



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la
obtención del título de Ingeniera en
Gestión Ambiental

Título del Proyecto de Investigación:

**“Análisis de uso del suelo a partir de las imágenes Landsat en el cantón el Empalme,
provincia del Guayas, en el periodo 1998 – 2015”**

Autora:

Narciza Alexandra Santi Ruiz

Directora de Proyecto de Investigación:

Dra. Lidia Vlassova

Quevedo - Los Ríos - Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Narciza Alexandra Santi Ruiz**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Narciza Alexandra Santi Ruiz

C.I. 1724883689

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La suscrita, **Dra. Lidia Vlassova**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Narciza Alexandra Santi Ruiz** realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**ANÁLISIS DE USO DEL SUELO A PARTIR DE LAS IMÁGENES LANDSAT EN EL CANTÓN EL EMPALME, PROVINCIA DEL GUAYAS, EN EL PERIODO 1998 – 2015**”, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

Dra. Lidia Vlassova
DIRECTORA DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

TÍTULO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**“ANÁLISIS DE USO DEL SUELO A PARTIR DE LAS IMÁGENES LANDSAT EN
EL CANTÓN EL EMPALME, PROVINCIA DEL GUAYAS, EN EL PERIODO
1998 – 2015”**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de
Ingeniero en Gestión Ambiental

Aprobado por:

Ing. José Luis Muñoz
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS

Blgo. Juan Pablo Urdánigo	Ing. Carlos Nieto Cañarte
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS	MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios por haber permitido llegar a cumplir mi meta, y haberme dado fortaleza, sabiduría, valor, dedicación, y el conocimiento para llegar a cumplir todos mis objetivos propuestos de manera exitosa, por proteger mi camino y su infinita bondad y amor.

A mis padres Ana y Salvador y a mis hermanos por darme el apoyo y la confianza incondicional, quienes han sido mi pilar fundamental durante todo mis estudios, por darme fuerza, y consejos para llegar a cumplir mi meta

A la Dra. Lidia Vlassova por aceptarme como tesista en su proyecto, por el apoyo y la confianza depositada en mi trabajo, y por compartir conmigo todos sus conocimientos y experiencias.

A la Universidad UTEQ por haberme dado la oportunidad de continuar con mi formación académica, y a todas las personas que han hecho posible en cumplir esta meta, a mis compañeros por su apoyo a mis profesores que inculcaron en sus enseñanzas profesionales.

DEDICATORIA

A Dios por darme la dicha de cumplir este objetivo,

A mis padres y hermanos por darme todos los valores, enseñanza

durante toda la vida, por ser ellos la motivación en mi vida,

A todas aquellas personas que hicieron participe en la culminación de mi carrera.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

El análisis de las imágenes satelitales es de mucha importancia para la detección y monitoreo de los elementos que existen en el medio ambiente, por lo que se ha convertido en una herramienta valiosa para la evaluación de diferentes componentes de la superficie terrestre, como por ejemplo, los estudios de análisis multitemporal donde permite detectar los cambios del uso de la cobertura vegetal en ciertos periodos de tiempo, evidenciando los recursos naturales. El propósito de esta investigación fue analizar los cambios de uso de suelo en el cantón el Empalme, Provincia del Guayas, utilizando las imágenes Landsat 5 del año de 1998 y Landsat 8 del año 2015 con la ayuda de las herramientas ArcGIS, ENVI, dentro del procesamiento de las imágenes satelitales, se calculó los índices espectrales SAVI, NDVI, NDMI, así detectar la cubierta vegetal del área de estudio. En la clasificación supervisada de las imágenes, se tomó como referencia las coordenadas geográficas de la fase de campo, se seleccionó 6 clases de entrenamiento, logrando tener como resultado las imágenes clasificadas de los dos periodos, de tal manera se realizó cierto proceso para obtener 60 puntos al azar, en la imagen clasificada del año 2015, y de esta forma evaluar la validación de los puntos con la herramienta de Google Earth, en lo que se obtuvo la matriz de confusión, indicando un coeficiente de Kappa de 75,05 % evidenciando un valor aceptable, mediante los índices calculados se ejecutó el análisis estadístico del coeficiente de varianza de un factor (ANOVA) en lo que indica, que el índice NDVI y SAVI tiene diferencias estadísticamente significativa entre los grupos de distribución y el índice de NDMI no existe diferencia estadísticamente significativa, para la evaluación del análisis multitemporal de los dos periodos, se determinó que ciertas clases de uso infirieron en otras clases, se observó que la clase de bosque que había en el año 1998 ha reducido para el año 2015 lo cual se concretó que se ha expandido los suelos para diferentes usos de cultivos agrícolas.

Palabras claves: Imágenes Landsat, índices espectrales, clasificación supervisada, cambio de uso de suelo, análisis multitemporal

ABSTRACT AND KEYWORDS

The analysis of satellite images is very important for the detection and monitoring of the elements that exist in the environment, so it has become a valuable tool for the evaluation of different components of the Earth's surface, such as the studies of multitemporal analysis where it allows to detect the changes of the use of the vegetal cover in certain periods of time, evidencing the natural resources. The purpose of this research was to analyze the land use changes in the corner of Empalme, province of Guayas, using the Landsat 5 images of the year 1998 and Landsat 8 of the year 2015 with the help of the ArcGIS, ENVI tools, within the processing of the satellite images, the SAVI, NDVI, NDMI spectral indexes were calculated, thus detecting the vegetation cover of the study area. In the supervised classification of the images, the geographical coordinates of the field phase were taken as a reference, 6 training classes were selected, obtaining as a result the classified images of the two periods, in such a way that a certain process was carried out to obtain 60 random points, in the classified image of 2015, and in this way evaluate the validation of the points with the Google Earth tool, in which the confusion matrix was obtained, indicating a Kappa coefficient of 75.05% evidencing an acceptable value, through the calculated indices, the statistical analysis of the coefficient of variance of a factor (ANOVA) was executed, indicating that the NDVI and SAVI index has statistically significant differences between the distribution groups and the NDMI index does not exist statistically significant difference, for the evaluation of the multitemporal analysis of the two periods, it was determined that certain classes of use inferred in other classes, it was observed that the kind of forest that had in the year 1998 has reduced for the year 2015 which resulted in the expansion of soils for different uses of agricultural crops.

Keywords: Landsat images, spectral indexes, supervised classification, land use change, multitemporal analysis

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
TÍTULO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.....	vii
ABSTRACT AND KEYWORDS	viii
TABLA DE CONTENIDO	ix
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
CÓDIGO DUBLIN.....	xv
CAPÍTULO I.....	
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Introducción	2
1.2. Problema de la investigación.....	4
1.2.1. Planteamiento del problema	4
1.2.1.1. Diagnóstico.....	4
1.2.1.2. Pronóstico.....	4
1.2.2. Formulación del Problema	5
1.2.3. Sistematización del problema.....	5
1.2.4. Hipótesis.....	5
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. General	6
1.3.2. Específicos.....	6
1.4. Justificación	7
CAPÍTULO II.....	
FUNDAMENTACION TEORICA DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1. Marco Conceptual	9
2.1.1. Cambio de uso de suelo.....	9
2.1.1.1. Modelos y estudios de cambio de uso de suelo	10
2.1.2. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe.....	11

2.1.3.	Monitoreo del Cambio de Uso del Suelo	12
2.1.4.	Teledetección.....	13
2.1.4.1.	Componentes de un sistema de Teledetección.....	13
2.1.4.2.	Principales aplicaciones de la teledetección	14
2.1.4.3.	Ventajas y desventajas de las imágenes satelitales	15
2.1.5.	Superficies Reflectantes	16
2.1.6.	Firmas espectrales.....	16
2.1.7.	Imágenes satelitales	17
2.1.8.	Resolución de un sistema de sensor.....	18
2.1.8.1.	Resolución espacial.....	18
2.1.8.2.	Resolución espectral.....	18
2.1.8.3.	Resolución temporal.....	18
2.1.10.	Imágenes Landsat	19
2.1.12.	Procesamiento de las Imágenes Satelitales.....	22
2.1.13.	Índices espectrales	22
2.1.13.1.	Índices de vegetación	23
2.1.13.1.1.	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	23
2.1.13.1.2.	Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI).....	24
2.1.13.1.3.	Índice de Diferencia Normalizada de humedad - NDMI.....	24
2.1.14.	Clasificación de las Imágenes Satelitales	25
2.1.14.1.	Clasificación no supervisada	25
2.1.14.2.	Clasificación supervisada	25
2.1.15.	Sistemas de Información Geográfica	26
2.1.16.	Análisis de varianza (ANOVA).....	27
2.1.17.	Análisis Multitemporal.....	28
2.1.17.1.	Técnicas utilizadas para el análisis multitemporal	28
2.2.	Marco Referencial	29
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		
3.1.	Materiales y Métodos	36
3.1.1.	Localización del área de estudio.....	36
3.1.1.	Materiales y equipos	37
3.1.1.1.	Geo tecnología.....	39
3.1.1.1.1.	Software Especializado	39

3.1.1.2.	Equipo de Geo posicionamiento	39
3.1.2.	Metodología.....	40
3.1.2.1.	Procesamiento de las imágenes satelitales.....	41
3.1.2.2.	Calculo de índices espectrales	42
3.1.2.2.1.	Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)	42
3.1.2.2.2.	Índice de Vegetación ajustado con el suelo (SAVI).....	42
3.1.2.2.3.	Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad (NDMI).....	43
3.1.2.3.	Stack de Índices calculados	44
3.1.2.5.	Clasificación de la cobertura vegetal en el área de estudio	45
3.1.2.5.3.	Clasificación supervisada	46
3.1.2.6.	Análisis de los resultados	47
3.1.2.6.1.	Validación de clasificación supervisada.....	47
3.1.2.6.2.	Análisis multitemporal de las imágenes satelitales	48
3.1.2.6.2.1.	ANOVA.....	48
3.1.2.6.2.2.	Análisis multitemporal de uso de suelo en el área de estudio	48
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1.	Selección de las imágenes Satelitales	51
4.2.	Procesamiento de las imágenes satelitales	52
4.2.1.	Pre procesamiento.....	52
4.2.1.1.	Layer Stacking	52
4.2.1.2.	Recorte de las imágenes satelitales en el área del cantón el empalme	53
4.3.	Calculo de índices espectrales.....	53
4.5.	Clasificación de la cobertura vegetal en el área de estudio	60
4.5.2.	Clasificación supervisada.....	63
4.6.	Análisis de Resultados	74
4.6.1.	Validación de Puntos	74
4.6.2.	Evaluación de la Clasificación.....	76
4.6.2.1.	Matriz de confusión.....	76
4.6.2.2.	Coeficiente Kappa.....	78
4.7.	Análisis estadístico del coeficiente de variación de un factor (ANOVA).....	79
4.7.1.	Coeficiente de variación de un factor (ANOVA) Índice de Vegetación ajustado con el suelo SAVI	81
4.7.2.	Coeficiente de variación de un factor (ANOVA) Índice de vegetación normalizada NDVI	81

4.7.3. Coeficiente de variación de un factor (ANOVA) Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad NDMI.....	82
4.9. Discusión.....	87
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones	89
5.2. Recomendaciones	90
CAPÍTULO VI	
BIBLIOGRAFÍA	
6.1. Bibliografía	92
CAPÍTULO VII.....	
ANEXOS.....	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de imagen Landsat 5	37
Tabla 2: Características de imagen Landsat 8	37
Tabla 3: Coordenadas geográficas tomadas en la fase de campo.....	59
Tabla 4: Coordenadas geográficas tomadas en Google Earth y en el campo	61
Tabla 5: Validación de puntos.....	74
Tabla 6: Comparación de la imagen clasificada del año 2015 con Google	76
Tabla 7: Matriz de confusión para la clasificación del año 2015	78
Tabla 8: Valores de los índices espectrales para Landsat 8 y Landsat 5	79
Tabla 9: Clases de uso de suelo en % del año 1998	83
Tabla 10: Clases de uso de suelo en % del año 2015.....	84
Tabla 11: Clases de uso de suelo en % del año 1998 y 2015.....	85
Tabla 12: Porcentaje de clases de cambios de uso a otras categorías	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: componente de un sistema de teledetección	14
Figura 2: Firmas espectrales características de las principales coberturas terrestres.	17
Figura 3: A. Mapa cantonal de la Prov. del Guayas, ubicación del Cantón el Empalme B. Landsat 5 TM (Thematic Mapper) adquirida 07 de septiembre de 1998, composición de bandas 3, 2,1	36
Figura 4: Descripción de bandas de imagen Landsat 5	38
Figura 5: Descripción de bandas de imagen Landsat 8	39
Figura 6: Proceso metodológico para el análisis multitemporal del cambio del uso del suelo del cantón el Empalme	40
Figura 7: Captura de pantalla del Software ENVI 4.7 para el cálculo de índices	44
Figura 8: Imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) del 07 de septiembre 1998 (Lado Izquierdo) Imagen Landsat 8 (OLI/TIRS) del 6 de septiembre 2015(Lado Derecho) obtenidas en formato .Tiff.....	51
Figura 9: Imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) del 07 de septiembre 1998 (Lado Izquierdo) Imagen Landsat 8 (OLI/TIRS) del 6 de septiembre 2015(Lado Derecho) imagen en formato .img y combinación de bandas 7, 5 y 3.	52
Figura 10: Resultado de Resize Data (Spatial/Spectral) con extensión .hdr para obtener el corte del área del cantón el Empalme de la Imagen Landsat 5 TM de 1998 (Lado Izquierdo) y la Imagen Landsat 8 (OLI/TIRS) del 2015(Lado Derecho) polígono rojo limite cantonal del lugar de interés.	53
Figura 11: Índice de vegetación ajustado con el suelo SAVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) de 1998.	55
Figura 12: Índice de Vegetación ajustado con el suelo SAVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 8 OLI/TIRS del 2015.	55
Figura 13: Índice de vegetación normalizada NDVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) de 1998.	56

Figura 14: Índice de vegetación normalizada NDVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 8 OLI/TIRS del 2015.	56
Figura 15: Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad NDMI obtenida a partir de la Imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) de 1998.	57
Figura 16: Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad NDMI obtenida a partir de la Imagen Landsat 8 OLI/TIRS del 2015.	57
Figura 17: Stack imagen Landsat 5 TM (Thematic Mapper) del año 1998 (Lado Izquierdo) imagen Landsat 8 (OLI/TIRS) del año 2015(Lado Derecho) imagen en formato .img	58
Figura 18: Captura de pantalla del programa ENVI, de las regiones de interés que se crearon para cada clase	63
Figura 19: Captura de pantalla del programa ENVI, de la unión de regiones de interés que se realizó para la respectiva clasificación	64
Figura 20: Valores de separabilidad de ROI del año 1998 muestra desde el valor más bajo al más alto de separabilidad	66
Figura 21: Valores de separabilidad de ROI del año 2015 muestra desde el valor más bajo al más alto de separabilidad	68
Figura 22: Mapa de clasificación supervisada del uso del suelo del cantón el Empalme obtenida a partir de la imagen Landsat 5 TM del año 1998	70
Figura 23: Mapa de clasificación supervisada del uso del suelo del cantón el Empalme obtenida a partir de la imagen Landsat 8 OLI/TIRS del año 2015	72
Figura 24: Mapa de uso del suelo del cantón el Empalme del año 2015	73
Figura 25: Calculo del Coeficiente Kappa para la imagen clasificada Landsat 8 OLI/TIRS del 2015	78
Figura 26 Coeficiente de variación de un factor del índice SAVI.....	81
Figura 27: Coeficiente de variación de un factor del índice NDVI.....	82
Figura 28: Coeficiente de variación de un factor del índice NDMI	82

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Análisis de uso del suelo a partir de las imágenes landsat en el cantón el Empalme, provincia del Guayas, en el periodo 1998 – 2015”	
Autor:	Santi Ruiz Narciza Alexandra	
Palabras clave:	Imágenes Landsat	Índices espectrales
	clasificación supervisada	cambio de uso de suelo
	análisis multitemporal	
Fecha de publicación:	Noviembre, 2018	
Editorial:	Quevedo, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2018.	
Resumen:	El análisis de las imágenes satelitales es de mucha importancia para la detección y monitoreo de los elementos que existen en el medio ambiente, por lo que se ha convertido en una herramienta valiosa para la evaluación de diferentes componentes de la superficie terrestre, como por ejemplo, los estudios de análisis multitemporal donde permite detectar los cambios del uso de la cobertura vegetal en ciertos periodos de tiempo, evidenciando los recursos naturales. El propósito de esta investigación fue analizar los cambios de uso de suelo en el cantón el Empalme, Provincia del Guayas, utilizando las imágenes Landsat 5 del año de 1998 y Landsat 8 del año 2015 con la ayuda de las herramientas ArcGIS, ENVI, dentro del procesamiento de las imágenes satelitales, se calculó los índices espectrales SAVI, NDVI, NDMI, así detectar la cubierta vegetal del área de estudio. En la clasificación supervisada de las imágenes, se tomó como referencia las coordenadas geográficas de la fase de campo, se seleccionó 6 clases de entrenamiento, logrando tener como resultado las imágenes clasificadas de los dos periodos, de tal manera se realizó cierto proceso para obtener 60 puntos al azar, en la imagen clasificada del año 2015, y de esta forma evaluar la validación de los puntos con la herramienta de Google Earth, en lo que se obtuvo la matriz de confusión, indicando un	

	coeficiente de Kappa de 75,05 % evidenciando un valor aceptable, mediante los índices calculados se ejecutó el análisis estadístico del coeficiente de varianza de un factor (ANOVA) en lo que indica, que el índice NDVI y SAVI tiene diferencias estadísticamente significativa entre los grupos de distribución y el índice de NDMI no existe diferencia estadísticamente significativa, para la evaluación del análisis multitemporal de los dos periodos, se determinó que ciertas clases de uso infirieron en otras clases, se observó que la clase de bosque que había en el año 1998 ha reducido para el año 2015 lo cual se concretó que se ha expandido los suelos para diferentes usos de cultivos agrícolas.
Descripción:	116 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM
URI:	<u>(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

La superficie de la tierra es un mosaico de paisajes naturales y culturales, interconectados desde los ecosistemas naturales, hasta las zonas urbanas e industriales que son completamente ocupadas por el ser humano. El cambio de la cobertura vegetal ha ido sucediendo en el transcurso del tiempo, consecuencia de las transformaciones del uso de la tierra, fenómenos naturales y actividades antropogénicas (1). La gran pérdida de la cobertura vegetal se ha evidenciado notoriamente en las últimas décadas en un acelerado ritmo, como consecuencia la deforestación de los bosques para incrementar las zonas agrícolas, es una de las principales causas de cambio de uso de suelo y se han manifestado de modo alarmante (2). Por tal motivo conlleva la necesidad de aplicación de proyectos para monitoreo de uso de suelo, mediante la teledetección que ha demostrado su potencial como herramienta válida para la elaboración de mapas de cultivos (3).

La teledetección ha sido utilizada como una herramienta valiosa y determinante a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos naturales, de manera especial en evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. Un aporte destacado de la teledetección espacial al estudio medioambiental es su capacidad de seguir procesos dinámicos ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva (4).

El Ecuador está implementando el Sistema Nacional de Información (SNI) para integrar sinérgicamente a las entidades del Gobierno central y a los gobiernos autónomos en busca de disponer de datos e información relevantes en los procesos de planificación del país y sus territorios. El Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) se ocupa de la toma de fotografía aérea del país, de la creación de cartografía básica, de la elaboración de orto fotos, de la ejecución de catastros en los cantones del país, de la generación de geo información para la gestión de los territorios y de la dotación de herramientas para el seguimiento de la inversión pública (5).

Este componente es alimentado por la labor de instituciones como el Instituto Geográfico Militar (IGM), el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), el Centro de Desarrollo Aeroespacial de la Fuerza Aérea, el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos

Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), los Gobiernos Cantonales, el Ministerio de Agricultura y Ganadería a través del proyecto SIGTIERRAS, entre otros. Con el fin de desarrollar metodologías para la generación de geo información, en 2009 se implementó un proyecto piloto en 16 cantones de la Cuenca del Río Guayas y ahora el proyecto alcanza una dimensión nacional (5).

Los datos satelitales permiten recopilar una información coherente, que posteriormente puede ser analizada utilizando los mismos criterios para distintos momentos en el tiempo, de manera que puedan realizarse estimaciones más precisas sobre el cambio (6). La adquisición de estas imágenes satelitales hoy en día existe la facilidad de obtenerla en forma de acceso libre para la ejecución de esta investigación, la cual pretende evaluar la viabilidad de la aplicación de los índices espectrales generados a partir de imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 8 con el fin de detectar y analizar los cambios en el uso de suelo en el cantón El Empalme, provincia del Guayas, en el periodo de 1998 y 2015.

1.2. Problema de la investigación

1.2.1. Planteamiento del problema

El cambio en el uso del suelo y cobertura vegetal asociados a la fragmentación del hábitat es uno de los más severos efectos de las actividades antrópicas en la faz de la tierra; es una de las principales causas del incremento de las tasas de extinción de especies en las décadas recientes. Todas las estimaciones de la superficie afectada por estos fenómenos, son indicadores de un severo problema que se está acentuando y que tiene que ver directamente con el cambio en la cobertura vegetal hacia otro uso del suelo y el deterioro ambiental (7). Como ha surgido en la cabecera cantonal el Empalme, las prácticas inadecuadas del uso del suelo han acelerado la erosión de la tierra, incrementando las cargas de sedimentos en los ríos y arroyos, el inadecuado ordenamiento territorial y ambiental dificulta la toma de decisiones en cuanto al uso de la tierra de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones y el deficiente manejo del uso del suelo no permite incorporar prácticas y saberes sustentables relacionados con la gestión integrada y los procesos de planificación de la matriz productiva (8).

1.2.1.1. Diagnóstico

El uso actual que se da a la tierra es el tema que hoy reviste mayor gravedad, siendo uno de sus principales consecuencias la erosión, pérdida de fertilidad, la deforestación y degradación de pasturas, estas modificaciones que ha sufrido el suelo en el medio ambiente, han afectado considerablemente la calidad de vida de toda la población.

1.2.1.2. Pronóstico

El inadecuado manejo de los recursos naturales debido a uno de los componentes, como los cambios que ha sufrido el uso del suelo, ha llevado a la implementación de nuevas técnicas, como la utilización de imágenes satelitales que mediante el análisis multitemporal, permite comparar y determinar los cambios de la cobertura vegetal a través de los años, se ha convertido en una herramienta valiosa para la obtención de información que se emplea para la toma de decisiones en la planificación, gestión y conservación de los recursos naturales.

Esta técnica ayuda determinar escenarios a futuro, y así lograr los determinados objetivos, y formas de desarrollo político y ambiental.

1.2.2. Formulación del Problema

El cambio del uso del suelo es una de las principales causas de deterioro ambiental, que en la actualidad han sufrido todos los países del mundo, ya que el ser humano ha mantenido contacto seguido con la naturaleza para así poder satisfacer sus necesidades básicas. La carencia de conocimientos del hombre, sobre la aplicación de tecnología y las posibilidades que brinda para poder determinar el uso del suelo actual y como ha ido cambiando en el tiempo, ha resultado en desconocimiento de la situación actual de los recursos naturales y falta de sostenibilidad en su uso.

1.2.3. Sistematización del problema

¿La aplicación de los índices espectrales será capaz de detectar los cambios del uso del suelo en el periodo determinado?

¿Cuáles son los cambios espaciales y temporales del uso del suelo en el periodo de estudio?

¿Los Sistema de Información Geográfica (SIG) son herramientas adecuadas para realizar el análisis planteado?

1.2.4. Hipótesis

La utilización de los índices espectrales permite diferenciar los tipos de uso de suelo en el área de estudio.

En el periodo 1998 y 2015 la distribución de usos de suelo del Cantón el Empalme ha experimentado cambios significativos.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Analizar los cambios en el uso del suelo en el Cantón el Empalme, provincia del Guayas, en el periodo 1998 – 2015.

1.3.2. Específicos

- Evaluar los índices espectrales NDVI, SAVI, NDMI derivados de las imágenes Landsat 5 y Landsat 8 para diferenciar los tipos de coberturas de suelo.
- Identificar la distribución de los tipos de coberturas de suelo en el área de estudio para el periodo establecido.
- Analizar los resultados obtenidos de los índices espectrales en relación con los cambios de uso de suelo dentro del periodo considerado.

1.4. Justificación

Actualmente, la disponibilidad de datos satelitales en series de tiempo ofrece diferentes opciones para el estudio del ambiente de formas casi imposibles de replicar con métodos de medición tradicionales. Los programas de apoyo requieren conocer la condición anterior, actual y probablemente futura del uso del suelo, para el desarrollo de políticas y estrategias operacionales y para dirigir el uso de los recursos; para llegar a una meta a largo plazo de alcanzar el manejo sustentable de los recursos naturales como parte de los esfuerzos para erradicar la pobreza en las regiones en desarrollo del mundo (9).

Desde el comienzo de los años 70s, las técnicas de percepción remota han sido aplicadas exitosamente al mapeo local, nacional, continental e incluso global de la vegetación. En otras palabras, resulta evidente la utilidad de los mapas de uso del suelo para el manejo y la planeación de los recursos naturales desde escalas locales a nacionales. A escala global, la caracterización confiable de la vegetación es una importante variable de entrada para los modelos de circulación global, permitiendo mejorar nuestro entendimiento sobre la manera en que funciona la biosfera y para modelar escenarios climáticos futuros (9). El desconocimiento en la aplicación de programas informáticos y software como el ArcGIS que son indispensable para el levantamiento de información son poco utilizados por no conocer su manejo de aplicación (7). Es importante desarrollar mapas de cambio de uso de suelo, obteniendo un diagnóstico de la situación retrospectiva de uso del suelo, del año 1998 y 2015, utilizando el SIG- sistema información Geográfica.

Una vez indicado estos puntos, es necesario mencionar que esta investigación se realizó, con el propósito de utilizar todos los datos, técnicas e instrumentos disponibles, para determinar los cambios en el uso del suelo, a nivel cantonal en el periodo determinado.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACION TEORICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Cambio de uso de suelo

El término “Cobertura del Terreno”, se aplica a aquellos objetos que se localizan sobre la superficie del planeta y que pueden ser de origen natural (bosques, glaciares, ríos, lagos, entre otros); o producidos y mantenidos por el hombre (carreteras, ciudades, presas, etc.). Es estudiada por las ciencias naturales y se refiere al estado físico de la cobertura vegetal, esta cobertura está determinada por factores biofísicos, como son el clima, topografía, tipo de suelos, disponibilidad de agua y el tipo de vegetación (10).

El uso del suelo (terreno), se refiere a la manera en la cual las coberturas son utilizadas por el hombre, para satisfacer sus necesidades materiales y espirituales. En otro contexto el uso de suelo describe las actividades del hombre que se desarrollan sobre la superficie terrestre y al influir el humano en el ambiente para producir bienes y servicios este uso tiende a transformarse (11).

Un tipo de cobertura puede involucrar diferentes usos (por ejemplo un bosque puede tener usos forestales, de conservación y de investigación), de la misma forma un uso de suelo puede involucrar diferentes categorías de cobertura (por ejemplo, en México, la actividad pecuaria se puede desarrollar en pastizales, tierras de cultivo, matorrales e inclusive bosques). La relación entre el tipo de cobertura y el uso del suelo, no es una relación única, puede ser de un tipo de cobertura a un uso específico, de un tipo de cobertura a diferentes de usos, y de diferentes coberturas a diferentes usos (11).

El cambio de uso de suelo se define como” La remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales”. En forma pragmática, el concepto de cambio del suelo se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan sobre una cobertura, la cobertura se refiere a los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado, asimismo el cambio de uso de suelo se puede concebir como la suma de las transiciones físicas del uso del suelo asociado a las acciones humanas a través del tiempo (11).

El enfoque bajo el cual debe abordarse el cambio de uso de suelo, ha estado sujeto a discusión. Lambin et al., (citado en Aspinall y Hill, 2008) observan tres requisitos para entender el cambio de uso de suelo: 1) Enlazar el comportamiento de las personas y sociedad en su interacción con el uso de suelo 2) Comprender el tipo de relaciones que establece la sociedad con su ambiente 3) Un criterio multi-temporal para incorporar los eventos pasados y presentes, en el contexto de la interacción de la sociedad con el ambiente.

El enfoque necesario para estudios de cambio de uso de suelo debe integrar múltiples disciplinas y deben considerar características tales como: a) La complejidad de las causas que propician el cambio, b) Diferencias e interrelaciones entre uso del suelo y cobertura del suelo, c) Interacción de los procesos socioeconómicos y biofísicos, d) Escalas multi-temporales y multi-espaciales en las que operan los procesos, e) La interacción a través de los múltiples niveles de organización, f) Retroalimentaciones y conexiones entre los espacios geográficos y sociales, g) Los múltiples enlaces entre el territorio y la población, h) Importancia de los distintos factores sociales, demográficos, económicos, políticos y culturales en la toma de decisiones i) El uso combinado de métodos cualitativos y cuantitativos (11).

En los últimos 30 años la cuantificación y monitoreo de los cambios en los usos del suelo o en las coberturas del terreno, se ha apoyado en imágenes satelitales. La necesidad de utilizar imágenes satelitales para analizar los cambios de uso de suelo y los cambios en las coberturas vegetales se ha hecho cada vez más grande propiciando así que exista una mayor disponibilidad de estas imágenes. La NASA, junto con el gobierno de los Estados Unidos de Norte América ponen a disposición una colección de imágenes Landsat (LansatGeoCover) de casi toda la cobertura terrestre a excepción de la Antártica, ésta disponibilidad de imágenes han permitido a diversos países entre ellos México tener insumos para realizar estudios enfocados a determinar cambios de uso de suelo (11).

2.1.1.1. Modelos y estudios de cambio de uso de suelo

Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y usos del suelo se encuentran en el centro de la atención de la investigación ambiental actual. La mayor parte de los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres se deben a: a) conversión de la cobertura del terreno, b) degradación del terreno e c) intensificación en el uso del terreno. Estos procesos,

usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas (12).

La cuantificación de cambios de uso de suelo a través de la percepción remota junto con las herramientas de análisis que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica para modelar los procesos de cambio es una forma muy eficaz para comprender la dinámica de cambio de un territorio (10).

Los modelos de cambio de uso se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial orientada, principalmente, a los siguientes aspectos: (a) Explorar los variados mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que conducen a esto; (b) Proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, y (c) Evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del suelo (11).

2.1.2. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron y será la guía de referencia para el trabajo de la institución en pos de esta visión durante los próximos 15 años (13).

El conocimiento de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) asociados a esta Agenda ayuda a evaluar el punto de partida de los países de la región y a analizar y formular los medios para alcanzar esta nueva visión del desarrollo sostenible, que se expresó de manera colectiva y quedó plasmada en la Agenda 2030 (13).

El objetivo 15: Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica

Metas del Objetivo 15

15.2 De aquí a 2020, promover la puesta en práctica de la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, detener la deforestación, recuperar los bosques degradados y aumentar considerablemente la forestación y la reforestación a nivel mundial

15.3 De aquí a 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con efecto neutro en la degradación del suelo (13).

2.1.3. Monitoreo del Cambio de Uso del Suelo

La Tierra está cambiando a un ritmo nunca antes visto, esta evolución requiere ser documentada mediante imágenes completas y repetibles. Las herramientas de observación terrestre juegan un papel clave en la generación de estimaciones reales sobre los cambios del paisaje. En este sentido se requieren mediciones consistentes, fiables y precisas de la dinámica de la vegetación y uso del suelo para mejorar nuestro entendimiento en la manera que funcionan los diferentes elementos del sistema (9).

El ámbito político también requiere dicha información, ya que los acuerdos ambientales internacionales como las convenciones de Río (Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, la Convención para el Combate de la Desertificación y la Convención para la Diversidad Biológica) entre otras, reportan obligaciones en torno al cambio de la vegetación y el uso del suelo y condicionan las nuevas decisiones políticas asociadas a estas convenciones (9).

Existen diferentes agencias espaciales que publican grandes conjuntos de datos representando un material base para una mejor caracterización de la vegetación y el uso del suelo. Mientras tanto, los científicos se encuentran desarrollando técnicas para refinarlas mediciones y quienes hacen política comienzan a incluir tales diagnósticos en sus decisiones (9).

2.1.4. Teledetección.

En su libro Teledetección Ambiental, (Chuvieco, Teledetección Ambiental, 2010) considera a la teledetección no solo como la observación y adquisición remota de imágenes de la superficie terrestre mediante sensores aéreos y espaciales, sino también como el tratamiento y procesamiento de esta adquisición; siendo la teledetección un vocablo de la traducción del inglés *remotesensing* (14).

El uso de la teledetección satelital, facilita la elaboración de mapas temáticos que denotan el estado de los recursos agrícolas y forestales. Con el tratamiento informático de las imágenes satélite se pueden discriminar los tipos de vegetación, su estado y el nivel de protección del suelo. A partir de estos datos es posible obtener la superficie cultivada o arbolada e incluso identificar las especies vegetales (15).

2.1.4.1. Componentes de un sistema de Teledetección

Un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos: (Según CHUVIECO, 1996).

Fuente de Energía: Es originado de la radiación electromagnética que el sensor va a captar. Puede tratarse de una fuente pasiva como la luz solar o activa cuando es emitida por el sensor que luego capta el reflejo como el radar (16).

Cubierta terrestre: Son los rasgos naturales o realizados por el hombre (vegetación, suelo, rocas, construcción, etc.) que refleja la señal hacia el sensor.

Sistema sensor: Compuesto por el sensor propiamente dicho (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que lo alberga (satélite, avión, globo). Tiene la misión de captar la energía proveniente de la cubierta terrestre y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

Sistema de recepción-comercialización: Es el que recibe la información del sistema sensor, la guarda en formato apropiado y la distribuye a los usuarios.

Interprete: quien convierte los datos en información temática de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente, militar, etc.) ya sea mediante procedimientos y técnicas visuales o digitales (16).



Figura 1.- Componente de un sistema de Teledetección

2.1.4.2. Principales aplicaciones de la teledetección

La siguiente relación se extrae de la bibliografía disponible; esto es, se trata de temas en los que la teledetección ya ha demostrado su aplicabilidad. En el citado informe de la OTA (1984), se destacaban las siguientes áreas de aplicación:

- Estudio de la erosión de playas arenales
- Inventario regional del medio ambiente para preparar estudios de impactos ambientales
- Cartografía geológica para la exploración mineral y petrolífera
- Cartografía de nuevos depósitos volcánicos
- Control de la acumulación nivel, de la fusión y de los cambios previsibles en la disponibilidad de energía hidroeléctrica
- Control de movimiento de icebergs en zonas polares
- Estimación de modelos de escorrentía y erosión
- Inventario de agua superficial
- Cartografía de la cobertura vegetal del suelo

- Rápida evaluación de condiciones de estrés en la vegetación, por efectos de la sequía o deforestación
- Contribución a la cartografía e inventario de la cobertura y uso del suelo
- Realización de inventarios forestales
- Cartografía en inventario de cultivos por especies
- Predicción de rendimiento de cultivos

Esta relación puede ampliarse y enriquecerse con la consulta a los principales manuales de dedican un amplio espacio a las aplicaciones de esta técnica (17).

2.1.4.3. Ventajas y desventajas de las imágenes satelitales

Las imágenes satelitales tienen sus ventajas y desventajas en la cual presentan las siguientes características principales:

Rapidez, tanto en la periodicidad de la adquisición de nueva información, como en la obtención de la misma por el usuario (que hoy puede hacerse casi instantáneamente a través del internet); bajo costo, sobre todo si se trata de estudiar áreas de gran extensión, ya que en general, las imágenes satelitales son más baratas que la toma de fotos aéreas o levantamientos topográficos extensos en el campo; Accesibilidad a lugares remotos, ya que desde el espacio no existen fronteras, y se puede observar cada rincón del planeta; se pueden combinar con otras capas de sistemas de información geográfica (SIG). Esto puede ayudar a la interpretación de las mismas, a la misma vez que las imágenes pueden ayudar a crear y actualizar capas de SIG; se pueden realzar características específicas. Gracias a la codificación digital de la imagen en distintas bandas espectrales, pueden realizarse numerosas operaciones matemáticas o algoritmos que destaquen las características de interés en el terreno; repetición en el tiempo. Es decir, cada satélite vuelve a pasar por la misma área cada cierto tiempo, permitiendo hacer estudios comparativos a lo largo del tiempo; no se limitan a captar la luz visible. Como dijimos anteriormente, la posibilidad de ver energía no visible al ojo humano es una gran ventaja para el estudio de diversos objetos o fenómenos (18).

Dentro de las imágenes satelitales presentan las desventajas con las siguientes características principales

En muchos casos, sobre todo si se trata de un área desconocida por el observador se necesitará calibrar la imagen (deberá ser verificada en el terreno); es preciso que se realice en la imagen una corrección geométrica, para que se adapte al relieve y al esferoide de la tierra, y se geo-referencie, es decir, que se le asignen coordenadas reales a la imagen; en ocasiones pueden confundirse fenómenos diferentes en la imagen que tengan las mismas características espectrales (por ej. Arena blanca con un techo blanco); a veces, puede haber confusión causada por fenómenos que no se querían muestrear (por ej. nubes, sombra); generalmente no son apropiadas para mapas detallados (a gran escala). Sin embargo, esto está cambiando debido a la mayor resolución espacial de los sensores de satélite más modernos (18).

2.1.5. Superficies Reflectantes

La superficie de nuestro planeta, de modo global, se considera dividida en tres grandes tipos de cubiertas: superficies con agua, superficies con vegetación y suelos. Cada una de esas cubiertas encierra múltiples situaciones individuales distintas. Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc., reflejará la radiación incidente de forma diferente lo que permitirá distinguirlo de los demás si medimos la radiación reflejada (19).

2.1.6. Firmas espectrales

Esta reflexión exclusiva de los objetos se conoce como firma espectral. La firma espectral se define como el patrón de respuesta espectral o grado con el cuál la energía es reflejada en diferentes regiones del espectro (20).

El grafico que para cada longitud de onda, nos da la reflectividad se denomina firma espectral y constituye una marca de identidad de los objetos. Resulta así fácil por ejemplo distinguir entre suelo y vegetación, e incluso entre diferentes tipos de suelo o diferentes tipos de vegetación (19).

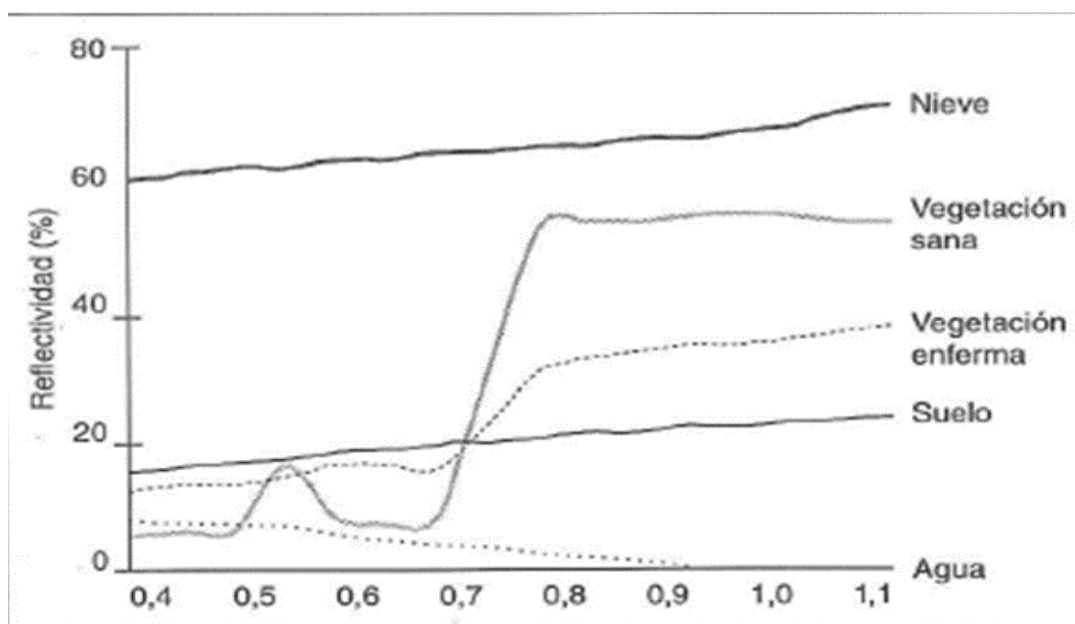


Figura 2.- Firmas espectrales características de las principales coberturas terrestres.

El agua al ser el único elemento superficial capaz de transmitir radiación hacia abajo, tiene una reflectividad muy baja aunque muy dependiente de la longitud de onda, la vegetación tiene una reflectividad baja en el visible aunque con un pico en el color verde, la clorofila absorbe el rojo y el azul reflejando más en el verde, el suelo tiene una reflectividad relativamente baja para todas las bandas aunque aumentando hacia el infrarrojo (19).

2.1.7. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales multitemporales son la representación visual de la información capturada por un sensor de un satélite artificial, y son de mucha utilidad para la identificación y monitoreo de los elementos del medio ambiente y su dinámica eco sistémica. Las imágenes se han convertido en una herramienta ventajosa para la evaluación y el seguimiento de cualquier elemento sobre la superficie terrestre y de su comportamiento en lapsos determinados de tiempo, infiriendo los factores determinantes en los cambios que se presenten en la cobertura terrestre (21).

2.1.8. Resolución de un sistema de sensor

Podemos definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para registrar discriminándola, información de detalle. Esta definición engloba varios aspectos que merecen un comentario más detallado, por un lado se habla de resolución de un sistema sensor, indicando que este concepto se refiere al conjunto del equipo, y no a cada una de sus partes, dicho de otra forma la resolución de un sensor depende del efecto combinado de sus distintos componentes (17).

2.1.8.1. Resolución espacial

Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen, en un sistema fotográfico, suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía. Se mide en unidades de longitud (mm sobre la foto, o m sobre el terreno), y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie (17).

2.1.8.2. Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor, en este sentido un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. A la vez conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas, con objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro, bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio, que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés (17).

2.1.8.3. Resolución temporal

Se refiere a la periodicidad con la que un sensor remoto proporciona cobertura sobre un punto, esto resulta ser dependiente a la órbita de la plataforma así como las características de diseño del sensor, existen sensores los cuales entregan información cada 30 minutos, pero también existe algunos como el Landsat el cual tarda hasta 20 días en enviar lo obtenido (22).

El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor principalmente del ángulo de observación y de cobertura (17).

2.1.9. Programa Landsat

En la actualidad se están ejecutando programas satelitales entre los cuales se destacaron el programa Landsat que constituye en una serie de misiones de observación de la tierra por satélite gestionadas conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), este hecho ha revolucionado la forma de ver y estudiar nuestro planeta (19).

En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: "Landsat Data Continuity Mission" (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat y continuará el legado de archivo de los anteriores satélites, convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia. Este programa amplía, mejora y avanza en el registro de imágenes multiespectrales, manteniendo la misma calidad de sus siete predecesores, así como también seguirá la misma secuencia de trayectoria (conocida como "paths" o rutas de acceso) como sus antecesores Landsat 4, Landsat 5 y Landsat 7. Esto permitirá que todos los datos del LDCM estén referenciados al mismo sistema de coordenadas, continuando con el registro de datos desde hace décadas (19).

2.1.10. Imágenes Landsat

Son imágenes que están compuestas por 7 bandas multiespectrales que van desde niveles visibles hasta el infrarrojo medio, con una resolución espacial de 30 metros, en la mayoría de ellas. Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales (21).

2.1.10.1. Landsat 5

El satélite Landsat 5, lanzado en 1984 es el de más tiempo en órbita, posee un sensor que combina las características multiespectral escáner (MSS) el que permite una resolución espacial de 79 metros con un nuevo sensor Thematic Mapper (MT), que opera en siete bandas espectrales diferentes elegidas especialmente para el monitoreo de vegetación a excepción de la banda 7 que se agregó para aplicaciones geológicas e identificación de zonas con

alteración hidrotermicas en rocas. Con una resolución espacial de 30 metros exceptuando la banda 6 con resolución de 180 metros (2).

Así mismo describe ciertas características del satélite Landsat 7 ETM, incluye el nuevo Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), que respecto a la anterior versión, Landsat 5, incluye una nueva banda pancromática (P, de 0.5 a 0.9 μm) con un píxel de 15 m de resolución nominal y por la nueva resolución espacial de la banda térmica (de 10.4 a 12.5 μm), con un píxel de 60 m de lado en lugar de los anteriores 120 m (2). Se encuentra en una órbita helio sincrónica, lo cual significa que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar, tiene visión de toda la superficie terrestre en un tiempo de 15 días. A diferencia de sus antecesores, Landsat 7 posee una sólida memoria de 378 gigabytes capaces de almacenar alrededor de 100 imágenes, este satélite aunque todavía está en órbita, tiene estropeado el dispositivo que compensa el movimiento del satélite al de la luz de la tierra y la rotación de esta (10).

2.1.10.2. Landsat 8 OLI/TIRS

Las imágenes del satélite *Landsat 8* se incorporan dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado. La descripción detallada de las características que proporciona información más detallada sobre la presencia de características como las nubosidad, agua y nieve (21). El satélite landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS) (19).

Sensor Operational Land Imager (OLI)

Utiliza un sensor del tipo "pushbroom" compuesto por una serie de baterías largas de detectores, con más de 7.000 detectores por banda espectral, alineados en su plano focal en su respectivo ancho de banda. Sus imágenes tienen una resolución espacial de 15 m pancromáticas y 30 metros (incluido el visible, infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta) a lo largo de 185 kilómetros de ancho de imagen, cubriendo así amplias zonas de la

tierra mientras que proporciona una resolución suficiente como para distinguir las características tales como centros urbanos, granjas, bosques y otros tipos de cubiertas del suelo OLI agregará dos nuevas bandas espectrales, una banda azul "costera" (banda 1) y una banda en el infrarrojo de onda corta "cirros" (banda 9). Estas nuevas bandas, ayudaran a los científicos a medir la calidad del agua y facilitaran la detección de nubes altas y delgadas que previamente han sido difíciles de observar en las imágenes Landsat (19).

Sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Todo en la Tierra emite radiación térmica infrarroja, termino comúnmente conocido como calor. La física nos dice que la cantidad de la radiación emitida es proporcional a la temperatura del objeto el sensor térmico infrarrojo (TIRS) fue añadido a la carga útil del LDCM cuando se hizo evidente que los gestores de los recursos hídricos se basaban en la mediciones de alta precisión de la energía térmica de la tierra obtenidas por los predecesores del LDCM – el TM del satélite landsat 5 y Enhanced Thematic Mapper – Plus ETM+ del landsat 7 – con el fin de hacer un seguimiento del uso de la tierra y el agua (19).

2.1.11. Aplicaciones prácticas de Landsat

Las imágenes Landsat presentan grandes potencialidades para diversos campos de estudio, a partir de las herramientas de información geográfica es posible crear distintas combinaciones de bandas para así poder identificar cobertura del suelo y aguas y realizar estudios multitemporal. Las combinaciones de bandas más utilizadas son:

4, 3, 2: Infrarrojo, la banda 4 (infrarrojo cercano) se utiliza para identificar los límites entre el suelo y agua. Los suelos expuestos y centros urbanos aparecen en tonos de azul. También es utilizado para detección de clorofila y cambios en la vegetación que se presenta en tonalidades de rojo (23).

3, 2,1: Color verdadero, bandas de la porción del espectro electromagnético del visible. Corresponde a la combinación de color verdadero. Se utiliza para detección de turbidez del agua, corrientes y sedimentos en suspensión, las áreas urbanas aparecen en colores marrones claros y la vegetación en tonalidades verdes.

7, 4, 2: Esta combinación cuenta con una banda en la región visible y dos en la del infrarrojo, permitiendo una diferenciación de la vegetación en tonos marrones, verdes y amarillos. Las zonas urbanas y los suelos expuestos aparecen en tonos de azul claro, mientras que las áreas inundadas y el agua aparecen en tonalidades de azul oscuro.

4, 5, 3 (2): Falso color, esta combinación contiene dos bandas del infrarrojo logrando una mayor diferenciación entre el suelo y el agua. La vegetación se muestra en diversas tonalidades de verde y rosa, las cuales varían por el tipo de vegetación y las condiciones de la ubicación. Las zonas urbanas y el suelo expuesto se presentan en tonos rosados. El agua aparece en negro sin importar si presenta sedimentos en suspensión o no (23).

2.1.12. Procesamiento de las Imágenes Satelitales

Esta sección hace referencia a los diferentes procesos aplicados a las imágenes satelitales que permiten lograr una representación objetiva y veraz de la superficie terrestre estas mejoras logran que el usuario aprecie en detalle las características propias de la superficie terrestre, según la información obtenida del comportamiento espectral de la superficie terrestre. En este caso la calibración radiométrica es un proceso relevante ya que implica la interacción de elementos ambientales, las ondas electromagnéticas provenientes del sol y su influencia en la reflectancia que hace la tierra (2).

2.1.13. Índices espectrales

Los índices son operaciones matemáticas entre las bandas de diferente longitud de onda del espectro electromagnético, realizados con el fin de obtener una imagen que permita discriminar alguna característica específica: vegetación, arcillas, óxidos de hierro, etc. Estas funciones pueden ser, desde simples sumas, restas o cocientes entre bandas, a operaciones con raíces cuadradas, factores de conversión, etc. Tradicionalmente los programas de teledetección han incluido los índices entre las mejoras espectrales. Sin embargo, la última versión del programa Erdas Imagine los incluye entre las clasificaciones sin supervisar. Esto es bastante lógico ya que los índices son, en realidad, clasificaciones basadas en unos algoritmos matemáticos que intentan resaltar alguna propiedad específica de la superficie de

la tierra. Los programas de teledetección tienen numerosos índices e incluyen también herramientas para que cada investigador, construya índices específicos (24).

2.1.13.1. Índices de vegetación

Los índices de vegetación o índices verdes, son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen. Los índices de vegetación se aplican en análisis cualitativos o cuantitativos, empleados cualitativamente, permiten determinar rápidamente el estado relativo de la vegetación en una zona. Como una gran variedad de factores afecta directamente la producción de biomasa, los índices pueden emplearse para determinar la influencia de dichos factores en una zona o momento. Así, pueden usarse para determinar el efecto sobre la biomasa de sequías, anegamientos, incendios, desmontes, granizo, plagas, o deficiencias nutricionales (4).

2.1.13.1.1. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (7).

La razón fundamental su sencillez de cálculo y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y $+1$), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes. Valores muy bajos de NDVI, del orden de 0.1, corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas, valores de 0.2 a 0.3 pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pasturas naturales. A partir de estos valores tendremos los niveles correspondientes a praderas, cultivos, forestaciones etc. dependiendo el valor alcanzado (25).

El (NDVI) es un índice basado en la pendiente, usan el cociente de la reflectancia de una banda con otra, (usualmente rojo e IR cercano, debido al alto contraste o diferencia en la reflectancia, que presenta la clorofila en ambas bandas). El término ‘basado en la pendiente’ se refiere a que, al analizar los valores resultantes del índice de vegetación, se comparan esencialmente las pendientes de las líneas que pasan a través del origen y de los píxeles

representados en un gráfico, con la reflectancia de una banda en el eje de las X y la reflectancia de la otra en el eje Y (25).

$$NDVI = (NIR-RED) / NIR+RED$$

Minimiza efectos topográficos y produce escala lineal de medición. La escala va de -1 a 1 con el valor cero representando el valor aproximado donde empieza la ausencia de vegetación. Los valores negativos representan superficies sin vegetación. La normalización que realiza, reduce el efecto de la degradación de calibración del sensor y la influencia de los efectos atmosféricos gran sencillez matemática.

2.1.13.1.2. Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)

El SAVI (por sus siglas en inglés) (Huete, 1988) trata de corregir el efecto del suelo en el valor del índice. En la firma espectral de los suelos se observa que su reflectividad es similar en las bandas roja e infrarroja cercana, también, al cambiar las condiciones del suelo la reflectividad aumenta o disminuye simultáneamente en ambas bandas. Así, un suelo húmedo refleja menos en el rojo pero también menos en el IRC, y un suelo seco refleja más en ambas bandas.

El SAVI nació como una necesidad de disminuir las alteraciones del valor del NDVI en aplicaciones en zonas áridas, ya que el mismo valor de NDVI puede corresponder a cubiertas vigorosas pero poco densas, o a cubiertas densas pero con poca vitalidad (4).

El SAVI índice basado en la distancia cuyos valores de reflectancia registrados por el sensor, para cada pixel, constituyen una reflectancia promedio de todos los tipos de coberturas que están dentro de ese pixel. Cuando en zonas áridas y semiáridas la vegetación es dispersa, la reflectancia recibida pertenece tanto a vegetación como suelo. Estos índices, que tratan de separar la información entre la vegetación y el suelo, se basan en el uso de una línea del suelo y las distancias desde ella (25). Incorpora una constante de suelo, la cual se usa de acuerdo con vegetación de baja, intermedia o alta densidad. Considera la influencia de la luz y del suelo oscuro en el índice.

$$SAVI = [(IRC-R) / (IRC+R+L)] (1+L)$$

2.1.13.1.3. Índice de Diferencia Normalizada de humedad - NDMI

Es un indicador numérico, que se utiliza en combinación con otros índices de vegetación (NDVI y / o AVI), que se asocia con la humedad de la vegetación. NDMI utiliza las ondas

de infrarrojos y corta las bandas espectrales del infrarrojo cercano para capturar las variaciones de la humedad en las zonas con vegetación. Vigilancia de la sequía y cambios sutiles en las condiciones de humedad de la vegetación son aplicaciones de teledetección, donde NDWI es aplicable. NDIM también se puede utilizar para determinar las humedades de combustible para las evaluaciones del peligro de incendios forestales (16).

$$NDMI = (NIR - MIR) / (NIR + MIR)$$

2.1.14. Clasificación de las Imágenes Satelitales

Clasificación es el proceso de asignar los píxeles a clases homogéneas (tipos de cobertura) basado en análisis de las estadísticas de valores de reflectancia en uno o más bandas, el proceso de derivar información útil de clases espectrales (26). Este procedimiento consiste en la identificación de cada una de las coberturas de acuerdo al tono, textura, humedad, etc. (2).

Se nombran los procesos de clasificación como supervisada o no supervisada basado en la metodología para “entrenar” el classifier (clasificador). Con datos de ‘entrenamiento,’ los dos sistemas utilicen la misma forma de operación (división basada en las estadísticas) (26).

2.1.14.1. Clasificación no supervisada

A diferencia de la clasificación supervisada, esta clasificación no requiere de un conocimiento previo de la zona, por lo que se basa más en la interpretación humana. El software va a realizar una clasificación automática formando conglomerados o grupo de similares características dependiendo de la reflectancia de la información presentada en imagen, estableciendo los diferentes usos de suelo del área de estudio (27).

2.1.14.2. Clasificación supervisada

Para una clasificación supervisada es necesario tener un conocimiento previo de la zona de estudio, el intérprete va a identificar las diferentes áreas ya reconocidas, se seleccionan las áreas de entrenamiento que van a presentar los diferentes usos de suelo. El software va a utilizar las áreas pre-seleccionadas para agrupar píxeles de las mismas características

dependiendo de la reflectancia de la información seleccionada y así establecer los diferentes usos de suelo del área de estudio (27).

2.1.15. Sistemas de Información Geográfica

La necesidad del uso de los SIG hoy en día se ha convertido en un instrumento básico de mucha importancia en los procesos de gestión de recursos naturales, evaluación de los impactos ambientales entre otros aspectos. El concepto relacionado a un Sistema de Información Geográfica habla de una interacción y un proceso organizado donde influyen hardware, software, datos geográficos y personal idóneo, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar de forma concreta la información geográficamente referenciada con el fin de brindar herramientas para la correcta planificación y gestión, construyendo estrategias que permitan modelar descriptiva y predictivamente la evolución temporal y espacial de los elementos del ambiente (21).

2.1.15.1. Necesidad de los SIG

Para la mayor parte de los usuarios de la teledetección espacial, el fruto de los ensayos de clasificación es un mapa temático que refleje adecuadamente el estado de la variable de interés (tipo de suelo o de vegetación) en el área de estudio (17).

En muchos casos la obtención de ese mapa constituye la fase final del trabajo, su resultado último, en otros se trata de un documento más que proporciona - junto a otras variables territoriales – un conocimiento integrado del espacio en estudio. En pocas palabras la teledetección, en este contexto, constituye una técnica más de información territorial, que unida a otros datos cartográficos o estadísticos, facilitan una evaluación más certera del paisaje, necesaria para su mejor aprovechamiento o conservación (17).

2.1.15.2. Conexión entre la teledetección y los SIG

Esta conexión entre la teledetección y los SIG pueden llevarse a cabo de distintas formas

- Digitalización de un mapa temático obtenido a partir de la interpretación visual de la imagen.

- Digitalización de un mapa temático obtenido a partir de la clasificación digital de la imagen.
- Incorporar directamente el fichero generado por la clasificación digital de la imagen.
- Incorporar al SIG los ND correspondientes a las bandas originales.

Resulta obvio que la tercera opción es la más conveniente, puesto que proporciona una variable temática al SIG obviando la tarea de digitalización (17).

2.1.16. Análisis de varianza (ANOVA)

Las técnicas iniciales del análisis de varianza fueron desarrolladas por el estadístico y genetista R. A. Fisher en los años 1920 y 1930 y es algunas veces conocido como "Anova de Fisher" o "Análisis de Varianza de Fisher", debido al uso de la distribución F de Fisher como parte del contraste de hipótesis. La lógica de un contraste en un análisis de varianza es sencillo puesto que se compara dos cálculos independientes de la varianza (dependiendo del modelo en el cual se efectúe) para la variable independiente: Suma de cuadrados del error (SC error): Refleja la variabilidad a los efectos del tratamiento.

Suma de cuadrados del tratamiento (SC trat): Representa la variabilidad existente entre los grupos que se atribuyen a los efectos del tratamiento (28).

Análisis de Varianza (ANOVA) El análisis de la varianza (ANOVA: Analysis of Variance) es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas (28). Compara la distribución de una variable continua normal en más de dos poblaciones (niveles o categorías) (29).

El método Anova, conocido también como análisis de varianza es el método más exacto para calcular la variabilidad de un sistema de medición porque posee la ventaja de cuantificar la variación debida a la interacción entre los operadores y las partes. Este método está basado en la misma técnica estadística utilizada para analizar los efectos de los diferentes factores en el diseño de experimentos (30).

2.1.17. Análisis Multitemporal

La metodología de análisis multitemporal, es una técnica de análisis que permite obtener conclusiones con relación a las transformaciones espaciales de una región. Al realizar el procesamiento multitemporal de imágenes satelitales, se debe obtener una serie de datos que estén referenciados de acuerdo a la fecha de su origen, y que finalmente tienen que convertirse en un conjunto único de datos. El objetivo principal de los estudios multitemporales es detectar cambios en la cobertura entre dos fechas de referencia, evidenciando repercusión de la acción humana sobre los recursos naturales (21).

2.1.17.1. Técnicas utilizadas para el análisis multitemporal

Para el análisis multitemporal se aplican ciertas técnicas, utilizadas dentro del procesamiento de las imágenes las cuales indica las siguientes:

Composiciones multitemporales.- Se basa en comparar visualmente los tonos de gris o color que ofrecen dos o más imágenes de distintas fecha.

Diferencias entre imágenes.- Consiste en una simple resta entre las imágenes de dos fechas, permite discriminar aquella zona que han experimentado cambio en el periodo de tiempo determinado (31).

Vectores multitemporales.- Esta técnica intenta incorporar no solo la importancia, sino también la dirección del cambio entre imágenes, el principio es el siguiente si un pixel cambia su cobertura entre dos fechas también modificara su emplazamiento espectral.

Todos estos métodos y técnicas de análisis de imágenes se logran gracias al desarrollo computarizado y el uso de software especializado en el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales y también con el apoyo de Sistemas de Información Geográfica (31).

2.2. Marco Referencial

2.2.1. Análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo en los márgenes de la laguna de bustillos, chihuahua: efectos de la expansión agrícola.

Este trabajo se ha desarrollado en la materia de fundamentos de percepción remota de la Licenciatura en Geoinformática de la UACJ, y se determinaron los cambios del uso del suelo durante los años 1986, 1998 y 2011, en los márgenes de la Laguna de Bustillos, municipio de Cuauhtémoc, Chihuahua, México. La base de datos consta de tres imágenes del satélite Landsat TM. Para obtener las coberturas y uso de suelo presentes en el área de estudio se aplicó el método de clasificación supervisada Máxima Verosimilitud, y finalmente se hizo un análisis de los cambios por medio de matrices. Los resultados demuestran cómo el área agrícola ha ido ganando terreno y avanzando sobre las otras categorías presentes, principalmente sobre vegetación natural dispersa y sobre suelo desnudo. El avance de la frontera agrícola hacia superficies con vegetación natural ha traído como consecuencia la aparición de una superficie de labor frágil y con alta susceptibilidad a los procesos erosivos y, por ende, a una mayor acumulación de sedimentos, lo que ha llevado a un elevado grado de contaminación de la Laguna Bustillos en las últimas décadas.

Los cambios observados en las coberturas y uso suelo de 1986-1998-2011 dejan claro que la actividad agrícola es la que más ha avanzado sobre las demás categorías, principalmente sobre la cubiertas vegetales y suelo desnudo. Estos cambios sin duda han tenido importantes repercusiones sobre la hidrología del lugar (p. ej. aumento de escorrentía y disminución de la recarga del acuífero), el efecto más importante se relaciona con las tasas de sedimentación de la Laguna Bustillos la cual ha reducido su capacidad de almacenamiento. Finalmente mencionar que las técnicas de teledetección empleadas fueron parte de nuestra primera incursión en estas metodologías, materia de fundamentos de percepción remota, sin embargo queda evidente la potencialidad de estudios para el monitoreo de fenómenos antropogénicos que ocurren sobre la superficie terrestre (32).

2.2.2. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011

Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. El propósito del estudio fue evaluar el cambio de uso del suelo en el Paisaje Terrestre Miraflor Moropotente en el período 1993-2011, a través de imágenes satelitales, a fin de determinar el estado de fragmentación del paisaje. Los cambios de usos de suelo fueron derivados de la clasificación de tres imágenes Landsat TM, con una resolución espacial de 30 metros tomadas en febrero de 1993, abril de 2000 y enero 2011. Se realizó una verificación en campo para la identificación de coberturas de suelo y la corroboración en las imágenes satelitales (33).

La fragmentación se realizó con el cálculo de métricas e índices de fragmentación a nivel del paisaje, los principales resultados muestran que los cambios de uso de suelo están determinados por la degradación antrópica, principalmente en la conversión de la vegetación nativa a espacios agrícolas y la expansión de la ganadería. El crecimiento demográfico y los monocultivos van ejerciendo presión sobre el bosque, transformando zonas de vocación forestal a cultivos agrícolas, los cambios de cobertura han significado un paisaje fragmentado con diferentes grados de perturbación, que conllevan a una disminución de la superficie de hábitats naturales, reducción del tamaño de los fragmentos y aislamientos de los mismos.

Para los períodos evaluados, los resultados evidencian cambios de cobertura para el área protegida. En el primer período (1993-2000) el bosque latifoliado denso refleja un ligero incremento, sin embargo, para el siguiente período (2000-2011) disminuye. El bosque mixto (pino y roble) en ambos períodos ha sufrido una disminución. El bosque latifoliado ralo en el primer período evaluado ha disminuido, sin embargo, aumenta para el siguiente período. Todo esto se refleja en los tres mapas generados. La superficie dedicada a pastos con árboles dispersos aumenta en el primer período y en el siguiente experimenta una disminución. Los pastos disminuyen en ambos períodos, sin embargo, los tacotales y áreas de cultivos aumentan (33).

2.2.3. Identificación de zonas con tendencias de cambio en el periodo 1987-2002, en la zona centro – norte del Ecuador, utilizando imágenes Landsat.

En los últimos años ha sido evidente una acentuada tendencia de cambio en la zona centro norte de la sierra ecuatoriana. Se han observado cambios de uso/cobertura del suelo principalmente por las actividades humanas desarrolladas en la región (crecimiento urbano, deforestación, expansión de la frontera agrícola, entre otras). Estas variaciones pretenden ser puestas en evidencia mediante el análisis de una serie de imágenes Landsat en el periodo 1987 – 2002, las cuáles han sido corregidas radiométricamente y sometidas a un proceso de clasificación no supervisada obteniendo 13 clases o categorías. Mediante fotointerpretación se asigna un uso/cobertura del suelo a cada clase y se analiza su respuesta espectral temporal para detectar zonas de cambios en el periodo de tiempo seleccionado y sus posibles causas. Para este proyecto se utilizó una serie de imágenes Landsat de los sensores TM y ETM+ a partir del año 1987 hasta 2002. Se descartó el uso de las imágenes a partir del año 2003, por el fallo del dispositivo “*scan line correction*” (SLC), en el satélite de la plataforma Landsat 7, y de las imágenes de Landsat 5 más actuales por su alta nubosidad.

Los resultados de las pruebas realizadas permiten identificar con cierta claridad las zonas en las que se produjeron cambios importantes en las cubiertas/ usos de suelo en el período 1987 – 2002, todo esto verificable mediante fotointerpretación, aunque las respuestas espectrales no tienen el comportamiento esperado. Mediante clasificación no supervisada es posible identificar zonas de cambio, esto podría facilitar la identificación de zonas en las que estudios con mayores niveles de detalle podrían llevarse a cabo. En términos generales, con este tipo de pruebas se pueden identificar a breves rasgos las zonas y mediante otras metodologías en función de los objetivos, profundizar el análisis.

Si bien es cierto, la información proporcionada por las misiones de Landsat, proveen de muy valiosa información para el monitoreo de los recursos naturales en general, debido a las condiciones geo-climáticas del Ecuador otras alternativas deben ser exploradas, para superar principalmente el inconveniente de la nubosidad que limita seriamente el uso de la serie Landsat (34).

2.2.4. Estudio multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en los años 1990 - 2008 y proyección al 2030.

El objetivo de este proyecto fue realizar un estudio multitemporal de cobertura vegetal y uso del suelo entre los años 1990 y 2008 y escenarios al 2030 en el Territorio Cofán y las zonas de influencia a escala 1:50000 en conjunto con la Federación Indígena de Nacionalidad Cofán.

La metodología desarrollada se basó en uso de los sensores remotos, esta valiosa metodología es utilizada para identificar, describir, cuantificar y monitorear los cambios de la cobertura vegetal, los avances de la frontera agrícola y los patrones de comportamiento de estas unidades espaciales, por actividades y alteraciones antropogénicas o cambios climáticos, así como la descripción de escenarios tendenciales. Este análisis comenzó con una fase de recopilación, diagnóstico y validación de información secundaria generada por varias instituciones públicas y privadas, nacionales y extranjeras.

Una vez realizado el diagnóstico y validación de información como fase previa, se procedió a la elaboración de Mapa base, el cual representa toda la información planimétrica, altimétrica y toponímica que caracteriza a nuestra área de estudio. Esta información fue obtenida mediante digitalización de cartas topográficas oficiales del Instituto Geográfico Militar. El área de estudio está cubierta en su totalidad con 80 cartas topográficas las cuales cubren un área de aproximada de 4'105.067 hectáreas.

Mediante el uso de procesos basados en el análisis digital de imágenes y sensores remotos se procedió a geo referenciar, tratar y clasificar imágenes satelitales Landsat de los años 1988, 1989 y 1991 para obtener el Mapa de Cobertura Vegetal y Ocupación del Suelo y el Mapa de Ecosistemas para el año referencial de 1990. Estos trabajos fueron complementados con la verificación en campo efectuada en el primer trimestre del año 2009. El esquema de clasificación utilizado en los mapas de ecosistemas corresponde al propuesto por Nature Serve, el cual maneja el criterio de eco regiones.

Estos mapas fueron utilizados como insumos para la generación de un mapa de análisis multitemporal y un de mapa de escenarios tendenciales al año 2030. Como resultado de este análisis se concluyó que en el periodo aproximado de veinte años se ha perdido

aproximadamente 250000 hectáreas de bosque primario¹ debido a la expansión de la frontera agropecuaria y otras actividades extractivas.

Por otra parte se hace notoria la importancia de las zonas establecidas como territorios de la nacionalidad Cofán, esta investigación permite constatar la importancia de los planes de manejo para la conservación. El incremento de las clases de ocupación antrópica como cultivos de ciclo corto, anuales y perennes y pastos plantados ha sido de 314075,9 hectáreas; en el año 2008 se reportaba un total de 913179 hectáreas, mientras que en la década de los 90's se reporta 599,103 hectáreas (35).

2.2.5. Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 - 2011

El municipio de Danlí se encuentra situado en la zona oriental de Honduras. Tiene una extensión aproximada de 2500 km², cuenta con 37 aldeas y una población proyectada de 181,500 habitantes. Está constituido por zona urbana, zonas productoras de tabaco, granos básicos, ganado vacuno y cuenta además con áreas de vegetación principalmente bosques de conífera y bosque mixto. A pesar de ser una de las ciudades más importantes de la región no cuenta con planes de desarrollo bien establecidos por lo que se ha experimentado un crecimiento urbano desordenado y establecimiento de zonas agropecuarias sin el control adecuado que asegure el desarrollo sostenible (36).

La teledetección espacial permite la disponibilidad de imágenes satelitales, las cuales pueden ser analizadas usando Sistemas de Información Geográfica para establecer de manera automatizada los cambios ocurridos en el territorio en un amplio período de tiempo. En el presente artículo se expone el análisis multitemporal de imágenes Landsat y la evaluación de los cambios de cobertura del terreno ocurridos en un período de 11 años, entre 1987 y 2011. Para ello se ha desarrollado clasificación digital de imagen que ha sido supervisada en el área de estudio. Se presentan la cartografía temática generada y los resultados obtenidos, indicativos de la dinámica de usos de suelo en la región (36).

Posteriormente, se ha calculado la matriz de contingencia, obteniéndose un parámetro kappa de 0.72. El margen de precisión de la clasificación ha resultado mayor del 79%, y el

porcentaje de píxeles no clasificados el 1%, parámetros muy dependientes de las clases, del entrenamiento aplicado y de la resolución espacial de las imágenes. Se ha realizado una validación de campo mediante el muestreo in situ de punto de test, que han sido georreferenciados y en los que se ha recogido información exhaustiva de las cubiertas presentes.

Finalmente se analiza la metodología aplicada en lo referente a su impacto como importante herramienta de diagnóstico, así como en las tendencias que serán de utilidad para una mejor toma de decisiones en pro del desarrollo y bienestar de la zona y sus habitantes (36).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Materiales y Métodos

3.1.1. Localización del área de estudio

El cantón el Empalme se sitúa al Norte con el cantón Pichincha de la provincia de Manabí, el cantón Buena Fe de la provincia de Los Ríos, al Sur limita con el cantón Balzar de la provincia del Guayas y el cantón Mocache de la provincia de Los Ríos, al Este limita con los Cantones Buena Fe y Quevedo pertenecientes a la provincia de Los Ríos y Oeste limita con el cantón Pichincha de la provincia de Manabí. Su rango altitudinal media 71 msnm, máxima 115 msnm, Mínima 27 msnm.

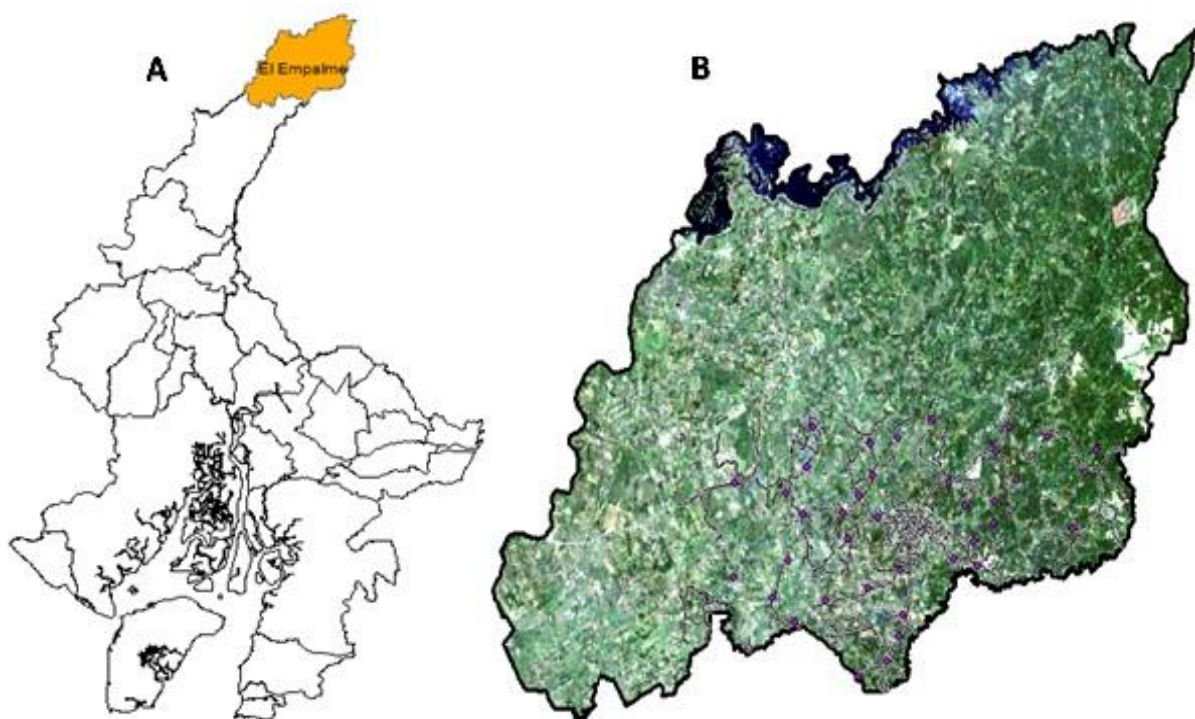


Figura 3: A. Mapa cantonal de la Prov. del Guayas, ubicación del Cantón el Empalme
B. Landsat 5 adquirida 07 de septiembre de 1998, composición de bandas 3, 2,1.

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta los materiales y equipos que se utilizaron y la metodología desarrollada para el área de estudio establecida.

3.1.1. Materiales y equipos

- Imagen Landsat 5 TM LT050110611998090701T1-SC20180522162632 del 07 de septiembre 1998

Tabla 1: Características de imagen Landsat 5

FECHA ADQUIRIDA	TIEMPO DE ESCENA CENTRAL	ELEVACIÓN DEL SOL	% NUBES
1998-09-07	1"151:34.8040750Z"	57.28	5%

Fuente: Elaboración propia

- Imagen Landsat 8 OLI/TIRS LC080110612015090601T1-SC20180517212448 del 6 de septiembre 2015

Tabla 2: Características de imagen Landsat 8

FECHA ADQUIRIDA	TIEMPO DE ESCENA CENTRAL	ELEVACIÓN DEL SOL	% NUBES
2015-09-06	15:32:43.9606490Z	62.17	8.68 %

Fuente: Elaboración propia

Las imágenes satelitales Landsat se encuentra de libre acceso, se obtuvieron a través de EARTH EXPLORER USGS GOV SCIENCE FOR A CHANGING WORLD en la siguiente dirección electrónica <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Imágenes Landsat

Una de las imágenes satelitales multiespectrales utilizadas adquirida 07 de septiembre de 1998, corresponde al satélite Landsat 5 TM (Thematic Mapper) que opera en siete bandas espectrales, tres en el visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una

en el infrarrojo termal, y tiene una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120 metros en la banda del infrarrojo termal. La escena para este sensor es también de 185 km (Ver figura 4).

Landsat – 5 TM + Bands (um)		
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896

Figura 4: Descripción de bandas de imagen
Landsat 5

Fuente: Elaboración Propia

La segunda imagen es la del satélite Landsat 8 OLI/ TIRS adquirida el 06 de septiembre del 2015. El satélite Landsat 8 incorpora dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS), constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. Una banda nueva (1) (azul profundo) es útil para estudios costeros y aerosoles, la nueva banda (9) es útil para la detección de cirrus. La resolución para la banda 8 (pancromática) es de 15 metros, dos bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución. El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km) (37) (Ver figura 5).

Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
100 m TIR-1	10.60 – 11.19	Band 10
100 m TIR-2	11.50 – 12.51	Band 11
30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Figura 5: Descripción de bandas de imagen Landsat 8

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.1. Geo tecnología

3.1.1.1.1. Software Especializado

- Software utilizado ENVI 4.7 para el procesamiento de las imágenes satelitales y el análisis multitemporal.
- Software ArcGis 10.1 para la elaboración de los mapas temáticos.
- Google Earth, se utilizó para la planificación de trabajo de campo y validación de resultados.

3.1.1.2. Equipo de Geo posicionamiento

- (GPS) Garmin eTrex Touch 35 para establecer la posición en coordenadas de las categorías utilizadas en el área de estudio.

3.1.2. Metodología

A continuación se presenta el proceso metodológico para el análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en el cantón el Empalme.

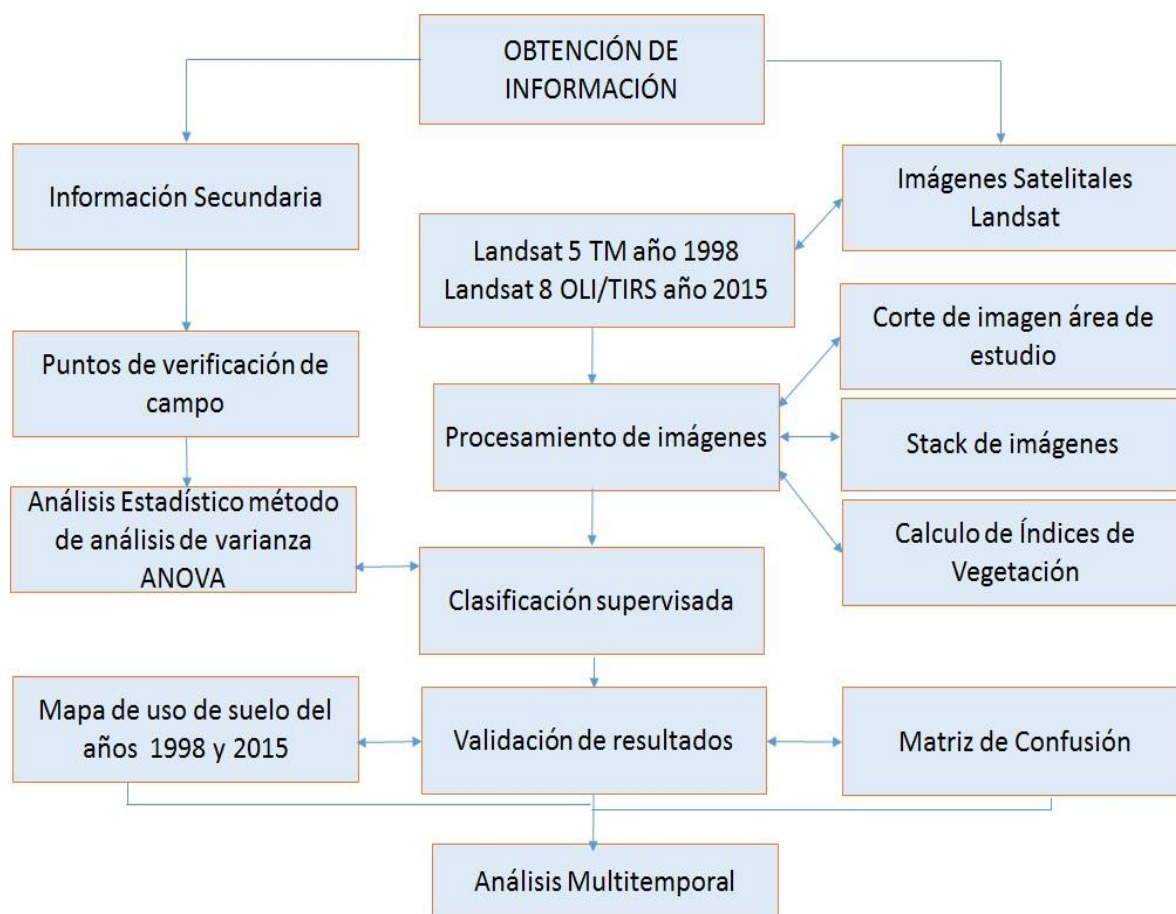


Figura 6: Proceso metodológico para el análisis multitemporal del cambio del uso del suelo del cantón el Empalme

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.1. Procesamiento de las imágenes satelitales

3.1.2.1.1. Pre procesamiento

Las imágenes 5 y 8 de Landsat Collection 1 level -2 (On – Demand) descargadas ya poseen una corrección de terreno nivel 2 y vienen con valores de reflectancia, así que ya no es necesario realizar la transformación de niveles digitales (NI) a reflectancia, por cuanto en la actualidad la NASA realiza estas correcciones y ofrece las imágenes corregidas para la descarga.

3.1.2.1.1.1. Layer Stacking

El pre procesamiento de las imágenes obtenidas consistió en la transformación de las imágenes que originalmente se obtienen en archivos independientes para cada una de las bandas que forman la imagen en formato .Tiff (Tagged Image File Format) a una sola imagen multiespectral en formato .img que agrupa las bandas ópticas 1, 2, 3, 4,5 y 7 de cada imagen. La transformación se realizó mediante el programa ENVI 4.7 del módulo Basic Tools utilizando el comando Layer Stacking.

3.1.2.1.1.2. Recorte de las imágenes satelitales en el área de estudio

En el siguiente paso, fue el recorte de las imágenes satelitales para el área de estudio, el corte se realizó con el programa ENVI 4.7 con la imagen satelital y la capa espacial que contiene los límites del cantón, en formato vector shape que poseen las mismas unidades de georeferenciación para generar el análisis correctamente. Se ingresaron cada una de las imágenes satelitales adjunto con el vector shape del área de estudio, para la activación del polígono se ingresó a File/Open Vector File seleccionando el shp del cantón el Empalme, así mismo se ingresó los Stack de imágenes satelitales del año 1998 y 2015 con la función File/Open Image File, para el enlace del polígono junto con la imagen satelital se accedió al comando Basic Tools/Resize Data (Spatial/Spectral) eligiendo la imagen satelital convertida en Stack, después en la opción Spatial Subset ROI/EVF seleccionando el polígono EVF:Layer el_empalme.shp y luego Enter Output filename (Choose) donde se guardó el corte del área de estudio.

3.1.2.2. Cálculo de índices espectrales

Para el cálculo de los índices espectrales se utilizaron los siguientes: el índice de vegetación normalizada (NDVI), índice de vegetación ajustado con el suelo (SAVI), índice normalizado de la diferencia de humedad (NDMI). En lo cual se determinaron con las siguientes formulas.

3.1.2.2.1. Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)

Es un índice que permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial. Se calcula como la diferencia normalizada entre la banda del rojo (R) y del infrarrojo cercano (NIR) (38), $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ (39).

En Landsat 5:

NIR= Banda 4

R= Banda 3

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

En Landsat 8:

NIR= Banda 5

R= Banda 4

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4).$$

3.1.2.2.2. Índice de Vegetación ajustado con el suelo (SAVI)

Entre los factores que modifican el comportamiento del NDVI está la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor. Para incluir explícitamente el factor suelo, clave cuando se trabaja en zonas áridas, Huete propone incluir en la fórmula del NDVI un parámetro “L”, que ajuste el índice a una reflectividad promedio del fondo (38).

Este índice se calcula como la diferencia normalizada entre la banda roja (R) y la banda del infrarrojo cercano (NIR) ajustado con un factor “L”, que es la componente de brillo del suelo que se define con un valor de 0.5, ya que se ajusta mejor a todo tipo de cobertura (38), $SAVI = [(NIR - R) / (NIR + R + L)] * (1 + L)$ (39).

En Landsat 5:

NIR= Banda 4

R= Banda 3

L= 0.5

$$\text{SAVI} = ((\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3} + 0.5)) * (1.5).$$

En Landsat 8:

NIR= Banda 5

R= Banda 4

L= 0.5

$$\text{SAVI} = ((\text{Band 5} - \text{Band 4}) / (\text{Band 5} + \text{Band 4} + 0.5)) * (1.5).$$

3.1.2.2.3. Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad (NDMI)

Este índice se calcula como la diferencia normalizada entre el Infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo medio (SWIR, banda 6) (38), $\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$ (39).

En Landsat 5:

NIR= Banda 4

SWIR= Banda 5

$$\text{NDMI} = (\text{Band 4} - \text{Band 5}) / (\text{Band 4} + \text{Band 5}).$$

En Landsat 8:

NIR= Banda 5,

SWIR= Banda 6

$$\text{NDMI} = (\text{Band 5} - \text{Band 6}) / (\text{Band 5} + \text{Band 6}).$$

El cálculo de los índices espectrales de las dos imágenes Landsat se desarrolló con el programa ENVI 4.7, ingresando cada una de las imágenes cortadas del área de investigación, con la función File/Open Image File, y después accediendo al comando Basic Tools/Band Math, agregando la fórmula correcta uno de los índices seleccionados, y luego a la opción

Add to List/ OK, una vez ingresada la formula se asigna las bandas de la imagen a las variables, y como finalización se eligió la carpeta donde se guardó la imagen del cálculo ejecutado. El cálculo de los índices espectrales se aplicó para SAVI, NDVI y NDMI, realizando el mismo procedimiento, que se obtuvo como resultado final tres imágenes de índices calculados para la imagen Landsat 5 y tres imágenes de índices calculados para Landsat 8.

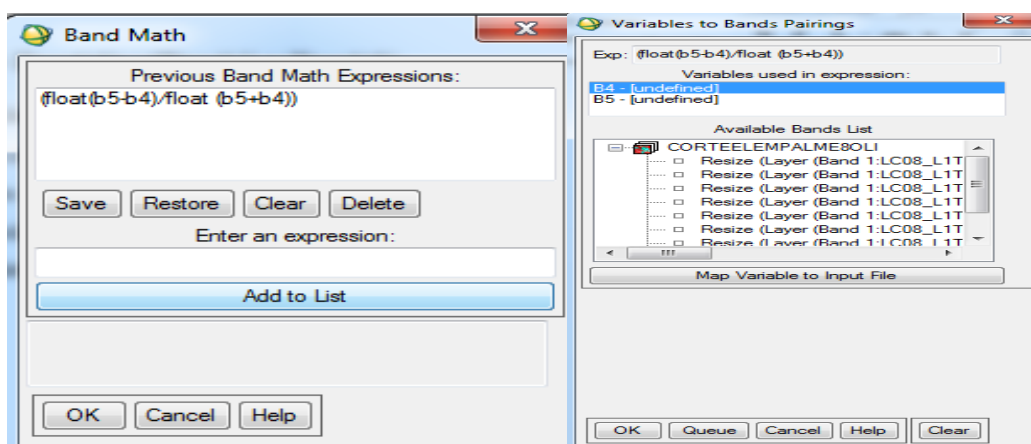


Figura 7: Captura de pantalla del Software ENVI 4.7 para el cálculo de índices
Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.3. Stack de Índices calculados

Luego del cálculo de los índices espectrales, se realizó el Layer Stacking de cada uno de los índices calculados, esto significa agrupar los índices NDVI, SAVI, NDMI, en un solo archivo de cada una de las imágenes de Landsat utilizadas. Se accedió al comando Basic Tools/ Layer Stacking seleccionando los tres índices calculados para la imagen Landsat 5 de 1998 y después se eligió el lugar donde se guardó el nuevo Stack, el mismo proceso se realizó para la otra imagen Landsat 8 del año 2015.

3.1.2.4. Definición del área de entrenamiento para la clasificación supervisada

Antes de determinar las áreas de entrenamiento, se definió las coberturas de uso de suelo para la clasificación, estableciendo seis categorías, zona urbana, cuerpo de agua, plantaciones, bosques, cultivos perennes, y otros cultivos, el establecimiento de las categorías se obtuvo

mediante las referencias Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del cantón el Empalme y Google Earth. Ya definidas las categorías se realizó la visita al área de investigación para tomar las coordenadas geográficas de los puntos de referencia para cada una de las categorías establecidas, luego de obtener las coordenadas se procedió a comprobar los puntos de referencia con la herramienta de Google Earth, así se estipuló la exactitud de las clases de uso que se escogieron, la definición del área de entrenamiento se realizó para tomarlos en la clasificación supervisada de las imágenes Landsat del año 1998 y 2015.

3.1.2.5. Clasificación de la cobertura vegetal en el área de estudio

3.1.2.5.1. Creación de las regiones de interés (ROI)

Para la creación de las regiones de interés se realizó con el programa ENVI 4.7 seleccionando las categorías establecidas, asignándole el nombre a cada una de las clases como cuerpo de agua, zona urbana, cultivo de maíz, cultivo de cacao, cultivo de banano, cultivos de palma, plantaciones y bosque, de esta forma se delinean sobre la imagen en formas de rectángulos, las cuales quedan archivados como regiones de interés “datos de entrenamiento”. Para los ROI se agregaron las coordenadas geográficas que se recogió y también se agregaron ciertos puntos seleccionados de Google Earth, primeramente se ingresó los dos Stack de los índices calculados de la imagen del año de 1998 y 2015, luego se accedió a Basic Tools/ Regions Of Interest, en ROI Tool se agregó el nombre de la primera categoría, para escribir las coordenadas de la categoría ya asignada se ingresó a la función Tool/Pixel Locator así agrega las coordenadas geográficas de esa categoría y eligiendo el pixel adecuado del punto de control, este proceso se realiza para cada una de las categorías de uso establecidas creando New Región.

3.1.2.5.2. Separabilidad de ROI

La separabilidad espectral entre los pares de ROI se comprobó utilizando la herramienta de Compute ROI Separability de ENVI 4.7. Se informan las medidas de separabilidad de Jeffries-Matusita y Divergencia transformada, estos valores varían de 0 a 2.0 e indican qué tan bien están estadísticamente separados los pares de ROI seleccionados. Los valores superiores a 1.9 indican que los pares de ROI tienen una buena separabilidad. Para pares de

ROI con valores de separabilidad más bajos, debe intentar mejorar la separabilidad editando las ROI o seleccionando nuevas ROI. Para pares de ROI con valores de separabilidad muy bajos (menos de 1), es posible que desee combinarlos en un solo ROI (40). Observando la separabilidad de los ROI, para obtener una combinación significativa, se realizó el Merge Regions, significa la combinación de dos o más categorías, para la imagen Landsat 5 y Landsat 8 se definieron seis categorías con las mismas regiones de interés unidas entre pares, lo cual se ejecutó nuevamente la clasificación supervisada con las nuevas unión de las regiones modificadas.

3.1.2.5.3. Clasificación supervisada

Este tipo de clasificación usa algoritmos adecuados para etiquetar píxeles de la imagen en base a su similitud a los píxeles representativos de cada tipo de cobertura o clase seleccionada que forman campos de entrenamiento (reconocimiento de la firma espectral) y sirven para identificar a los miembros de cada clase. La asociación de píxeles a las clases se basa en un modelo de distribución probabilística de las clases de interés (10).

Existen diversos métodos de clasificación de la escena. En función de cómo se traten los parámetros que definen las firmas espectrales de cada clase deseada.

3.1.2.5.3.1. Por máxima probabilidad (Maximum Likelihood)

Este clasificador permite tener en cuenta la diferente probabilidad de que se encuentren determinadas cubiertas en la escena (probabilidad a priori) y permite con ello calcular la probabilidad a posteriori (probabilidad de que se trate de una determinada clase cuando los niveles digitales sean unos concretos) a partir de las verosimilitudes, que son más fáciles de calcular (probabilidad de que los niveles digitales sean unos determinados, para cada clase de la leyenda (41).

Para la clasificación supervisada en la etapa de asignación se eligió la máxima probabilidad/Maximum Likelihood, en la cual se clasifica con los puntos de entrenamiento que se agregó en las regiones de interés, y se agregó con una probabilidad 0.3 y como resultado final se obtuvo la imagen clasificada de cada año. Se observa la separabilidad del ROI si está bien estadísticamente separados de cada categoría que se realizó.

3.1.2.6. Análisis de los resultados

3.1.2.6.1. Validación de clasificación supervisada

Después de obtener las imágenes clasificadas del año 1998 y 2015 se procedió a convertirlas a ERDAS IMAGINE, para procesarlas en el programa ArcMap 10.1 agregando las imágenes convertidas, adjunto con él .shp del límite del cantón el Empalme, para crear varios puntos al azar en diferentes partes dentro del área de estudio, ingresando a la herramienta de Data Management Tools/Feature Class/Create Random Points. Luego de la creación de los puntos al azar, se extrajo los valores a los puntos, en lo que se creó otra fila con el nombre de cobertura asignándole el nombre de cada categoría que está en la clasificación de la imagen Landsat, y también se creó otra fila para agregar las coordenadas de los puntos al azar. Posteriormente estos puntos al azar se verifico con Google Earth, para ver si había concordancia con las categorías de uso que se asignó en la imagen clasificada al momento de la extracción de los puntos. Para la ejecución de los puntos al azar solo se seleccionó la imagen Landsat 8 del año 2015 para la validación de los resultados, por el motivo que no existen datos históricos en Google Earth para la imagen Landsat 5 del año de 1998.

La matriz de confusión es una de las herramientas más utilizadas para la validación de resultado, ya que es una tabla de doble entrada a partir de la imagen satelital clasificada y los puntos al azar creados, dentro de la matriz de confusión existen dos tipos de errores:

Acuerdo / precisión: la probabilidad (%) de que el clasificador haya etiquetado un píxel de imagen en la clase de verdad básica. Es la probabilidad de que un píxel de referencia se clasifique correctamente.

Errores de omisión: (riesgo del usuario) son los elementos que perteneciendo a esa clase no aparecen en ella, por estar erróneamente incluidos en otra.

Errores de comisión: (riesgo del productor) son los elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en ella.

Precisión general: la precisión total de la clasificación

La matriz de confusión se realizó para la imagen satelital Landsat 8 OLI/TIRS del año 2015 comprobando con los puntos de control del campo y los puntos al azar en Google Earth, en la que se obtuvo la matriz de confusión obtenido como resultado el error de comisión y

omisión, después se realizó la valoración para el coeficiente de Kappa para verificar la exactitud de los puntos de control.

Coeficiente Kappa (Khat): una técnica multivariante discreta de uso en la evaluación de la precisión. Khat > 0.80 representa un fuerte acuerdo y buena precisión. 0.40-0.80 es medio, <0.40 es pobre. El coeficiente Kappa se calculó con la siguiente formula:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^K X_{ii} - \sum_{i=1}^K (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^K (X_{i+} X_{+i})}$$

3.1.2.6.2. Análisis multitemporal de las imágenes satelitales

3.1.2.6.2.1.ANOVA

Se utilizó el análisis de varianza de un factor (ANOVA) que trata de establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los 3 índices de las dos imágenes seleccionadas. Los resultados de ANOVA permitieron determinar cuál de los tres índices calculados, discrimina mejor el estado y tipo de las coberturas vegetales, se procede a extraer las estadísticas individuales para cada índice en los puntos al azar (puntos de validación) creados anteriormente. La extracción se realizó con el programa Arcmap, con el comando Spatial Analyst Tools / Extraction / Extract Multi Values To Points una vez visualizado el .shp de los puntos de validación y el Stack de los índices, se extrajeron los valores de índices en cada punto que se registra en la tabla de atributos de los puntos, este mismo proceso se realiza para el Stack de índice derivado de la otra imagen Landsat.

La ejecución del análisis de varianza se realizó con la función Microsoft Excel ya que contiene funciones para realizar cálculos, luego de obtener los valores de los índices NDVI, SAVI, NDMI, para la imagen Landsat 5 y Landsat 8 se emparejaron cada índice igual con cada una de las imágenes Landsat, para después ejecutar el análisis de varianza de un factor con el comando análisis de datos / análisis de varianza de un factor.

3.1.2.6.2.2. Análisis multitemporal de uso de suelo en el área de estudio

Después de la clasificación de las imágenes se busca la detección de los posibles cambios ocurridos en el uso del suelo durante el periodo seleccionado, en base de las clasificaciones

del uso del suelo en el área de investigación. Mediante el análisis multitemporal se pudo detectar los cambios ocurridos de los dos periodos, se procedió a ingresar las dos imágenes clasificadas, al programa ENVI ingresando al comando classification / Post Classification / Change detection Statistics, en lo que pide ingresar una imagen inicial y una imagen final, como imagen inicial se incorporó la imagen Landsat 5 del año de 1998 y como imagen final se ingresó la imagen Landsat 8 del año 2015 adjuntando el .shp del cantón el Empalme, y el resultado final para la detección se obtuvo la tabla de los cambios ocurrido del año de 1998 y 2015, visualizando los resultados en píxeles, porcentajes y por área.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo se basa en la descripción de los resultados obtenidos a través de la metodología empleada en el lugar de estudio, en lo que cual se demuestra los cambios de usos de suelo durante el periodo de 1998 y 2015, utilizando las imágenes Landsat 5 y Landsat 8.

De acuerdo al primer objetivo evaluación los índices espectrales NDVI, SAVI, NDMI derivados de las imágenes Landsat 5 y Landsat 8 se obtuvo los siguientes resultados

4.1. Selección de las imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales provinieron de imágenes LANDSAT en las que fueron obtenidas de manera gratuita de la página (Earth Explorer USGS Gov Science For A Changing World). Para la selección de las imágenes landsat 5 y Landsat 8 se escogió como prioridad que no presente % mínimo de nubes en la imagen del cantón el Empalme (Ver figura 8).

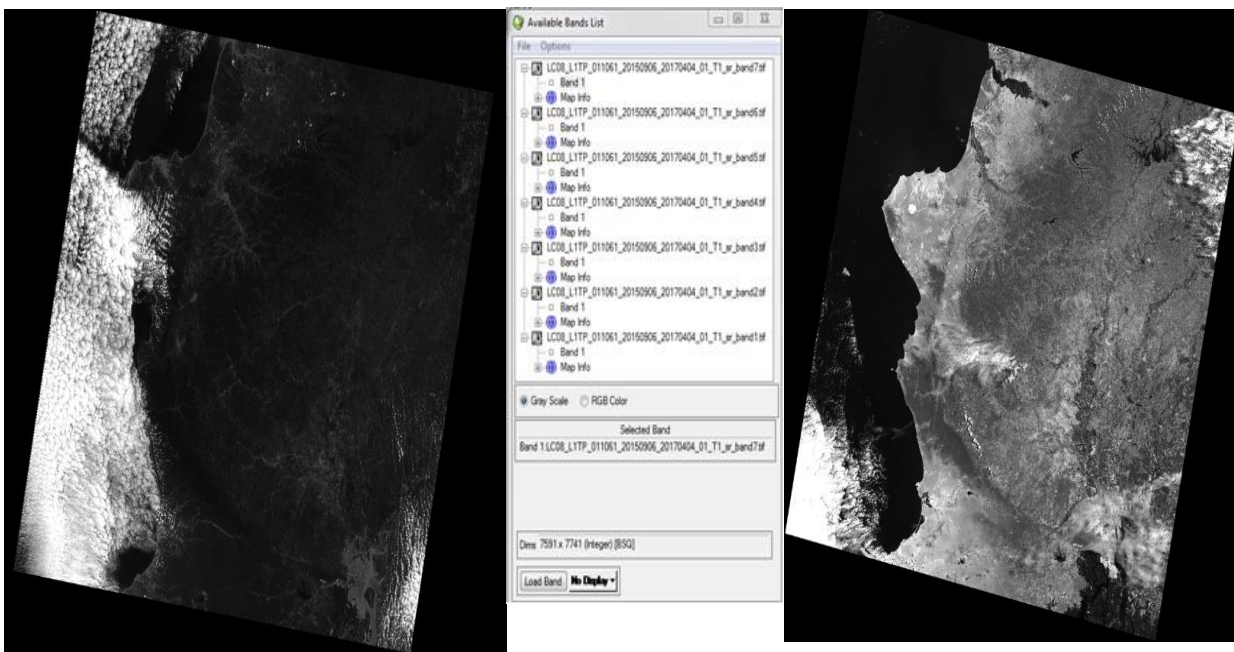


Figura 8: Imagen Landsat 5 del 07 de septiembre 1998 (Lado Izquierdo) Imagen Landsat 8 del 6 de septiembre 2015(Lado Derecho) obtenidas en formato .Tiff.

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Procesamiento de las imágenes satelitales

4.2.1. Pre procesamiento

4.2.1.1. Layer Stacking

Después de obtener las imágenes Landsat 5 y Landsat 8 se realizó la transformación de las imágenes obtenidas en formato .Tiff a convertirlas en una sola imagen multiespectral en formato .img en la que consiste en la agrupación de las bandas 1, 2, 3, 4, 5,7 de cada imagen Landsat utilizada en la investigación, se realizó una combinación de falso color para cada banda del sensor Rojo (R), Verde (G), Azul (B) con la combinación de las bandas 7, 5, y 3 ya que estas combinaciones se pueden aplicar para el análisis de la vegetación.(Ver figura 9).

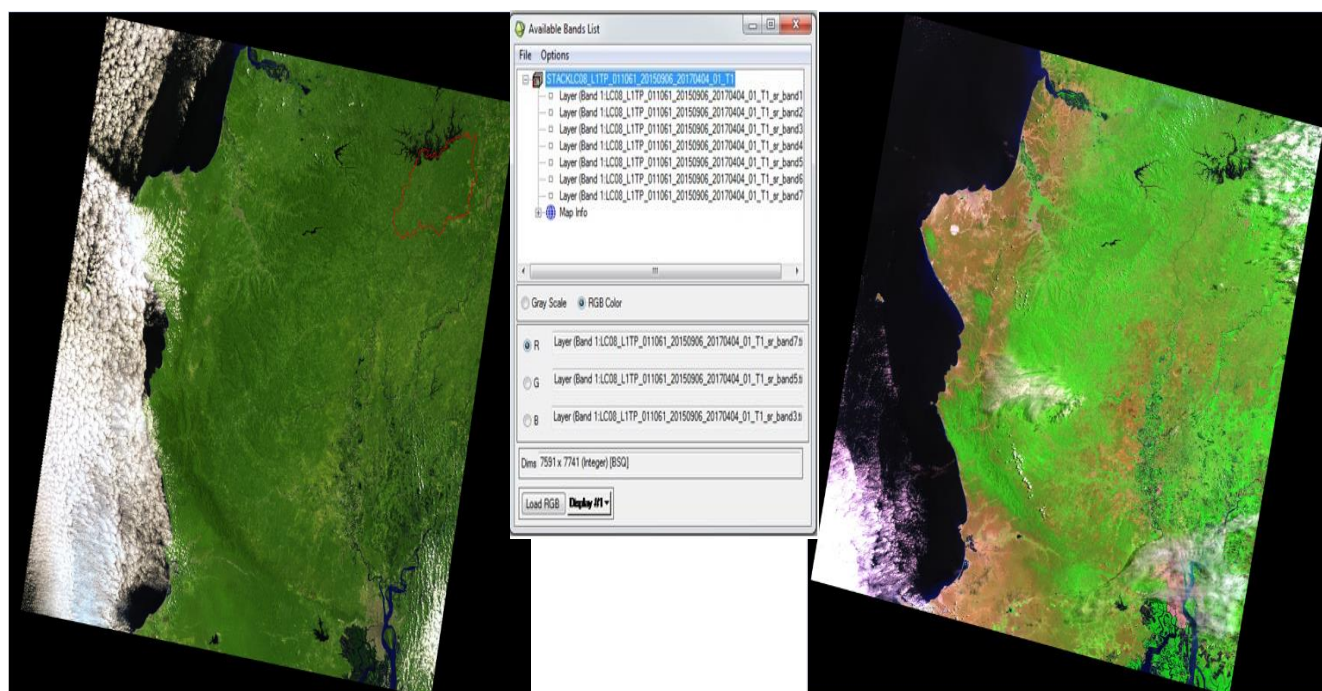


Figura 9: Imagen Landsat 5 del 07 de septiembre 1998 (Lado Izquierdo) Imagen Landsat 8 del 6 de septiembre 2015(Lado Derecho) imagen en formato .img y combinación de bandas 7, 5 y 3.

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.2. Recorte de las imágenes satelitales en el área del cantón el empalme

Aplicando el debido proceso, se obtuvo como resultado la imagen ya recortada para el lugar de estudio, tanto como landsat 5 y landsat 8, mediante un polígono de (shapefile), esto significa que se ajustó al área correspondiente del Cantón el Empalme, Provincia del Guayas, la imagen de salida se nombró como corteempalme5tm.hdr para el año 1998 y corteempalme8oli.hdr para el año 2015. (Ver figura 10).

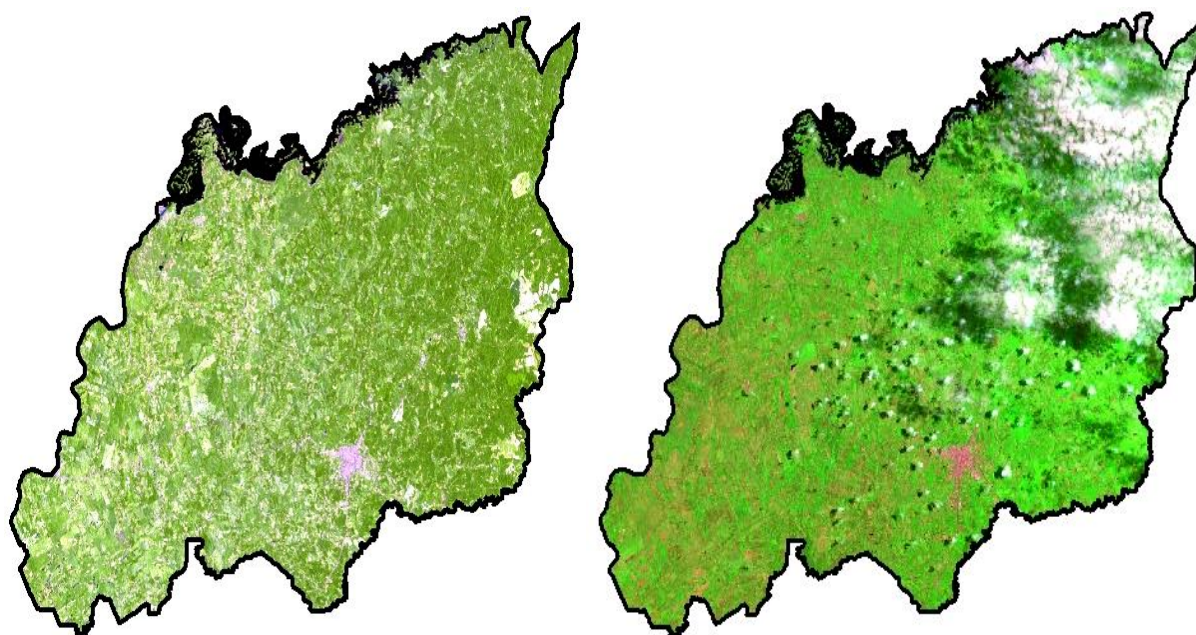


Figura 10: Resultado de Resize Data (Spatial/Spectral) con extensión .hdr para obtener el corte del área del cantón el Empalme de la Imagen Landsat 5 de 1998 (Lado Izquierdo) y la Imagen Landsat 8 del 2015 (Lado Derecho) polígono negro limite cantonal del lugar de interés.

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Calculo de índices espectrales

Con el objetivo de mejorar la discriminación de las cubiertas del uso del suelo se procedió a calcular tres índices espectrales, Índice de Vegetación ajustado con el suelo SAVI, Índices de vegetación normalizada NDVI, Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad NDMI. Para el procesamiento de los índices se tomó como referencia la imagen Landsat 5 de 1998 y Landsat 8 del 2015, del Stack de corte del área del cantón el Empalme, la que se obtuvo

como resultado 6 imágenes de índices calculados 3 imágenes para Landsat 5 y 3 imágenes para Landsat 8, como en el índice SAVI se basa en la distancia del suelo incorpora una constante de suelo, la cual se usa de acuerdo con vegetación de baja, intermedia o alta densidad, el índice NDVI muestra la presencia de vegetación verde de la superficie terrestre y caracteriza su distribución espacial, el índice de NDMI captura las variaciones de la humedad en las zonas de vegetación. Se seleccionó las siguientes fórmulas para el cálculo y obtener los debidos mapas (Ver figura 11, 12, 13, 14, 15,16).

Para Landsat 5

$$\text{SAVI} = (\text{float} ((\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3} + 0.5)) * (1.5))$$

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

$$\text{NDMI} = (\text{float} (\text{Band 4} - \text{Band 5}) / \text{float} (\text{Band 4} + \text{Band 5}))$$

Para Landsat 8

$$\text{SAVI} = (\text{float} ((\text{Band 5} - \text{Band 4}) / \text{float} (\text{Band 5} + \text{Band 4} + 0.5)) * (1.5))$$

$$\text{NDVI} = (\text{float} (\text{Band 5} - \text{Band 4}) / \text{float} (\text{Band 5} + \text{Band 4}))$$

$$\text{NDMI} = (\text{float} (\text{Band 5} - \text{Band 6}) / \text{float} (\text{Band 5} + \text{Band 6}))$$

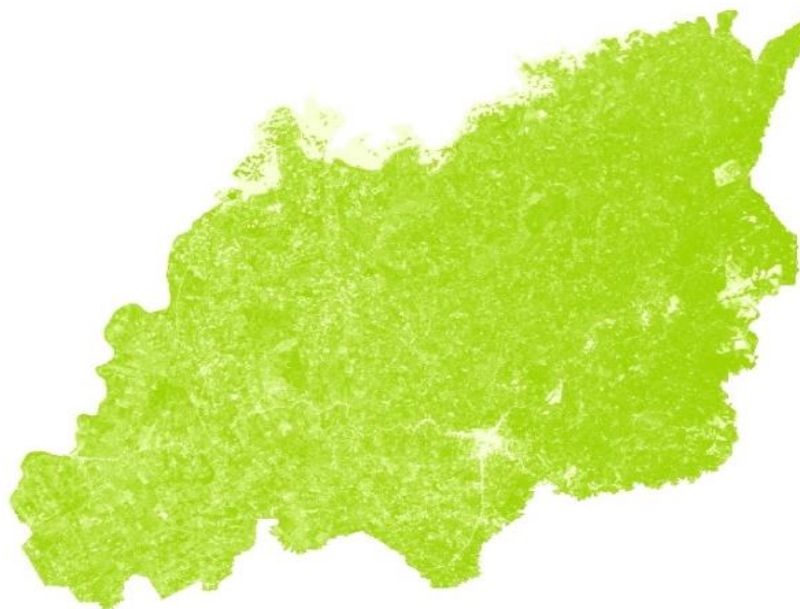


Figura 11: Índice de vegetación ajustado con el suelo SAVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 5 de 1998.
Fuente: Elaboración Propia

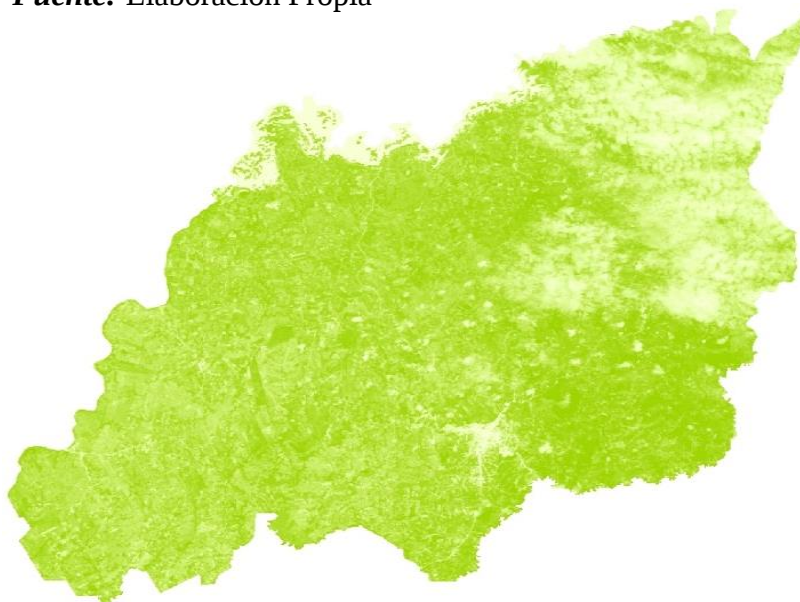


Figura 12: Índice de Vegetación ajustado con el suelo SAVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 8 del 2015.
Fuente: Elaboración Propia

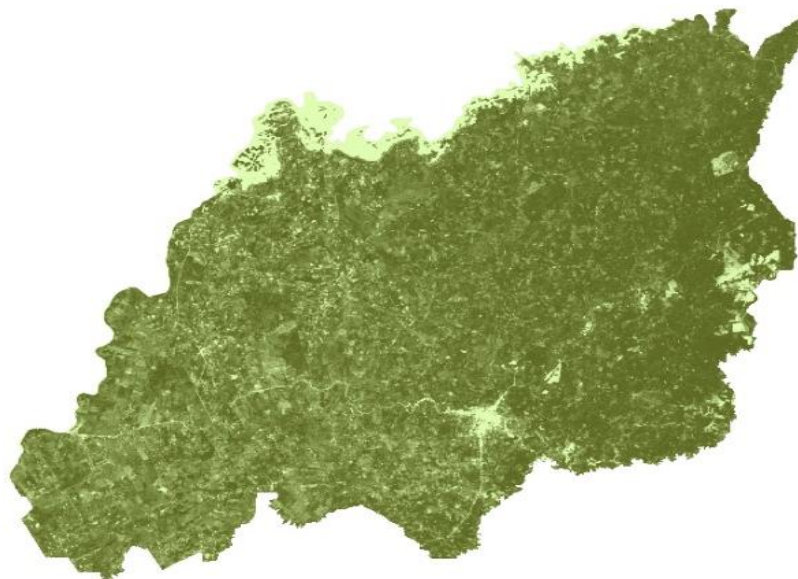


Figura 13: Índice de vegetación normalizada NDVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 5 de 1998.

Fuente: Elaboración Propia

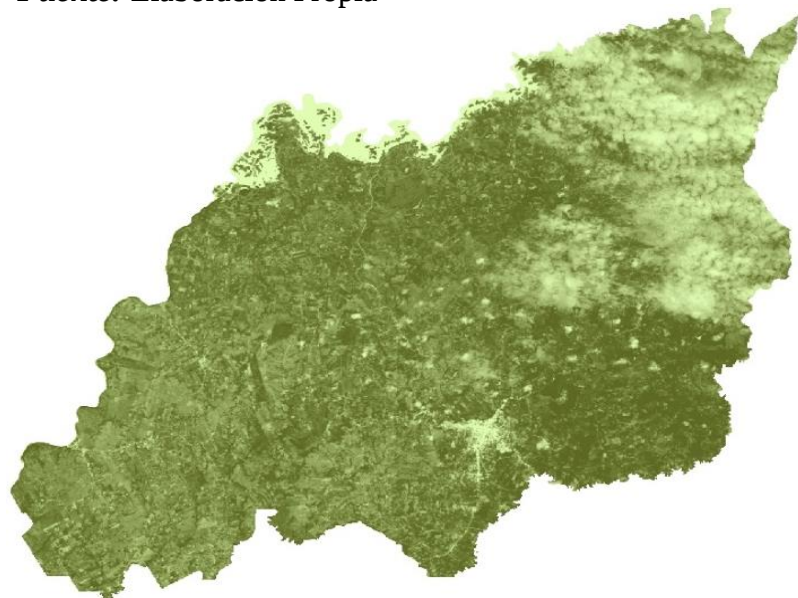


Figura 14: Índice de vegetación normalizada NDVI obtenida a partir de la Imagen Landsat 8 del 2015.

Fuente: Elaboración Propia

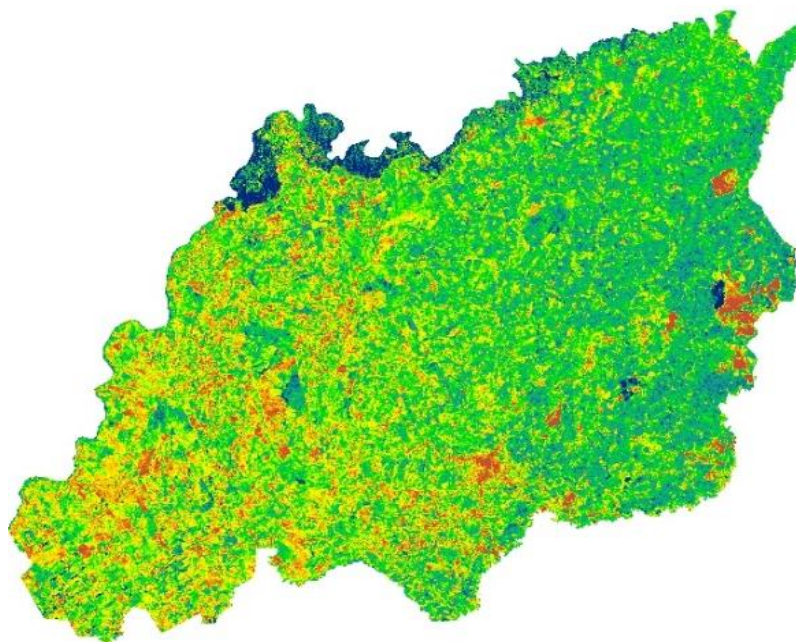


Figura 15: Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad NDMI obtenida a partir de la Imagen Landsat 5 de 1998.
Fuente: Elaboración Propia

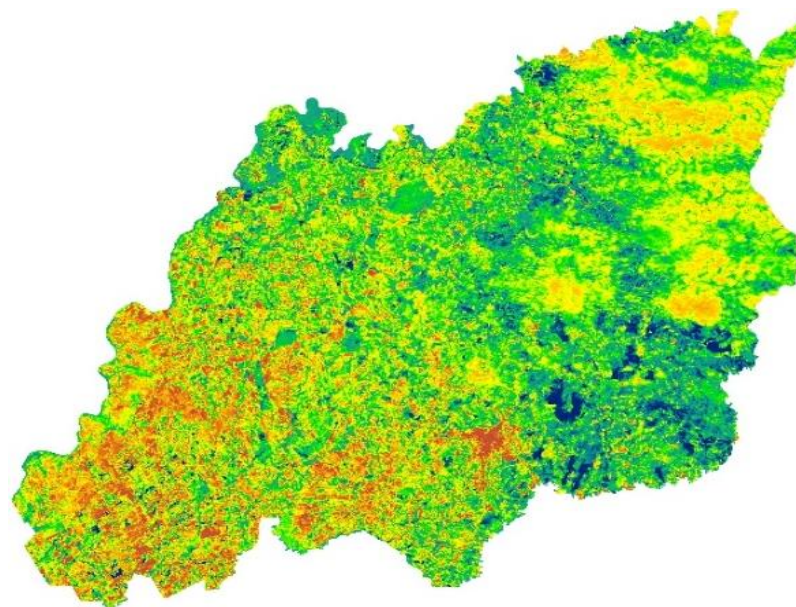


Figura 16: Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad NDMI obtenida a partir de la Imagen Landsat 8 del 2015.
Fuente: Elaboración Propia

4.3.1. Stack de los índices calculados

Después de obtener las imágenes de los índices calculados, se ejecutó el Stack de las tres imágenes de los índices calculados para Landsat 5 en un solo archivo, así mismo se obtuvo otra imagen con la recopilación de los tres índices para Landsat 8, como resultado final se adquirió dos imágenes satelitales del año 1998 y 2015, cada una de las imágenes muestra aspectos diferentes como la presencia de pocas nubes en la imagen del año 2015, se realizó una combinación de falso color para diferenciar la cubierta vegetal de las imágenes (Ver figura 17).

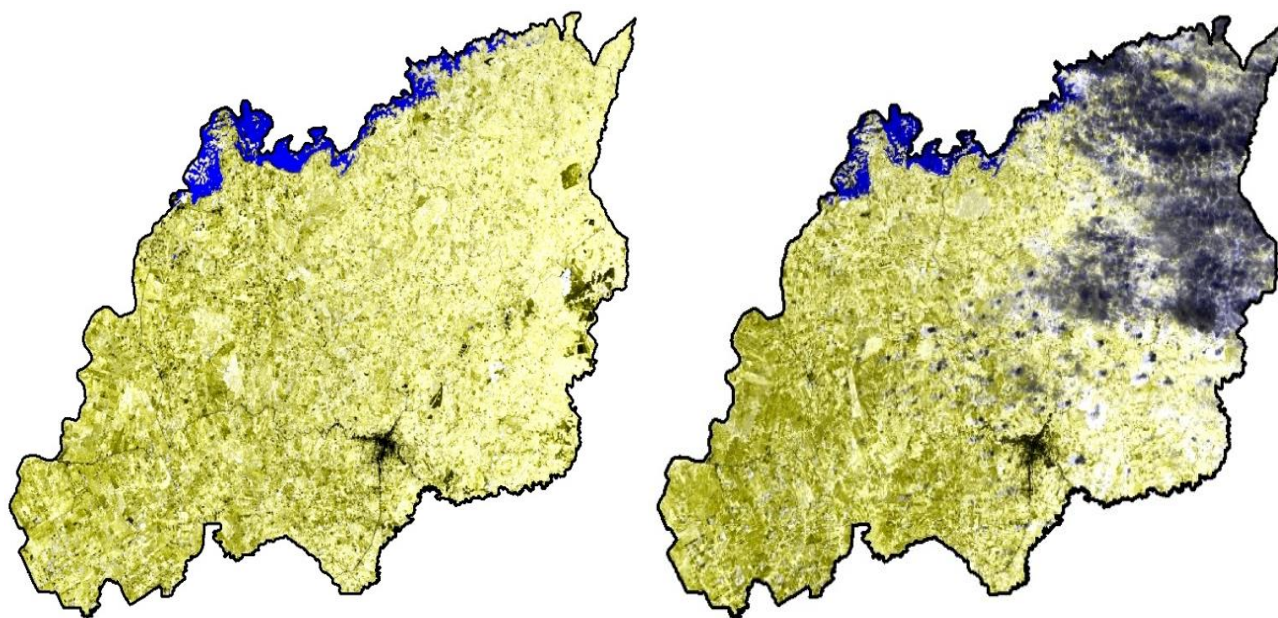


Figura 17: Stack de imagen Landsat 5 del año 1998 (Lado Izquierdo) imagen Landsat 8 del año 2015(Lado Derecho) imagen en formato .img

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al segundo objetivo, Identificación de los tipos de coberturas de suelo en el área de estudio para el periodo establecido, se obtuvo como resultado lo siguiente:

4.4. Definición del área de entrenamiento para la clasificación supervisada

Mediante la ayuda del GPS se obtuvieron los puntos de referencia, de diferentes lugares del área del cantón el Empalme, tomando coordenadas de las categorías establecidas, las cuales son zona urbana, cuerpo de agua, cultivos perennes, otros cultivos, bosques y plantaciones, en la que después se realizó la verificación de los puntos de referencia con Google Earth y así obtener con certeza que los puntos que se tomó coinciden con las de Google Earth. Realizada la verificación se adquirió como resultado que los puntos de referencia tomados si coincide con las categorías que se seleccionaron (Ver Tabla 3).

Tabla 3: Coordenadas geográficas tomadas en la fase de campo

CATEGORIA	Nº	COORDENADAS		GOOGLE EARTH
		X	Y	
CUERPO DE AGUA	LIMITE RIO MACUL	653973	9882372	SI
	RIO CONGO	658788	9891380	SI
	RIO CONGO	658799	9891248	SI
CULTIVOS PERENNES	1	654054	9882921	SI
	2	654062	9882936	SI
	3	653343	9883605	SI
	4	653965	9883555	SI
	5	662092	9893473	SI
	6	662102	9893497	SI
	7	654084	9884005	SI
	8	662070	9889746	SI
OTROS CULTIVOS	1	653492	9882468	SI
	2	653373	9883367	SI
	3	653053	9886355	NO
	4	652859	9886406	SI
	5	655616	9887883	SI
	6	656175	9888367	SI
	7	656667	9889238	SI
	8	659602	9891583	SI
	9	660089	9892405	SI
	10	660582	9892683	SI
	11	660644	9892815	SI
	1	654102	9886775	SI

CULTIVOS PERENNES	2	654976	9887670	SI
	3	660757	9891307	SI
	4	660752	9891311	SI
	5	661075	9893193	SI
	6	661267	9893347	SI
PLANTACIONES	1	655823	9887921	SI
	2	658787	9890457	SI
	3	659991	9891728	SI
	4	660000	9891733	SI
	5	660476	9891348	SI
OTROS CULTIVOS	1	656651	9889247	SI
	2	657065	9889800	SI
	3	661976	9893490	NO

Fuente: Elaboración propia

4.5. Clasificación de la cobertura vegetal en el área de estudio

Para realizar la clasificación supervisada se utilizó las dos imágenes del año 1998 y 2015, pero antes de la clasificación, se crearon los puntos de entrenamiento y así revisar la separabilidad de las categorías establecidas.

4.5.1. Creación de ROI regiones de interés

Para la creación de los ROI se seleccionaron los puntos de control tomados en la fase de campo, y también se consideraron otros puntos escogidos de Google Earth, adjuntos con todos ellos se utilizaron como referencia para las regiones de interés, se crearon 8 categorías, cuerpo de agua, zona urbana, cacao, palma, banano, maíz, plantaciones y bosque, las coordenadas de la clase de bosques y zona urbana fueron obtenidas de Google Earth, las clases se renombraron como cultivos perenes, otros cultivos, bosques, plantaciones etc., para las regiones de interés se tomaron conjuntamente todos los puntos seleccionados en la tabla (Ver Tabla 4)

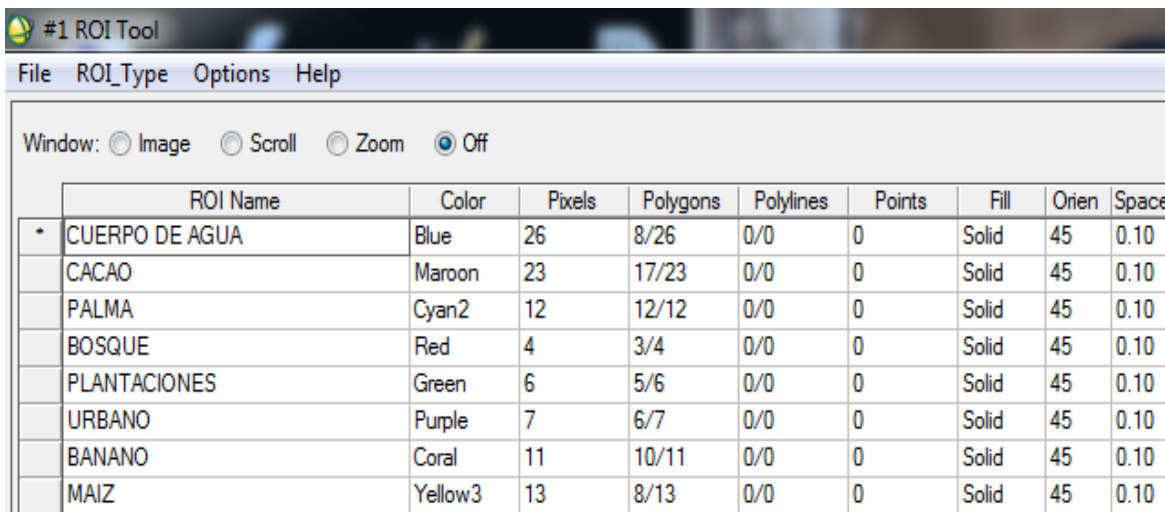
Tabla 4: Coordenadas geográficas tomadas en Google Earth y en el campo

CATEGORIA	PROCEDENCIA	N	COORDENADAS	
			X	Y
Cuerpo de Agua	Google Earth	1	654274	9904958
		2	653237	9903117
		3	638082	9896598
		4	640937	9889323
		5	642281	9881624
	Campo	LIMITE RIO MACUL	653973	9882372
		RIO CONGO	658788	9891380
		RIO CONGO	658799	9891248
Otros Cultivos	Google Earth	1	652048	9883180
		2	650135	9883717
		3	655533	9887829
		4	650559	9877585
		5	664095	9902249
		6	640630	9895654
	Campo	7	653492	9882468
		8	653373	9883367
		9	653053	9886355
		10	652859	9886406
		11	655616	9887883
		12	656175	9888367
		13	656667	9889238
		14	659602	9891583
		15	660089	9892405
		16	660582	9892683
		17	660644	9892815
Cultivos Perennes	Google Earth	1	653409	9883620
		2	649489	9883491
		3	662876	9892860
		4	654850	9890572
	Campo	5	654054	9882921
		6	654062	9882936

		7	653343	9883605
		8	653965	9883555
		9	662092	9893473
		10	662102	9893497
		11	654084	9884005
		12	662070	9889746
Bosque	Google Earth	1	643682	9885488
		2	651064	9887076
		3	653169	9893089
Plantación Forestal	Campo	1	655823	9887921
		2	658787	9890457
		3	659991	9891728
		4	660000	9891733
		5	660476	9891348
Área Poblada	Google Earth	1	651364	9884592
		2	651144	9882136
		3	649073	9885579
		4	658966	9891440
		5	658970	9891085
		6	652163	9885699
Cultivos Perennes	Google Earth	1	658618	9888764
		2	655476	9886668
		3	661323	9892549
		4	654318	9886933
	Campo	5	654102	9886775
		6	654976	9887670
		7	660757	9891307
		8	660752	9891311
		9	661075	9893193
		10	661267	9893347
Otros Cultivos	Google Earth	1	651717	9886238
		2	650979	9882870
		3	650727	9883208
		4	657211	9889550
	Campo	5	656651	9889247
		6	657065	9889800
		7	661976	9893490

Fuente: Elaboración propia

Después de agregar todas las coordenadas geográficas en las regiones de interés de cada clase se logró obtener como resultado la tabla de los ROI en la que se visualiza las categorías que se nombraron, la elección de los colores de cada categoría uno mismo lo establece, en la tabla también identifica el total de los pixeles que se cogieron en cada una de las clases en forma rectangular y cuantos puntos de entrenamiento se incorporaron para cada clase (Ver Figura 18).



	ROI Name	Color	Pixels	Polygons	Polylines	Points	Fill	Orien	Space
*	CUERPO DE AGUA	Blue	26	8/26	0/0	0	Solid	45	0.10
	CACAO	Maroon	23	17/23	0/0	0	Solid	45	0.10
	PALMA	Cyan2	12	12/12	0/0	0	Solid	45	0.10
	BOSQUE	Red	4	3/4	0/0	0	Solid	45	0.10
	PLANTACIONES	Green	6	5/6	0/0	0	Solid	45	0.10
	URBANO	Purple	7	6/7	0/0	0	Solid	45	0.10
	BANANO	Coral	11	10/11	0/0	0	Solid	45	0.10
	MAIZ	Yellow3	13	8/13	0/0	0	Solid	45	0.10

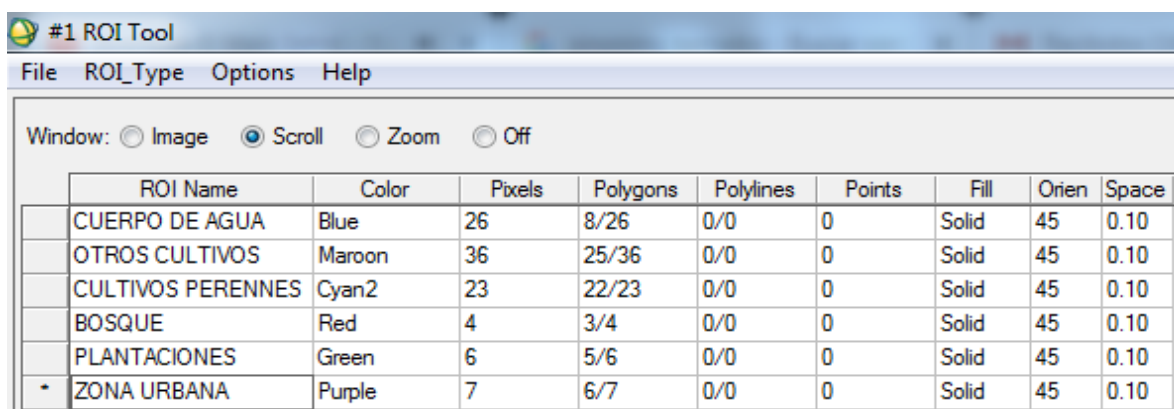
Figura 18: Captura de pantalla del programa ENVI, de las regiones de interés que se crearon para cada clase

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2. Clasificación supervisada

Se realizó la clasificación supervisada con los respectivos ROI creados, para la imagen Landsat 5 del año 1998 y Landsat 8 del año 2015 se utilizaron los mismos puntos de entrenamiento, 8 áreas de interés para cada imagen satelital, al momento que se obtuvo las imágenes de clasificación con las 8 áreas de entrenamiento, se comprobó la separabilidad de los ROI en lo que se evidenciaron valores que no fueron significativos mayor a 1.0 esto indica que no están estadísticamente bien separados. Posterior a este proceso se realizó un Merge región para indicar que están bien estadísticamente separados los pares de ROI seleccionados.

Por medio de la herramienta Merge Regions se agruparon ciertas categorías con otras para obtener en una sola clase de cobertura, como el cuerpo de agua, zona urbana, plantaciones y bosque se mantuvieron en la mismas clases, la unión de regiones que se realizó fueron para las categorías de cultivo de cacao, cultivos perennes, banano, y maíz en las que se renombraron como cultivos perennes y otros cultivos. En total se obtuvieron 6 clases en las áreas de interés para realizar la clasificación supervisada de la imagen del año 1998 y 2015 utilizando las mismas clases para las dos imágenes (Ver Figura 19).



ROI Name	Color	Pixels	Polygons	Polylines	Points	Fill	Orien	Space
CUERPO DE AGUA	Blue	26	8/26	0/0	0	Solid	45	0.10
OTROS CULTIVOS	Maroon	36	25/36	0/0	0	Solid	45	0.10
CULTIVOS PERENNES	Cyan2	23	22/23	0/0	0	Solid	45	0.10
BOSQUE	Red	4	3/4	0/0	0	Solid	45	0.10
PLANTACIONES	Green	6	5/6	0/0	0	Solid	45	0.10
ZONA URBANA	Purple	7	6/7	0/0	0	Solid	45	0.10

Figura 19: Captura de pantalla del programa ENVI, de la unión de regiones de interés que se realizó para la respectiva clasificación

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la obtención de las 6 regiones de interés, se procedió a comprobar nuevamente la separabilidad de los ROI para demostrar si están bien estadísticamente separados y que existen valores mayores a 1.0 pero en ciertas combinaciones se mostraron valores bajos esto podría ocurrir por la falta más puntos de control para esa clase.

4.5.2.1. Separabilidad de ROI para Landsat 5 del año 1998

En la separabilidad de los ROI muestra si están correctamente separados, en la tabla se visualiza desde el valor más bajo - 0.1 hasta los valores más altos mayores a 1.0, los valores más bajos que se obtuvieron para la imagen satelital del año 1998 fue la relación de (otros cultivos) con la clase (cultivos perennes) con un valor de 0.5489 esto podría ocurrir por la falta de más clases en las regiones de interés o incorporar más puntos de referencias en esa categoría, la relación de (cultivos perennes) con la clase de (plantaciones) muestra un valor

de separabilidad de 0,8477 cabe indicar que en la clase de plantación solo se incorporaron 6 puntos de control ya que esta sería la respuesta del valor que resalto, que sería por la falta de más puntos de entrenamiento o la integración en otra clase de vegetación, la relación de (otros cultivos) con (plantaciones) muestra un valor de separabilidad de 0.9084 puede ser el caso la falta de unión con otras clases o la integración más puntos a la clase de plantaciones. Las otras combinaciones muestran valores mayores a uno como la relación de (otros cultivos) y (bosque) con 1.0336 (bosque) con (plantaciones) con 1.0877 (cultivos perennes) con (zona urbana) 1.1344 (cultivos perennes) con (bosque) con 1.2208 (otros cultivos) con (urbano) 1.3158 (cuerpo de agua) con (otros cultivos) 1.6191 (cuerpo de agua) con (cultivos perennes) 1.6477 (cuerpo de agua) con (bosque) 1.7530 (plantaciones) con (zona urbana) 1.7721 (cuerpo de agua) con (plantaciones) 1.7861 (cuerpo de agua) con (urbano) 1.8426 y (bosque) con (urbano) 1.8904 (Ver figura 20).

Input File: STACKLANDSAT5
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points:
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (1.61210431 2.00000000)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (1.64770160 2.00000000)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.75302931 2.00000000)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (1.78619033 2.00000000)
URBANO [Purple] 7 points: (1.84261232 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.61210431 2.00000000)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (0.43405735 0.54895837)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.03367343 1.72531886)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (0.90845912 1.28806775)
URBANO [Purple] 7 points: (1.31582693 1.71777103)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.64770160 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (0.43405735 0.54895837)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.22082553 1.87520867)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (0.84774432 1.51151665)
URBANO [Purple] 7 points: (1.13440813 1.41640275)
BOSQUE [Red] 4 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.75302931 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (1.03367343 1.72531886)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (1.22082553 1.87520867)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (1.08776010 1.49917650)
URBANO [Purple] 7 points: (1.89043338 1.99915414)
PLANTACIONES [Green] 6 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.78619033 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (0.90845912 1.28806775)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (0.84774432 1.51151665)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.08776010 1.49917650)
URBANO [Purple] 7 points: (1.77216678 1.99995455)
URBANO [Purple] 7 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.84261232 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (1.31582693 1.71777103)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (1.13440813 1.41640275)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.89043338 1.99915414)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (1.77216678 1.99995455)
Pair Separation (least to most);
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points - 0.43405735
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 0.84774432
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 0.90845912
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and BOSQUE [Red] 4 points - 1.03367343
BOSQUE [Red] 4 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 1.08776010
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.13440813
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points and BOSQUE [Red] 4 points - 1.22082553
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.31582693
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points - 1.61210431
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points - 1.64770160
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and BOSQUE [Red] 4 points - 1.75302931
PLANTACIONES [Green] 6 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.77216678
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 1.78619033
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.84261232
BOSQUE [Red] 4 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.89043338

Figura 20: Valores de separabilidad de ROI del año 1998 muestra desde el valor más bajo al más alto de separabilidad

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.2.Separability de ROI para Landsat OLI/ TIRS del año 2015

La separabilidad de Landsat 8 muestra desde los valores más bajo – 0,1 a valores mayores que 1.0 los valores más bajos que arrojo en la tabla de separabilidad fue en la relación de (otros cultivos) con (cultivos perennes) con un valor de separabilidad de 0.7897 (cuerpo de agua) con (plantaciones) 0.9221 (otros cultivos) con (bosque) 1.2246 (otros cultivos) con (plantaciones) 1.5930 (cuerpo de agua) con (otros cultivos) 1.6744 (plantaciones) con (zona urbana) 1.6879 (cultivos perennes) con (bosque) 1.7236 (cuerpo de agua) con (bosque) 1.7263 (cultivos perennes) con (plantaciones) 1.7301 (cuerpo de agua) con (zona urbana) 1.7341 (cuerpo de agua) con (cultivos perennes) 1.7781 (bosque) con (plantaciones) 1.7879 (otros cultivos) con (urbano) 1.8659 (bosque) con (urbano) 1.9965 (cultivos perennes) con (zona urbana) 1.9967, en la imagen Landsat 8 la mayoría de las clases de separabilidad arrojaron valores mayores a 1.0 pero en dos relaciones no se obtuvieron valores mayor a uno, esto podría ser el caso de que no hay cierta relación de los cultivos o por la carencia de puntos de referencia en cada clase (Ver figura 21).

Input File: STACKINDICESLANDSAT8
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points:
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (1.67440725 1.99964326)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (1.77819289 1.99977366)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.72633458 2.00000000)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (0.92211780 1.35914141)
URBANO [Purple] 7 points: (1.73415888 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.67440725 1.99964326)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (0.78972157 1.06912120)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.22464216 1.97643249)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (1.59305533 1.99885043)
URBANO [Purple] 7 points: (1.86590686 1.99999977)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.77819289 1.99977366)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (0.78972157 1.06912120)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.72361818 1.99999922)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (1.73013431 1.99986180)
URBANO [Purple] 7 points: (1.99673775 2.00000000)
BOSQUE [Red] 4 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.72633458 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (1.22464216 1.97643249)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (1.72361818 1.99999922)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (1.78793619 2.00000000)
URBANO [Purple] 7 points: (1.99659152 2.00000000)
PLANTACIONES [Green] 6 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (0.92211780 1.35914141)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (1.59305533 1.99885043)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (1.73013431 1.99986180)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.78793619 2.00000000)
URBANO [Purple] 7 points: (1.68795409 1.99999989)
URBANO [Purple] 7 points:
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points: (1.73415888 2.00000000)
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points: (1.86590686 1.99999977)
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points: (1.99673775 2.00000000)
BOSQUE [Red] 4 points: (1.99659152 2.00000000)
PLANTACIONES [Green] 6 points: (1.68795409 1.99999989)
Pair Separation (least to most);
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points - 0.78972157
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 0.92211780
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and BOSQUE [Red] 4 points - 1.22464216
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 1.59305533
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points - 1.67440725
PLANTACIONES [Green] 6 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.68795409
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points and BOSQUE [Red] 4 points - 1.72361818
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and BOSQUE [Red] 4 points - 1.72633458
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 1.73013431
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.73415888
CUERPO DE AGUA [Blue] 26 points and CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points - 1.77819289
BOSQUE [Red] 4 points and PLANTACIONES [Green] 6 points - 1.78793619
OTROS CULTIVOS [Maroon] 36 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.86590686
BOSQUE [Red] 4 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.99659152
CULTIVOS PERENNES [Cyan2] 23 points and URBANO [Purple] 7 points - 1.99673775

Figura 21: Valores de separabilidad de ROI del año 2015 muestra desde el valor más bajo al más alto de separabilidad

Fuente: Elaboración Propia

Para la clasificación supervisada de las imágenes del año de 1998 y 2015 se seleccionó el método de máxima probabilidad/ maximum Likelihood, este método considera que los niveles digitales ND se ajustan a una distribución normal, acerca de la clase de la superficie terrestre a la que pertenece cualquier pixel, se seleccionó con una probabilidad de 0.3

A continuación se muestra la imagen de clasificación supervisada para la imagen Landsat 5 del año 1998 del cantón el Empalme, en la cual se evidencia seis categorías clasificadas identificando el cuerpo de agua color azul, zona urbana color violeta, plantaciones color verde, bosques color rojo cultivos perennes color celeste y otros cultivos color café (Ver Figura 22).

Mapa de clasificación supervisada del uso del suelo del cantón el Empalme de la imagen Landsat 5 del año 1998

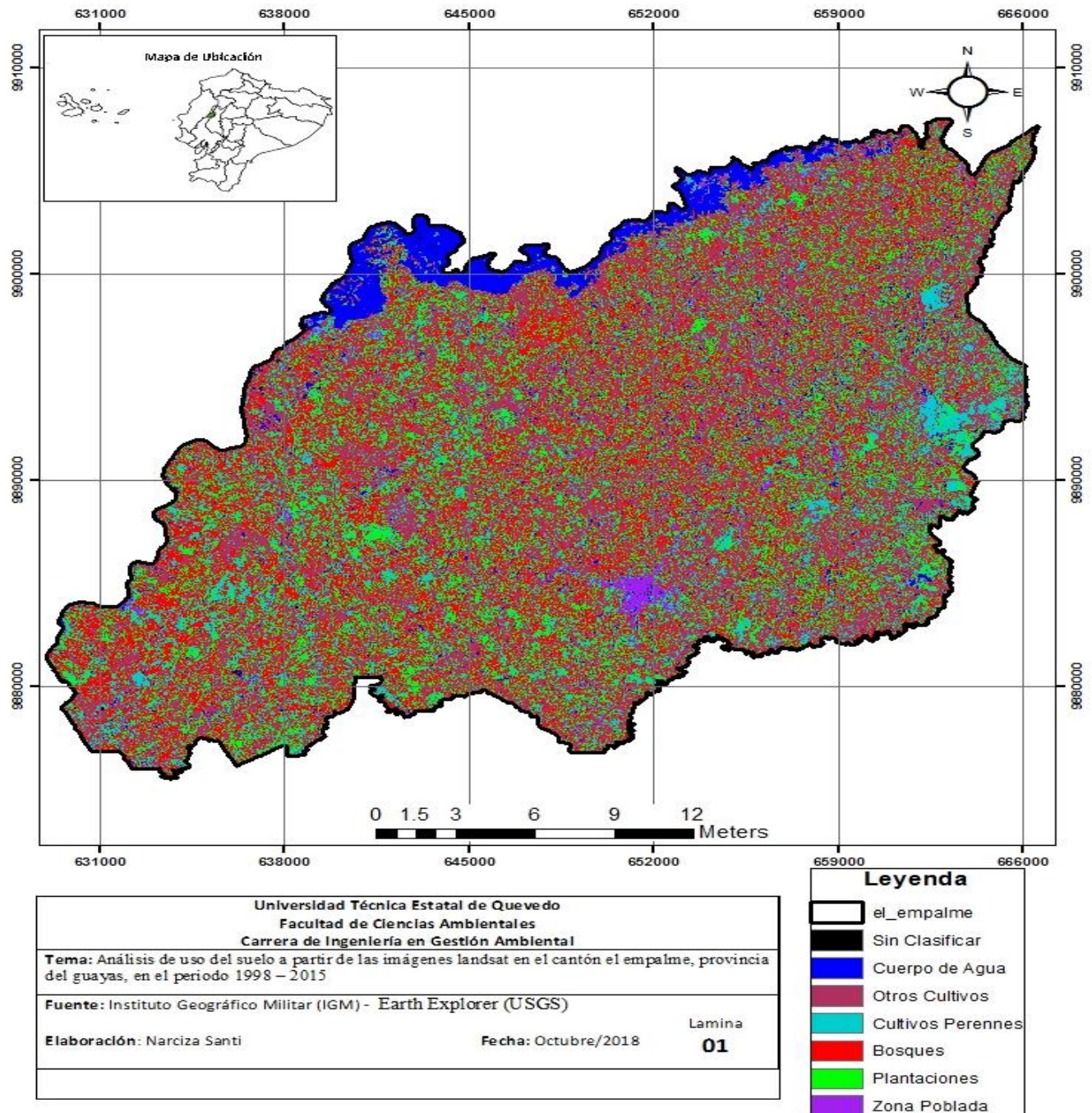


Figura 22: Mapa de clasificación supervisada del uso del suelo del cantón el Empalme obtenida a partir de la imagen Landsat 5 TM del año 1998

Fuente: Elaboración Propia

La clasificación supervisada para la imágenes Landsat 8 del año 2015 del cantón el Empalme, muestra las 6 categorías de clasificación el cuerpo de agua en color azul, zona urbana color violeta, plantaciones color verde, bosques color rojo cultivos perennes color celeste y la clase de otros cultivos, se evidencia que en el área del cultivo perennes la clase de otros cultivos y el área de cuerpo de agua han aumentado más que la del año 1998 mientras que las plantaciones adjunto con los bosques para el año 2015 se han reducido severamente (Ver Figura 23).

Luego de adquirir las imágenes clasificadas se crearon 60 puntos al azar para la imagen Landsat 8 del año 2015 con una distancia mínima de 43 metros, el objetivo de estos puntos al azar es para realizar la respectiva validación, junto con la imagen de clasificación supervisada del uso del suelo del cantón el Empalme del año 2015, los puntos al azar se evidencia de color verde en el mapa de clasificación del uso de suelo. Para la validación solo se utilizó una imagen por el motivo que la imagen del año 1998 no existen imágenes históricas en Google Earth y no se puede realizar la respectiva comparación.

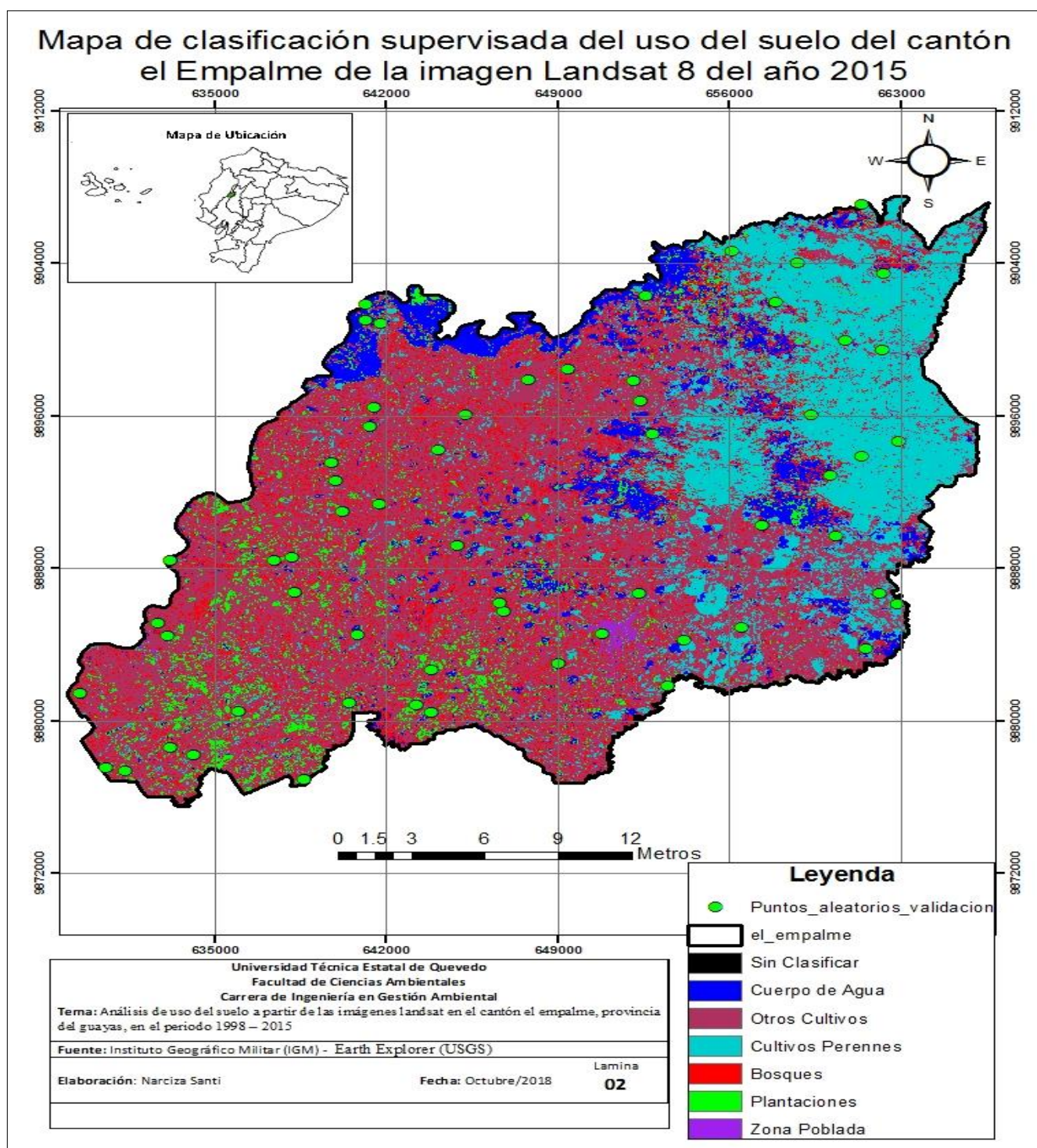


Figura 23: Mapa de clasificación supervisada del uso del suelo del cantón el Empalme obtenida a partir de la imagen Landsat 8 OLI/TIRS del año 2015
Fuente: Elaboración Propia

La imagen 24 muestra el mapa de uso de suelo del año 2015, en la que fue obtenida del sistema nacional de información (SNI) describe las categorías de uso de suelo, la cual se realizó la comparación con la imagen satelital Landsat 8 del año 2015, para determinar si las categorías que de clasificación supervisada coincide con el mapa temático de uso del suelo, en la que se definió que la categorías establecidas tienen coincidencia con el mapa temático de referencia como la clase de cultivos permanente del mapa temático, que son considerados como cultivos perennes de palma, banano y cacao en la imagen clasificada se ajusta con la categoría, y otros cultivos en la cual son considerados el cultivo de maíz en el mapa temático etc.,

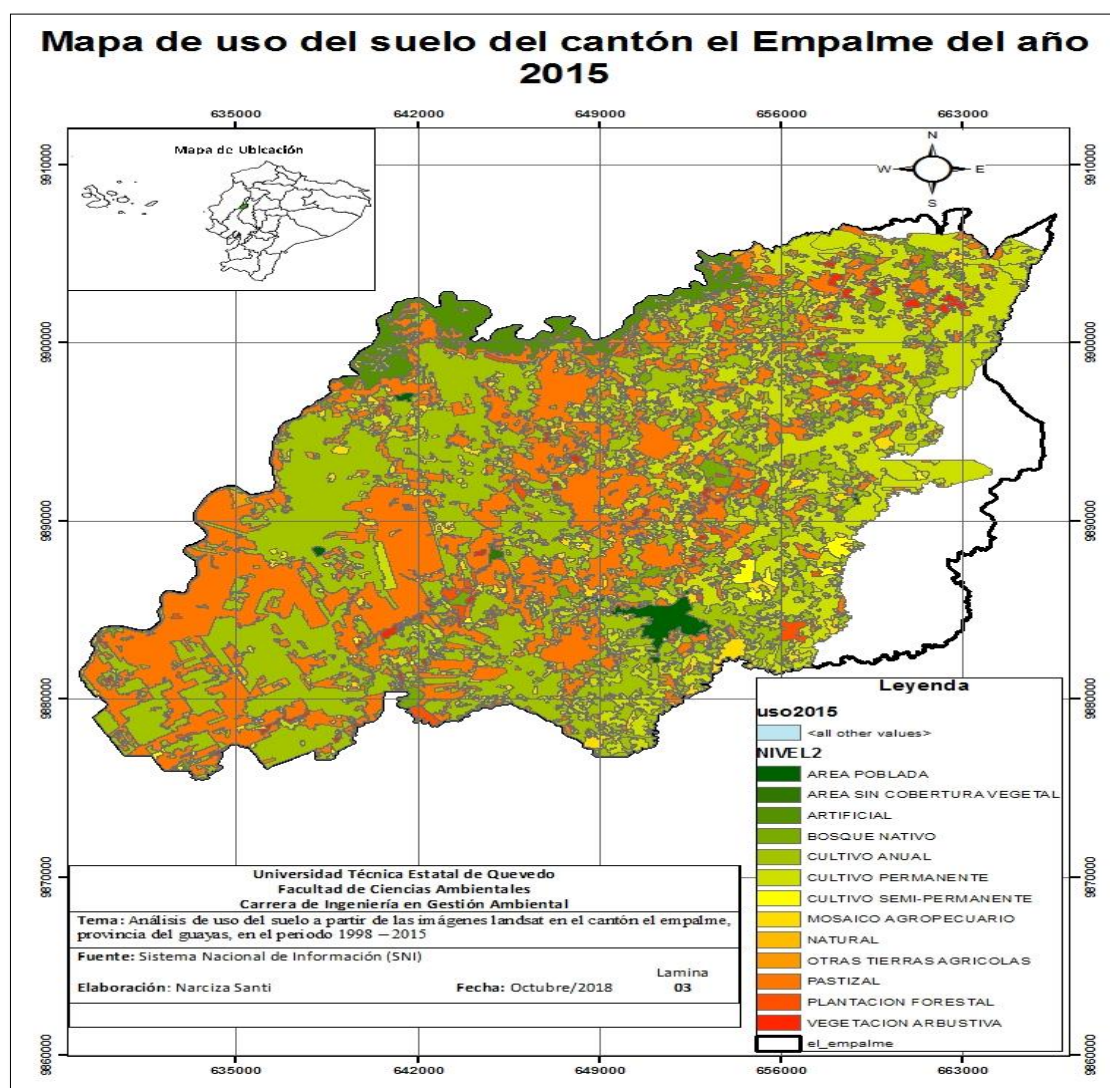


Figura 24: Mapa de uso del suelo del cantón el Empalme del año 2015
Fuente: Elaboración Propia

4.6. Análisis de Resultados

4.6.1. Validación de Puntos

Para la validación de la clasificación, se extrajo los valores a los puntos, esto significa que con el comando de Extract Values to Points se crea una fila de las clases que están en la imagen clasificadas de Landsat 8 OLI/TIRS del 2015, en la que también se creó otra columna con el nombre de coberturas mostrando los nombres de cada clase, dentro de los 60 puntos al azar se le agrego las coordenadas geográficas X, Y para después validar los puntos con Google Earth en la cual se comprobó que todas las clases especificando con un sí, coincide con Google Earth y con un no las clases que no coincida y describiendo que cultivo se visualizó (Ver Tabla 5). Las columnas marcadas en celeste también se comprobaron con Google Earth pero muestra una clase sin vegetación y esta categoría no se agregó para la clasificación de la imagen y por tal motivo no se las tomo en cuenta para la matriz de confusión, y además estas imágenes reflejadas de Google Earth son hace años atrás y la imagen que se comparo fue la del año 2015.

Tabla 5: Validación de puntos

CID	RASTER VALU	COBERTURA	X	Y	PUNTOS	GOOGLE EARTH	DESCRIPCION
0	2	Otros cultivos	646762.2	9885742.0	0	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	644908.8	9889169.9	1	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	649378.8	9898452.4	2	NO	Sin vegetación
0	2	Otros cultivos	640493.3	9880909.7	3	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	632688.4	9885112.2	4	NO	Sin vegetación
0	2	Otros cultivos	657301.5	9890220.8	5	SI	Otros cultivos
0	3	Cultivos perennes	662851.8	9886112.9	6	SI	Cultivos perennes
0	4	Bosque	639740.3	9893514.3	7	SI	Bosque
0	2	Otros cultivos	652371.9	9896786.9	8	NO	Sin vegetación
0	2	Otros cultivos	641718.0	9891340.3	9	SI	Otros cultivos
0	3	Cultivos perennes	657865.6	9901964.8	10	NO	Otros cultivos
0	3	Cultivos perennes	662883.5	9894655.1	11	SI	Cultivos perennes
0	2	Otros cultivos	633189.5	9878571.2	12	NO	Sin vegetación
0	3	Cultivos perennes	656111.3	9904598.0	13	SI	Cultivos perennes
0	2	Otros cultivos	643833.0	9882676.8	14	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	641482.8	9896439.7	15	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	639949.6	9892584.2	16	SI	Otros cultivos
0	6	Urbano	638153.3	9888591.5	17	SI	Urbano
0	2	Otros cultivos	648994.5	9882972.6	18	SI	Otros cultivos
0	1	Cuerpo de agua	641126.8	9901007.2	19	SI	Cuerpo de agua

0	3	Cultivos perennes	661527.1	9883755.9	20	NO	Bosque
0	3	Cultivos perennes	662088.0	9886657.7	21	SI	Cultivos perennes
0	2	Otros cultivos	643200.6	9880824.4	22	SI	Otros cultivos
0	3	Cultivos perennes	644129.5	9894178.0	23	NO	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	640841.3	9884506.8	24	SI	Otros cultivos
0	3	Cultivos perennes	662247.0	9899416.3	25	SI	Cultivos perennes
0	2	Otros cultivos	641308.5	9895424.5	26	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	662261.6	9903447.6	27	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	633193.7	9888401.9	28	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	653481.0	9881823.0	29	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	643799.4	9880415.8	30	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	638272.8	9886725.1	31	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	633067.5	9884453.1	32	SI	Otros cultivos
0	3	Cultivos perennes	660344.9	9889662.9	33	NO	Bosque
0	3	Cultivos perennes	661397.8	9907058.9	34	NO	Cultivos perennes
0	4	Bosque	630558.8	9877539.9	35	NO	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	660083.9	9892846.4	36	SI	Otros cultivos
0	1	Cuerpo de agua	641134.6	9901863.3	37	SI	Cuerpo de agua
0	1	Cuerpo de agua	652882.5	9895060.1	38	SI	Cuerpo de agua
0	3	Cultivos perennes	658776.3	9903991.3	39	NO	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	647781.1	9897887.2	40	NO	Sin vegetación
0	4	Bosque	645236.3	9896052.1	41	SI	Bosque
0	4	Bosque	640199.8	9890989.5	42	SI	Bosque
0	2	Otros cultivos	652077.9	9897848.1	43	NO	Sin vegetación
0	3	Cultivos perennes	659339.9	9896029.4	44	NO	Bosque
0	2	Otros cultivos	650787.2	9884540.0	45	SI	Otros cultivos
0	1	Cuerpo de agua	652578.2	9902270.0	46	SI	Cuerpo de agua
0	2	Otros cultivos	637432.5	9888387.5	47	SI	Otros cultivos
0	2	Otros cultivos	652287.5	9886701.7	48	SI	Otros cultivos
0	5	Plantaciones	638620.1	9876919.6	49	SI	Plantaciones
0	2	Otros cultivos	641751.9	9900824.7	50	NO	Sin vegetación
0	2	Otros cultivos	634133.4	9878198.2	51	NO	Bosque
0	2	Otros cultivos	631313.7	9877373.9	52	SI	Otros cultivos
0	3	Cultivos perennes	656475.6	9884881.1	53	SI	Cultivos perennes
0	3	Cultivos perennes	661369.8	9893861.5	54	NO	Plantaciones
0	2	Otros cultivos	646591.4	9886163.3	55	SI	Otros cultivos
0	4	Bosque	635951.0	9880473.3	56	NO	Sin vegetación
0	3	Cultivos perennes	660715.1	9899923.5	57	NO	Sin vegetación
0	4	Bosque	629518.1	9881447.8	58	SI	Bosque
0	2	Otros cultivos	654125.7	9884232.7	59	SI	Otros cultivos

Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Evaluación de la Clasificación

4.6.2.1. Matriz de confusión

Después de la validación de la clasificación con la imagen Landsat 8 del 2015 se efectuó a realizar la matriz de confusión con los puntos de muestreo que se crearon aleatoriamente, junto con las clases de la clasificación supervisada del año 2015, en la tabla se tomaron en cuenta todas las clases de la clasificación de imagen, la que también describe los puntos con lo que se ejecutó la matriz de confusión, visualizando las comparaciones que se realizaron con la imagen clasificada y Google Earth (Ver Tabla 6).

Tabla 6: Comparación de la imagen clasificada del año 2015 con Google Earth

PUNTOS	COBERTURA	GOOGLE EARTH	DESCRIPCION
7	Bosque	SI	Bosque
35	Bosque	NO	Otros cultivos
41	Bosque	SI	Bosque
42	Bosque	SI	Bosque
58	Bosque	SI	Bosque
19	Cuerpo de agua	SI	Cuerpo de agua
37	Cuerpo de agua	SI	Cuerpo de agua
38	Cuerpo de agua	SI	Cuerpo de agua
46	Cuerpo de agua	SI	Cuerpo de agua
0	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
1	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
3	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
5	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
9	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
14	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
15	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
16	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
18	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
22	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
24	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
26	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
27	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
28	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
29	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
30	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
31	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
32	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
36	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
45	Otros cultivos	SI	Otros cultivos

47	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
48	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
51	Otros cultivos	NO	Bosque
52	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
55	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
59	Otros cultivos	SI	Otros cultivos
6	Cultivos perennes	SI	Cultivos perennes
10	Cultivos perennes	NO	Otros cultivos
11	Cultivos perennes	SI	Cultivos perennes
13	Cultivos perennes	SI	Cultivos perennes
20	Cultivos perennes	NO	Bosque
21	Cultivos perennes	SI	Cultivos perennes
23	Cultivos perennes	NO	Otros cultivos
25	Cultivos perennes	SI	Cultivos perennes
33	Cultivos perennes	NO	Bosque
34	Cultivos perennes	SI	Cultivos perennes
39	Cultivos perennes	NO	Otros cultivos
53	Cultivos perennes	SI	Cultivos perennes
54	Cultivos perennes	NO	Plantaciones
49	Plantaciones	SI	Plantaciones
17	Urbano	SI	Urbano

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la matriz de confusión, para la elaboración de la matriz se escogió solo del año 2015 ya que es la imagen más actual en la que se pudo comprobar las clases de entrenamiento con la fase de campo. Se seleccionaron los 50 puntos al azar para la matriz ya que los 10 puntos restantes no se tomaron en cuenta por el caso de que se evidenciaba suelo vacío y del año 2011 y por ese motivo no permitió comparar con los puntos al azar creado de la imagen clasificada del año 2015. En la matriz de doble entrada representa las categorías de la imagen clasificada comparadas con Google Earth como resultado se obtuvo que la mayoría de las categorías coincide con la comparación mostrando con una precisión general de 84.00 % también arrojando los valores de los errores de omisión y comisión que existen en cada una de las clases, la metodología utilizada es adecuada para determinar la vegetación de uso de suelo (Ver Tabla 7).

Tabla 7: Matriz de confusión para la clasificación del año 2015

MATRIZ DE CONFUSION							
Clasificación	Bosque	Cuerpo de agua	Otros cultivos	Cultivos perennes	Plantaciones	Urbano	TOTAL
Bosque	4	0	1	0	0	0	5
Cuerpo de agua	0	4	0	0	0	0	4
Otros cultivos	1	0	25	0	0	0	26
Cultivos perennes	2	0	3	7	1	0	13
Plantaciones	0	0	0	0	1	0	1
Urbano	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL	7	4	29	7	2	1	50
Acuerdo	57.14%	100%	86.21%	100%	50%	100%	
Exactitud							
Error de Omisión							
Error de Comisión							
Precisión General	84.00%						

Fuente: Elaboración propia

4.6.2.2. Coeficiente Kappa

Para la imagen clasificada del 2015 se obtuvo un coeficiente de Kappa 75.02% en lo que determina que es un valor aceptable, este parámetro fue calculado a base de la matriz de confusión (Ver Figura 25).

COEFICIENTE KAPPA				
$K =$	$\frac{50(42) - 899}{50^2 - 899} =$	$\frac{2100 - 899}{2500 - 899} =$	$\frac{1201}{1601} =$	75.02%

Figura 25: Calculo del Coeficiente Kappa para la imagen clasificada Landsat 8 del 2015

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al tercer objetivo, Análisis de los resultados obtenidos de los índices espectrales en relación con los cambios de uso de suelo dentro del periodo considerado, se obtuvo como resultado lo siguiente:

4.7. Análisis estadístico del coeficiente de variación de un factor (ANOVA)

Antes de realizar el análisis estadístico ANOVA primeramente se extrajo los valores de cada índice calculado SAVI, NDVI, NDMI para las imágenes Landsat 5 de 1998 y Landsat 8 del 2015, en lo cual se obtuvieron como resultado los valores para cada uno de los puntos de validación. El objetivo del análisis estadístico (ANOVA) es comparar los valores medios obtenidos a través de los índices espectrales para determinar si alguno de esos índices difiere significativamente del resto de índice (Ver Tabla 8).

Tabla 8: Valores de los índices espectrales para Landsat 8 y Landsat 5

PUNTOS	SAVI_L8	SAVI_L5	NDVI_L8	NDVI_L5	NDMI_L8	NDMI_L5
0	0.815	0.976	0.543	0.651	-0.010	0.085
1	0.759	1.008	0.506	0.672	0.000	0.114
2	0.838	1.109	0.559	0.740	0.071	0.214
3	1.107	1.157	0.738	0.771	0.202	0.262
4	0.856	0.961	0.570	0.641	0.023	0.107
5	1.161	1.168	0.774	0.779	0.292	0.269
6	1.202	1.028	0.801	0.685	0.359	0.159
7	0.666	1.116	0.444	0.744	0.118	0.193
8	0.923	0.985	0.615	0.657	0.047	0.067
9	0.829	1.151	0.553	0.767	0.056	0.268
10	0.440	1.043	0.293	0.696	0.105	0.162
11	0.668	1.109	0.445	0.739	0.213	0.187
12	0.899	1.023	0.599	0.682	0.041	0.127
13	0.439	1.124	0.293	0.750	0.111	0.318
14	0.984	1.057	0.656	0.705	0.136	0.151
15	0.898	0.767	0.599	0.512	0.065	-0.110
16	1.005	0.977	0.670	0.652	0.205	0.059
17	0.568	0.896	0.379	0.598	-0.024	0.051
18	0.839	1.012	0.559	0.675	0.008	0.084
19	0.216	0.305	0.144	0.204	0.236	0.192
20	1.263	1.191	0.842	0.794	0.344	0.341

21	1.144	1.159	0.763	0.773	0.308	0.238
22	0.785	0.761	0.524	0.508	-0.002	-0.014
23	1.013	1.098	0.676	0.732	0.353	0.230
24	1.094	1.048	0.730	0.698	0.257	0.213
25	0.816	1.134	0.544	0.756	0.246	0.263
26	1.150	1.090	0.767	0.727	0.266	0.242
27	0.948	1.140	0.632	0.760	0.252	0.278
28	1.240	1.185	0.827	0.790	0.264	0.288
29	1.108	1.050	0.739	0.700	0.244	0.141
30	1.122	1.017	0.748	0.678	0.204	0.101
31	1.034	1.148	0.690	0.765	0.218	0.236
32	1.127	1.114	0.752	0.743	0.232	0.235
33	1.265	1.202	0.843	0.801	0.346	0.260
34	0.527	1.163	0.351	0.776	0.143	0.306
35	1.046	1.146	0.698	0.764	0.120	0.265
36	0.695	1.167	0.463	0.778	0.150	0.256
37	0.042	0.308	0.028	0.206	0.169	0.353
38	1.058	1.113	0.705	0.742	0.334	0.238
39	0.492	0.894	0.328	0.596	0.124	0.108
40	1.030	1.065	0.687	0.710	0.232	0.201
41	0.967	1.118	0.645	0.745	0.149	0.250
42	0.935	1.136	0.624	0.758	0.126	0.234
43	1.097	0.973	0.732	0.648	0.202	0.155
44	0.742	1.111	0.495	0.740	0.241	0.223
45	0.765	0.930	0.510	0.620	0.073	0.150
46	0.954	0.978	0.636	0.652	0.240	0.125
47	1.070	1.190	0.714	0.794	0.211	0.269
48	0.712	1.109	0.475	0.739	-0.008	0.249
49	0.621	0.716	0.414	0.477	-0.027	-0.038
50	1.020	1.046	0.680	0.697	0.167	0.194
51	1.176	1.149	0.784	0.766	0.260	0.334
52	0.871	1.042	0.580	0.695	-0.001	0.135
53	1.236	1.126	0.824	0.751	0.344	0.201
54	0.388	1.158	0.258	0.772	0.117	0.272
55	1.095	1.106	0.730	0.738	0.203	0.199
56	1.048	1.056	0.699	0.704	0.162	0.147
57	0.411	1.159	0.274	0.773	0.081	0.293
58	1.053	0.978	0.702	0.652	0.171	0.102
59	0.975	1.167	0.650	0.778	0.091	0.269

Fuente: Elaboración propia

4.7.1. Coeficiente de variación de un factor (ANOVA) Índice de Vegetación ajustado con el suelo SAVI

En la figura 26 del índice de vegetación ajustado con el suelo, muestra que cuando el valor de $F = 13.65$ es mayor que el valor crítico, se determina las diferencias que se observa entre los valores medio de SAVI si existen diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de distribución.

Análisis de varianza de un factor		INDICE SAVI				
RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Columna 1	60	53.2497378	0.88749563	0.07246239		
Columna 2	60	62.413882	1.04023137	0.03007121		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0.69984616	1	0.69984616	13.6510597	0.00033508	3.92147818
Dentro de los grupos	6.04948247	118	0.0512668			
Total	6.74932863	119				

Figura 26: Coeficiente de variación de un factor del índice SAVI

Fuente: Elaboración Propia

4.7.2. Coeficiente de variación de un factor (ANOVA) Índice de vegetación normalizada NDVI

En la figura 27 del índice de vegetación normalizada, muestra que cuando el valor de $F = 13.65$ es mayor que el valor crítico, se determina las diferencias que se observa entre los valores medios de NDVI si existen diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de distribución.

Análisis de varianza de un factor		INDICE NDVI				
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	60	35.5047795	0.59174633	0.0322136		
Columna 2	60	41.615732	0.69359553	0.01336439		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.31119784	1	0.31119784	13.6556186	0.000334348	3.92147818
Dentro de los grupos	2.68910152	118	0.022789			
Total	3.00029936	119				

Figura 27: Coeficiente de variación de un factor del índice NDVI

Fuente: Elaboración Propia

4.7.3. Coeficiente de variación de un factor (ANOVA) Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad NDMI

En la figura 28 del índice normalizada de la diferencia de humedad, muestra que cuando el valor de $F = 2.17$ es menor que el valor crítico, se determina no hay diferencias que se observa entre los valores medios de NDMI no existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de distribución, por lo tanto se determina que todos los grupo son iguales y no difieren entre sí.

Análisis de varianza de un factor			INDICE NDMI			
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Columna 1	60	9.86140263	0.164356711	0.01174618		
Columna 2	60	11.5014004	0.191690007	0.00888383		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.02241327	1	0.022413272	2.17288038	0.143125792	3.92147818
Dentro de los g	1.21717061	118	0.010315005			
Total	1.23958388	119				

Figura 28: Coeficiente de variación de un factor del índice NDMI

Fuente: Elaboración Propia

4.8. Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo el año de 1998 y 2015

En la tabla 9, describe los valores en porcentajes de los cambios de uso de suelo que han ocurrido en el periodo de 1998 del cantón el Empalme, lo cual se evidencia con el gráfico de pastel los valores arrojados en % en la que en mayor porcentaje es del 39.63% que cambió a la clase de otros cultivos.

Tabla 9: Clases de uso de suelo en % del año 1998

CLASES	%
Unclassified	0.19
Cuerpo de Agua	5.47
Otros Cultivos	39.63
Cultivos Perennes	11.87
Bosque	21.47
Plantaciones	20.10
Zona Urbana	1.27

Fuente: Elaboración propia

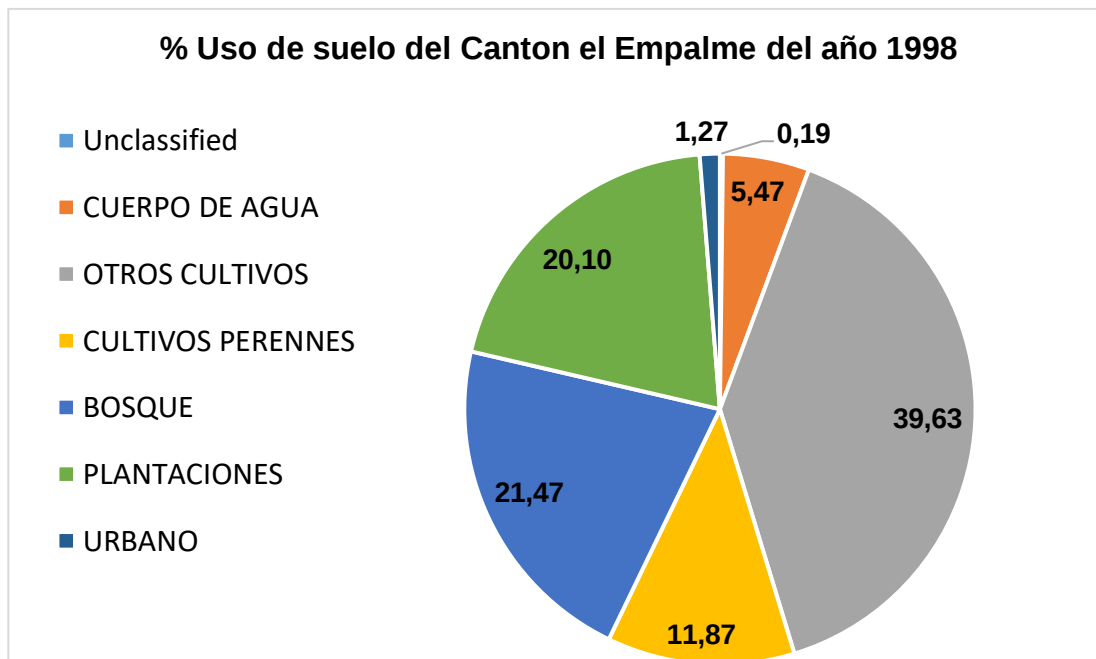


Gráfico 1: Porcentaje de usos de suelo del cantón el Empalme del año 1998

En la tabla 10, se describe los valores en porcentajes de los cambios de uso de suelo del año 2015, lo cual se muestra en el gráfico de pastel, visualizando que el porcentaje mayor de 49.27 % ha cambiado a la clase de otros cultivos, considerando que pueden ser cultivo de cacao, o entre otros cultivos, así se determina que para el año 2015 existieron cambios rígidos, expandiéndose el uso de suelo para otros cultivos agrícolas.

Tabla 10: Clases de uso de suelo en % del año 2015

CLASES	%
Unclassified	0.04
Cuerpo de Agua	8.58
Otros Cultivos	49.27
Cultivos Perennes	22.92
Bosque	13.17
Plantaciones	5.44
Zona Urbana	0.57

Fuente: Elaboración propia

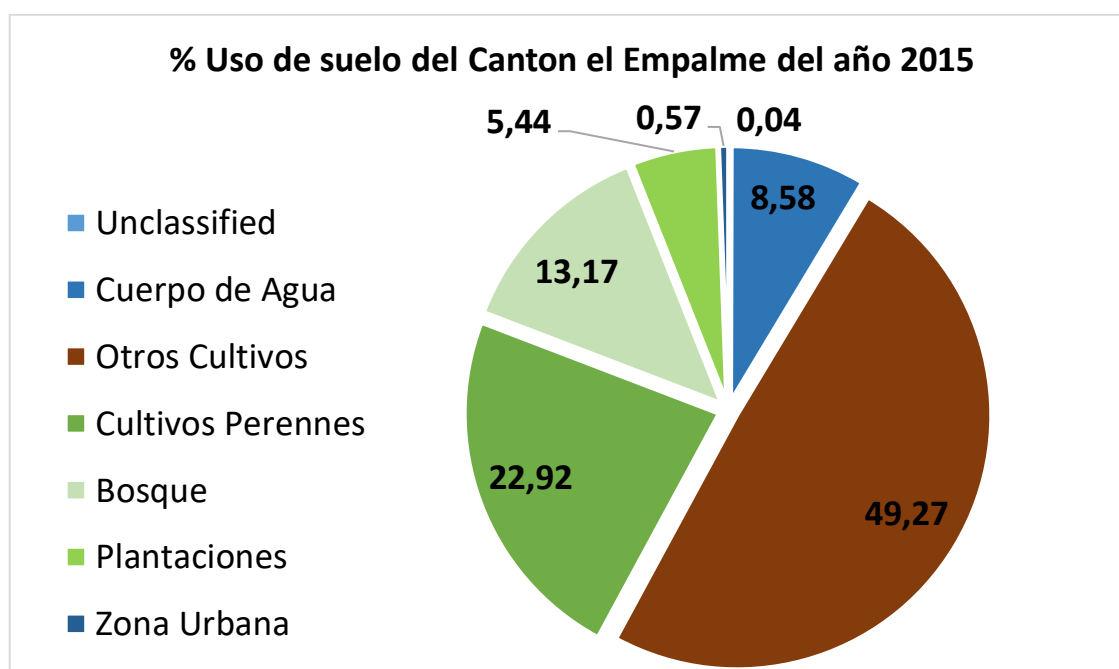


Grafico 2: Porcentaje de usos de suelo del cantón el Empalme del año 2015

En la tabla 11, describe los valores en Área (km²) detallando las clases de cambios de usos que infirieron en otras categorías respecto al año de 1998 y 2015.

Tabla 11: Clases de uso de suelo en km2 del año 1998 y 2015

FINAL 2015 L8OLI	Área (Square Km)	INICIAL 1998 L5TM						
	CLASES	Cuerpo de Agua	Otros Cultivos	Cultivos Perennes	Bosque	Plantaciones	Urbano	Unclassified
	Unclassified	0.62	0.1	0.07	0.05	0.05	0.01	0.1
	Cuerpo de Agua	85.59	25.69	9.26	11.53	12.08	0.89	1.62
	Otros Cultivos	16.61	226.47	78.15	129.22	114.02	10.21	0.44
	Cultivos Perennes	23.3	112.64	42.74	29.84	44.72	2.71	0.14
	Bosque	10.34	57.4	18.93	36.24	30.74	2.43	0.12
	Plantaciones	9.52	15.59	9.41	15.17	11.07	1.2	0.31
	Urbano	0.72	0.96	0.96	0.54	0.58	2.12	0.06
	Class Total	146.7	438.84	159.51	222.59	213.27	19.55	2.8
	Class Changes	61.11	212.37	116.77	186.34	202.2	17.44	2.7

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla, muestra los valores en porcentajes, de las clases que han cambiado a otras categorías, definiendo que el 94,81% considerado como plantaciones, ha diferido a cualquiera de los grupos de distribución de uso de suelo, en lo que se determina que las clases de bosque, plantaciones han reducido para expandirse en otras clases de cultivos agrícolas dentro del periodo establecido, de tal estos valores se divisan en el gráfico de barras.

Tabla 12: Porcentaje de clases de cambios de uso a otras categorías

% CLASES DE CAMBIO	Cuerpo de Agua	Otros Cultivos	Cultivos Perennes	Bosque	Plantaciones	Zona Urbana	Unclassified
	41.66	48.39	73.21	83.72	94.81	89.18	96.33

Fuente: Elaboración propia

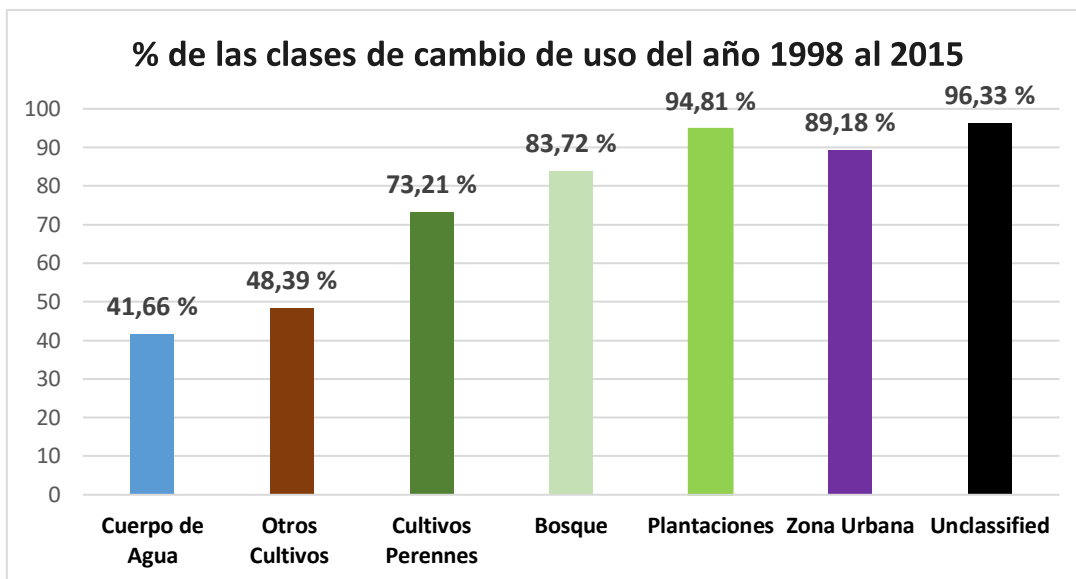


Grafico 3: Porcentaje de los cambios de uso del año de 1998 y 2015

4.9. Discusión

Dentro del análisis multitemporal realizado para el Cantón el Empalme Provincia del Guayas, utilizando las imágenes Landsat 5 y Landsat 8, se identificaron las áreas de diferentes clases de uso de suelo que han sufrido cambios dentro del periodo de 1998 y 2015, se mostró del periodo de estudio han incrementado las áreas de uso de tierras para uso de cultivos agrícolas. López (2015) indica que los principales procesos de cambio originados por la actividad humana son el cambio de uso del suelo de bosque a pastizales, el de pastizal a agricultura de riego o a agricultura de temporal, donde se tiene una ganancia de zona agrícola (42). Según Ramos (2004) que los cambios esperados en las propiedades de un determinado paisaje pueden resumirse por una serie de probabilidades de las transiciones de un estado a otro sobre una determinada unidad de tiempo, por lo que los resultados obtenidos en los cambios del suelo reflejan ganancias y pérdidas en cada una de los usos clasificados anteriormente (43).

En el análisis multitemporal de la cobertura del suelo del cantón El Empalme, del periodo 1998 y 2015, fueron determinados en valores de porcentajes, áreas (km²) de las clases de uso de suelo, la cual se realizó con la imagen de la clasificación supervisada, ciertas categorías fueron sustituidas por otras clases de uso de suelo, a esa características es la que se denomina cambio de los usos de cobertura, los porcentajes que se obtuvo como resultado se determinó que desde el año 1998 ciertas categorías fueron cambiadas para estar en otros grupos de distribución, dentro de los gráficos se mostró el porcentaje de cambio que ha ocurrido en el año 1998, considerando que el 39.63 % paso a la clase de otros cultivos agrícolas, el 21.47 % establecido para ese año a la clase de bosques, y con un 20.10 % manteniéndose en la clase de plantaciones forestales, pero para el año 2015 se determina que las categorías de bosques y plantaciones, redujeron con un 13.17 % y 5.44 % así se establece que aumento los porcentajes para suelos agrícolas como la clase de otros cultivos con el 49.27 % y los cultivos perennes con 22.92%, estos cambios han ocurrido gracias a la expansión de tierras agrícolas, mediante los resultados del análisis multitemporal, se puede observar que para el año 2015 ha incrementado las clases de uso para cultivos agrícolas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Para la evaluación de los índices espectrales derivados de las imágenes Landsat 5 y Landsat 8 se trabajaron con los índices el NDVI, SAVI, NDMI, en la que se determinó el cálculo de los tres índices espectrales con el propósito de mejorar la discriminación de las cubiertas del uso del suelo, de las dos imágenes Landsat, y así se diferenciaron los tipos de cobertura del suelo, en las que se obtuvo como resultado mapas de distribución de los índices calculados generados a partir de las imágenes satelitales.
- La identificación de la distribución de los tipos de coberturas se la realizó mediante la clasificación supervisada de las imágenes satelitales, determinando varias clases de entrenamiento, las cuales se validaron junto con la ayuda Google Earth y comprobando la similitud de las categorías seleccionadas, de tal manera se obtuvo como resultado la matriz de confusión en la que determino un coeficiente de Kappa de 75,02 % y es considerado como un valor aceptable, al final del proceso se obtuvo los mapas de la clasificación de uso del suelo periodo 1998 y 2015 del cantón el Empalme.
- El análisis estadístico del coeficiente de varianza de un factor (ANOVA), comprobó que el índice NDVI y el SAVI si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de distribuciones en 1998 y 2015, mientras que el índice NDMI mostro que no existe diferencia estadísticamente significativa.
- En el análisis multitemporal se determinó los cambios de uso de suelo que ha ocurrido dentro del periodo establecido, evidenciando que la clase de otros cultivos en el 2015 ha expandido considerablemente, mientras que el área de bosque se ha reducido en un porcentaje elevado en el año 2015 comparado con 1998, los cambios que se observan claramente en los mapas temáticos de los cambios de uso de suelo del cantón el empalme.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que deben realizar más estudios para el análisis multitemporal del uso del suelo, a través de la teledetección, ya que sirve como gran ayuda para monitorear las áreas e identificar los cambios positivos y negativos que ha ocurrido en transcurso del tiempo, en lo que llevara a la implementación de planes de manejo ambiental más efectivos para las áreas de estudio.
- Utilizar imágenes que tengan mayor resolución para detectar con más facilidad las áreas de entrenamientos, y utilizar otras herramientas modernas con las que se pueda detectar con más rapidez los cambios efectuados en el trabajo.
- Los GADs municipales deben, ejecutar proyectos de análisis multitemporal y los planes de manejo sostenible, para que los cantones puedan aplicar de manera correcta un ordenamiento territorial que beneficien a la población y genere impactos positivos para el medio ambiente.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

1. Medina B. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA EN EL CANTÓN GUALAQUIZA, 1987 – 2015. [Online].; 2015 [cited 2018 Mayo 26. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7166/1/T-UCE-0004-33.pdf>.
2. Hernandez O. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DEL MUNICIPIO DEL DISTRITO CENTRAL AÑOS 1987 Y 2006. [Online].; 2012 [cited 2018 Mayo 26. Available from: http://faces.unah.edu.hn/mogt/images/stories/PDF/Tesis/13_Tesis_Olga_Hernandez_2012.pdf.
3. Perez M. APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN Y SIG EN LA CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA. [Online].; 2011 [cited 2018 10 29. Available from: https://eprints.ucm.es/13964/2/TFM_Maria_Perez.pdf.
4. Gonzaga C. “Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador”. [Online].; 2014 [cited 2018 Mayo 26. Available from: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1.
5. Sistema de Informacion Nacional. Senplades. [Online].; 2010 [cited 2018 Junio 17. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni/images/stories/boletines/boletin_febrero/sni%2001.pdf.
6. Gerrand A. FRA departamento Forestal de la FAO. [Online].; 2011 [cited 2018 Mayo 26. Available from: <http://www.fao.org/docrep/015/i2560s/i2560s03.pdf>.
7. Lozano L. UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE USO Y MANEJO DE COBERTURA VEGETAL. [Online].; 2015 [cited 2018 Mayo 28. Available from: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/96/1/LOZANO%20LUCAS%20HUGO%20DIMAS.pdf>.
8. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. POT. [Online].; 2015 [cited 2018 06 15. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0968519280001_PDyOT%20EL%20EMPALME2015-2024_16-03-2015_18-15-52.pdf.

9. Miranda L. Monitoreo de la deforestación mediante técnicas geomáticas. [Online].; 2013 [cited 2018 Mayo 26. Available from: <http://eprints.uanl.mx/3577/1/1080240823.pdf>.
10. Lopez G. Patrones de cambio de uso del terreno en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Tesis para obtener el grado de doctorado en ciencias. [Online].; 2006 [cited 2018 06 14.
11. Meyer W, Turner B. Change in Land Use and Cover: a global perspective. [Online].; 1994 [cited 2018 06 14.
12. Boco G. Naturaleza y Sociedad. Escala de espacio y tiempo, Ciencias. [Online].; 2001 [cited 2018 06 14.
13. Organización de las Naciones Unidas. ONU. [Online].; 2016 [cited 2018 09 25. Available from: <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>.
14. Pesantez P. TÍTULO:“CLASIFICACIÓN Y PREDICCIÓN DE CAMBIO DE COBERTURA DE SUELO DE LA CUENCA DEL RIO PAUTE UTILIZANDO HERRAMIENTAS GEOINFORMÁTICAS”. [Online].; 2015 [cited 2018 Mayo 28. Available from: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21445>.
15. Efraín D, Patricio E, Fabian M, Omar O, Santiago L. El Programa Gestión del paisaje y de los recursos para aumentar las reservas de carbono en Centroamérica. [Online].; 2015 [cited 2018 09 25. Available from: http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_355965452.pdf.
16. Bravo N. TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL2, ASTER L1T y MODIS. [Online].; 2017 [cited 2018 Agosto 03. Available from: https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf.
17. Chuvieco E. Fundamentos de Teledetección espacial. [Online].; 1995 [cited 2018 08 10. Available from: <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200001110-8750e88486/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>.
18. Centro de Investigaciones Geoespaciales. Programa de Modernización de la Jurisdicción de Tierras. [Online].; 2002 [cited 2018 06 14. Available from: <http://percepcion-remota.intec.edu.do/Material%20de%20apoyo%20sensores%20remotos.pdf>.
19. Almeida A. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES LANDSAT 8, PARA APLICACIONES AGRONÓMICAS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA. [Online].; 2015 [cited 2018 09 28. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6489/3/T-UCE-0004-17.pdf>.

20. Verastegui J. Universidad Autonoma de Nueva Leon. [Online].; 2000 [cited 2018 09 25. Available from: <http://eprints.uanl.mx/5772/1/1020145342.PDF>.
21. Jenni DIC, Muñoz G. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y CAMBIO DE USO DEL SUELO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROGRAMA DE REFORESTACIÓN DE LA FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA. [Online].; 2016 [cited 2018 Mayo 28. Available from: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2807/3/DeLaCruz_Burgos_Jenni_2016.pdf.pdf.
22. Rodriguez O, Harold A. Manual para el manejo y procesamiento de imagenes satelitales obtenidas del sensor remoto modis de la NASA, aplicando estudios de ingenieria civil. [Online].; 2005 [cited 2018 09 29. Available from: <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf>.
23. Barbieri A, Diez P, Macedo G, Minutti G. Captura de datos por Percepción Remota. [Online].; 2018 [cited 2018 10 04. Available from: <https://docplayer.es/93049038-Usgs-y-landsat-barbieri-andrea-diez-pilar-macedo-gonzalo-minutti-guillermo.html>.
24. Garcia PPM, Garcia J, Redondo M, Sanz J, Navarro A. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física Universidad Complutense de Madrid. [Online].; 2014 [cited 2018 08 01. Available from: https://www.researchgate.net/publication/273030011_Sellado_de_suelos_a_partir_de_teledeteccion_y_SIG_estudio_en_el_Tajo_medio-alto.
25. Muñoz P. Centro de Informacion de Recursos Naturales. [Online].; 2013 [cited 2018 09 28. Available from: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%2C%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
26. Centro del Agua del Trópico Húmedo para America Latina y el Caribe (CATHALAC). Revisión General de Clasificación de Imágenes Satelitales. [Online].; 2011 [cited 2018 01 10. Available from: http://www.servir.net/images/imageviewer/PDF/tallerSERVIR_CA_2011/pdf/cathalac_clasificacion_19oct11.pdf.
27. Saltos A. Evaluacion de la degradacion del suelo por el crecimiento de la frontera agropecuaria. [Online].; 2017 [cited 2018 10 01. Available from: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/7929/1/UDLA-EC-TIAM-2017-21.pdf>.
28. Rea N. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFLUENCIA DE LAS FRUTAS, MORA (“ROBUS GLAUCUS BENTH”), FRUTILLA (“FRAGARIA VESCA”) Y TOMATE DE ÁRBOL (“CYPHOMANDRA BETACEA”) QUE SE PRODUCEN EN LAS ZONAS RURALES DEL CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA DE BOLÍVAR, EN

- LA CANTIDAD DESTIL. [Online].; 2014 [cited 2018 Agosto 05. Available from: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3432/1/226T0028.pdf>.
29. Zubcoff J. Introducción a ANOVA. Análisis de la varianza. [Online].; 2007 [cited 2018 10 03. Available from: https://www.researchgate.net/publication/39437660_Introduccion_a_ANOVA_Analisis_de_la_varianza.
 30. Scientia et Technica. MÉTODO ANOVA UTILIZADO PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DENTRO DEL CONTROL DE CALIDAD DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN. Revista Scientia et Technica. 2007 Diciembre; XIII(37).
 31. Atencia V, Contreras J, Vergara D. Estudio Multitemporal de imagenes satelitales con fines de delimitacion del complejo bajo san jorge y diagnosticos de zonas intervenidas antropicamente (agricultura y ganaderia). [Online].; 2008 [cited 2018 09 29. Available from: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/212/2/333.91814A864.pdf>.
 32. Antillon M, Corral G, Alatorre L. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE SUELO EN LOS MÁRGENES DE LA LAGUNA DE BUSTILLOS, CHIHUAHUA: EFECTOS DE LA EXPANSIÓN AGRÍCOLA. [Online].; 2015 [cited 2018 08 10. Available from: <https://elper.org.mx/images/Memorias2015/assets/m005.pdf>.
 33. V R, R S, A H. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropoteniente Nicaragua, 1993 – 2011. [Online].; 2013 [cited 2018 08 10. Available from: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/814/753>.
 34. Calispa M. Identificación de cambios en el periodo 1987- 2002, en la zona centro – norte del Ecuador, utilizando imágenes Landsat. [Online].; 2011 [cited 2018 07 10. Available from: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/265/1/T-SENESCYT-0034.pdf>.
 35. GeoPlaDes CIA.LTDA. THE NATURE CONSERVANCY. [Online].; 2009 [cited 2018 09 25. Available from: <http://191.98.188.189/Fulltext/11620.pdf>.
 36. Carcamo A, Rejas J. Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 - 2011. [Online].; 2015 [cited 2018 10 03. Available from: <https://www.lamjol.info/index.php/CE/article/viewFile/2081/1878>.
 37. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. [Online].; 2013 [cited 19 06 18. Available from: <http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>.
 38. CONAE. Índices Espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 8 Sensor OLI. [Online].; 2016 [cited 2018 09 27. Available from:

<https://catalogos.conae.gov.ar/landsat8/Docs/IndicesEspectralesDerivadosDeLandsat8.pdf>.

39. Department of the Interior U.S. Geological Survey. LANDSAT SURFACE REFLECTANCE-DERIVED SPECTRAL INDICES. [Online].; 2017 [cited 2018 09 30. Available from: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/si_product_guide.pdf.
40. Envi. ENVI User's Guide. [Online].; 2009 [cited 2018 10 10.
41. Pinilla C. UNIVERSIDAD DE JAEN DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA, GEODÉSICA Y FOTOGRAMETRÍA. [Online].; 2006 [cited 2018 10 10. Available from: http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/Prac_Tel_2006_7.pdf.
42. Lopez V, Balderas M, Chavez M, Gutierrez J. Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. CIENCIA ergo-sum. 2015 Julio; 22.
43. Ramos R, David P, Ortiz C. Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. Terra Latinoamericana. 2004 Julio; 22(3).

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1

Fotos tomando las coordenadas geográficas de las clases de cultivo que se utilizo



Foto 1: Punto geográfico del área de Banano



Foto 2: Punto geográfico del área de Cultivos perennes



Foto 3: Punto geográfico del área de Maíz



Foto 4: Punto geográfico del área de Cacao



Foto 5: Punto geográfico del área de Plantaciones



Foto 6: Punto geográfico del área de cuerpo de agua