurífera, debido a la gran magnitud de

actividades extractivas minera observadas en imágenes satelitales más recientes.

En tal sentido, en el Perú existen instituciones encargadas de la fiscalización, cuidado y protección de bosques, adscritas al Ministerio del Ambiente, que en conjunto con la Marina de Guerra del Perú y el Ministerio de Justicia realizan operativos para la contrarrestar las actividades de minería ilegal.

Sin embargo, la falta de información detallada, de las áreas temáticas actuales del estado de los recursos naturales y su uso antrópico, no permite la generación de correctas estrategias y/o políticas de desarrollo sostenible. Esto se evidencia en el progresivo aumento de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en distintos lugares de la amazonia peruana principalmente en Madre de Dios.

1.1.3. Definición del problema:

En ese sentido surge la necesidad de cuantificar las áreas deforestadas mediante una técnica, con bajo costo, el uso mínimo de recursos humanos y que pueda ser aplicada para el monitoreo de áreas deforestadas en la amazonia peruana para diferentes actividades antrópicas y ser insertada de manera sistemática por las distintas entidades del estado y/o instituciones usuarias o de investigación, de manera que contribuya en la generación de estrategias para contrarrestar las actividades ilegales que perjudican el ambiente.

1.2. Formulación del Problema.

1.2.1. Problema General.

PG. ¿Es posible cuantificar las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera, mediante el uso de técnicas de Geoinformación en el periodo 2006 – 2016 en Huepetuhe– Madre de Dios?

1.2.2. Problemas Específicos.

PE.1. ¿La transformación de las imágenes de satélite Landsat del año 2006, 2011 y 2016, en imágenes fracción suelo, vegetación y agua permite evaluar el algoritmo presentado en el Modelo Lineal de Mezcla Espectral en Huepetuhe – Madre de Dios?

PE.2. ¿Cuál es el nivel de desempeño de la metodología de clasificación de las imágenes fracción de los años 2006, 2011 y 2016, del Modelo Lineal de Mezcla Espectral?

PE.3. ¿Cuál es la cantidad de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el periodo 2006 - 2016, así como la proyección para el año 2021 de la cantidad de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en Huepetuhe – Madre de Dios?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General.

OG. Cuantificar las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el periodo 2006 – 2016 mediante el uso de técnicas de Geoinformación en Huepetuhe - Madre de Dios.

1.3.2. Objetivos Específicos.

OE.1. Transformar las imágenes de satélite Landsat del año 2006, 2011 y 2016, en imágenes fracción suelo, vegetación y agua a fin de evaluar el algoritmo presentado en el Modelo Lineal de Mezcla Espectral en el área de Huepetuhe – Madre de Dios.

OE.2. Evaluar el desempeño de la metodología de clasificación de las imágenes fracción de los años 2006, 2011 y 2016, del Modelo Lineal de Mezcla Espectral.

OE.3. Determinar la cantidad de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el periodo 2006 - 2016 y realizar una proyección al año 2021 de la cantidad de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el área de Huepetuhe – Madre de Dios.

1.4. Justificación de la investigación.

1.4.1. Justificación Teórica:

La presente investigación, robustece el sustento teórico de la aplicación de técnicas de geoinformación en la determinación de áreas deforestadas por las actividades antrópicas en la amazonia peruana – brasilera. Asimismo, el estudio servirá como información base para futuras investigaciones que pretendan desarrollar temas vinculados al monitoreo sistemático de áreas deforestadas en la amazonia peruana, guardando en parte relación con la implementación del Sistema de Protección y Vigilancia de la Amazonia Peruana (SIVAN – SIPAN), ya que en la actualidad existe una insuficiente cantidad de investigaciones hechas, en nuestro territorio.

1.4.2. Justificación Metodológica:

La presente investigación aplica la metodología del Modelo Lineal de Mezcla Espectral desarrollada dentro del campo de la geoinformación, la misma que se evalúa el desempeño para determinar y cuantificar la cantidad de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en territorio peruano, de tal manera que pueda ser aplicada de forma sistemática por las instituciones encargadas del monitoreo de áreas deforestadas en la amazonia peruana, a fin de generar estrategias para contrarrestar las actividades ilegales no acordes al desarrollo sostenible del país. Por ello, la generación de una metodología que les permita desarrollar y optimizar sus actividades de monitoreo se hacen necesarias.

1.4.3. Justificación Práctica:

Este estudio guarda relación con la implementación del Sistema de Protección y Vigilancia de Amazonia Peruana, el mismo que hará uso de nuevas técnicas de diagnóstico de la amazonia, así

como seguimiento de actividades ilegales. Así mismo, al presentar una metodología aplicable desde software libres e imágenes descargables libremente en internet, permitiendo la masificación del uso de esta metodología en diferentes instituciones públicas y privadas, organismos no gubernamentales e investigadores.

1.5. Importancia de la Investigación.

En la actualidad con el uso de técnicas de geoinformación, permite acceder a monitorear recursos naturales en grandes áreas, en el menor tiempo posible y de forma actualizada, con el uso mínimo de recursos humanos y económicos, siendo una alternativa de implementación para el estado peruano.

En tal sentido el presente trabajo de investigación tiene radical importancia ya que pretende contribuir con información básica y con datos precisos de las áreas deforestadas en el periodo 2006 – 2016, por las actividades de minería aluvial aurífera en Huepetuhe - Madre de Dios., Información que permitirá una toma de decisiones de manera oportuna, para los procesos de fiscalización y/o planificación del territorio por parte de las instituciones encargadas de realizar dicha labor, así como el diseño de políticas y planes de ordenamiento territorial, enfocado en el desarrollo sostenible.

Otro aporte importante, es contribuir con datos para la realización de futuras investigación en el uso de técnicas de geoinformación para determinar áreas deforestadas en la amazonia peruana.

1.6. Limitaciones de Investigación.

Las limitaciones para llevar a cabo la presente investigación, es la falta de información detallada y el difícil acceso a la base de datos exactos, para realizar la metodología de Modelo Lineal de Mezcla Espectral, debido al desarrollo de actividades mineras auríferas ilegales que se desarrolla en Huepetuhe – Madre de Dios.

Asimismo, el obtener imágenes Landsat dentro de la estacionalidad adecuada en los años 2006, 2011 y 2016, que permita evitar la presencia de nubes o grandes interferencias atmosféricas.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1. Antecedentes de la Investigación.

A continuación, se presenta estudios internacionales, nacionales y locales, que resumen investigaciones en materia del uso de la geoinformación:

2.1.1. Internacionales.

- Segmentación y Clasificación de la Imagen Sombra del Modelo de Mezcla para Mapear la Deforestación en la Amazonia: El objetivo de este trabajo es buscar un procedimiento en la identificación de áreas de deforestación a través del procesamiento digital de imágenes de satélite Landsat/TM, el área de estudio se localiza en Rondonia – Brasil, las imágenes Landsat utilizadas corresponden al 07 de junio de 1992 y el 15 de julio de 1994, las bandas utilizadas fueron 3, 4 y 5, que se analizaron en el Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada (SPRING), los resultados generados a través del uso de técnicas

de segmentación y clasificación de la imagen sintética sombra derivada del modelo de mixtura espectral, mostro ser viable para lograr el mapeo de áreas deforestadas en la Amazonia Legal (conformada por 9 estados brasileños), así mismo sugiere la aplicación de este procedimiento en áreas complejas, que presentan dificultades en el mapeo de la deforestación, como áreas ocupadas con bosques secundarios, bosque y no bosque (Shimabukuro, Mello, Moreira y Duarte, 1997).

- Análise da dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima – Amazônia Setentrional, através da subtração de imagens-fração: El objetivo de este estudio es evaluar la dinámica de las conversiones de uso y cobertura de la tierra, a través de la técnica de detección de cambios aplicadas a las imágenes fracción del Modelo Lineal de Mezcla Espectral (MLME), de imágenes ópticas Landsat/TM, el área de estudio comprende la región sudeste de Roraima – Brasil, las imágenes utilizadas son del satélite Landsat 5/TM, que corresponde al 14 de octubre del 2004 y 28 de agosto de 2010, las bandas utilizadas fueron 1, 2, 3, 4,5, y 7, el software de procesamiento utilizado fue el ENVI/IDL y el SPRING (Sistema de procesamiento de Información Geográfica), los resultados demuestran que los componentes puros seleccionados para la generación de imágenes fracción (suelo, sombra y vegetación, que derivan del modelo lineal de mezcla espectral (MLME), del año 2004, y utilizados en la obtención de las imágenes fracción del año 2010, los errores medios cuadráticos fueron considerados adecuados, así mismo consiguió discriminar tipos de conversiones, a través de la agrupación basada en la ganancia y pérdida de la biomasa, con el uso del Bhattacharya, el estudio llegó a determinar que las

conversiones se dan principalmente de 1000 - 1500 metros en las vías de acceso (Ramalho, Neves y Magalhães, 2013).

- Monitoramento de mudanças na cobertura da terra na região da Floresta Nacional do Tapajós, Amazônia Brasileira, utilizando segmentação de imagens multitemporais: El objetivo de este estudio es presentar un procedimiento semiautomatizado para monitorear la tierra y los cambios de cobertura en la Amazonia brasileña, mediante la aplicación de segmentación a las imágenes multitemporales Landsat/TM, asimismo el uso del Modelos Lineal de Mezcla Espectral, para polígonos de clases de cobertura, el área de estudio comprende aproximadamente 10,650 kilómetros cuadrados, localizada en la región de Bosque Nacional de Tapajos en el estado de Pará, Amazonia brasileña, las imágenes son del Landsat 5/TM, que corresponden al 22 de agosto de 1989, 02 de agosto de 1999, 28 de julio de 2009, la metodología consiste en utilizar técnicas de procesamiento de imágenes para mapear clases de uso y cobertura de suelo, mediante segmentación de imágenes, clasificación no supervisada y edición de imágenes, los resultados logrados muestran que la metodología propuesta presenta un potencial en el mapeo y monitoreo y uso de la tierra en la región amazónica, ya que los resultados mostraran el aumento de áreas desforestadas en el área de estudio y mapearan las áreas de regeneración forestal con diferentes edades (Shimabukuro, Duarte, Arai y Freitas, 2013).
- Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta: La investigación presenta una metodología que emplea los principios de

clasificación orientada a objetos, con el propósito de determinar, cuantificar y visualizar, las coberturas y usos de la tierra para mapear el cambio ocurrido en un lapso de 17 años, en el piedemonte depositacional del municipio de Villavicencio en el departamento del Meta – Colombia, la metodología se aplicó para las imágenes del sensor Landsat, para los años 1986 y 2003, el programa a utilizar fue ENVI versión 4.6, con el módulo de ENVI ZOOM, con la clasificación utilizada fue posible delimitar las áreas de tres coberturas: bosques (9.304, 5 ha – 1986 y 2.083,8 ha – 2003), bosques de galería (3.581,5 ha – 1986 y 2.597 ha – 2003) y palma africana (110, 39 - 1986 y 218,88 – 2003), con el cambio de uso (bosques: -77.6% y bosques de galería en -27,5 %), a partir de una imagen satelital con resolución espacial media, los resultados de la validación de la clasificación en la imagen del año 2003, indicaron que fueron aceptables (Coeficiente Kappa = 0.365). de acuerdo a los resultados de la investigación, la clasificación orientada a objetos, puede ser una alternativa eficiente y precisa a implementar para clasificar imágenes de sensores, cuando se requiere delimitar una cobertura específica (Rodríguez, 2011).

2.1.2. Nacionales.

- Incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa en los bosques de la provincia alto amazonas del departamento de Loreto, 2000 – 2014: Es un estudio sobre incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa en los bosques de la provincia Alto Amazonas, en un área de 1 958 133.5 hectáreas, las imágenes de satélite utilizada son el Landsat 5/TM, asimismo el software usados son el CLASlite 3.1 y el ArcGIS 10.2.2, el tipo de investigación fue descriptivo-correlacional de nivel básico, la población estuvo constituida por

la biomasa de todas las especies existentes de bosques, la muestra fue igual a la población de manera que no se utilizó ningún diseño de investigación, para estimar la deforestación, utilizó la base de datos del Ministerio del Ambiente que maneja el Sistema de Análisis Landsat de Carnegie-Lite (CLASlite) y para cuantificar la biomasa se empleó datos de los estudios: Amazon Basin Aboveground Live Biomass Distribution Map: 1990-2000 y las Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density, el estudio determina que en el periodo de 2000 – 2014, se deforestaron 79 723.01, así mismo el estudio recomienda experimentar nuevas técnicas para el cálculo de biomasa en la amazonia, que sean directas y de menor costo empleando imágenes satelitales (Burga, 2016).

- Evaluación de áreas deforestadas y humedales en los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios al año 2011: El objetivo de este estudio es determinar e identificar la superficie de deforestación y aguajales en el departamento de Loreto, determinar e identificar las áreas deforestadas y los humedales del departamento de Ucayali y determinar e identificar la superficie de deforestación por actividades mineras en el departamento de Madre de Dios, la metodología propuesta para el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5/TM y Alos Avnir en el software ArcGIS 10, software ENVI 4.8, GPS Mapsource, Basecamp, DNRgamin clasificación supervisada y no supervisada, para el caso de Loreto y Ucayali, y el uso de las imágenes Alos Avnir, Alos PALSAR, Landsat TM, Alos PRISM, e imágenes multiespectrales RGB, BN e infrarrojos, el software utilizado corresponde a ArcGIS 10.0, ENVI 4.8, GPS Mapsource, Basecamp, DNRgamin, el estudio determino e identifico que para el departamento de Loreto cuenta con 6 047 058 hectáreas de

aguajales y 870 165 hectáreas deforestadas, 84 732 hectáreas de humedales y una superficie deforestada de 520 157 hectáreas para el departamento de Ucayali, y 25 690.09 hectáreas deforestadas a causa de la minería en el departamento de Madre de Dios (Candia y Janampa, 2013).

- Análisis y Modelación de Deforestación para los años 1990, 2000 y 2010 en el corredor MANU – AMARAKEIRI: El objetivo de este trabajo es determinar la superficie deforestada del corredor Manu – Amarakaeri para los períodos 1990, 2000 y 2010 e identificar los factores que generan la deforestación en el corredor Manu – Amarakaeri, el método consistió en primero buscar imágenes Landsat 5/TM y 7/ETM+, para el procesamiento de imágenes de satélite se utilizaron los programas ENVI 4.7, ArcGIS 10.0, así mismo se utilizó la clasificación supervisada, para la generación de data vectorial e interpretación y digitalización de información temática, para la validación y edición del archivo vector se generaron los mosaicos de imágenes Landsat, para posterior procesarlos en el ArcGIS 10.0, conjuntamente con el archivo vector de deforestación, para luego ser combinados (7-4-3 RGB) y comparar el archivo vectorial con el mosaico de cada año correspondiente, el presente estudio determinó que la deforestación para los años 1990, 2000 y 2010, la clasificación supervisada de las imágenes satelitales arrojó una deforestación de 6082.6 hectáreas, así mismo el estudio llegó a determinar que existen dos tipos de deforestación en el área de estudio, tal es la deforestación natural como la formación de playas, islas, meandros zonas pantanosas y deslizamientos y deforestación artificial que agrupa la formación de pastos, cultivos, el rozo, chacras abierta y urbanas (Ríos, William. Cervantes, Trujillo y Sánchez, 2012).

- Clasificación utilizando el Modelo Lineal de Mezcla Espectral para la determinación de áreas deforestadas en la Amazonia Peruana: El objetivo de este trabajo fue comparar los modelos de la clasificación, empleando el Modelo Lineal de Mezcla Espectral y la clasificación de las bandas TM/Landsat 3, 4 y 5 para determinar y cuantificar áreas deforestadas en la zona de influencia Carretera Iñapari-Iberia. Se utilizaron imágenes Landsat escena 003/068 del 19 de julio de 2006, el mosaico Geocover S-19-10_2000, y el software de procesamiento de las imágenes es el SPRING versión 4.3.3, el uso de las fracciones vegetación, suelo y sombra resultado del Modelo Lineal de Mezcla Espectral (89,57% de exactitud), así como las bandas TM/Landsat 3, 4 y 5(81,43% de exactitud), para la clasificación de áreas deforestadas, presentaron un buen desempeño en la determinación de clases, siendo el Modelo de Mezcla de mayor precisión, así mismo para el Modelo Lineal de Mezcla Espectral, por su alto grado de precisión, representa una solución para el uso de metodologías aplicadas a la percepción remota de forma sistemática para el control de la deforestación en el Perú (Díaz y Pardi, 2009).

2.1.3. Locales.

- Teledetección Satelital Óptica en el Seguimiento de las Actividades Minera en Madre de Dios: Este trabajo presenta los resultados de una evaluación temporal, en la que usa técnicas de Teledetección satelital con datos LANDSAT-TM, para el periodo 1975-2011, permitiendo cuantificar el área afectada por las actividades mineras, el área de estudio, corresponde a Madre de Dios, Huaypetuhe e Inambari, las imágenes utilizadas son del satélite Landsat 2 y 5, path/row: 03/069, que corresponden a los años 1975, 1986, 1996, 2004, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011, en

el periodo de niveles bajos de los caudales (julio-setiembre), para el procesamiento de las imágenes satelitales, se usaron los softwares ENVI 1998, ENVI 2012 y el ARGIS (© ESRI). Para la clasificación, se usó el método de clasificación supervisada “Spectral Angle Mapper”, para imágenes Landsat 5, y la no supervisada ISODATA, para las imágenes Landsat 2, los resultados de la clasificación de las 8 imágenes Landsat 5, tuvieron una precisión de 81 % y un índice de Kappa de 0.78, que mide el acuerdo entre el mapa y la realidad; para las imágenes Landsat 2, no se pudo evidenciar la precisión debido a que se usó el método no supervisado. Así mismo el estudio concluyo que Huepetuhe perdió 8,500 hectáreas hasta el año 2011, con una velocidad de crecimiento de 315 hectáreas/año desde el periodo 2007 hasta el 2011 (Gonzales, Casas, Zarate, Rivera y Rodríguez, 2012).

2.2. Marco Legal.

- **Constitución Política del Perú:** Publicada el 30 de diciembre de 1993. La presente constitución, en el Título I: De la Persona y la Sociedad, Capítulo 1: Derechos Fundamentales de las Personas, en el Artículo 2, del derecho: inciso 22, establece que toda persona tiene derecho, a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida.
Asimismo, en el Título III: Del Régimen Económico, Capítulo 2: Del Ambiente y los Recursos Naturales, en el artículo 69, el estado promueve el desarrollo sostenible de la amazonia con una legislación adecuada.
- **Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM – Política Nacional del Ambiente.** Publicada el 23 de mayo del 2009.
La política nacional del ambiente en el Eje de política 1., de la Conservación y Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales

y de la Diversidad Biológica, en el lineamiento 4. Aprovechamiento de los Recursos Naturales, Impulsa la formalización de las actividades informales de aprovechamiento de recursos naturales. En el lineamiento 6. Bosques: a) Impulsa la gestión sostenible e integrada de los bosques, previene la reducción y degradación de bosques y sus recursos, por prácticas ilegales como tala, quema, comercio y cambio de uso de la tierra, fortalece e incorpora mecanismos de vigilancia comunitaria y ciudadana en las estrategias de seguimiento y control de los derechos forestales, especies nativas.

- **Ley N° 28611- Ley General del Ambiente.** Publicada el 15 de octubre de 2005.y el Decreto Legislativo N° 1055 - decreto legislativo que modifica la Ley N° 28611, ley general del ambiente. Publicada el 27 de junio de 2008.

La presente ley establece en el Título Preliminar. Derechos y principios en el Artículo I.- Del derecho y deber fundamental

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

- **Ley N° 26821- Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales** Publicado el 26 de junio de 1997.

Ley N° 26821, en su Artículo 2º señala que esta Ley tiene por objetivo promover y regular el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, renovables y no renovables, estableciendo un marco adecuado para el fomento de la inversión, procurando un equilibrio dinámico entre el crecimiento económico, la conservación de los

recursos naturales y del ambiente y el desarrollo integral de la persona humana.

- **Ley N° 29763 “Ley Forestal y de Fauna Silvestre.** Publicada el 21 de julio del 2011.

Ley N° 29763, en su Artículo 2° participación en la gestión forestal, este principio otorga a toda persona el derecho y el deber de participar responsablemente en los procesos para la toma de decisiones respecto a la definición, aplicación y seguimiento de las políticas, gestión y medidas relativas a los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre y sus componentes, que se adopten en cada uno de los niveles de gobierno.

- **Resolución Ministerial N° 0172 – 2012 – AG, que aprueba el manual base para la planificación y ejecución de inventarios forestales en bosques de producción permanente.** Publicada el 11 de mayo del 2012.

En la Resolución Ministerial N° 0172-2012-AG. Dentro de su artículo 1ª se resuelve aprobar el Manual Base para la Planificación y Ejecución de Inventarios Forestales en Bosques de Producción Permanente (Versión 1.0) y sus correspondientes anexos, los cuales forman parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

- **Ley N° 28245 “Ley Marco del sistema Nacional de Gestión Ambiental”.** Publicada el 8 de junio del 2004.

Ley N° 28245 señala en su Artículo 1.- Del objeto de la Ley que La presente Ley tiene por objeto asegurar el más eficaz cumplimiento de los objetivos ambientales de las entidades públicas; fortalecer los mecanismos de transectorialidad en la gestión ambiental, el rol que le corresponde al Ministerio del Ambiente (MINAN) , y a las entidades sectoriales, regionales y locales en el ejercicio de sus atribuciones ambientales a fin de garantizar que cumplan con sus funciones y de

asegurar que se evite en el ejercicio de ellas superposiciones, omisiones, duplicidad, vacíos o conflictos.

- **DS. N° 003-2014-PCM. Estrategia Nacional para la Interdicción de la Minería Ilegal.**

Es un decreto supremo, con el objetivo de dar seguimiento actividades ilegales mineras, actividad que se encuentra extendida a nivel nacional, acelerada en las últimas décadas, de manera que se ha convertido en la primera actividad ilícita de nuestro país.

2.3. Marco Conceptual.

- **Aurífera:**

Se hace referencia al mineral conocido comúnmente como oro, de color amarillo, dúctil y maleables que se encuentra en estado nativo en la naturaleza.

- **Banda o canal:**

Porción del espectro electromagnético seleccionada en función de la longitud de onda, que reúnen características más o menos uniformes.

- **Clasificación:**

Es el proceso de extracción de información en imágenes para reconocer patrones y objetos homogéneos, son utilizados en Sensoriamento Remoto para mapear áreas de superficie terrestre que corresponden a los temas de interés, como el agua, suelo o vegetación (INPE, 2002).

- **Datum:**

Es un modelo aproximado de la forma de la superficie terrestre en una determinada zona del globo.

- **Deforestación:**

La deforestación o tala de árboles es un proceso provocado generalmente por la acción antrópica, en el que se destruye la superficie forestal, principalmente debido a talas o quemas, agricultura, minería y ganadería (Wikipedia, 2018).

- **Firma espectral:**
Es la radiación reflejada de diferentes tipos de una superficie, tales como el agua/sombra, vegetación o tierra desnuda, de manera distinta, en varios canales, en función de la longitud de onda (ESA, 2014).
- **Geoinformación:**
Es la representación de las características de un espacio geográfico, desde un punto de vista interdisciplinario.
- **Imágenes Satelitales:**
Son una representación visual de los datos reflejados en la superficie de la tierra, que captura un sensor remoto instalado en un satélite artificial.
- **Landsat**
Landsat es un proyecto formado por una constelación de 8 satélites de las cuales se encuentran 2 satélites activos (Landsat 7 y 8), con la finalidad de proporcionar información sobre cambios de la cobertura terrestre.
- **Lenguaje Espacial de Geoprocesamiento Algebraico (LEGAL):**
Es un lenguaje basado en modelo de datos SPRING constituido por una lista de sentencias que describen un procedimiento, referida a datos espaciales (INPE, 2017).
- **Minería aluvial:**
Es una actividad de recuperación u obtención selectiva de un mineral, que se realiza en los depósitos aluviales que se encuentran cerca de los lechos de los ríos.
- **Modelo Lineal de Mezcla Espectral (MLME):**
Es una media de lo que reflejan o emiten una mezcla de diversos objetos conjuntamente con la interferencia atmosférica.
- **Resolución Espacial:**
Es el área de la superficie vista desde un satélite a una altitud dada en un tiempo determinado.
- **Resolución Espectral:**
Es el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor a bordo del satélite.

- **Resolución Radiométrica:**
Es el número de niveles digitales empleados para expresar los datos corregidos por el sensor.
- **Segmentación:**
La segmentación es una técnica basada en la agrupación de datos con mismos rasgos o características de las áreas adyacentes contenidas en la imagen satelital.
- **Sistema de Información Geográfico (SIG):**
Es un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar grandes volúmenes de datos, transformar y presentar información de la superficie terrestre. (CONIDA, 2011).
- **Spring:**
Es un software que realiza la integración de las representaciones de datos matriciales y datos con estructura vectorial en un único ambiente. Es un producto desarrollado por el Instituto Nacional Investigaciones Espaciales (INPE) y la División de Procesamiento de Imágenes (DPI). (INPE, 2017).
- **Tabulación Cruzada:**
Es el proceso de la creación de una tabla de contingencia desde la distribución de frecuencias multivariada de variables estadísticas.
- **Teledetección:**
Es un modo de obtener información acerca de objetos o área, tomando y analizando datos sin que los instrumentos empleados para adquirir los datos, estén en contacto directo con el objeto o área de estudio (ESA, 2014).

2.4. Marco Teórico.

2.4.1. Geoinformación

Gómez y Velho (1995) citado por Cámara, Davis y Viera. (2001, p. 8) señala que la geoinformación, está definida como la ciencia de la producción de representaciones computacionales del

espacio geográfico, de manera que usa el paradigma de los 4 universos (real, matemático, representación, implementación).

Cámara et al. (2001) señala que para el universo real se encuentran los tipos de suelo, catastro urbano y rural, datos geodésicos y topográficos, para el universo matemático incluye los datos geográficos (datos continuos, objetos individualizados) y especializar estas clases en los tipos de datos geográficos (datos temáticos y catastrales, modelos numéricos del Terreno y datos de detección remota), universo de representación: distingue las representaciones matricial y vector, y para el universo de implementación en este universo ocurren la realización de datos a través de lenguajes de programación

En este sentido de acuerdo a lo señalado en los párrafos anteriores, lo que busca la geoinformación., es una forma de trasladar al ordenador la realidad del espacio geográfico, que requiere de una compleja serie de mediaciones (1).

2.4.2. Teledetección

Según la Agencia Espacial Europea (ESA, 2014), señala que la teledetección o percepción remota es un “modo de obtener información de un objeto, tomando y analizando datos, sin que los instrumentos que se emplean, estén en contacto directo con el objeto” (párr. 1).

La teledetección está conformada por 4 elementos:

- Una plataforma para el sostén del instrumento (aviones, satélites o drones, etc.) (2).
- El objeto o superficie que se va a observar (superficie terrestre, infraestructura, etc.) (2).
- El instrumento o el sensor para observar el objeto o superficie (cámara, escáner, radares, etc.) (2).

- La información que se obtiene con los datos de la imagen y como se emplea y almacena la información (nubosidad, evolución del agujero de ozono, el avance del desierto, el progreso de la deforestación, etc.) (2).

Para obtener información del objeto de estudio, el sensor capta la radiación electromagnética (luz reflejada), la cual contiene información de la superficie, color y forma de un objeto (2).

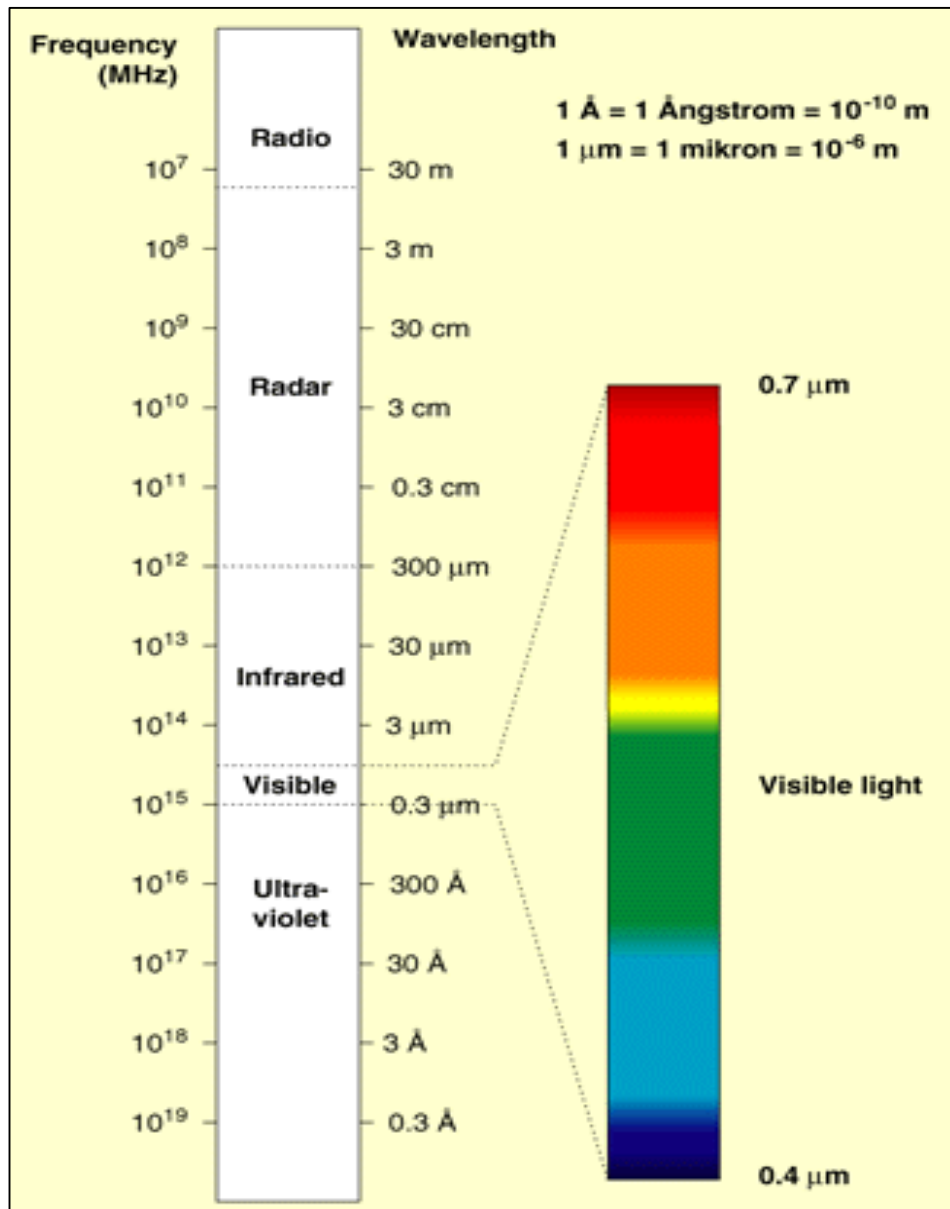
Los distintos objetos emiten radiaciones en longitudes de onda, las superficies blancas reflejan cantidades iguales de radiación de todas las ondas de luz visible, mientras que una superficie verde (hoja verde), refleja menos radiación en las partes roja y azul del espectro electromagnético, en la parte verde, ofreciendo un exceso de luz verde (comparado con el azul y rojo), por lo que la hoja aparece verde (2).

El ojo humano, solo puede percibir radiaciones de una gama limitada de espectro electromagnético, por eso las capacidades de los instrumentos para la teledetección, distingue los diferentes tipos de firmas espectrales en el espectro electromagnético, representando una extensión de nuestro campo visual, proporcionando acceso a información adicional sobre el mundo físico que nos rodea, siendo de vital importancia para la cartografía, donde es fundamental la distinción de distintos tipos de superficie y de área (2).

La radiación electromagnética conocida como el espectro electromagnético (Figura 1), cuya medida se da en longitudes de onda (λ), en una frecuencia (f) o en la energía (J). siendo el espectro visible la que puede captar el ojo humano (Wikipedia, 2018).

Para la presente investigación, la energía en materia de estudio en el empleo de la teledetección es el espectro visual, el infrarrojo y el microondas.

FIGURA 1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Fuente: Extraído de la Agencia Espacial Europea – ESA (?).

Para el desarrollo y mejor comprensión del presente estudio, y el desarrollo de la investigación se describe las principales bandas del espectro electromagnético:

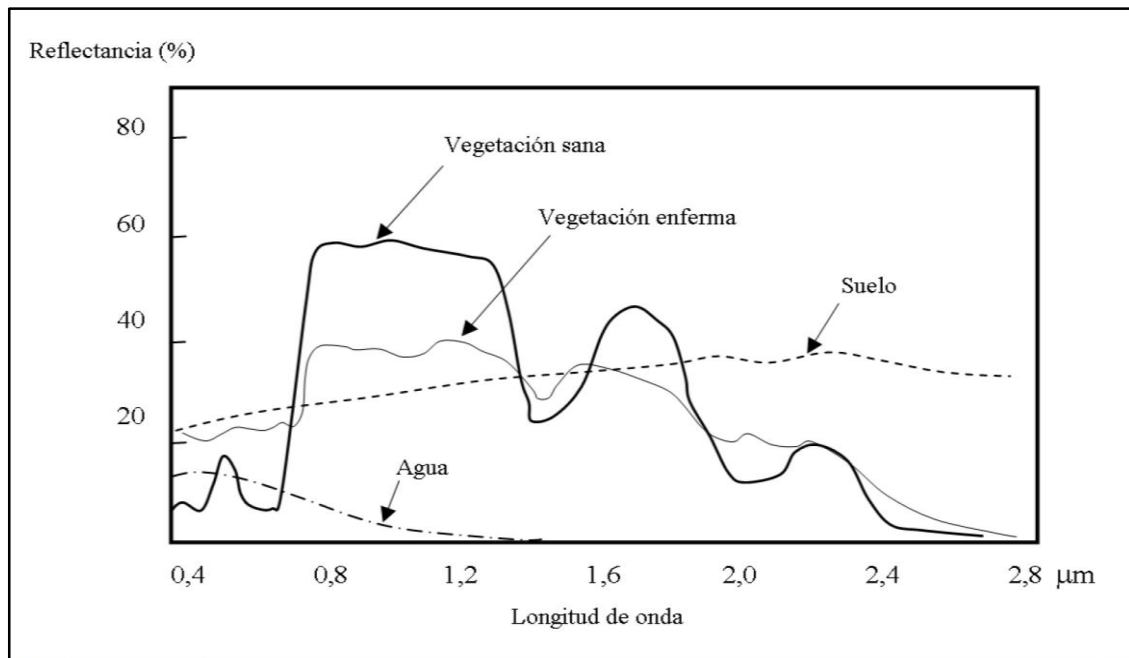
- **El espectro visible:** Es la única banda del EE que es visible a la vista humana de ello su nombre, en esta región se localizan los colores en longitudes, tal es el caso para el azul (0.4 – 0.5 μm), para el verde (0.5 – 0.6 μm) y para el rojo 0.6 – 0.7 μm .
- **Infrarrojo próximo:** Esta banda comprende de 0.7 a 1.3 μm , esta región es de gran utilidad, ya que se puede diferenciar masas de vegetación y concentraciones de humedad.
- **Infrarrojo medio:** Esta banda comprende de 1.3 a 8 μm , en esta región se entremezclan los procesos de reflexión de luz solar y las emitidas por la superficie terrestre.
- **Infrarrojo lejano o térmico:** Esta banda comprende de 8 a 14 μm , en esta región son en la que se emiten energía todos los cuerpos de la superficie terrestre.
- **Microondas:** Esta banda comprende de 1 mm a 10 cm, esta región tiende a ser transparente a la cubierta nubosa.

2.4.3. Comportamiento del agua, suelo y vegetación.

Tal como hemos visto en los párrafos anteriores, las distintas superficies de un objeto reflejan radiación electromagnética que se encuentran en función de la longitud de la onda. La ESA (2014), señala que los “Diferentes tipos de superficies, como el agua, la tierra desnuda o la vegetación, reflejan la radiación de manera distinta en varios canales. La radiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie” (párr. 1).

En ese sentido el agua, la tierra desnuda o la vegetación, contienen diferente tipo de firma espectral, que tienen distinto comportamiento, tal como se muestra en la Figura 2, donde se muestra el comportamiento típico del agua, suelo y la vegetación con respecto al Espectro Electromagnético.

FIGURA 2. FIRMAS ESPECTRALES TÍPICAS DEL SUELO, AGUA Y VEGETACIÓN EN EL RANGO VISIBLE E INFRARROJO REFLEJADO EN EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.



Fuente: Tomado de Patrones de Respuesta Espectral – (Hernández y Fernández, 2009).

Para el desarrollo y mejor comprensión del presente estudio, y el desarrollo de la investigación se describe el comportamiento espectral de la firma espectral del agua, suelo y vegetación.

- **Comportamiento espectral del agua:**

La firma espectral del agua solo se ve reflejada en la gama de la luz visible, pudiendo distinguir fácilmente de otras superficies ya que no se refleja en la gama del infrarrojo cercano tal como se muestra en la figura anterior, presentando una baja reflectividad y con una tendencia descendente a medida que aumenta la longitud de onda.

Manzano (2004) citado por Hernández y Montaner. (2009, p. 10) señala que la firma espectral del agua se ve afectada por factores

como el contenido de clorofila, materiales en suspensión, rugosidad superficial y profundidad.

- **Comportamiento espectral de la vegetación:**

Lobo (1995) citado por Alonso, Moreno y Rodríguez. (1999, p. 3) señala que la firma espectral de la vegetación verde se caracteriza por presentar un claro contraste entre las regiones del espectro correspondiente al rojo del visible y al infrarrojo cercano.

La vegetación sana ofrece baja reflectividad en la banda roja del Espectro Electromagnético (0.6 – 0.7 μm) y altas en el infrarrojo próximo (0.8 – 1.0 μm)., de esta manera cuanto mayor vigor presente la vegetación, mayor será el contraste entre los valores de reflectancia captados en ambas bandas, por otro lado, una vegetación enferma o con una falta importante de humedad presentará bajos niveles de reflectancia en el infrarrojo próximo (Alonso, Moreno y Rodríguez, 1999)

- **Comportamiento espectral del suelo:**

Scanvic (1989) citado por Hernández y Montaner. (2009, p. 8) señala que la firma espectral del suelo desnudo aumenta ligeramente de la gama visible a la infrarroja del espectro, contrariamente cuando se encuentran con un alto contenido de agua, los mismos que poseen una reflectancia 2 veces más débil que los suelos secos, que registran las mayores diferencias en las zonas del infrarrojo cercano.

Así mismo Manzano (2004) citado por Hernández y Montaner. (2009, p. 8) señala que otros factores que modifican la reflectancia de los suelos son: el contenido de materia orgánica, la textura y la estructura, disposición vertical y horizontal, así como los ángulos de iluminación y observación de los suelos.

Para la presente investigación, estos canales variaran de acuerdo a la imagen del satélite Landsat a utilizar, tal es el caso del Landsat 5/TM, se emplearán las bandas 3, 4 y 5, donde mayor se refleja los agua, vegetación y suelo, así mismo para el caso del Landsat 8/OLI, se empleará las bandas 4, 5 y 6, donde mayor refleja el agua, vegetación y suelo.

2.4.4. Modelo Lineal de Mezcla Espectral

El Modelo Lineal de Mezcla Espectral, realizado por Shimabukuro y Smith (como se citó por Shimabukuro, Kalil, Moreira y Duarte, 1997). Señala, que:

“El modelo Lineal de mezcla espectral busca estimar la proporción de los componentes, como suelo, vegetación y sombra, para cada pixel, a partir de la respuesta espectral en las varias bandas del TM, generando las imágenes fracción suelo, vegetación y sombra” (p. 13).

INPE (2002). En este sentido, el modelo lineal de mezcla espectral, fue desarrollado para descomponer la imagen original, en tres componentes (suelo, vegetación y sombra/agua), utilizando la siguiente ecuación:

$$r_1 = a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1n} X_n + e_1$$

$$r_2 = a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{2n} X_n + e_2$$

...

$$r_m = a_{m1} X_1 + a_{m2} X_2 + \dots + a_{m2n} X_n + e_m$$

Es decir,

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j) + e_i, \quad i = 1, \dots, m \text{ (número de bandas) (1)}$$

$j = 1, \dots, n \text{ (número de componentes)}$

$n \leq m e$

S = sumatoria

Donde:

r_i : reflectancia espectral en la $i^{\text{ésima}}$ banda espectral de un pixel.

a_{ij} : reflectancia espectral conocida de la $j^{\text{ésima}}$ componente en la $i^{\text{ésima}}$ banda espectral.

x_j : valor a ser estimado de proporción de la $j^{\text{ésima}}$ componente dentro del pixel; y

e_i : error de estimación para la $i^{\text{ésima}}$ banda espectral.

Para la aplicación del modelo de mezcla en la presente investigación, se utilizará las bandas 3, 4 y 5 del Landsat 5/ TM y las bandas 4, 5 y 6 de las imágenes Landsat 8/OLI, debido a que representan con claridad los elementos: suelo, sombra/agua y vegetación. De esta manera se buscará obtener las imágenes resultantes, suelo, agua y vegetación

2.4.5. Coeficiente Kappa

El coeficiente Kappa mide la exactitud o fiabilidad de procedimiento de clasificación de la imagen satelital. Landis y Koch (1977)., señala los valores del índice Kappa (tabla 1), siendo el nivel estadístico mínimo aceptable Kappa de > 0.60 .

La ecuación para obtener dicho resultado es la siguiente:

$$k = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)}$$

Donde:

K : Coeficiente Kappa

Pr (a) : Acuerdo observado relativo entre los observadores

Pr (e) : Probabilidad hipotética de acuerdo por azar.

TABLA 1. ESCALA DE LOS VALORES KAPPA

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

Fuente: Elaborado por Landis J., y Koch G. (1977)

Para el presente estudio se evaluará la exactitud de la metodología del Modelo Lineal de Mezcla Espectral en base a la escala de los valores Kappa.

2.4.6. Sistemas de Información Geográfico

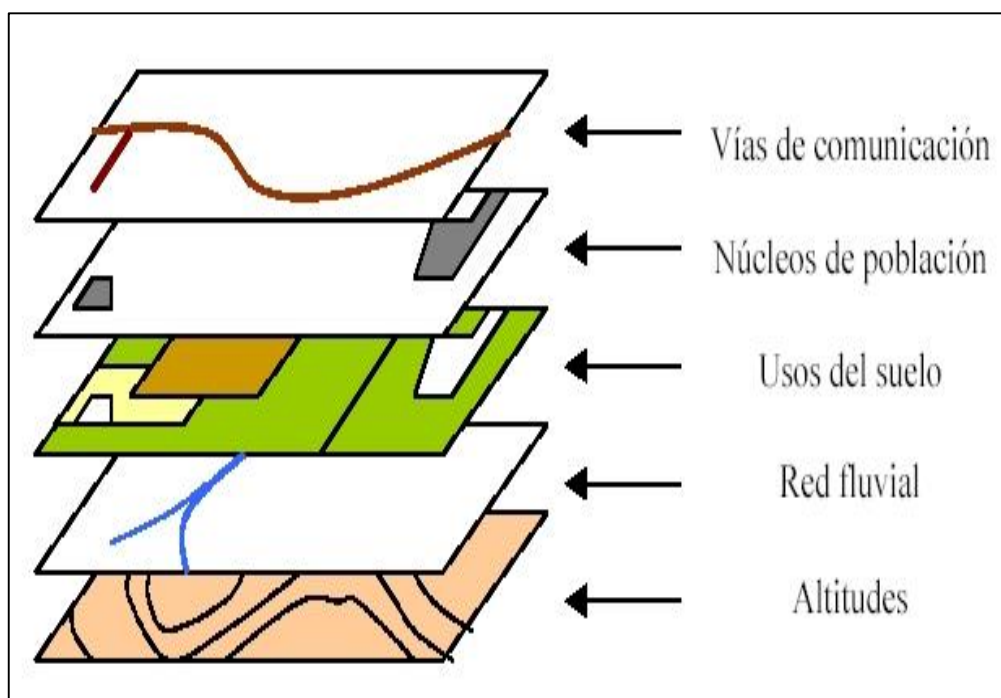
La Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA, 2011) señala que un sistema de información geográfico es:

Conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar grandes volúmenes de datos, transformar y presentar información geográfica. Este sistema está integrado para trabajar con información espacial y atributos asociados, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones. (párr. 1)

La importancia del uso de un Sistema de Información Geográfica, es la gestión de información espacial, puede mostrar distintas

capas temáticas (Figura 3), de manera que permite realizar un análisis multicriterio complejo (Wikipedia, 2018).

FIGURA 3. CAPAS TEMÁTICAS REPRESENTADAS EN UN SIG.



Fuente: Wikipedia (2018)

En este sentido en la presente investigación, se buscará asociar una base de datos de la superficie deforestada por la minería aluvial aurífera de la zona de estudio, creando mapas temáticos de los años 2006, 2011 y 2016.

2.4.7. Clasificación de imágenes satelitales.

De acuerdo al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (INPE, 2002), señala que “La clasificación es el proceso de extracción de información en una imagen para reconocer patrones y objetos homogéneos y son utilizados para mapear áreas de la superficie terrestre, que corresponden a los temas de interés” (párr. 1).

Los tipos de clasificación, según Santos, Oliveira, y Suemi (2010), señala:

- Clasificadores de pixel a pixel:

Utiliza solo información espectral de cada pixel para encontrar regiones homogéneas. Se clasifican en método estadísticos y métodos determinísticos (2).

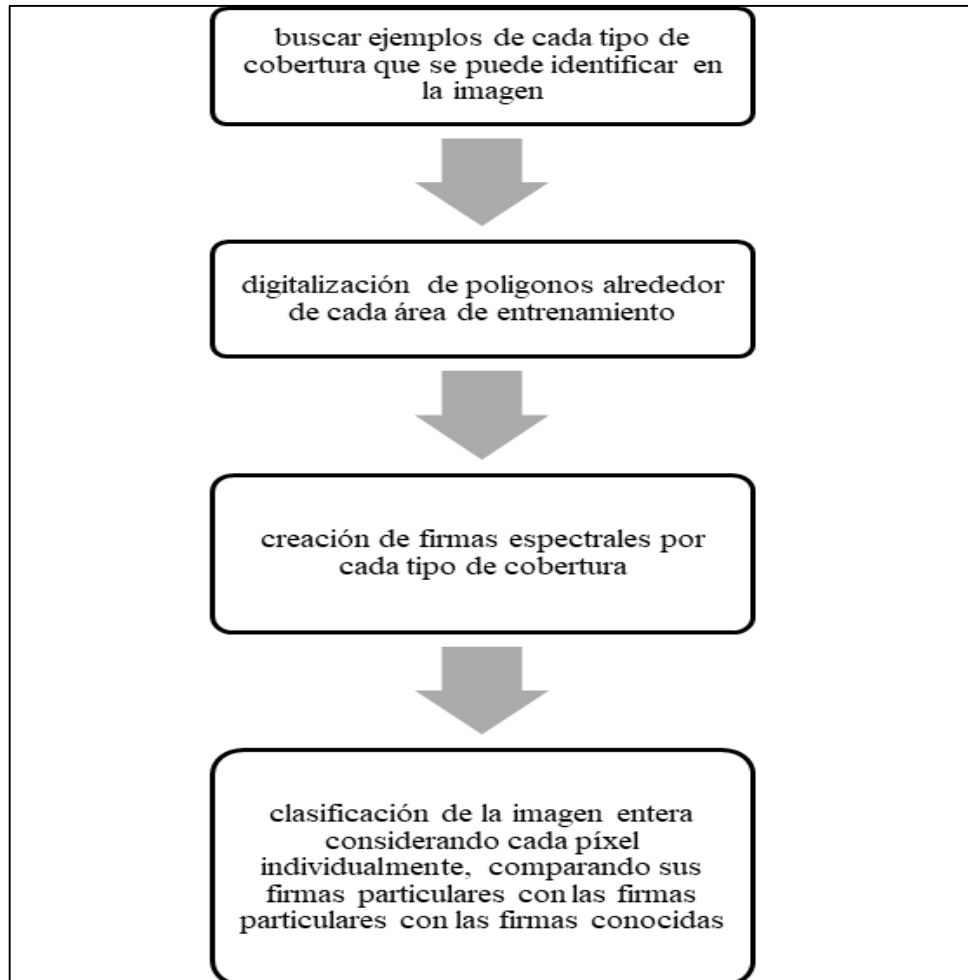
- Clasificadores por regiones:

Utilizan, además de la información espectral de cada pixel, la información espacial que envuelve la relación entre los pixeles y sus vecinos (2).

- Clasificación Supervisado:

Se denomina cuando existen regiones de la imagen en las que se dispone de informaciones que permite la identificación de una clase de interés. Los algoritmos de clasificación más comunes utilizados en la clasificación supervisada por el tipo pixel a pixel se tiene el paralelepípedo, distancia mínima y máxima probabilidad, y el tipo por regiones, comprende el algoritmo Bhattacharya. En la Figura 04, se presenta el proceso para realizar una clasificación supervisada (2).

FIGURA 4. ETAPAS NECESARIAS PARA LA CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.



Fuente: adaptado del manual Aplicaciones prácticas Spring 5.1.2. (2010)

- Clasificación no supervisada:

Esta clasificación no requiere información previa, debido a que el mismo software, examina los datos en agrupamientos espectrales naturales predominantes presentes en una imagen. Asimismo, el algoritmo de clasificación más común por región comprende el Bhattacharya y el Mahalanobis, también conocido como Ioseg (2).

En la presente Investigación, se desarrollará teniendo en cuenta estos tipos de clasificación en el software Spring.

2.4.8. Satélite Landsat

De acuerdo al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2018), señala que Landsat es un proyecto que nace como una iniciativa entre el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del espacio (NASA), la cual representa la colección de datos de teledetección terrestre de resolución moderada, basada en el espacio más larga del mundo, que apoya a comunidades gubernamentales, comerciales, industriales, civiles, militares y educativas de los estados Unidos y todo el mundo.

Según la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, 2017) señala que el proyecto Landsat. está formado por una constelación de 8 satélites, el primer satélite enviado fue en los años de 1972, a partir de esa fecha se han enviado al espacio los satélites Landsat 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 de las cuales se encuentran activos 2 (el 7 y el 8). Esta flota ha proporcionado información sin precedentes sobre los cambios en la cobertura terrestre y sus efectos residuales por más de 40 años, sobre el clima, el ciclo del carbono, los ecosistemas, el ciclo del agua, la biogeoquímica, los cambios de superficie de tierra y la comprensión de los efectos humanos sobre la superficie.

Los satélites Landsat, llevan a bordo diferentes instrumentos que permiten obtener información de la superficie terrestre, su evolución busco captar con mayor precisión y detalle, la superficie terrestre, es así que con el lanzamiento del satélite Landsat 4, el 16 de julio de 1982, se incorporó la versión del sensor TM (Thematic Mapper), que comparado con los satélites Landsat 1, 2, 3, que contaban con los sensores RBV (Return Beam Vidico), MSS (Multispectral Scanner), estos proporcionaban datos de mayor resolución espectral, espacial y radiométrica, significando un gran avance para la teledetección o percepción remota,

permitiendo la implementación de una versión mejorada del TM, en el Landsat 5, el ETM (Enhanced Thematic Mapper), en el Landsat 6, el ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus en el Landsat 7 y el OLI (Operational Land Imager y el TIRS (Thermal Infrared Sensor) en el Landsat 8. ⁽³⁾

En tal sentido, las imágenes Landsat, a utilizar comprende el uso de data de los satélites, que orbitaron en el periodo 2006 – 2016. Siendo de interés los satélites Landsat 5, 7 y 8. A continuación se presenta las características principales de los sensores a bordo de cada satélite Landsat:

- El satélite Landsat 5, fue enviado el 01 de marzo de 1984, llevando a bordo el escáner multiespectral (MSS) y el sensor Thematic Mapper (TM), el primero finalizo su tiempo de vida en el año 1992, siendo activado en junio de 2012 hasta enero del 2013, para realizar adquisiciones limitadas, después de la pérdida del sensor TM del satélite en noviembre del 2011, activando cuatro bandas espectrales (idénticas al Landsat 1 y 2), banda 4 (0,5-0,6 μm), 5 (0,6-0,7 μm), 6 (0,7-0,8 μm), 7 (0,8-1,1 μm), recopilando sus últimos datos hasta enero del 2013. El satélite Landsat 5, fue dado de baja el 5 de junio de 2013. A continuación, en la Tabla 1, se puede apreciar las principales características del sensor TM, Landsat 5. ⁽³⁾

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SENSORES A BORDO DEL SATÉLITE LANDSAT 5

Sensor	Satélites Landsat	Resolución radiométrica	Resolución espacial	Resolución espectral
				7 bandas
TM (Thematic Mapper)	Landsat 5	8 bits	30 m	1: 0, 45-0,52 μm
		8 bits	30 m	2: 0,52-0,60 μm
		8 bits	30 m	3: 0,63-0,69 μm
		8 bits	30 m	4: 0,76-0,90 μm
		8 bits	30 m	5: 1,55-1,75 μm
		8 bits	120 m	6: 10,4-12,5 μm
		8 bits	30 m	7: 2,08-2,35 μm

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos USGS (2018)

- El satélite Landsat 7, fue enviado el 15 de abril de 1999, llevando a bordo el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), las imágenes constan de siete bandas espectrales con una resolución de espacial de 30 metros, para las bandas 1-5 y 7, la resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros, estas imágenes recolectan uno de dos ajustes de ganancia (bajo o alto) para aumentar la sensibilidad radiométrica y el rango dinámico, mientras que la banda 6 recoge tanto la ganancia baja como la alta para todas las escenas (tamaño de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste), el satélite se encuentra proporcionando imágenes en la actualidad. A continuación, en la Tabla 2, se puede apreciar las principales características del sensor ETM+, Landsat 7. ⁽³⁾

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SENSORES A BORDO DEL SATÉLITE LANDSAT 7

Sensor	Satélites Landsat	Resolución radiométrica	Resolución espacial	Resolución espectral
				8 bandas
ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	Landsat 7	8 bits	30 m	1: 0,45-0,52 μm
		8 bits	30 m	2: 0,52-0,60 μm
		8 bits	30 m	3: 0,63-0,69 μm
		8 bits	30 m	4: 0,77-0,90 μm
		8 bits	30 m	5: 1,55-1,75 μm
		8 bits	60 m	6: 10,4-12,5 μm
		8 bits	30 m	7: 2,08-2,35 μm
		8 bits	15 m	8: 0,52-0,90 μm

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos USGS (2018)

- El satélite Landsat 8, fue enviado el 11 de febrero de 2013, llevando a bordo los sensores Operacional Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), consta de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas 1-7 y 9, la resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros, para las bandas térmicas 10 y 11, la resolución es de 100 metros, el satélite se encuentra proporcionando imágenes en la actualidad. A continuación, en la Tabla 3, se puede apreciar las principales características del sensor OLI/TIRS, Landsat 8. ⁽³⁾

TABLA 4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SENSORES A BORDO DEL SATÉLITE LANDSAT 8

Sensor	Satélites Landsat	Resolución radiométrica	Resolución espacial	Resolución espectral
				11 bandas
OLI/TIRS (Operational Land Imager/ Thermal Infrared Sensor)	Landsat 8	12 bits	30 m	1: 0,43-0,45 μm
		12 bits	30 m	2: 0,45-0,51 μm
		12 bits	30 m	3: 0,53-0,59 μm
		12 bits	30 m	4: 0,64-0,67 μm
		12 bits	30 m	5: 0,85-0,88 μm
		12 bits	30 m	6: 1,57-1,65 μm
		12 bits	30 m	7: 2,11-2,29 μm
		12 bits	15 m	8: 0,50-0,68 μm
		12 bits	30 m	9: 1,36-1,38 μm
		12 bits	100 m	10: 10,6-11,19 μm
		12 bits	100 m	11: 11,5-12,51 μm

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos USGS (2018)

CAPITULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.

3.1. Tipo, Nivel.

3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación a utilizar es aplicado, porque tiene como propósito recoger la información de la realidad, mediante la investigación, la aplicación de técnicas de geoinformación para realizar el procesamiento de las imágenes satelitales Landsat, mediante el software Spring, a fin de obtener mapas de deforestación, realizar análisis, sistematización y verificación de resultados, con la finalidad de obtener datos confiables del periodo de estudio.

3.1.1. Nivel de Investigación.

El nivel de investigación a utilizar es descriptivo, ya que pretende describir el uso de técnicas de geoinformación para determinar áreas deforestadas por actividades de minería aluvial aurífera en el área de estudio, en un determinado periodo.

3.2. Método de la Investigación.

El método que se va a emplear en el desarrollo de la presente investigación es cuantitativo, ya que se realizará mediciones de la cantidad de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera, en Huepetuhe – Madre de Dios.

3.3. Diseño de la Investigación.

El diseño que se empleará en la presente investigación será no experimental, ya que no se manipulará la variable en estudio, ya que se observará la deforestación en el área de estudio, a fin de describir sus características y observaciones encontradas.

3.4. Hipótesis de la Investigación.

La presente investigación no busca pronosticar un dato o cifra respecto al uso y cobertura de suelos, ni de la deforestación y al ser considerada de alcance descriptivo no se estima necesario establecer hipótesis (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.5. Variables.

3.5.1. Variable 1: Técnicas de Geoinformación

Son técnicas que permiten recolectar información sobre un objeto o área de estudio, sin tener contacto físico con el objeto o área. Estas son usadas ampliamente para obtener información de la superficie terrestre.

3.6. Cobertura del Estudio de Investigación.

3.6.1. Universo

Para la realización del proyecto investigación, el universo será la Amazonia Peruana.

3.6.2. Población

La población estará conformada por los bosques amazónicos de la región Madre de Dios.

3.6.3. Muestra

Para la realización del proyecto de investigación, la muestra es de procedimiento no probabilístico ya que se realiza según el criterio

del investigador, que para los fines del estudio será la zona circundante del área de Huepetuhe - Madre de Dios. A continuación, se detallará las principales características del área de estudio:

La zona a estudiar se encuentra ubicada en el distrito de Huepetuhe, provincia de Manu, departamento de Madre de Dios., entre las coordenadas geográficas 13° 08' 30.00" y 12° 28' 30.00" de latitud Sur y 70° 52' 52.45" y O 70° 02' 00.00" de longitud Oeste (Figura 5).

La zona a estudiar forma parte de una gran cuenca geológica sedimentaria, que emplaza terrazas medias a altas ligeramente disectadas, con pendientes fuertes donde afloran depósitos cuaternarios, los mismo que dan origen a suelo residuales ricos en oro. (Gobierno Regional de Madre de Dios, s.f)

El área de estudio hidrográficamente pertenece a la intercuenca alta, medio alta y medio Madre de Dios, que abarca las microcuencas de Puquiri, Huepetuhe y el Colorado, los mismos que presentan grandes alteraciones en su cauce producto de la minería aurífera. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

Así mismo Comprende los bosques muy húmedo subtropical, y bosque húmedo subtropical transicional a bosque pluvial Subtropical, la vegetación comprende bosques de árboles de altura media y de gran variedad florística, abundando las especies de aguaje, shapaja, ungurahui y ponas. Así mismo la biotemperatura anual varía entre los 17 y 22,5 ° C, y la precipitación anual entre 2000 y 4000 mm. (Gobierno Regional de Madre de Dios, s.f)

La economía de los moradores gira principalmente alrededor de la extracción de oro con diversas tecnologías: dragas, cargadores frontales, shunteo o canaletas, localizada principalmente

próximas a las orillas de los ríos. (Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana, 2001)

FIGURA 5. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Muestreo

El muestro es de criterio o intencional ya que se selecciona aquellas muestras que reúnen las características que para los fines del estudio se ha establecido (clases temáticas).

3.7. Técnicas, Instrumentos y Fuentes de Recolección de Datos.

3.7.1. Técnicas de la Investigación.

En la presente investigación, las técnicas de recolección de datos se realizaron mediante, análisis bibliográficos, procesamiento de imágenes Landsat, mapeo y la observación de resultados obtenidos. Para la ejecución de técnicas de geoinformación, en el presente estudio se consideró las siguientes imágenes satelitales: Para el año 2006, se empleó las bandas 3, 4 y 5 del satélite Landsat 5/TM: escena 003/69, correspondiente al 04 de agosto de 2006 (obtenida en forma libre por la internet, <http://www.glovis.usgs.gov.com>), con una resolución espacial de 30 metros.

Para el año 2011, se empleó las bandas 3, 4 y 5 del satélite Landsat 5/TM, escena 003/69, correspondiente al 03 de setiembre de 2011 (obtenida en forma libre por la internet, <http://www.glovis.usgs.gov.com>), con una resolución espacial de 30 metros.

Para el año 2016, se empleó las bandas 4, 5 y 6 del satélite Landsat 8/OLI, escena 003/69, correspondiente al 16 de setiembre de 2016 (obtenida en forma libre por la internet, <http://www.glovis.usgs.gov.com>), con una resolución espacial de 30 metros.

A continuación, en la Tabla 4 se resumen las características de las imágenes ópticas utilizadas para el proceso de la cuantificación de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en Huepetuhe – Madre de Dios.

TABLA 5. IMÁGENES PARA REALIZAR EL PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS.

Sensor	Fecha de adquisición	Orbita/Punto	Bandas	Resolución Espacial
TM/Landsat 5	04/08/2006	003/069	3, 4 y 5	30 m
TM/Landsat 5	03/09/2011	003/069	3, 4 y 5	30 m
OLI/Landsat 8	16/09/2016	003/069	4, 5 y 6	30 m

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Instrumentos de la Investigación.

- Instrumentos Bibliográficos:

Comprende el alcance proporcionado por algunos autores de libros, fichas bibliográficas y tesis que abordan temas, de aplicación de técnicas de geoinformación para analizar la pérdida de cobertura vegetal en la superficie terrestre.

- Instrumentos de Gabinete:

Se utilizó el Software de Procesamiento de Información Geográfica denominado SPRING, versión 5.5.2

3.7.3. Fuentes de Recolección de Datos.

- Personas u hechos
- Material impreso
- Internet
- Observación con medios electrónicos

3.8. Procesamiento estadístico de la Información.

3.8.1. Estadísticos

Se tomaron en cuenta los datos de las clases temáticas obtenidas de los años 2006, 2011 y 2016, a fin de proyectarlos al año 2021.

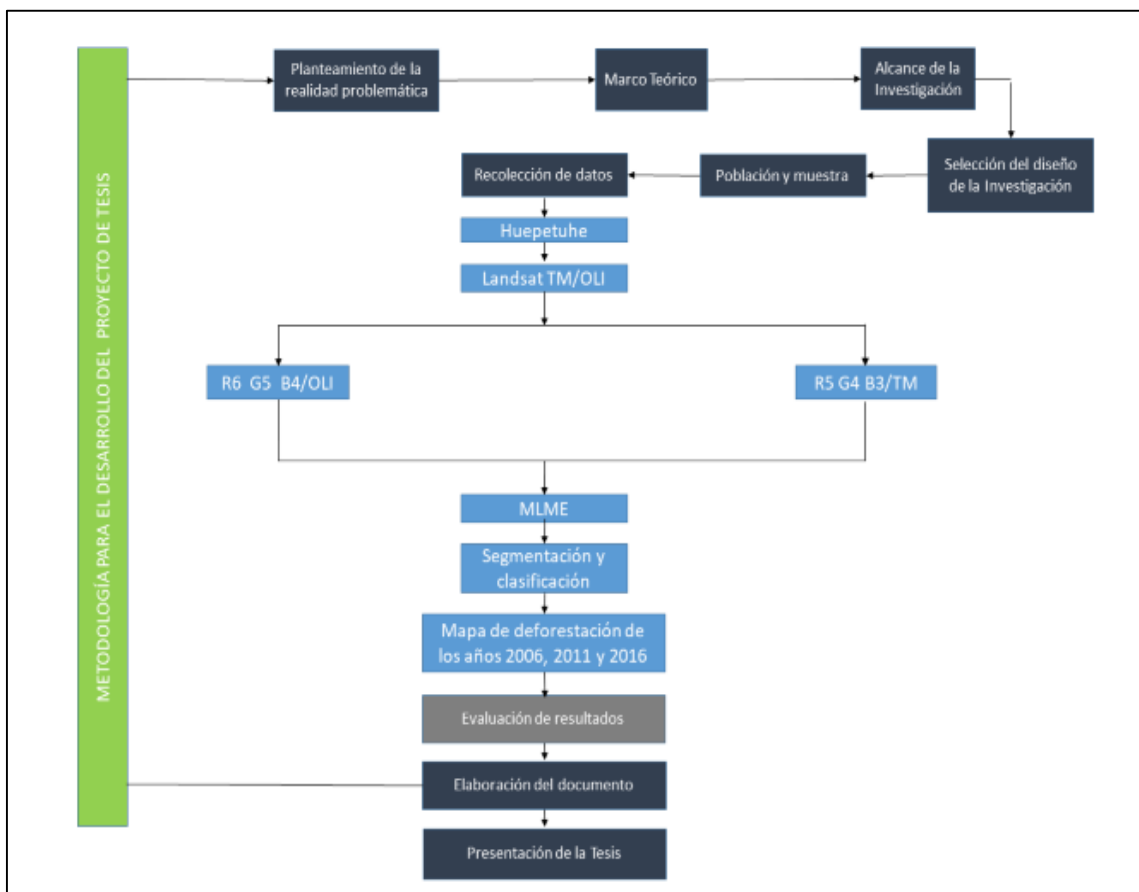
3.8.2. Representación

Se representaron las clases temáticas en los mapas de los años 2006, 2011 y 2016.

3.9. Descripción Metodológica para la cuantificación de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en Huepetuhe.

Para la obtención de los resultados en el presente estudio de investigación, se aplicó la técnica de clasificación de imágenes satelitales Landsat, tabulación cruzada y la evaluación de los resultados obtenidos mediante la matriz de confusión y el índice Kappa (Figura 6).

FIGURA 6. ESQUEMA PARA DETERMINAR LAS CUANTIFICACIONES DE LAS ÁREAS DEFORESTADAS EN HUEPETUHE – MADRE DE DIOS.



Fuente: Elaboración propia adaptando la idea propuesta por el May FAP Fernando Joel Díaz Salinas.

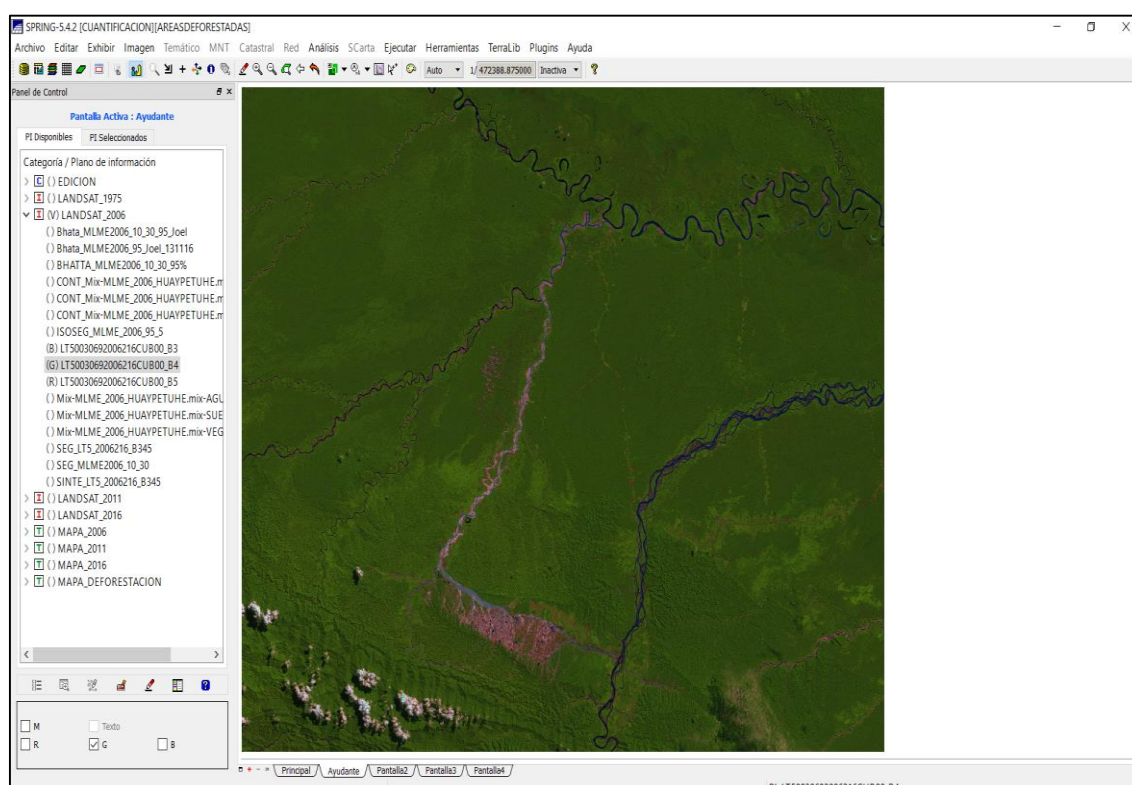
- **Clasificación de las imágenes.**

Para dar inicio al método, se creó el banco de datos a la que se le designó “Cuantificación” para el procesamiento de imágenes de satélite Landsat y la elaboración de los mapas, dentro de ello se estructuró el proyecto, el cual se le denominó “Áreas Deforestadas”, teniendo una

proyección cartográfica UTM, DATUM WGS-84, zona 19., considerando las categorías del modelo de datos, de acuerdo al avance del proceso en: imagen, catastral y temático.

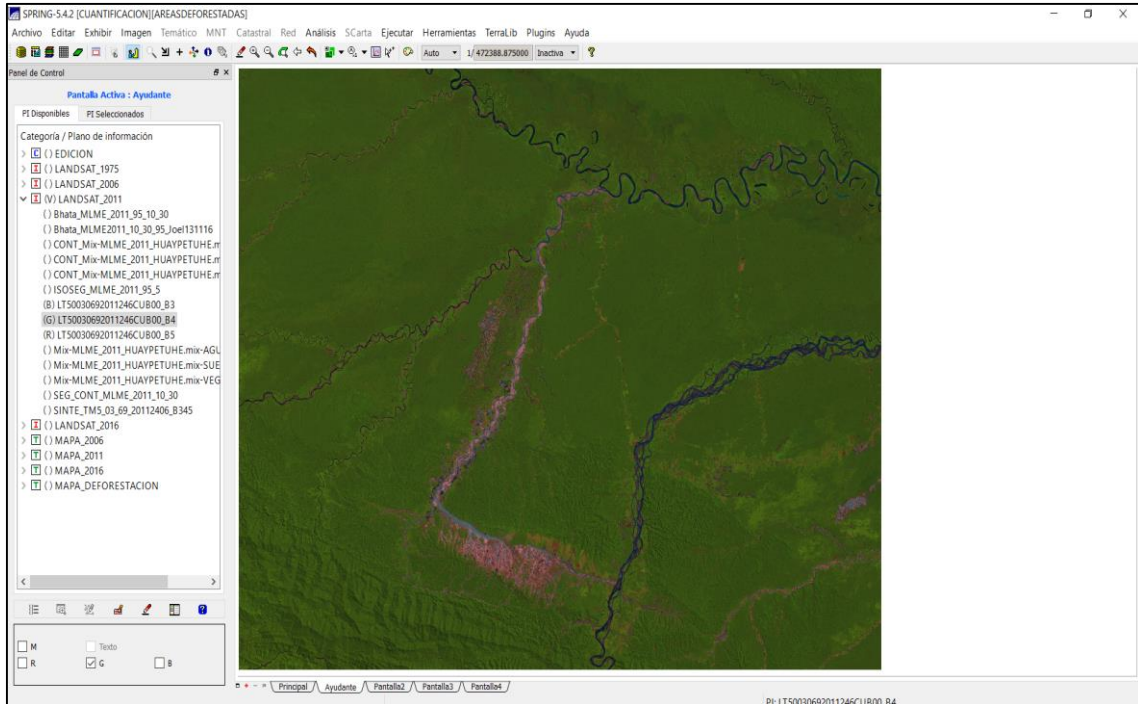
Dentro del proyecto se procedió a importar las imágenes TM/Landsat 5 de los años 2006 y 2011, en las bandas espectrales 3, 4 y 5., y OLI/Landsat 8 del año 2016, en las bandas espectrales 4, 5 y 6., a fin de iniciar el procesamiento de las imágenes (Figuras 7, 8 y 9, respectivamente para cada año).

FIGURA 7. BANDAS EN RGB: 5, 4, 3 DE LA IMAGEN LANDSAT 5/TM DEL AÑO 2006.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 8. BANDAS EN RGB: 5, 4, 3 DE LA IMAGEN LANDSAT 5/TM DEL AÑO 2011



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9. BANDAS EN RGB: 6, 5, 4 DE LA IMAGEN LANDSAT 8/OLI DEL AÑO 2016



Fuente: Elaboración propia.

Una vez importada las imágenes satelitales de los años 2006, 2011 y 2016, se procedió al desarrollo del Modelo Lineal de Mezcla Espectral, que combino las bandas espectrales seleccionadas de acuerdo a la imagen Landsat, a fin de obtener imágenes fracción: agua, suelo y vegetación, de manera que se seleccionaran los pixeles puros de los objetos antes mencionados, tal como se puede apreciar en las Tablas 5, 6 y 7, donde se muestra los componentes y pixeles puros seleccionados para cada año.

TABLA 6 VALORES SELECCIONADOS PARA LOS COMPONENTES PUROS DEL MLME 2006.

Componentes Puros	Imagen Satelital	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Agua/Sombra	Imagen	0.078	0.047	0.024
Vegetación	Landsat	0.063	0.431	0.282
Suelo	5/TM	0.259	0.345	0.471

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 7. VALORES SELECCIONADOS PARA LOS COMPONENTES PUROS DEL MLME 2011.

Componentes Puros	Imagen Satelital	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Agua/Sombra	Imagen	0.118	0.082	0.031
Vegetación	Landsat	0.082	0.408	0.294
Suelo	5/TM	0.204	0.349	0.510

Fuente: Elaboración propia.

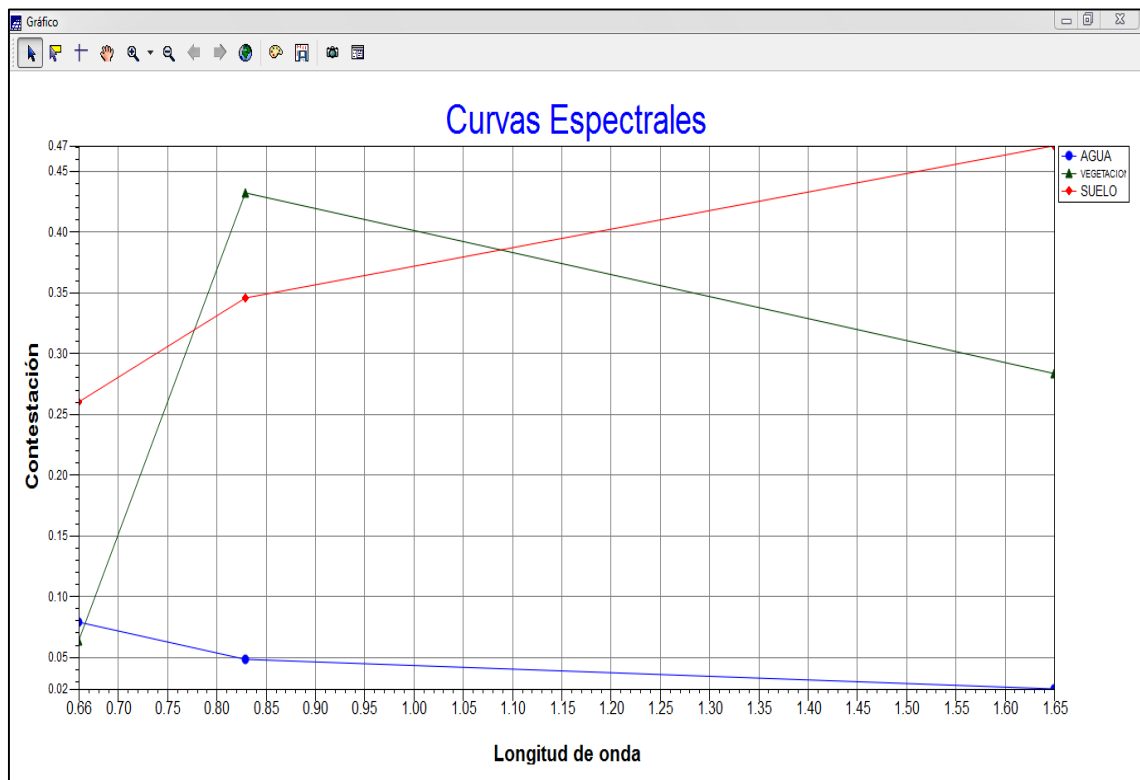
TABLA 8. VALORES SELECCIONADOS PARA LOS COMPONENTES PUROS DEL MLME 2016.

Componentes Puros	Imagen Satelital	Banda 4	Banda 5	Banda 6
Agua/Sombra	Imagen	0.132	0.130	0.091
Vegetación	Landsat	0.120	0.397	0.200
Suelo	8/OLI	0.270	0.340	0.368

Fuente: Elaboración propia.

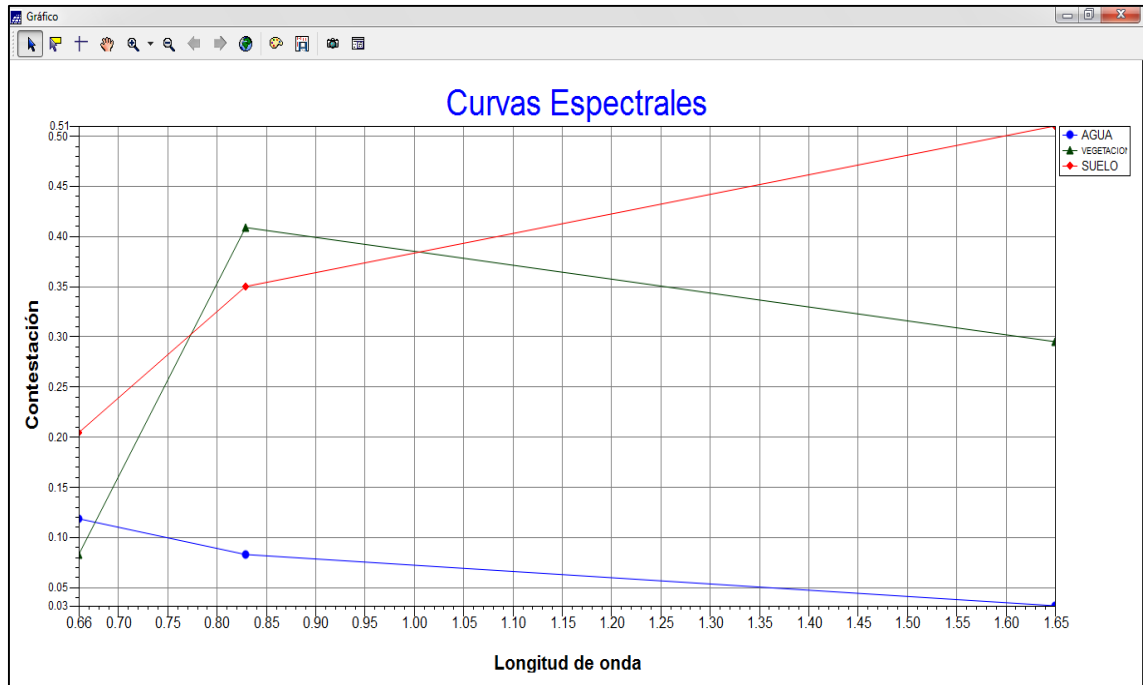
Al seleccionar dichos pixeles puros se puede determinar el comportamiento espectral de cada objeto de estudio: agua, suelo y vegetación, de los años 2006, 2011 y 2016, tal como se puede apreciar en la Figuras 10, 11 y 12, respectivamente para cada año.

FIGURA 10. COMPORTAMIENTO DE LOS PÍXELES PUROS DE LAS BANDAS 3, 4 Y 5 DE LA IMAGEN DEL AÑO 2006.



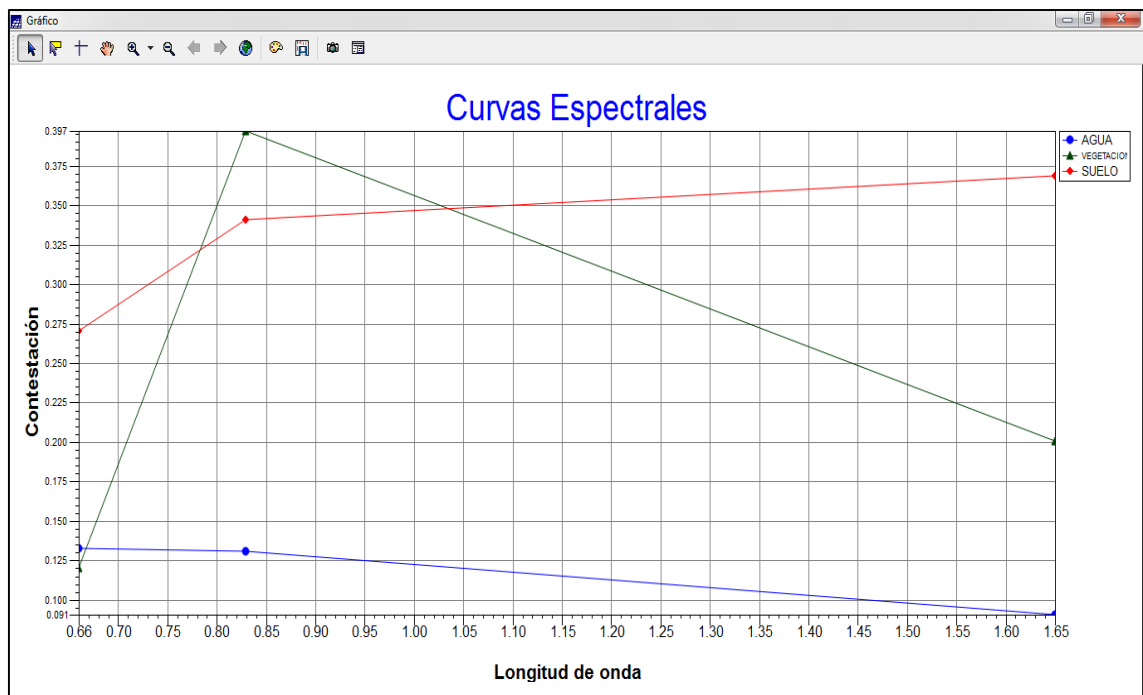
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 11. COMPORTAMIENTO DE LOS PÍXELES PUROS DE LAS BANDAS 3, 4 Y 5 DE LA IMAGEN DEL AÑO 2011.



Fuente: Elaboración propia.

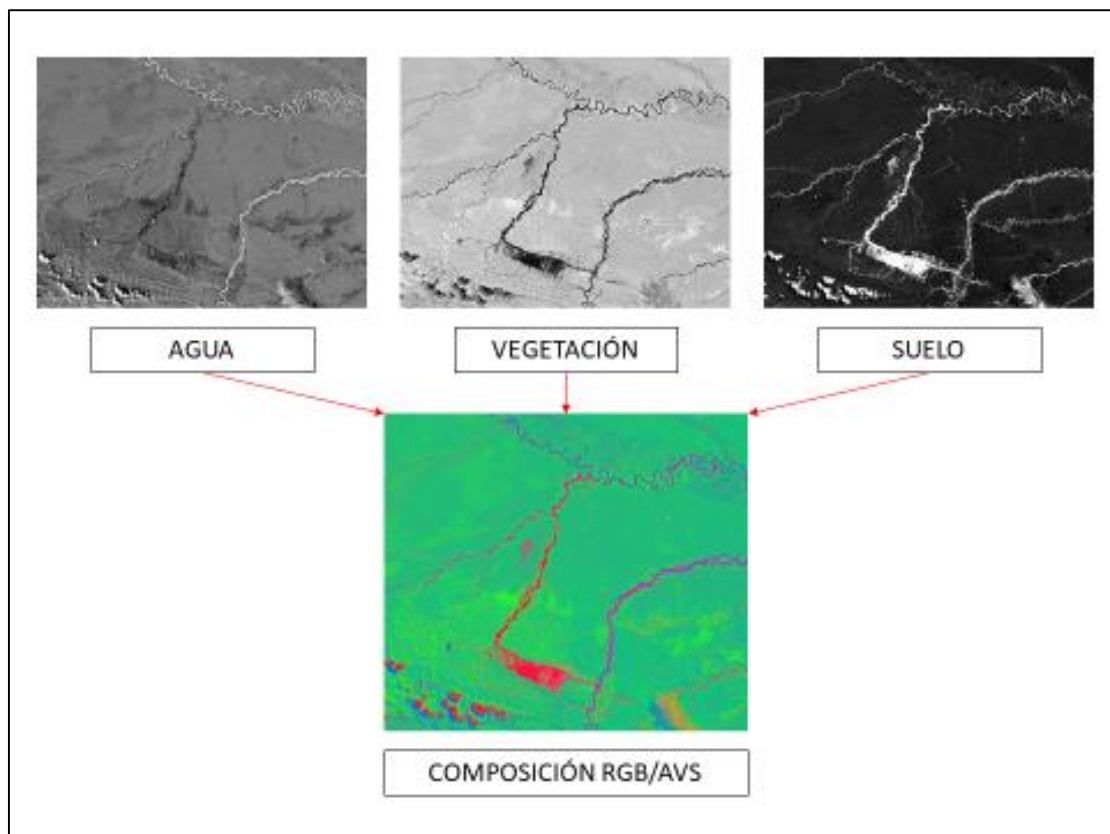
FIGURA 12. COMPORTAMIENTO DE LOS PÍXELES PUROS DE LAS BANDAS 4, 5 Y 6 DE LA IMAGEN DEL AÑO 2016.



Fuente: Elaboración propia.

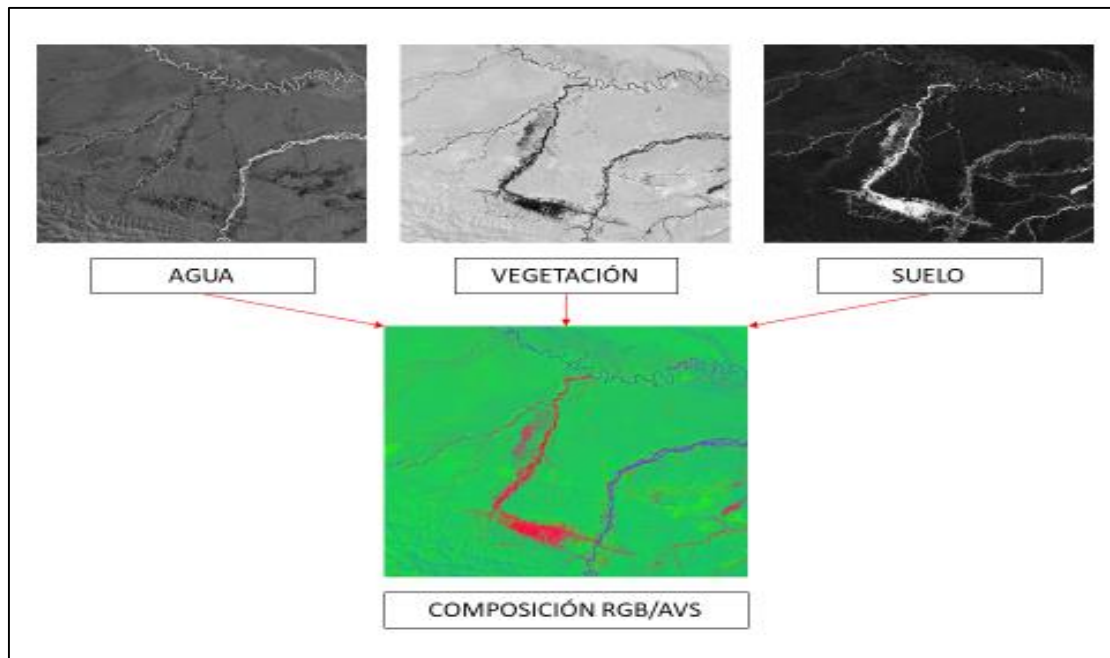
Luego, se procedió a seleccionar el método de mínimos cuadrados ponderados, permitiendo la generación resultante las imágenes fracción: agua, suelo y vegetación, las mismas que fueron contrastadas para obtener una mejor visualización y calidad de las imágenes, de los años 2006, 2011 y 2016, tal como se puede apreciar en las Figuras 13, 14 y 15, respectivamente para cada año.

FIGURA 13. IMAGEN FRACCIÓN EN RGB: AGUA, SUELO Y VEGETACIÓN DE LA IMAGEN LANDSAT 5/TM DEL AÑO 2006.



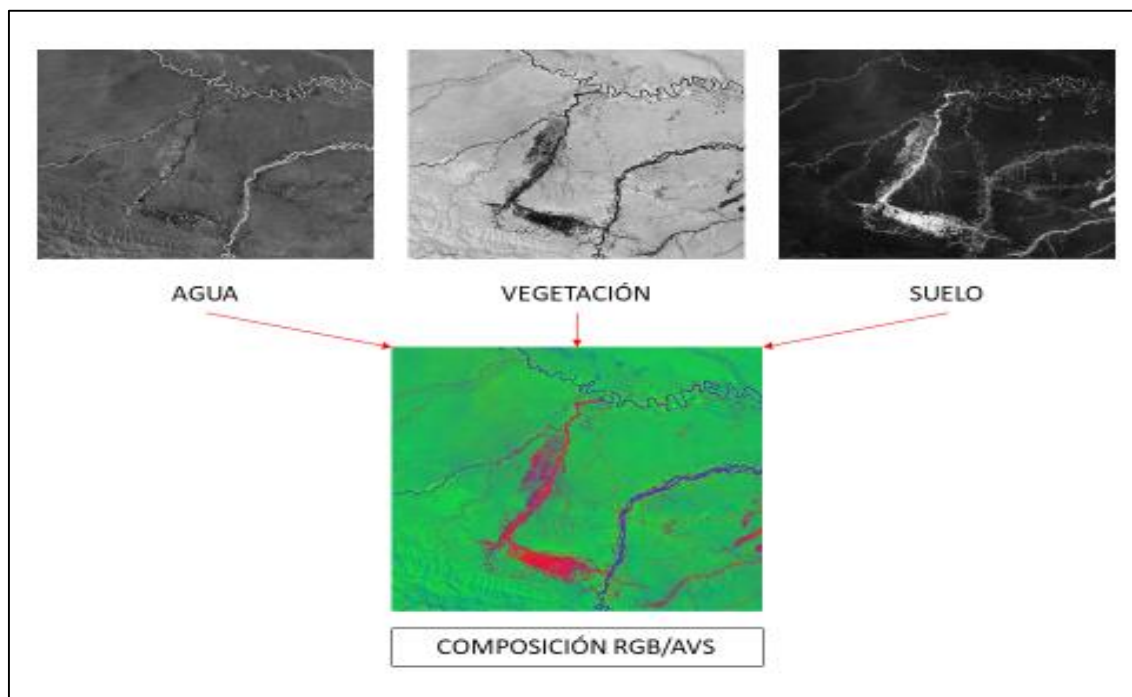
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 14. IMAGEN FRACCIÓN EN RGB: AGUA, SUELO Y VEGETACIÓN DE LA IMAGEN LANDSAT 5/TM DEL AÑO 2011.



Fuente: Elaboración propia.

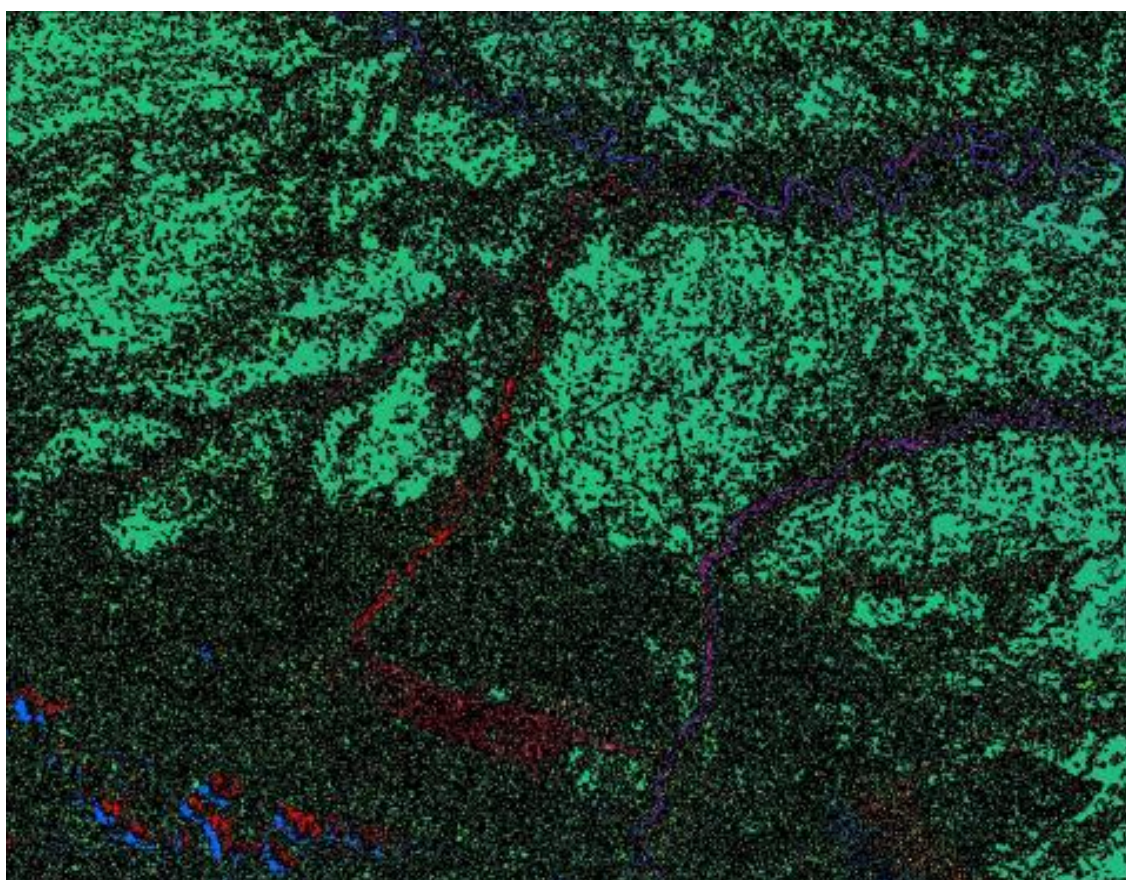
FIGURA 15. IMAGEN FRACCIÓN EN RGB: AGUA, SUELO Y VEGETACIÓN DE LA IMAGEN LANDSAT 8/OLI DEL AÑO 2016.



Fuente: Elaboración propia.

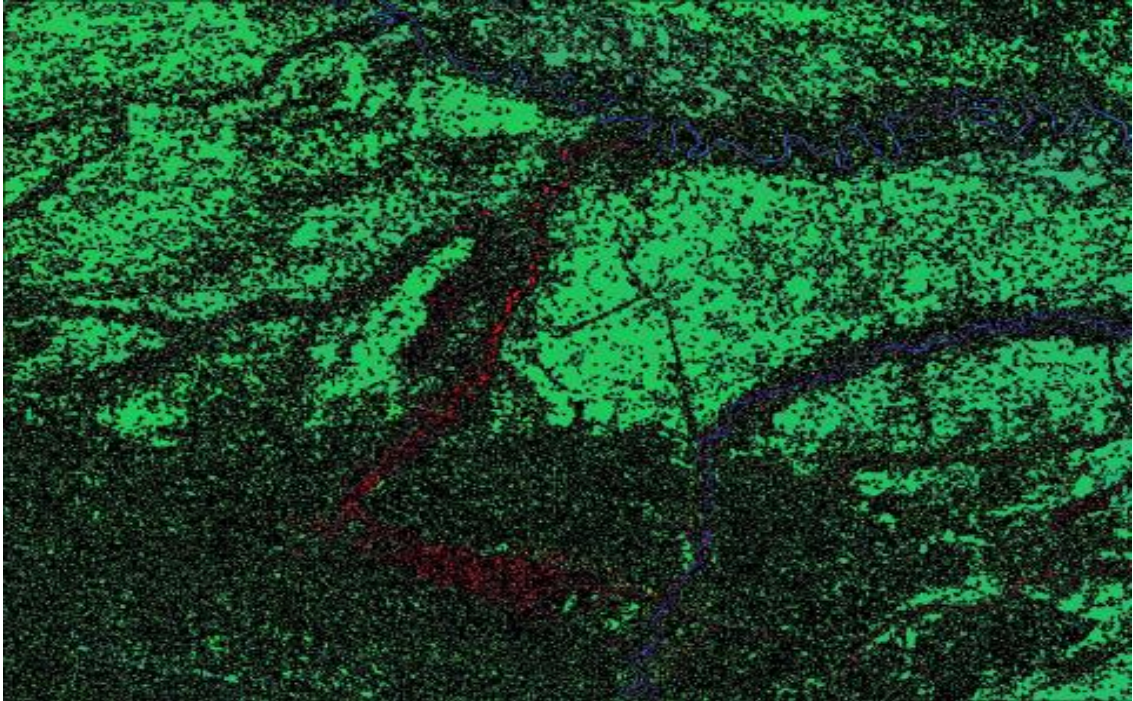
Posteriormente estas imágenes fracción de cada año, fueron segmentadas por el método crecimiento por regiones, probando umbrales de similitud con valores de 6, 8 y 10 y el área con valores de 20, 24 y 30 pixeles, siendo 10 y 30 los umbrales más adecuados para la clasificación (Figuras 16, 17 y 18, respectivamente para cada año).

FIGURA 16. SEGMENTACIÓN DEL MLME (SIMILITUD 10 Y ÁREA 30) DEL AÑO 2006.



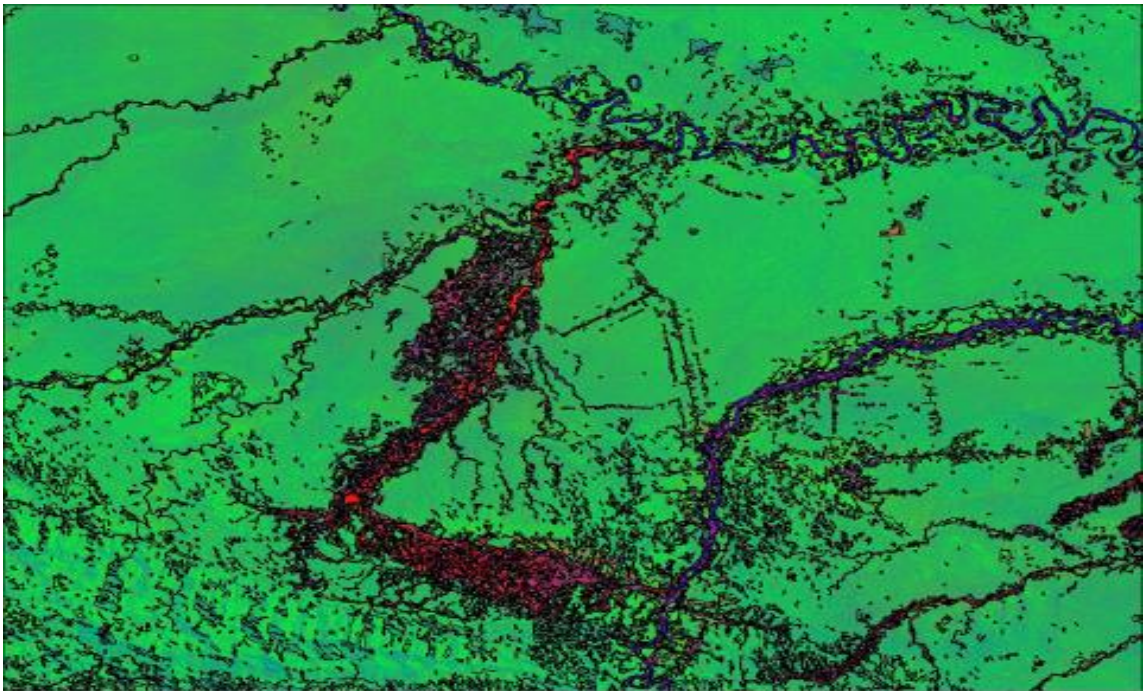
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 17. SEGMENTACIÓN DEL MLME (SIMILITUD 10 Y ÁREA 30) DEL AÑO 2011:



Fuente: Elaboración propia.

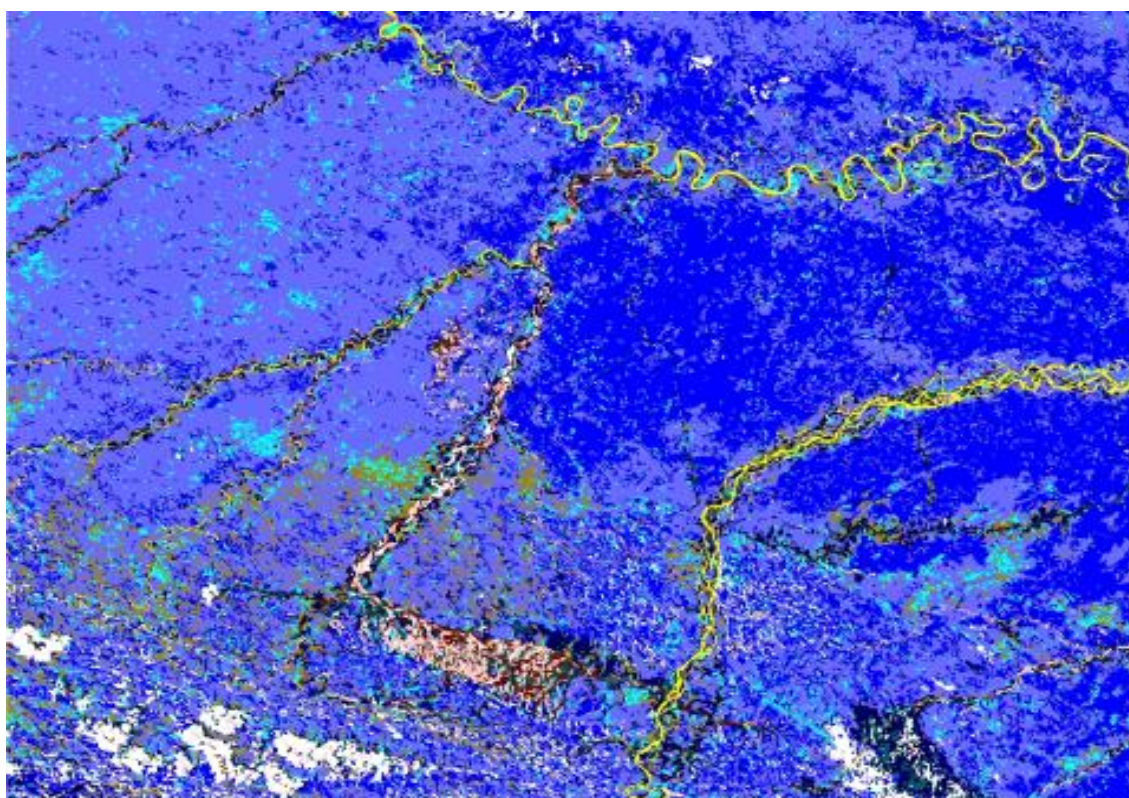
FIGURA 18. SEGMENTACIÓN DEL MLME (SIMILITUD 10 Y ÁREA 30) DEL AÑO 2016:



Fuente: Elaboración propia.

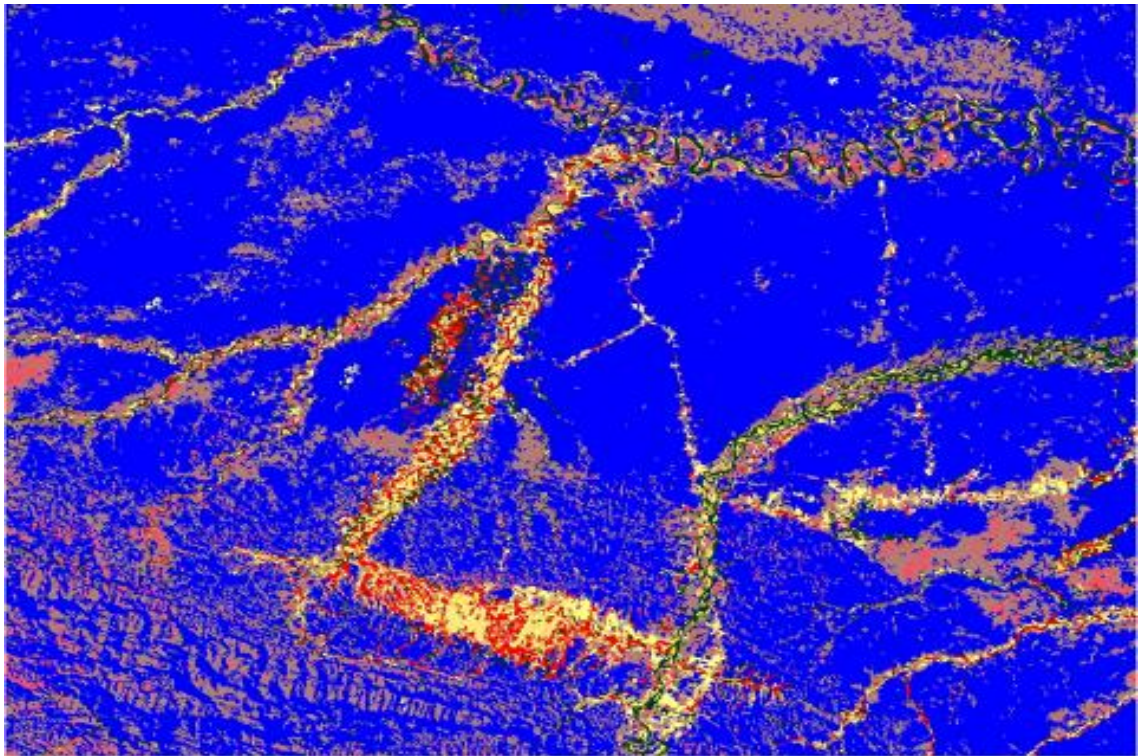
En la etapa de clasificación se usó el algoritmo supervisado basado en la distancia de Battacharya con un umbral de aceptación de 95%, suministrando muestras de entrenamiento que fueran representativas para cada clase definida, tal como se puede apreciar en las Figuras 19, 20 y 21, respectivamente para cada año.

FIGURA 19. IMAGEN CLASIFICADA DEL MLME, DEL AÑO 2006:



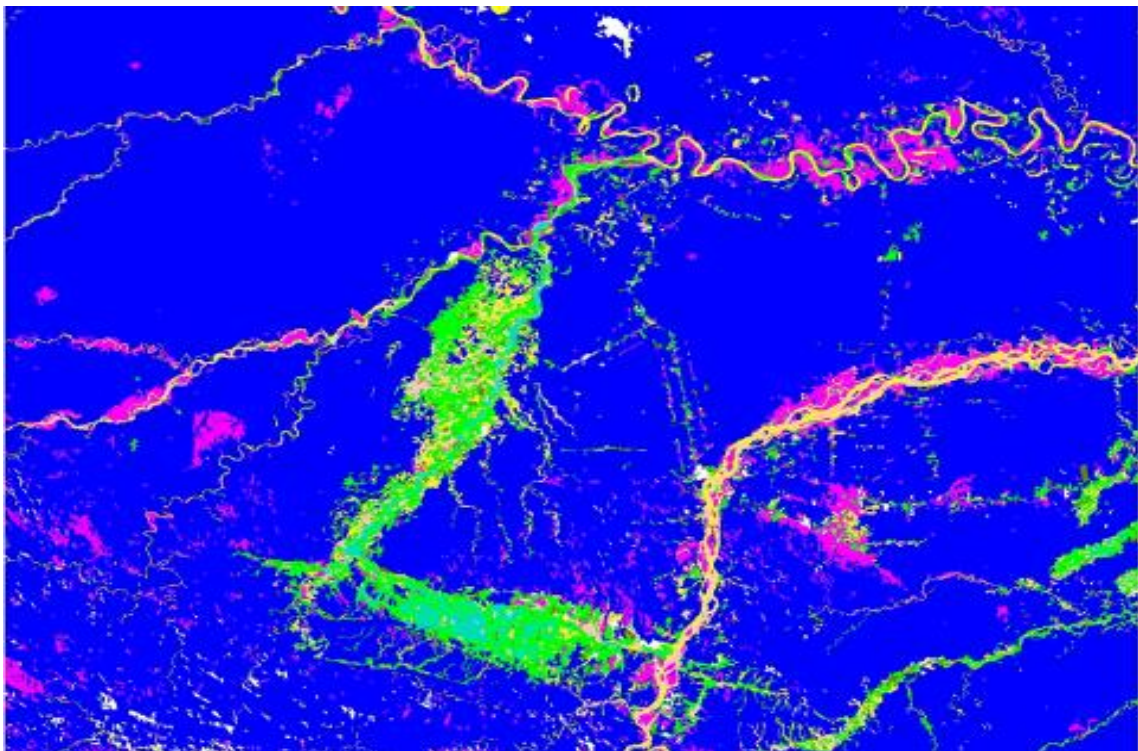
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 20. IMAGEN CLASIFICADA DEL MLME, DEL AÑO 2011



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 21. IMAGEN CLASIFICADA DEL MLME, DEL AÑO 2016:



Fuente: Elaboración propia.

Para la finalización de la clasificación de las imágenes, los resultados de la clasificación se asociaron a las clases temáticas previstas en la Tabla 8. Asimismo, se realizó una edición matricial de los mapas temáticos correspondientes a los años 2006, 2011 y 2016, para finalmente utilizar el programa LEGAL en la elaboración de los mapas.

TABLA 9. CLASES TEMÁTICAS COMPRENDE:

Mapa de deforestación Huepetuhe – Madre de Dios 2006 / 2011 y 2016.	Clase temática
	Bosques
	Rio
	Minería
	Suelo
Agricultura	

Fuente: Elaboración propia.

Las clases temáticas definidas comprenden las siguientes características:

- Bosque: comprende los bosques primarios y secundarios, caracterizadas por árboles frondosos y pacales.
- Hidrografía: comprende los ríos, quebradas y cochas.
- Minería. Comprende las áreas de minería, de acuerdo a su forma geometría y la composición de agua próxima.
- Suelo: se consideró las zonas de quema antrópica, áreas de suelo expuesto y carreteras.
- Agricultura: se consideró las áreas agrícolas existentes en el área de estudio.

- **Tabulación cruzada**

Esta operación permitió calcular el área de las intersecciones entre las clases, a fin de determinar las coincidencias en las clasificaciones, utilizándose el programa LEGAL del software Spring, para ello se valió de la Tabla 9.

TABLA 10. INTERSECCIÓN DE LAS CLASES TEMÁTICA.

	BOSQUE	AGRICULTURA	MINERÍA	AGUA	SUELO	NUBE	SOMBRA
BOSQUE	BOSQUE	AGRICULTURA	MINERÍA	AGUA	SUELO	BOSQUE	BOSQUE
AGRICULTURA	AGRICULTURA	AGRICULTURA	MINERÍA	AGUA	SUELO	AGRICULTURA	AGRICULTURA
MINERÍA	MINERÍA	MINERÍA	MINERÍA	MINERÍA	MINERÍA	MINERÍA	MINERÍA
AGUA	AGUA	AGUA	MINERÍA	AGUA	AGUA	AGUA	AGUA
SUELO	AGRICULTURA	AGRICULTURA	MINERÍA	AGUA	SUELO	SUELO	SUELO
NUBE	BOSQUE	AGRICULTURA	MINERÍA	AGUA	SUELO	BOSQUE	BOSQUE
SOMBRA	BOSQUE	AGRICULTURA	MINERÍA	AGUA	SUELO	BOSQUE	BOSQUE

Fuente: Elaboración propia.

- **Evaluación de resultados de la matriz de confusión.**

Para la evaluación de los resultados, en el área de estudio se crearon matrices de confusión generados por el software Spring, considerando las muestras en el entrenamiento supervisado Battacharya para la clasificación de las imágenes de los años 2006, 2011 y 2016.

CAPITULO IV

ORGANIZACIÓN, REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. Presentación de Resultados.

4.1.1. Resultados Parciales.

4.1.1.1. Medida de clases.

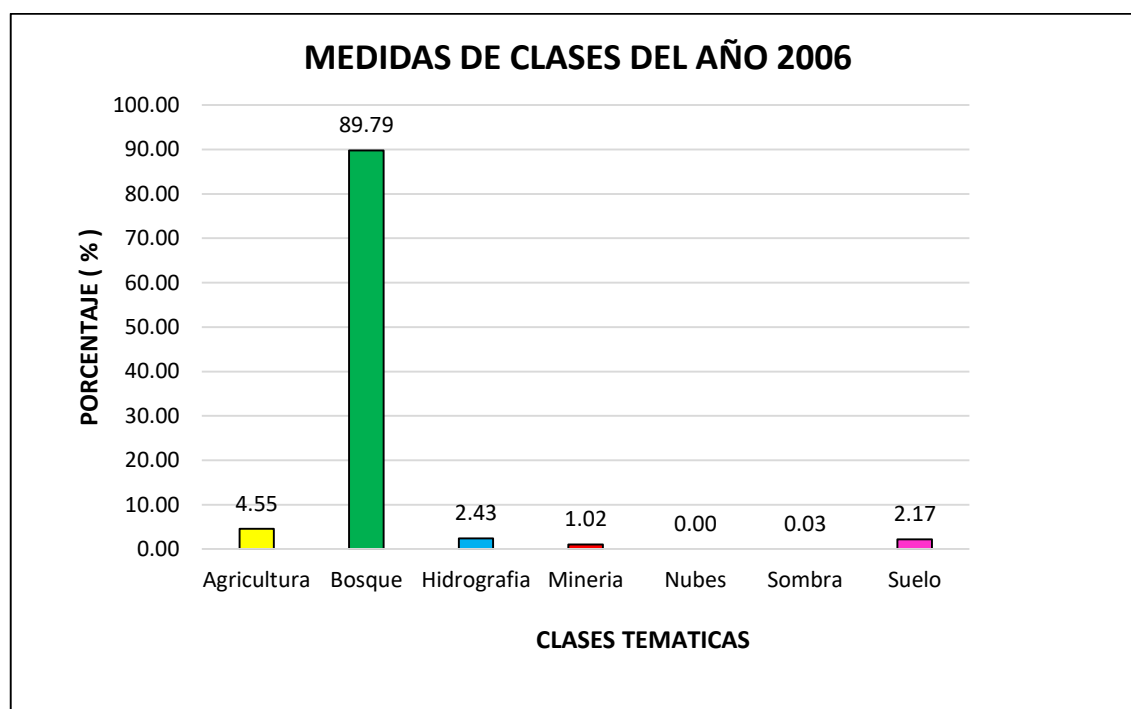
Como resultado estadístico de las medidas de cada una de las clases temáticas utilizando la metodología del Modelo Lineal de Mezcla Espectral, y la clasificación supervisada con método Bhattacharya se obtiene los siguientes datos, que se muestran en la Tabla 10, que corresponde a los años 2006, 2011 y 2016. Asimismo, se muestran las Figuras 22, 23 y 24, donde se visualiza las cantidades y equivalencias porcentuales por cada clase.

TABLA 11. MEDIDA DE CLASES DE LOS AÑOS 2006, 2011 Y 2016.

Clase Temática	MLME 2006		MLME 2011		MLME 2016	
	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura	31179.15	4.55	40897.98	5.97	56914.29	8.31
Bosque	614830.59	89.82	584520.75	85.36	556249.14	81.25
Hidrografía	16670.61	2.44	27947.79	4.08	32883.93	4.80
Minería	7004.70	1.02	21055.23	3.08	31174.83	4.55
Nubes	3.06	0.00	-	-	-	-
Sombra	202.05	0.03	-	-	-	-
Suelo	14839.65	2.17	10267.83	1.50	7381.35	1.08
Área Total de Clases	684524.7	100.00	684689.58	100.00	684603.54	100.00

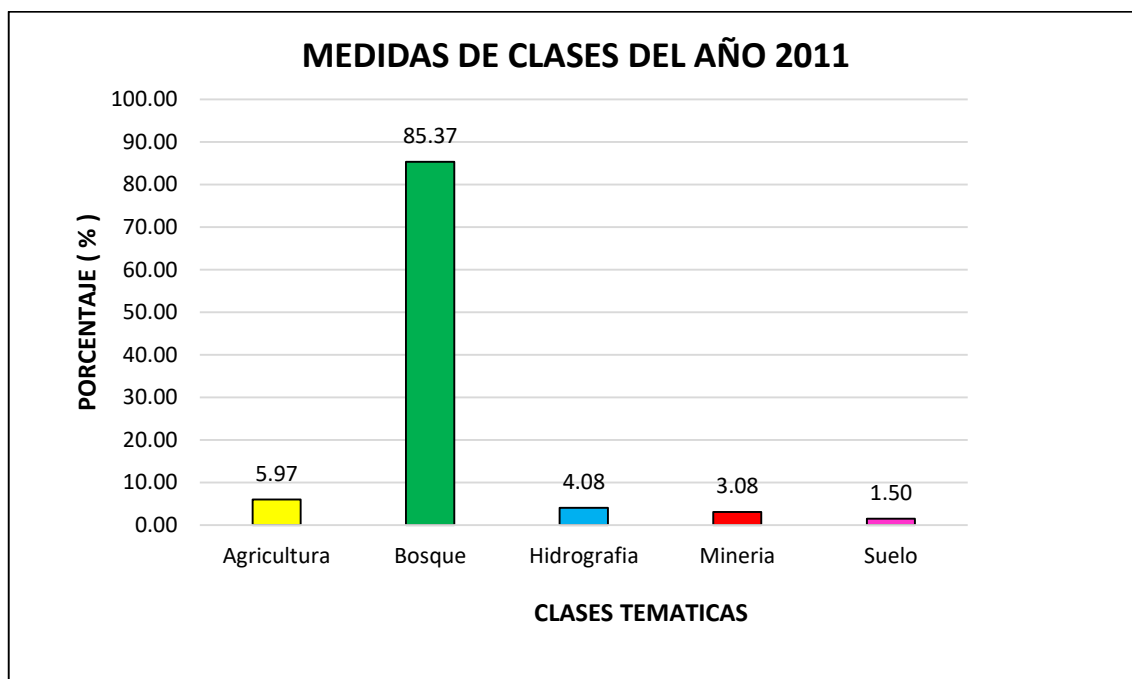
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 22. CANTIDAD Y EQUIVALENCIA PORCENTUAL DE CLASES PARA EL AÑO 2006



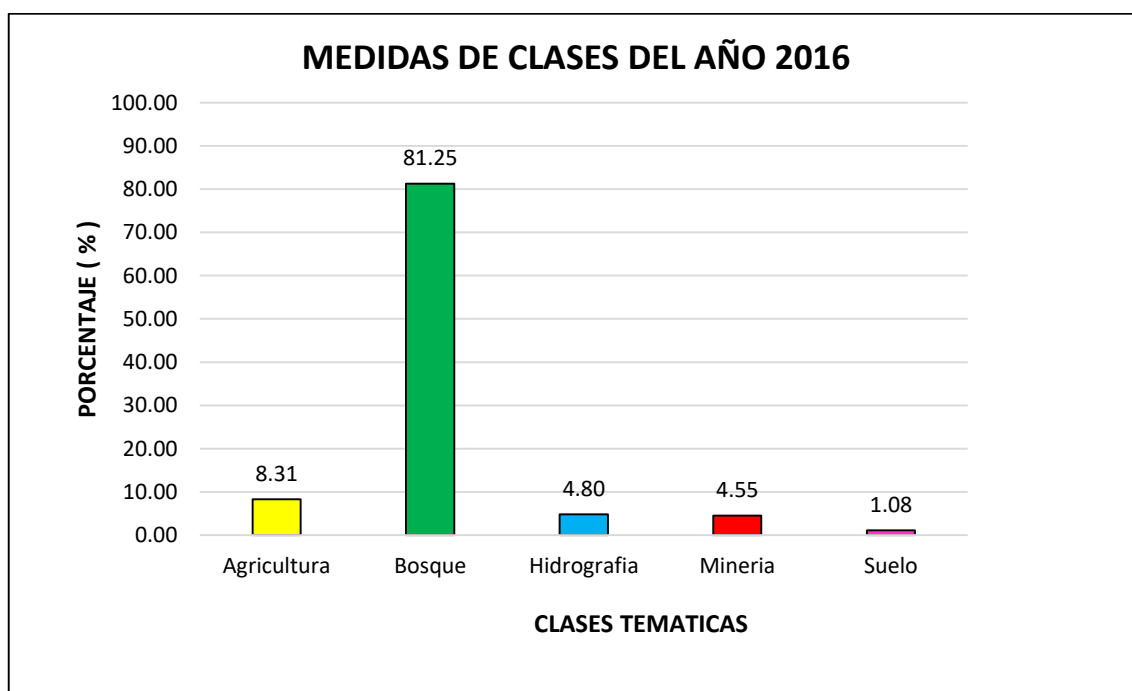
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 23. CANTIDAD Y EQUIVALENCIA PORCENTUAL DE CLASES PARA EL AÑO 2011.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 24. CANTIDAD Y EQUIVALENCIA PORCENTUAL DE CLASES PARA EL AÑO 2016



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2. Tabulación cruzada.

Como resultado de la operación de la intersección de las clases se tiene como resultado las siguientes coincidencias en las clasificaciones, tal como se muestra en las Figuras 25 y 26, para los periodos 2006 – 2011 y 2011 – 2016, respectivamente.

FIGURA 25. TABULADOS CRUZADA DE LOS AÑOS 2006 – 2011.

Plano-2: mapa_final_2011
 # líneas 2475
 # columnas 3074
 # pixels 7608150
 Resolución h 30.000000
 Resolución v 30.000000

Tabla cruzada de áreas (en pixels):
 Plano-1 (en las líneas) : Bhata_MLME2006_Editado
 Plano-2 (en las columnas): mapa_final_2011

	BOSQUE	RIO	MINERIA	SUELO	AGRICULTURA
SUELO	6493671	93944	54461	43245	145986
RIO	0	154524	30705	0	0
MINERIA	0	0	77830	0	0
NUBE	0	0	34	0	0
SOMBRA	1004	894	97	162	88
SUELO	0	36951	40757	38577	48572
AGRICULTURA	0	24218	30063	32103	259776

Tabla cruzada de áreas (en Km²):
 Plano-1 (en las líneas) : Bhata_MLME2006_Editado
 Plano-2 (en las columnas): mapa_final_2011

	BOSQUE	RIO	MINERIA	SUELO	AGRICULTURA
SUELO	5844.3039	84.5496	49.0149	38.9205	131.3874
RIO	0.0000	139.0716	27.6345	0.0000	0.0000
MINERIA	0.0000	0.0000	70.0470	0.0000	0.0000
NUBE	0.0000	0.0000	0.0306	0.0000	0.0000
SOMBRA	0.9036	0.8046	0.0873	0.1458	0.0792
SUELO	0.0000	33.2559	36.6813	34.7193	43.7148
AGRICULTURA	0.0000	21.7962	27.0567	28.8927	233.7984

Tabla cruzada de áreas (en hectáreas):
 Plano-1 (en las líneas) : Bhata_MLME2006_Editado
 Plano-2 (en las columnas): mapa_final_2011

	BOSQUE	RIO	MINERIA	SUELO	AGRICULTURA
SUELO	584430.3900	8454.9600	4901.4900	3892.0500	13138.7400
RIO	0.0000	13907.1600	2763.4500	0.0000	0.0000
MINERIA	0.0000	0.0000	7004.7000	0.0000	0.0000
NUBE	0.0000	0.0000	3.0600	0.0000	0.0000
SOMBRA	90.3600	80.4600	8.7300	14.5800	7.9200
SUELO	0.0000	3325.5900	3668.1300	3471.9300	4371.4800
AGRICULTURA	0.0000	2179.6200	2705.6700	2889.2700	23379.8400

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 26. TABULADOS CRUZADA DE LOS AÑOS 2011 – 2016.

```

Plano-1: mapa_final_2011
# líneas 2475
# columnas 3074
# pixels 7608150
Resolución h 30.000000
Resolución v 30.000000

Plano-2: mapa_final_2016
# líneas 2475
# columnas 3074
# pixels 7608150
Resolución h 30.000000
Resolución v 30.000000

Tabla cruzada de áreas (en pixels):
Plano-1 (en las líneas) : mapa_final_2011
Plano-2 (en las columnas): mapa_final_2016

```

	BOSQUE	RIO	MINERIA	SUELO	AGRICULTURA
BOSQUE	6180546	55448	32636	39113	186159
RIO	0	271024	39481	0	0
MINERIA	0	0	233920	0	0
SUELO	0	15879	24810	22850	50548
AGRICULTURA	0	23026	15540	20052	395674

```

Tabla cruzada de áreas (en KmXKm):
Plano-1 (en las líneas) : mapa_final_2011
Plano-2 (en las columnas): mapa_final_2016

```

	BOSQUE	RIO	MINERIA	SUELO	AGRICULTURA
BOSQUE	5562.4914	49.9032	29.3724	35.2017	167.5431
RIO	0.0000	243.9216	35.5329	0.0000	0.0000
MINERIA	0.0000	0.0000	210.5280	0.0000	0.0000
SUELO	0.0000	14.2911	22.3290	20.5650	45.4932
AGRICULTURA	0.0000	20.7234	13.9860	18.0468	356.1066

```

Tabla cruzada de áreas (en hectáreas):
Plano-1 (en las líneas) : mapa_final_2011
Plano-2 (en las columnas): mapa_final_2016

```

	BOSQUE	RIO	MINERIA	SUELO	AGRICULTURA
BOSQUE	556249.1400	4990.3200	2937.2400	3520.1700	16754.3100
RIO	0.0000	24392.1600	3553.2900	0.0000	0.0000
MINERIA	0.0000	0.0000	21052.8000	0.0000	0.0000
SUELO	0.0000	1429.1100	2232.9000	2056.5000	4549.3200
AGRICULTURA	0.0000	2072.3400	1398.6000	1804.6800	35610.6600

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, los datos resultantes de la tabulación cruzada en pixeles fueron transformados a porcentajes, permitiendo determinar las probabilidades de acuerdo a las clases definidas, tal como se puede apreciar en las Tablas 11 y 12, para los periodos 2006 – 2011 y 2011-2016., posteriormente se realizó una media de las probabilidades para el periodo 2006 al 2016 (Tabla 13). Una vez obtenido estos datos se pudo determinar las medidas probables de los años 2006, 2011, 2016 y 2021, tal como se puede apreciar en las Tablas 14, 15, 16.

**TABLA 12. DATOS DE TABULACIÓN CRUZADA A PROBABILIDADES
(PERIODO 2006 – 2011).**

2006 - 2011						
TABULACIÓN CRUZADA (PIXELES)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	6493671	93944	54461	43245	145986	6831307
HIDROGRAFÍA	0	154524	30705	0	0	185229
MINERÍA	0	0	77830	0	0	77830
NUBE	0	0	34	0	0	34
SOMBRA	1004	894	97	162	88	2245
SUELO	0	36951	40757	38577	48572	164857
AGRICULTURA	0	24218	30063	32103	259776	346160
	6494675	310531	233947	114087	454422	7607662

TABULACIÓN CRUZADA (PORCENTAJE)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	0.853569862	0.012348603	0.007158704	0.005684401	0.019189338	
HIDROGRAFÍA	0	0.020311628	0.004036063	0	0	
MINERÍA	0	0	0.010230476	0	0	
NUBE	0	0	4.46918E-06	0	0	
SOMBRA	0.000131972	0.000117513	1.27503E-05	2.12943E-05	1.15673E-05	
SUELO	0	0.004857077	0.005357362	0.005070809	0.006384616	
AGRICULTURA	0	0.00318337	0.003951674	0.004219825	0.034146627	
	0.853701834	0.040818191	0.030751498	0.014996329	0.059732149	1

TABULACIÓN CRUZADA (PORCENTAJE)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	85.36	1.23	0.72	0.57	1.92	89.80
HIDROGRAFÍA	0.00	2.03	0.40	0.00	0.00	2.43
MINERÍA	0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	1.02
NUBE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOMBRA	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
SUELO	0.00	0.49	0.54	0.51	0.64	2.17
AGRICULTURA	0.00	0.32	0.40	0.42	3.41	4.55
	85.37	4.08	3.08	1.50	5.97	100

MATRIZ DE TRANSICIÓN (PROBABILIDADES)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	0.9506	0.0138	0.0080	0.0063	0.02	1.00
HIDROGRAFÍA	0.0000	0.8342	0.1658	0.0000	0.00	1.00
MINERÍA	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.00	1.00
SUELO	0.0000	0.2241	0.2472	0.2340	0.29	1.00
AGRICULTURA	0.00	0.07	0.09	0.09	0.75	1.00
	0.95	1.14	1.51	0.33	1.07	5

Fuente: Elaboración propia.

**TABLA 13. DATOS DE TABULACIÓN CRUZADA A PROBABILIDADES
(PERIODO 2011 – 2016).**

2011 – 2016						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	6180546	55448	32636	39113	186159	6493902
HIDROGRAFÍA	0	271024	39481	0	0	310505
MINERÍA	0	0	233920	0	0	233920
SUELO	0	15879	24810	22850	50548	114087
AGRICULTURA	0	23026	15540	20052	395674	454292
	6180546	365377	346387	82015	632381	7606706

TABULACIÓN CRUZADA (PORCENTAJE)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	0.812512801	0.00728936	0.00429042	0.00514191	0.02447301	0.8537075
HIDROGRAFÍA	0	0.03562961	0.00519029	0	0	0.0408199
MINERÍA	0	0	0.03075181	0	0	0.03075181
SUELO	0	0.0020875	0.0032616	0.00300393	0.00664519	0.01499821
AGRICULTURA	0	0.00302707	0.00204293	0.0026361	0.05201647	0.05972257
	0.812512801	0.04803354	0.04553706	0.01078193	0.08313467	1

TABULACIÓN CRUZADA (PORCENTAJE)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	81.25	0.73	0.43	0.51	2.45	85.37
HIDROGRAFÍA	0.00	3.56	0.52	0.00	0.00	4.08
MINERÍA	0.00	0.00	3.08	0.00	0.00	3.08
SUELO	0.00	0.21	0.33	0.30	0.66	1.50
AGRICULTURA	0.00	0.30	0.20	0.26	5.20	5.97
	81.25	4.80	4.55	1.08	8.31	100.00

MATRIZ DE TRANSICIÓN (PROBABILIDADES)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	0.9517	0.0085	0.0050	0.0060	0.0287	1.00
HIDROGRAFÍA	0.0000	0.8728	0.1272	0.0000	0.0000	1.00
MINERÍA	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.00
SUELO	0.0000	0.1392	0.2175	0.2003	0.4431	1.00
AGRICULTURA	0.0000	0.0507	0.0342	0.0441	0.8710	1.00
	0.95	1.07	1.38	0.25	1.34	5.00

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 14. MEDIA PARA EL PERIODO 2006 – 2016.

MEDIA 2006 – 2016						
MATRIZ DE TRANSICIÓN (PROBABILIDADES)						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	
BOSQUE	0.9512	0.0111	0.0065	0.0062	0.0250	1.0000
HIDROGRAFÍA	0.0000	0.8535	0.1465	0.0000	0.0000	1.0000
MINERÍA	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000
SUELO	0.0000	0.1817	0.2323	0.2171	0.3688	1.0000
AGRICULTURA	0.0000	0.0603	0.0605	0.0684	0.8107	1.0000
	0.95	1.11	1.45	0.29	1.20	5.0000

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 15. MATRIZ PARA EL PERIODO 2006 – 2011.

MATRIZ 2006 – 2011						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	TOTAL
BOSQUE	584997.7600	6854.7120	3997.0876	3798.9061	15387.2343	615035.7000
HIDROGRAFÍA	0.0000	14229.0432	2441.5668	0.0000	0.0000	16670.6100
MINERÍA	0.0000	0.0000	7004.7000	0.0000	0.0000	7004.7000
SUELO	0.0000	2695.7928	3447.9333	3222.3450	5473.5788	14839.6500
AGRICULTURA	0.0000	1880.8406	1887.1835	2133.8911	25277.2348	31179.1500
TOTAL	584997.76	25660.39	18778.47	9155.14	46138.05	684729.8100

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 16. MATRIZ PARA EL PERIODO 2011 – 2016.

MATRIZ 2011 – 2016						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	TOTAL
BOSQUE	556426.8533	6519.9323	3801.8725	3613.3700	14635.7319	584997.7600
HIDROGRAFÍA	0.0000	21902.1846	3758.2040	0.0000	0.0000	25660.3886
MINERÍA	0.0000	0.0000	18778.4712	0.0000	0.0000	18778.4712
SUELO	0.0000	1663.1367	2127.1607	1987.9867	3376.8581	9155.1422
AGRICULTURA	0.0000	2783.2161	2792.6022	3157.6733	37404.5564	46138.0480
TOTAL	556426.85	32868.47	31258.31	8759.03	55417.15	684729.8100

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 17. MATRIZ PARA EL PERIODO 2016 – 2021.

MATRIZ 2016 – 2021						
	BOSQUE	HIDROGRAFÍA	MINERÍA	SUELO	AGRICULTURA	TOTAL
BOSQUE	529251.3309	6201.5031	3616.1915	3436.8954	13920.9324	556426.8533
HIDROGRAFÍA	0.0000	28054.5749	4813.8949	0.0000	0.0000	32868.4698
MINERÍA	0.0000	0.0000	31258.3105	0.0000	0.0000	31258.3105
SUELO	0.0000	1591.1784	2035.1256	1901.9732	3230.7528	8759.0300
AGRICULTURA	0.0000	3342.9654	3354.2391	3792.7319	44927.2101	55417.1464
	529251.33	39190.22	45077.76	9131.60	62078.90	684729.8100

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.3. Evaluación de resultados de la matriz de confusión.

La clasificación mediante el Modelo Lineal de Mezcla Espectral, se realizó una matriz de confusión de los años 2006, 2011 y 2016, tal como se puede apreciar en las Figuras 27, 28 y 29, respectivamente para cada año, determinándose lo siguiente:

Para la clasificación del año 2006, el desempeño general fue de 99.66 %, así como el índice Kappa que arrojó un desempeño de 99.21%

Para la clasificación del año 2011, el desempeño general fue de 96.02 %, así como el índice Kappa que arrojó un desempeño de 73.16%

Para la clasificación del año 2016, el desempeño general fue de 99.93 %, así como el índice Kappa que arrojó un desempeño de 95.99%

FIGURA. 27. MATRIZ DE CONFUSIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL MLME DEL AÑO 2006

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO														
(columnas: dados de referencia)														
	BOSQUE	BOSQUE1	REG_DEGR	HIDROGRAFI	MINERIA	NUBES	SOMBRA	PLAYAS	HIDRO_SUCI	AGRI_PASTO	AGRI_SUELO	SUELO_CARR	Abstencao	Soma lin.
BOSQUE	204923 26.98%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	204923
BOSQUE1	239 0.03%	538550 70.91%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	538789
REG_DEGR	0 0.00%	705 0.09%	953 0.13%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	79 0.01%	106 0.01%	0 0.00%	0 0.00%	1843
HIDROGRAFI	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2410 0.32%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2410
MINERIA	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	675 0.09%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	439 0.06%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	1114
NUBES	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	65 0.01%	303 0.04%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	80 0.01%	0 0.00%	448
SOMBRA	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	5660 0.75%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	5660
PLAYAS	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	921 0.12%	134 0.02%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	1055
HIDRO_SUCI	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	60 0.01%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	744 0.10%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	804
AGRI_PASTO	0 0.00%	0 0.00%	487 0.06%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	201 0.03%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	688
AGRI_SUELO	0 0.00%	0 0.00%	117 0.02%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	999 0.13%	0 0.00%	0 0.00%	1116
SUELO_CARR	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	36 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	605 0.08%	0 0.00%	641
Soma col.	205162	539255	1557	2410	836	303	5660	921	1317	280	1105	685	0	759491

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 28. MATRIZ DE CONFUSIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL MLME DEL AÑO 2011:

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO											
(columnas: dados de referencia)											
	BOSQUE	MINERIA	RIO	MINERIA_RE	AGRI_PASTO	AGRI_SUELO	REGENERACI	PLAYA	SUELO	Abstencao	Soma lin.
BOSQUE	92084 90.74%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	92084
MINERIA	0 0.00%	1742 1.72%	34 0.03%	83 0.08%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	65 0.06%	0 0.00%	1924
RIO	0 0.00%	0 0.00%	851 0.84%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	851
MINERIA_RE	0 0.00%	96 0.09%	0 0.00%	792 0.78%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	119 0.12%	77 0.08%	0 0.00%	1084
AGRI_PASTO	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	236 0.23%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	236
AGRI_SUELO	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	575 0.57%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	575
REGENERACI	3095 3.05%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	353 0.35%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	3448
PLAYA	0 0.00%	126 0.12%	0 0.00%	123 0.12%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	515 0.51%	0 0.00%	0 0.00%	764
SUELO	0 0.00%	170 0.17%	50 0.05%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	300 0.30%	0 0.00%	520
Soma col.	95179	2134	935	998	236	575	353	634	442	0	101486

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 29. MATRIZ DE CONFUSIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DEL MLME DEL AÑO 2016

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO												
(columnas: dados de referencia)												
	BOSQUE	AGUA	AGUA_TURBI	MINERIA	MINERIA_RE	PLAYA	SUELO	AGRI_PASTO	AGRI_SUELO	BOSQUE2	Abstencao	Soma lin.
BOSQUE	1287765 99.15%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	1287765
AGUA	0 0.00%	1243 0.10%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	1243
AGUA_TURBI	0 0.00%	0 0.00%	1337 0.10%	43 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	1380
MINERIA	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	758 0.06%	40 0.00%	43 0.00%	60 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	901
MINERIA_RE	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	416 0.03%	2082 0.16%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2498
PLAYA	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	601 0.05%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	601
SUELO	0 0.00%	0 0.00%	43 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	257 0.02%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	300
AGRI_PASTO	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	831 0.06%	0 0.00%	181 0.01%	0 0.00%	1012
AGRI_SUELO	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	57 0.00%	0 0.00%	251 0.02%	0 0.00%	0 0.00%	308
BOSQUE2	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2811 0.22%	0 0.00%	2811
Soma col.	1287765	1243	1380	1217	2122	644	374	831	251	2992	0	1298819

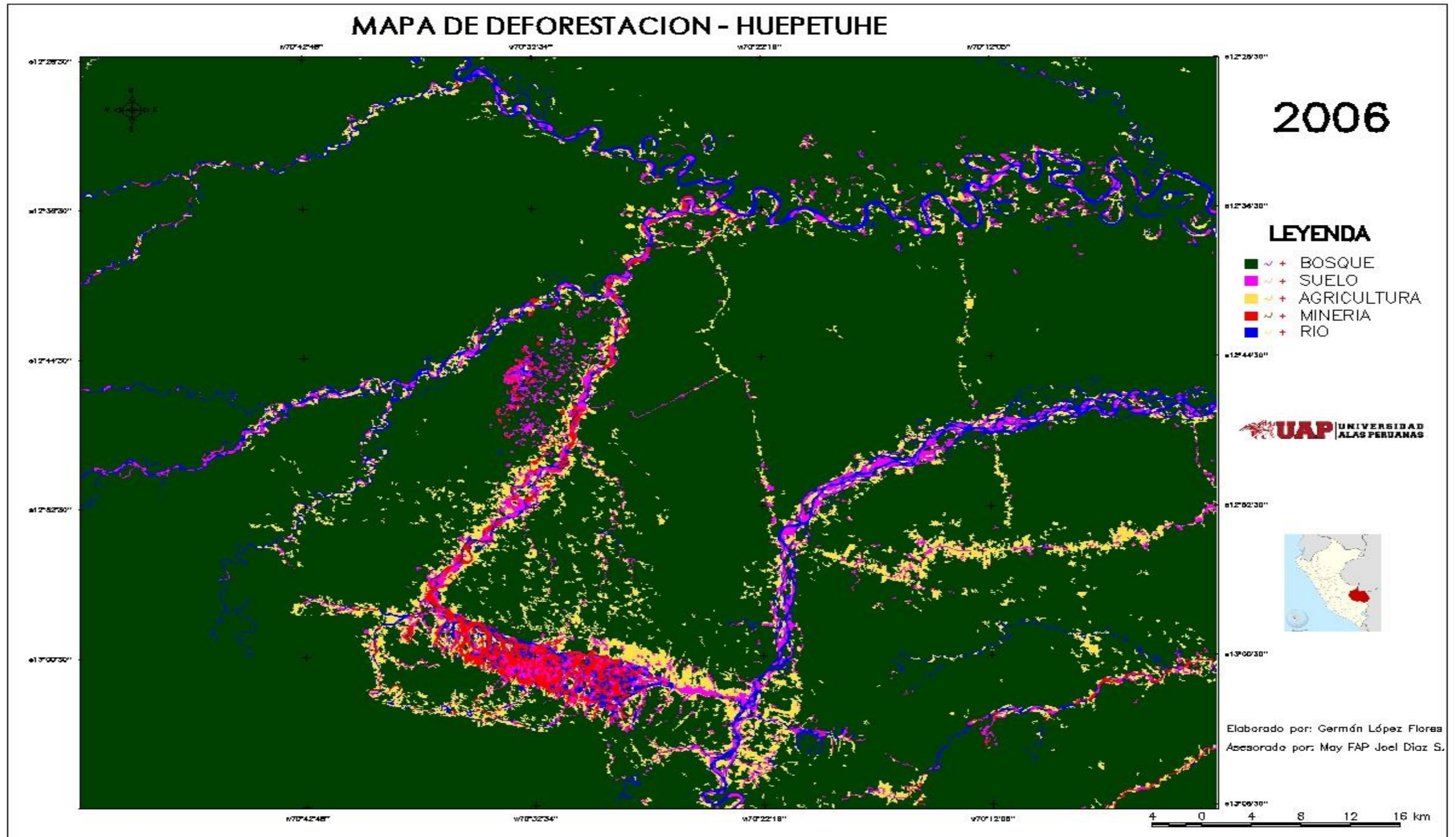
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.4. Mapas

Como resultado del uso del programa LEGAL en la elaboración de los mapas, permitió la creación de las cartas mediante la activación del Scarta, incorporado dentro del Software SPRING, considerando los elementos como texto, logo, ubicación nacional, leyenda, año, norte, las coordenadas y el mapa en sí.

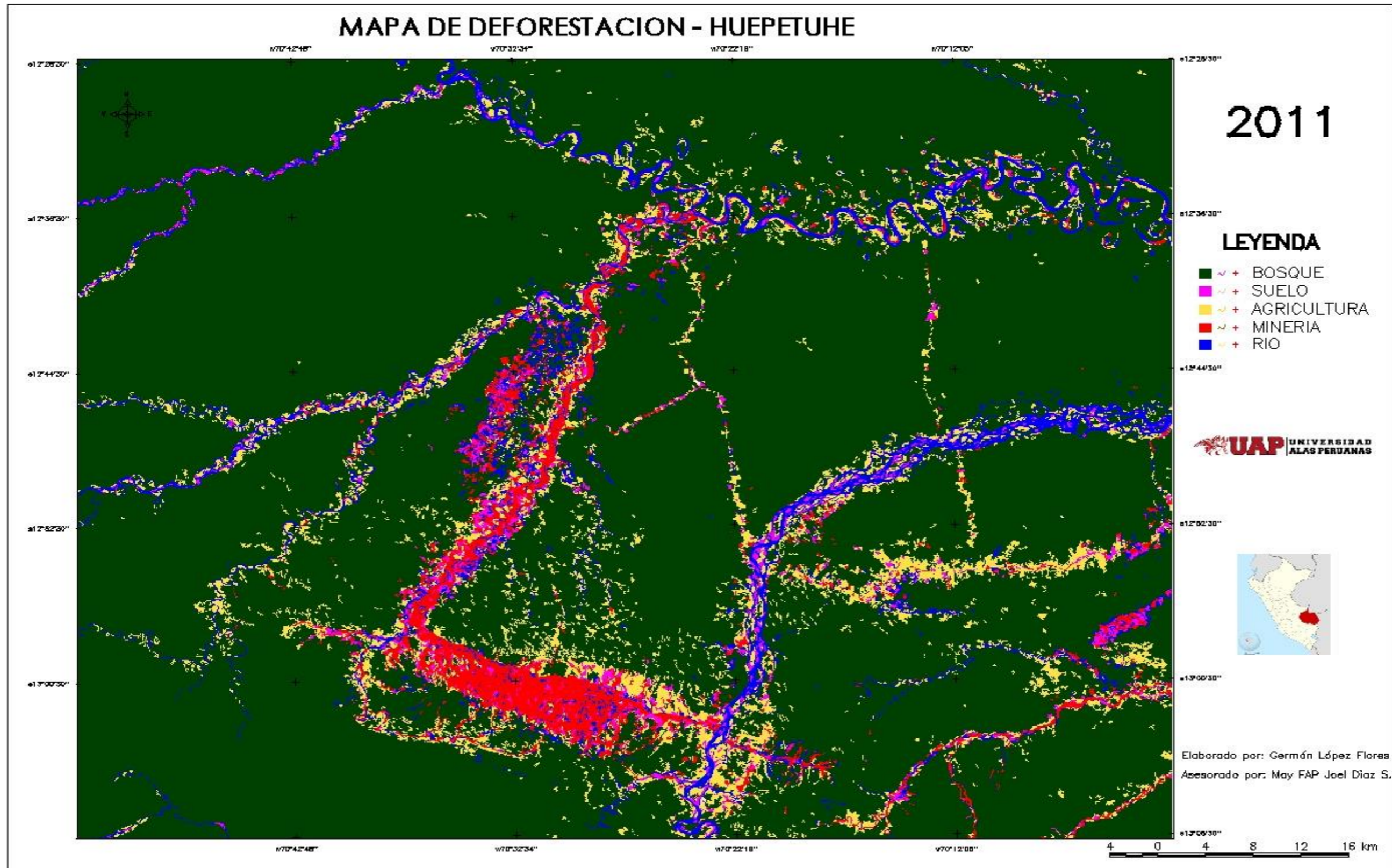
Para tal fin, se presenta los mapas generados por la clasificación de las imágenes, utilizando la metodología del Modelo Lineal de Mezcla Espectral de los años 2006, 2011 y 2016 (Figuras 30, 31 y 32, respectivamente).

FIGURA 30. MAPA DE DEFORESTACION DE HUEPETUHE – MADRE DE DIOS DEL AÑO 2006.



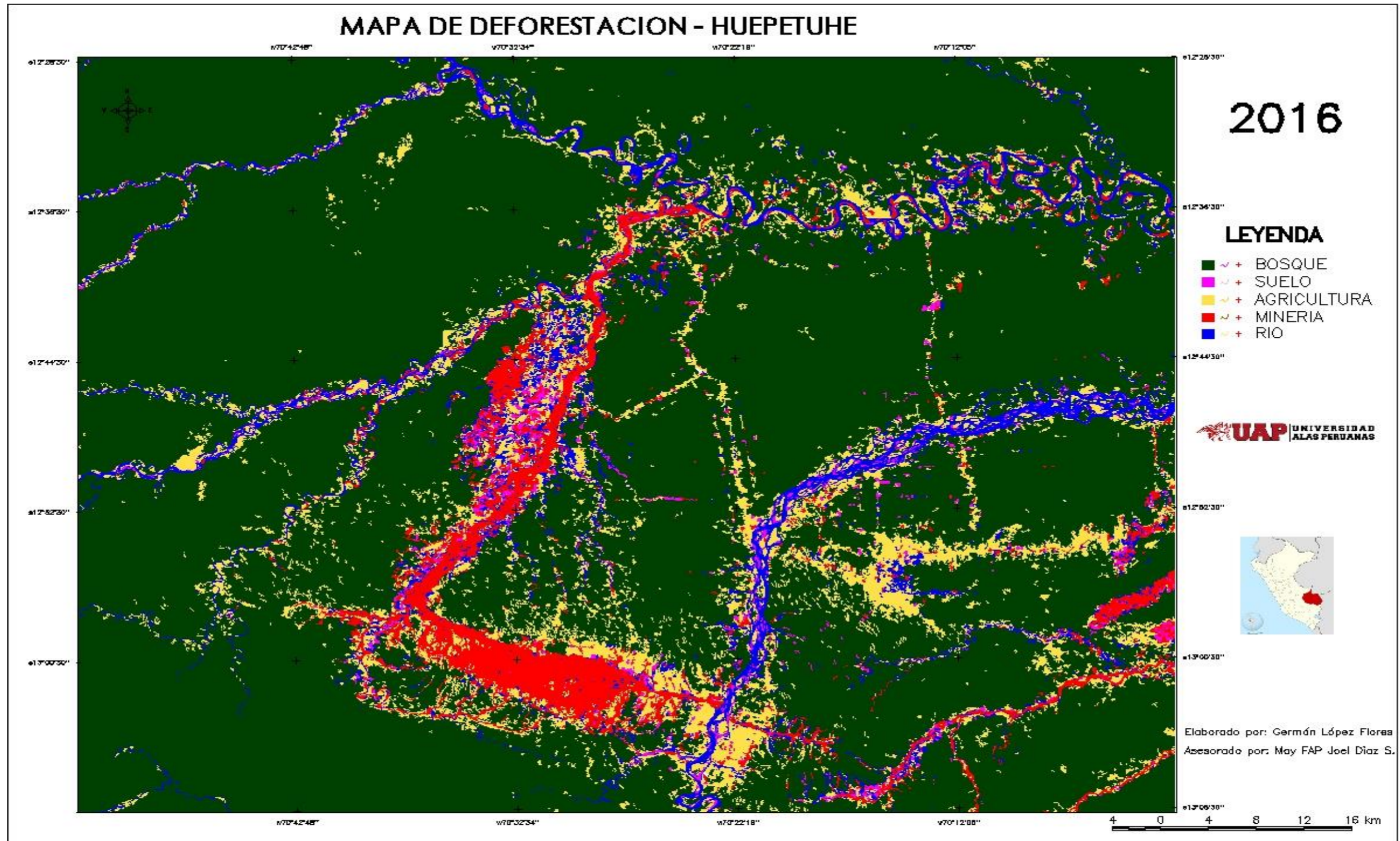
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 31. MAPA DE DEFORESTACION DE HUEPETUHE – MADRE DE DIOS DEL AÑO 2011.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 32. MAPA DE DEFORESTACION DE HUEPETUHE – MADRE DE DIOS DEL AÑO 2016.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados Generales.

4.1.2.1. Transformación de las imágenes Landsat en imágenes fracción agua, vegetación y suelo.

Las figuras 13, 14 y 15 muestran las imágenes Landsat transformadas en imágenes fracción agua, suelo y vegetación., como resultado de la selección de píxeles puros (Figuras 10, 11 y 12), que reflejan mejor el comportamiento espectral del agua, vegetación y suelo, para los años 2006, 2011 y 2016. Según la región de la banda del Espectro Electromagnético que están definidos en el marco teórico. Esto permitió en adelante evaluar el Modelo Lineal de Mezcla Espectral.

4.1.2.2. Evaluar el desempeño de la metodología de clasificación de las imágenes fracción de los años 2006, 2011 y 2016, del modelo lineal de mezcla espectral.

El desempeño de la metodología del Modelo Lineal de Mezcla Espectral, para las imágenes Landsat de los años 2006, 2011 y 2016, tal como se puede apreciar en las Figuras 27, 28 y 29, respectivamente para cada año, dio como resultado lo siguiente:

- Para la clasificación del año 2006, el desempeño general fue de 99.66 %, así como el índice Kappa que arrojó un desempeño de 99.21%.
- Para la clasificación del año 2011, el desempeño general fue de 96.02 %, así como el índice Kappa que arrojó un desempeño de 73.16%.
- Para la clasificación del año 2016, el desempeño general fue de 99.93 %, así como el índice Kappa que arrojó un desempeño de 95.99%.

4.1.2.3. Determinar la cantidad de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el periodo 2006 - 2016 proyección al año 2021 de la cantidad de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el área de Huepetuhe – Madre de Dios.

- **Deforestación periodo 2006 - 2016.**

Como resultado de la edición matricial de la carta de los años 2006, 2011 y 2016, se tienen las siguientes medidas de las clases definidas anteriormente, para ello se muestra la Tabla 17, donde se aprecia los valores anuales para cada clase, siendo la minería el segundo factor más importante después de la agricultura de la pérdida de bosques en Huepetuhe – Madre de Dios.

TABLA 18. DATOS REALES DE LAS ÁREAS DEFORESTADAS POR LA MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA, EN EL PERIODO 2006 – 2016.

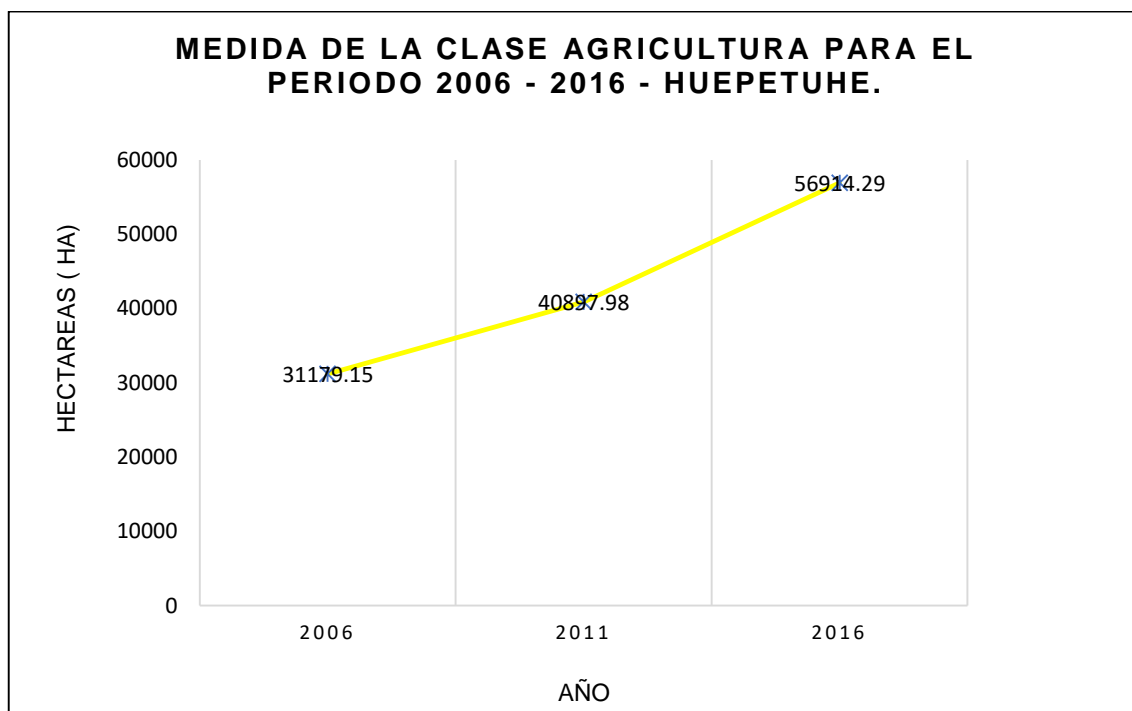
Clases	DATOS REALES		
	2006	2011	2016
BOSQUE	615035.7	584520.75	556249.14
RIO	16670.61	27947.79	32883.93
MINERÍA	7004.7	21055.23	31174.83
SUELO	14839.65	10267.83	7381.35
AGRICULTURA	31179.15	40897.98	56914.29
	684729.81	684689.58	684603.54

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se presentan para mejor comprensión de los datos, las Figuras 33, 34, 35, 36 y 37., donde se muestra la tendencia de cada una de las clases, caracterizándose por mantener un crecimiento constante las clases agricultura, minería y río, debido a las actividades antrópicas que se realizan en el área de estudio, por el contrario de la clase bosque que tiende al decrecimiento debido a la pérdida de los bosques en el área de estudio, hecho que se ve reflejada en distintas zonas del país. Por otra parte,

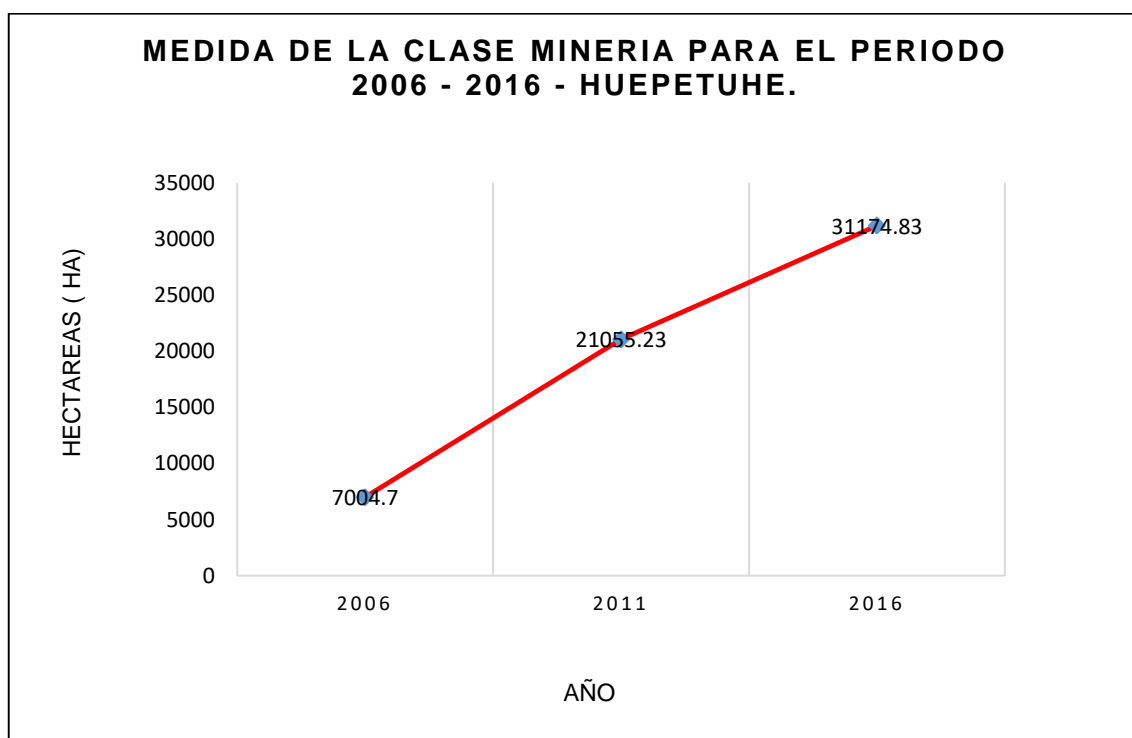
tenemos a la clase suelo, que tiende al decrecimiento debido a que, en las zonas, éstas tienden a recuperarse naturalmente, por la diversidad de especies presentes y las condiciones que favorecen su desarrollo.

FIGURA 33. MEDIDA DE LA CLASE AGRICULTURA DEL PERIODO 2006 – 2016.



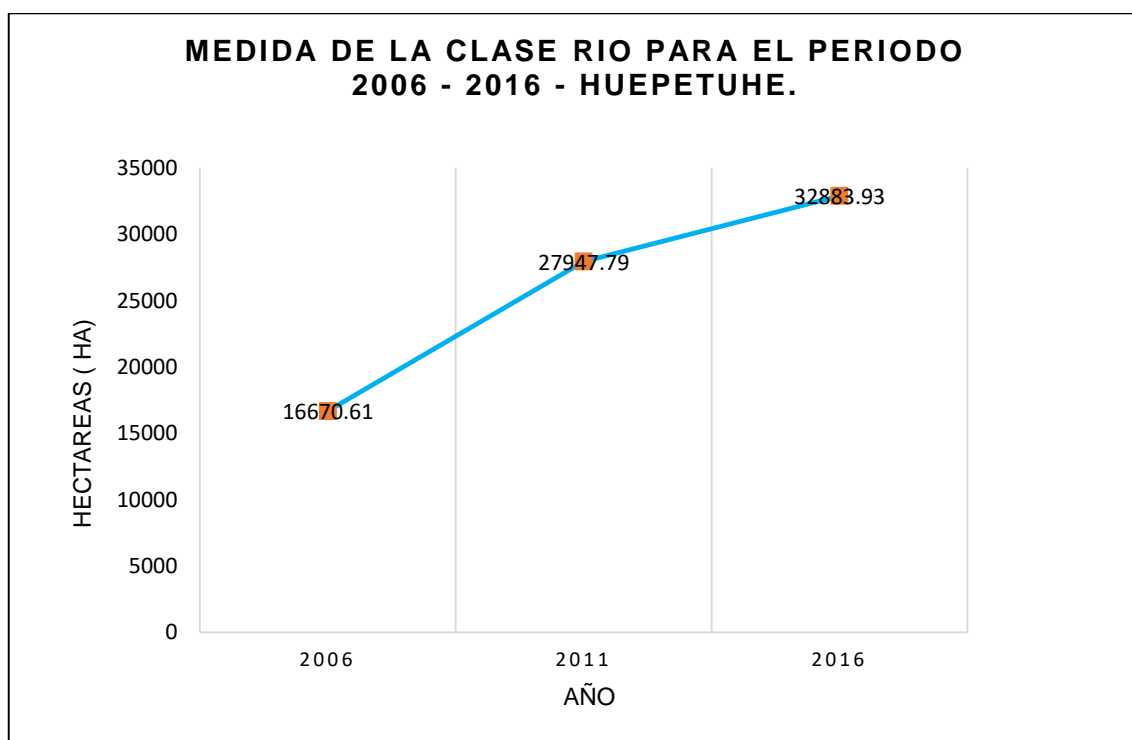
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 34. MEDIDA DE LA CLASE MINERÍA DEL PERIODO 2006 – 2016.



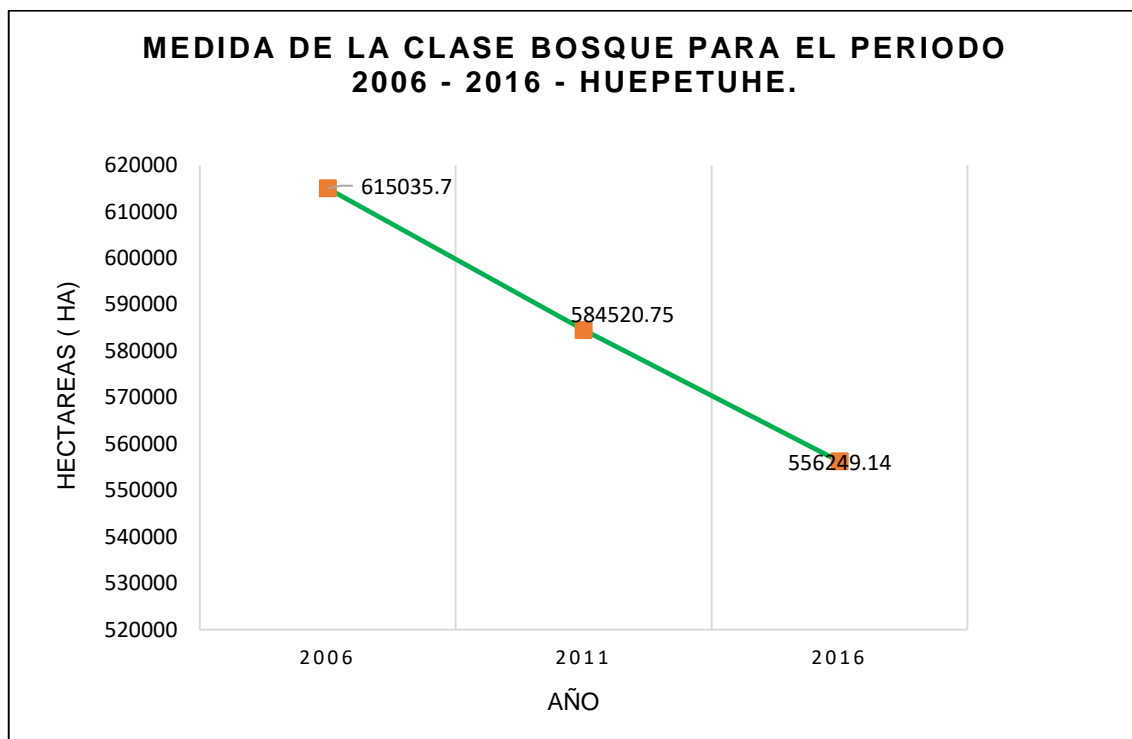
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 35. MEDIDA DE LA CLASE RIO DEL PERIODO 2006 – 2016.



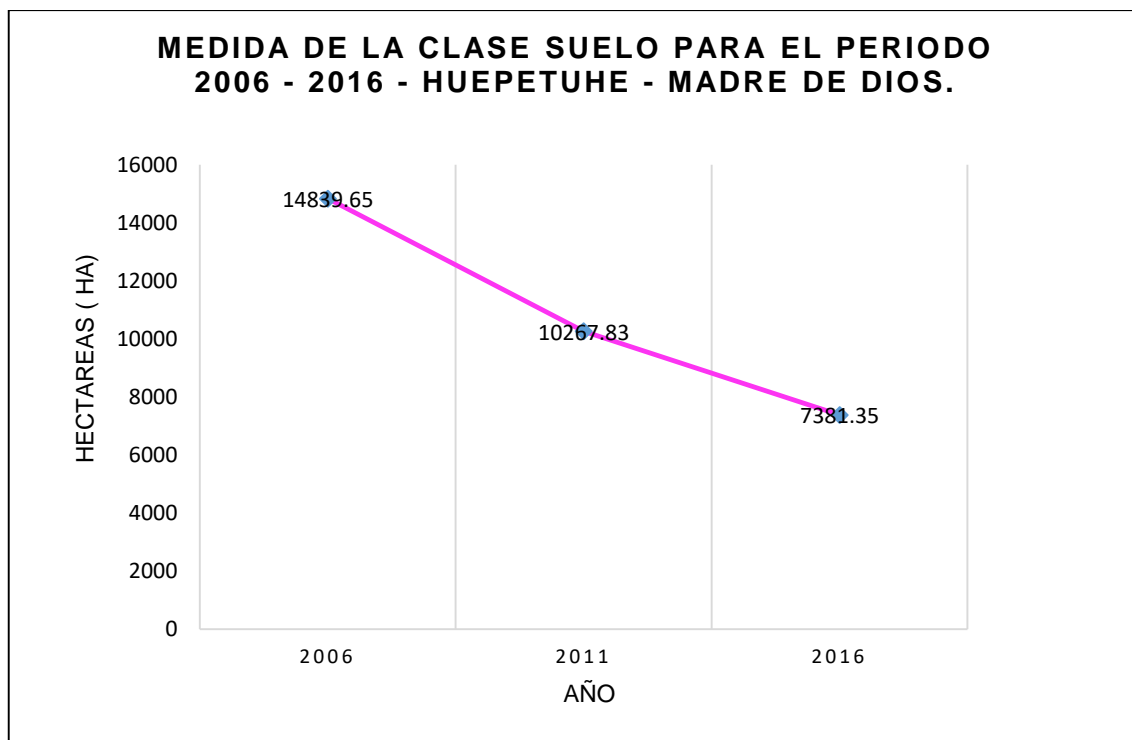
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 36. MEDIDA DE LA CLASE BOSQUE DEL PERIODO 2006 – 2016.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA. 37. MEDIDA DE LA CLASE SUELO DEL PERIODO 2006 – 2016.



Fuente: Elaboración propia.

- **Proyección de la deforestación año 2021.**

Como resultado de la línea de Markov para la proyección al año 2021, de la minería aluvial aurífera en Huepetuhe – Madre de Dios, se resume en la Tabla 18, donde se puede apreciar los valores anuales por cada clase.

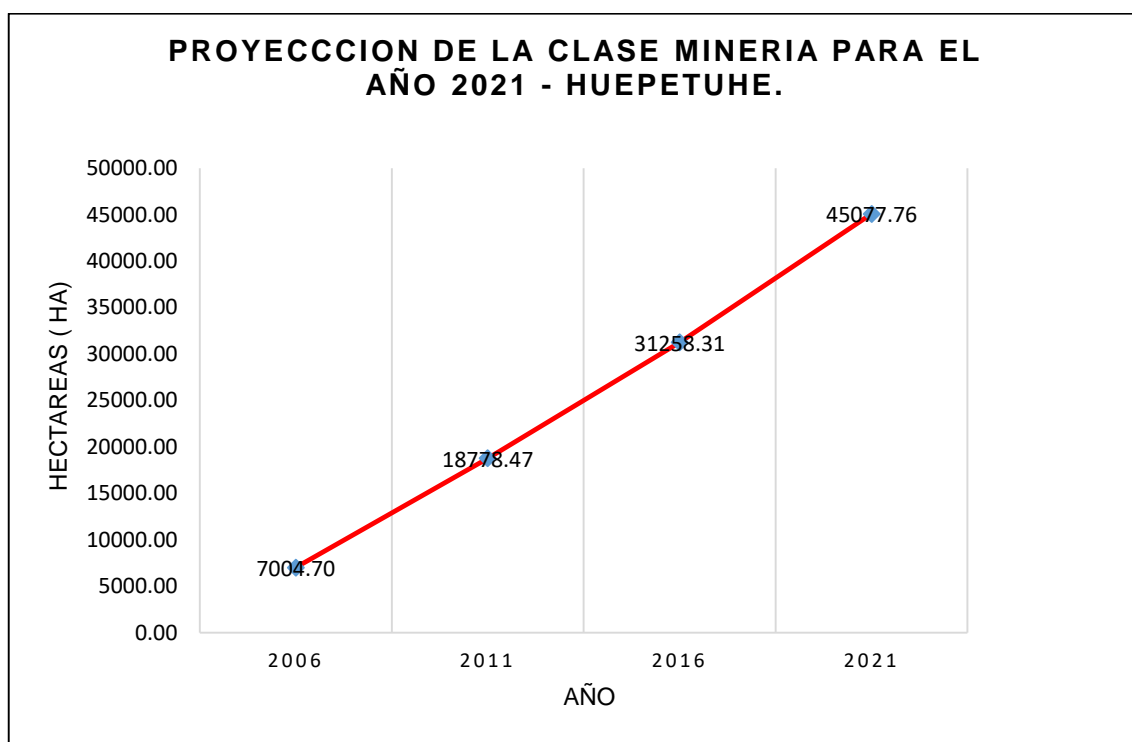
TABLA 19. DATOS DE LA PROYECCIÓN DE LAS ÁREAS DEFORESTADAS POR LA MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA PERIODO 2006 - 2021.

Clases	PROBABILIDADES			
	2006	2011	2016	2021
BOSQUE	615035.7	584997.76	556426.85	529251.33
RIO	16670.61	25660.39	32868.47	39190.22
MINERÍA	7004.7	18778.47	31258.31	45077.76
SUELO	14839.65	9155.14	8759.03	9131.60
AGRICULTURA	31179.15	46138.05	55417.15	62078.90
	684729.81	684729.81	684729.81	684729.81

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se expresan para mejor comprensión los datos en la Figura 38, donde se puede apreciar la tendencia de la clase minería para el año 2021, manteniendo un crecimiento constante sino se toman las medidas necesarias para el control de las mismas, mediante un monitoreo sistemáticos de los bosques de la amazonia peruana.

FIGURA. 38. PROYECCIÓN DE LA MINERÍA AL 2021.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Discusión de Resultados.

Los resultados se discutirán en orden de planteamiento de la metodología propuesta, es decir la clasificación de imágenes y los resultados obtenidos.

En primer lugar, la selección de las imágenes de satélite Landsat para la imagen del año 2006 presenta mayor incidencia de nubes a diferencia de las imágenes Landsat de los años 2011 y 2016, por lo que se tuvo que considerar para el procesamiento de las imágenes del año 2006, la incorporación de las clases sombra y nube.

En el caso de las imágenes resultantes de la transformación de niveles digitales a valores de reflectancia aparente de las imágenes Landsat permitieron en el caso del área de estudio apreciar un comportamiento espectral más ajustado a la realidad, lo que favoreció a su vez en la comparación de las imágenes Landsat.

En el caso de las imágenes fracción agua, suelo y vegetación del modelo de mezcla espectral aplicado a las imágenes Landsat tuvieron una respuesta positiva para la discriminación de las clases definidas para el presente estudio, siendo una transformación radiométrica más adecuada para la cuantificación de áreas deforestadas.

En el caso de la tabulación cruzada para el año 2006, 2011 y 2016, se discierne lo siguiente:

- En el caso de la agricultura para el periodo 2006 – 2011, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 259776, que representa el 3.41 % del total del área, teniendo confusión mayor con el suelo, debido a que podrían ser zonas agrícolas en su estadio inicial de sembrío, conteniendo gran cantidad de suelo en el área. Para el periodo 2011 – 2016, tiene un valor de lectura de pixeles de 395674, que representa el 5.20 %, teniendo una mayor confusión con el río, debido a que podría ser por el alto grado de humedad presente en el área de las zonas agrícolas.
- En el caso de hidrografía para el periodo 2006 – 2011, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 254524, que representa el 2.03 % del total del área, teniendo una confusión mayor con la minería, debido a que podría ser por su alto contenido de agua en el área. Para el periodo 2011 – 2016, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 271024, que representa el 3.56 % del total del área, teniendo una confusión mayor con la minería, debido a que podría ser por su alto contenido de agua en el área.
- En el caso de minería para el periodo 2006 – 2011, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 77830, que representa el 1.02 % del total del área, teniendo una confusión mayor con la minería, no ha presentado confusión con otras clases. Para el periodo 2011 – 2016, tiene un valor de coincidencia de lectura de

pixeles de 233920, que representa el 3.08 % del total del área, no ha presentado confusión con otras clases.

- En el caso del suelo para el periodo 2006 – 2011, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 38577, que representa el 0.51 % del total del área, teniendo una confusión mayor con la agricultura, debido a que podría ser por su alto contenido de zonas agrícolas en su estadio inicial de sembrío. Para el periodo 2011 – 2016, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 22850, que representa el 0.30 %, del total del área, teniendo una confusión mayor con la agricultura debido a que podría ser por su alto contenido de zonas agrícolas en su estadio inicial de sembrío.
- En el caso de Bosque para el periodo 2006 – 2011, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 6493671, que representa el 85.36 % del total del área, teniendo una confusión mayor con la agricultura, debido a que podría ser por su alto contenido de sembrío de tallo alto o áreas tipo purma o barbecho. Para el periodo 2011 – 2016, tiene un valor de coincidencia de lectura de pixeles de 6180546, que representa el 81.25 % del total del área, teniendo una mayor confusión con la agricultura, debido a que podría ser por su alto contenido de sembrío de tallo alto o áreas tipo purma o barbecho.
- Para el caso de nubes, este valor se ve presente solo en la imagen del año 2006, por lo que al realizar la tabulación cruzada con el año 2011, presento una coincidencia con la minería, por lo que podría ser considerada como tal, debido a que no presenta coincidencia con otras clases.
- Para el caso de sombra, este valor se ve presente solo en la imagen del año 2006 por lo que al realizar la tabulación cruzada con el año 2011, presento mayor coincidencia con el bosque y está presente en todas las clases, por lo que se podría considerar

que la sombra en el año 2006, cubrió las diferentes clases temáticas.

En el caso de la comparación de las clases temáticas utilizando la metodología del Modelo Lineal de Mezcla Espectral, para el periodo 2006 - 2016, se discierne que:

- Para el tema de la agricultura esta tiene un incremento constante de 25,735.14 hectáreas representando el 3.76 % del total del área, esto podría ser debido a incremento de zonas de cultivo en el área de estudio.
- Para el tema de la hidrografía esta tiene un incremento constante de 16,213.32 hectáreas representando el 2.36 % del total del área, esto podría ser debido al incremento de cuerpos de agua ocasionado por la actividad minera que necesita de agua para su proceso de extracción del oro, siendo necesario recalcar que no se ha incrementado la hidrografía sino los cuerpos de agua en el área de estudio.
- Para el tema de minería esta tiene un incremento constante de 24,170.13 hectáreas representando el 3.53 % del total del área, esto podría ser debido al incremento de la actividad de minería aluvial aurífera en la zona de estudio.
- Para el tema de suelo esta tiene un decrecimiento constante de 7,458.3 hectáreas representando el 1.09 % del total del área, esto podría ser debido al incremento de vegetación en las áreas donde antes han sido suelo.
- Para el bosque esta tiene un decrecimiento constante de 58,581.45 hectáreas representando el 8.57 % del total del área, esto podría ser debido al incremento de la deforestación en el área de estudio.

Las clasificaciones del MLME., utilizando el algoritmo Battacharya mostraron muy buenos desempeños tal es el caso que para el año 2006, muestra un desempeño de 99.66 %, para el año 2011 muestra un desempeño de 96.02 % y para el año 2016 un desempeño de 99.21 %

como resultado de las muestras definidas para cada una de las clases, permitiendo así la discriminación de dichas clases.

Asimismo, en los mapas de deforestación de los años 2006, 2011 y 2016 se aprecian que en el área de la confluencia del río madre de dios hacia el río Huepetuhe, se produjo mayor cantidad de deforestación, así como confusión entre las clases bosque con la degradación/regeneración. Asimismo, se viene produciendo una creciente deforestación en las zonas aledañas a los caminos hacia el sur del distrito de Huepetuhe.

Finalmente podemos determinar que utilizar el Modelo Lineal de Mezcla Espectral, muestra muy buen desempeño cumpliendo con los objetivos propuestos en el presente proyecto de investigación.

CONCLUSIONES

1. La cantidad de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en Huepetuhe – Madre de Dios, para el año 2006 es de 7004.70 hectáreas, para el año 2011 es de 21055.23 hectáreas y para el año 2016 es de 31174.83 hectáreas. Asimismo, la proyección para el año 2021 será de 45077.76 hectáreas. Esto significa que el área de Huepetuhe en el periodo 2006 – 2016, se incrementaron 24170.13 hectáreas de minería aluvial aurífera con respecto a los datos del año 2006, asimismo sino se toman acciones de control y minimización de actividades de minería aluvial éstas tienden a un incremento de 13902.93 hectáreas.
2. La transformación de las imágenes de satélite Landsat de los años 2006, 2011 y 2016, en imágenes fracción agua, suelo y vegetación permitió apreciar un comportamiento espectral más ajustado a la realidad, lo que favoreció a evaluar el algoritmo presentado en el

modelo lineal de mezcla espectral en el área de Huepetuhe – Madre de Dios.

3. Las clasificaciones de las imágenes mediante el método presentado utilizando el algoritmo Battacharya del Modelo Lineal de Mezcla Espectral mostraron muy buenos desempeños tal es el caso que, para la imagen del año 2006 muestra un desempeño de 99.66 %, para el año 2011 muestra un desempeño de 96.02 % y para el año 2016 muestra un desempeño de 99.21 %, como resultado de las muestras definidas para cada una de las clases, permitiendo la discriminación de dichas clases.
4. De manera de determinar con mayor exactitud los resultados y poder orientarlos a la cuantificación y determinación de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera de manera sistemática, se hacen necesarios datos de campo, con la finalidad de poder determinar mejor las clases en el área de estudio, asimismo relacionarlos con los datos biofísicos.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar la metodología de Modelo Lineal de Mezcla Espectral desarrollada en la presente investigación para cuantificar y determinar áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en otras áreas de la amazonia peruana, a fin de corroborar la metodología, ya que para el área de Huepetuhe – Madre de Dios., ésta metodología presenta un muy buen desempeño.
2. Realizar un estudio de campo en el área de estudio, a fin de determinar con mayor exactitud los resultados y poder orientarlos a la cuantificación y determinación de áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera e identificar mejor las clases del área de estudio, asimismo relacionarlos con los datos biofísicos.
3. Realizar actividades de fiscalización y control de actividades relacionadas con la deforestación en el área de Huepetuhe – Madre

de Dios, mediante un monitoreo satelital sistemático y continuo, a fin de poder controlar actividades ilícitas y generar información base para el desarrollo de estrategias que favorezcan el desarrollo sostenible del área de estudio.

4. Evaluar los datos obtenidos en la presente investigación con imágenes obtenidas del satélite peruano PERÚ – SAT 1., a fin de corroborar y verificar la exactitud de esta metodología

REFERENCIAS

- Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio – NASA (2017). Misiones Landsat. Recuperado de:

https://www.nasa.gov/mission_pages/landsat/overview/index.html

- Agencia Espacial Europea (2014). Comportamiento Espectral del suelo, agua y vegetación. Recuperado de:

http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_1.html#subhead1

- Agencia Espacial Europea (2014). Espectro electromagnético. Recuperado de:

<http://www.esa.int/images/02-spektrum.gif>

- Agencia Espacial Europea (2014). Teledetección. Recuperado de:
http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMO1U3FEXF_0.html
- Autoridad Nacional del Agua (2010). Diagnostico Hidrológico de la Cuenca Madre de Dios. Recuperado de:
http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/diagnostico_hidrologico_-_madre_de_dios_0.pdf
- Alonso, A., Moreno, V., y Rodríguez, E. (1999) Determinación Experimental de la Firma Espectral de la Vegetación. Recuperado de:
<http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb99.pdf>
- Burga M. (2016). Incremento de la deforestación y sus consecuencias en la perdida de biomasa en los bosques de la provincia alto amazonas del departamento de Loreto, 2000 – 2014. (tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Iquitos, Perú. Recuperado de:
<http://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/58595/1/CI-E-T-2016-BURGA-Incremento.pdf>
- Cámara, G., Davis, C., Viera, A. (2001). introdução à ciência da geoinformação. Recuperado de:
<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>
- Candía, R., Janampa, J. (2013) Evaluación de áreas deforestadas y humedales en los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios al año 2011. Recuperado de:

https://www.osinfor.gob.pe/portal/data/destacado/adjunto/areas_deforestadas_humedales.pdf

- Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (2011). Sistema de Información Geográfico. Recuperado de:
<http://www.conida.gob.pe/index.php/Capacitacion/sistemas-de-informacion-geografica.html>
- Díaz, F., y Pardi, M. (2009). Clasificación utilizando el modelo lineal de mezcla espectral para la determinación de áreas deforestadas en la Amazonia Peruana. Recuperado de:
<http://martesid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.54/doc/6149-6156.pdf>
- Gonzales, K., Casas, J., Zarate, H., Rivera, D., y Rodríguez, I. (2012). Teledetección Satelital Óptica en el Seguimiento de las Actividades Minera en Madre de Dios. Recuperado de:
http://www.ingemmet.gob.pe/documents/10181/25646/TELEDETECCION_OPTICA_SATELITAL_SEGUIMIENTO_ACTIVIDAD_MINERA.pdf/00007acc-b88e-4440-8b9d-d2ffdb6bf6dc
- Gobierno Regional de Madre de Dios (s.f). Estudio de Diagnóstico y Zonificación para el Tratamiento de la Demarcación Territorial de la Provincia Manu. Recuperado de:
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/102EA52BE579D6C605257B7A007370A0/\\$FILE/doc_edz_manu.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/102EA52BE579D6C605257B7A007370A0/$FILE/doc_edz_manu.pdf)

- Hernández R., Fernández C. y Baptistas M. (2014). Metodología de la Investigación (6ta edición). México D. F., México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Hernandez, J., Montaner, D. (2009). Patrones de Respuesta Espectral. Recuperado de:
<http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>
- Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (2001). Propuesta de Zonificación Económica Ecológica de la región Madre de Dios. Recuperado de:
<http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/zeemddversioncorreg.pdf>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (2002). manuais tutorial de geoprocessamento Recuperado de:
<http://www.dpi.inpe.br/spring/espanol/tutorial/classific.html>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales (2017). Software SPRING. Recuperado de: <http://www.dpi.inpe.br/spring/espanol/index.html>
- Landis, J., y Koch, G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Recuperado de:
https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/landis_jr__koch_gg_1977_kappa_and_observer_agreement.pdf

- Muñoz, F., y Freitas, G. (2016). Elecciones 2016 Dialogo de bosques - Política Forestal: algunos elementos claves. Recuperado de:
http://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/actividades/minam_presentacion_cies_21_marzo_2016.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación. (2016). Evaluación forestal de los recursos forestales mundiales 2015. Pág. 9 y 13. Recuperado de:
<http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf>
- Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático. (2016). Perú, país de bosques. Recuperado de:
<http://www.bosques.gob.pe/peru-pais-de-bosques>
- Ramalho, R., Neves, J., C., Magalhães, H., H. (2013). Análise da dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima – Amazônia Setentrional, através da subtração de imagens-fração. Recuperado de;
<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0905.pdf>
- Ríos, J., Laguado, W., Trujillo, C., Sánchez, P. (2012) Análisis y Modelación de Deforestación para los años 1990, 200 y 2010 en el corredor MANU – AMARAKEIRI. Recuperado de:
<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002259/225969s.pdf>
- Rodríguez A. (2011). Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta. (Tesis para optar el grado de magister en Geomática). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Recuperado de:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/5241/1/andresfeliperodriguezvasquez.2011.pdf>

- Santos, A., R., Oliveira, T., M., Suemi, N. (2010). SPRING 5.1.2 paso a paso Aplicações Practicas. Recuperado de:
http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_Spring_5.1.2_Aplicacoes_Praticas/LivroSPRING512PassoaPassoAplicacaoPratica.pdf
- Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS (2018). Landsat Project Description. Recuperado de: <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-description>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS (2018). Landsat Missions Timeline. Recuperado de: <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS (2018). Landsat 5. Recuperado de: <https://landsat.usgs.gov/landsat-5-history>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS (2018). Landsat 7. Recuperado de: <https://landsat.usgs.gov/landsat-7-history>
- Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS (2018). Landsat 8. Recuperado de: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-mission>.
- Shimabukuro, Y., E., Duarte, V., Arai, E., Morais, R. (2013) Monitoramento de mudanças na cobertura da terra na região da Floresta Nacional do Tapajós,

Amazônia Brasileira, utilizando segmentação de imagens multitemporais.
Recuperado de: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0497.pdf>

- Shimabukuro, Y., E., Kalil, E., M., Moreira, J., C., y Duarte, V. (1997). Segmentación y Clasificación de la Imagen Sombra del Modelo de Mezcla para Mapear la Deforestación en la Amazonia. Recuperado de: http://www.dsr.inpe.br/panamazon/Panamazonia/esp/Mezcla_prodesl.pdf
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (s. f.). Minería y fiebre de oro Madre de Dios. Recuperado de: <http://www.actualidadambiental.pe/febremdd/>
- Wikipedia (2018) La deforestación. Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Deforestaci%C3%B3n>
- Wikipedia (2018). Espectro electromagnético. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico
- Wikipedia. (2018). Sistema de Información Geográfico. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica
- Wikipedia (s.f.). Capas Temáticas en un Sistema de Información Geográfico. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica#/media/File:Sig.jpg

Notas:

(¹). Desarrollo del texto citando a Cámara et al. (2001).

(²). Desarrollo del texto citando a Santos, Oliveira, y Suemi (2010),

(³). Desarrollo del texto citando a USGS (2018).

ANEXO. Matriz de Consistencia.

CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS POR LA MINERÍA ALUVIAL AURÍFERA MEDIANTE EL USO DE TÉCNICAS DE GEOINFORMACIÓN EN HUEPETUHE - MADRE DE DIOS EN EL PERIODO DEL 2006 – 2016.					
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables y Dimensiones	Metodología	Población y Muestra
PG. ¿Es posible cuantificación las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera mediante el uso de técnicas de geoinformación en el periodo 2006 – 2016 en Huepetuhe – Madre de Dios?	OG. Cuantificar las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el periodo 2006 – 2016 mediante el uso de técnicas de geoinformación en Huepetuhe – Madre de Dios.	No corresponde	Variable 1: Técnicas de geoinformación	Tipo: Aplicada Método: Cuantitativo Nivel: Descriptivo Diseño: No experimental de corte longitudinal. Técnica: Recolección de datos, investigación, análisis bibliográfico, procesamiento de imágenes, mapeo y observación de los resultados. Instrumentos: - Bibliográficos - Gabinete: Software de geoprocamiento Spring.	Universo: Amazonia peruana Población: Bosques amazónicos de la región Madre de Dios. Muestra: Zona circundante del área de Huepetuhe – Madre de Dios Muestreo: Criterio o intencional Unidad de análisis: Imagen de satélite.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas			
PE.1. ¿La transformación de las imágenes de satélite Landsat del año 2006, 2011 y 2016, en imágenes fracción suelo, vegetación y agua permite evaluar el algoritmo presentado en el Modelo Lineal de Mezcla Espectral en Huepetuhe – Madre de Dios? PE.2. ¿Cuál es el nivel de desempeño de la metodología de clasificación de las imágenes fracción de los años 2006, 2011 y 2016, del Modelo Lineal de Mezcla Espectral? PE.3. ¿Cuál es la cantidad de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el periodo 2006 – 2016, así como la proyección para el año 2021 de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en Huepetuhe – Madre de Dios?	OE.1. Transformar las imágenes de satélite Landsat del año 2006, 2011 y 2016, en imágenes fracción suelo, vegetación y agua a fin de evaluar el algoritmo presentado en el Modelo Lineal de Mezcla Espectral en Huaypetuhe – Madre de Dios. OE.2. Evaluar el desempeño de la metodología de clasificación de las imágenes fracción de los años 2006, 2011 y 2016, del Modelo Lineal de Mezcla Espectral OE.3. Determinar la cantidad de las áreas deforestadas por la minería aluvial aurífera en el periodo 2006, 2011 y 2016 y realizar una proyección al año 2021 de la cantidad de áreas deforestadas por la minería aluvial en Huepetuhe – Madre de Dios.	No Corresponde			