



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS

NATURALES RENOVABLES

**EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL AUMENTO DE LA
SUPERFICIE DE VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL EMBALSE
DAULE PERIPA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
IMÁGENES ESPECTRALES DE SENSORES REMOTOS**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTORA:

Jéssica Elizabeth López Ortega

DIRECTOR:

Ing. Oscar Rosales, M.Sc.

Ibarra, Julio de 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TÍTULO

**“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL AUMENTO DE LA
SUPERFICIE DE VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL EMBALSE DAULE
PERIPA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE IMÁGENES ESPECTRALES
DE SENSORES REMOTOS”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su
presentación como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Oscar Rosales, M.Sc.

Director

Ing. Mónica León, M.Sc.

Asesora

Ing. Jorge Granja

Asesor

Ing. María José Romero

Asesora

Ibarra – Ecuador

2015

DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de julio de 2015

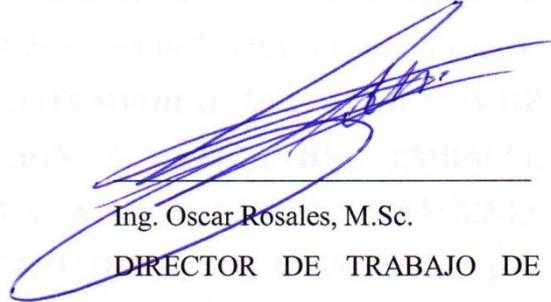
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jéssica Elizabeth López Ortega', written over a horizontal line.

Firma

Jéssica Elizabeth López Ortega

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jéssica Elizabeth López Ortega, bajo mi supervisión.



Ing. Oscar Rosales, M.Sc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE
GRADO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **JÉSSICA ELIZABETH LÓPEZ ORTEGA**, con cédula de identidad Nro. **100244803-1**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL AUMENTO DE LA SUPERFICIE DE VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL EMBALSE DAULE PERIPA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE IMÁGENES ESPECTRALES DE SENSORES REMOTOS”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 15 días del mes de julio de 2015



Firma

Jéssica Elizabeth López Ortega



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	1002448031		
Apellidos y nombres:	López Ortega Jéssica Elizabeth		
Dirección:	Pilanquí, Pasaje Ay J Casa 2 - 06		
Email:	jessy_23lopez@outlook.com		
Teléfono fijo:	062953802	TELÉFONO	0979963811
		MÓVIL:	

DATOS DE LA OBRA	
Título:	EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL AUMENTO DE LA SUPERFICIE DE VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL EMBALSE DAULE PERIPA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE IMÁGENES ESPECTRALES DE SENSORES REMOTOS
Autor:	López Ortega Jéssica Elizabeth
Fecha:	15 de julio del 2015
Solo para trabajos de grado	
Programa:	Pregrado

Título por el que opta:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
Director:	Ing. Oscar Rosales

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, López Ortega Jéssica Elizabeth, con cédula de ciudadanía Nro. **100244803-1**; en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 15 de Julio de 2015.

AUTOR:

López Ortega Jéssica Elizabeth

C.I.: 1002448031

ACEPTACIÓN:

Ing. Betty Chávez

JEFE DE BIBLIOTECA

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico a Jehová Dios quién supo guiar mi camino, darme fuerzas para no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a hacer frente a las adversidades sin perder nunca la dignidad.

A mi familia, especialmente a mis padres Edgar y Guadalupe por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles, y con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño, mi perseverancia, y sobre todo mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Edgar y Yajaira por estar siempre presentes, acompañándome para poder realizarme como profesional. A mi sobrina Doménica quien con su sonrisa y alegría supo motivarme a seguir adelante.

"El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad".

Hugo, Víctor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Jehová Dios por darme tantas bendiciones y permitirme llegar hasta aquí, y cumplir una de mis metas en la vida.

A mi querida Universidad Técnica del Norte quien supo acogerme y darme la oportunidad de estudiar y convertirme en una verdadera profesional.

A mi estimado director de tesis ingeniero Oscar Rosales por su esfuerzo y dedicación, quien con su paciencia, experiencia, conocimientos y motivación me ayudó a culminar este trabajo con éxito.

A mis mentores, mis estimados ingeniera Mónica León, ingeniero Jorge Granja e ingeniera María José Romero quienes me brindaron su paciencia, conocimientos y amistad, aportando un granito de arena en mi formación académica y en mi vida.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida pre profesional entre ellos mis amigos a los que me encantaría agradecer su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles.

RESUMEN

En la presente investigación se emplearon técnicas de teledetección con sensores remotos e imágenes espectrales para estimar cambios multitemporales de vegetación acuática en el embalse Daule Peripa ubicado en las provincias Guayas, Manabí y Los Ríos. El proceso fundamental consistió en obtener imágenes multispectrales Landsat con sensores TM, ETM y OLI con fechas de toma 1993, 2000 y 2014. Efectuándose una clasificación supervisada en campo y no supervisada en el laboratorio a las imágenes, se calcularon índices NDVI (Presencia de vegetación) y NDWI (Presencia de agua). El análisis de los perfiles espectrales mostró diferencias en la banda del infrarrojo cercano entre vegetación en estado de crecimiento y madura, facilitando la estimación de la cobertura de vegetación acuática en el embalse Daule Peripa. Obteniendo como resultados los siguientes cambios multitemporales entre los años preestablecidos: entre los años 1993 y 2000 el espejo de agua disminuyó 4.231,60 ha (17%), la vegetación acuática en crecimiento aumentó 1.089,16 hectáreas (14,25%), y del mismo modo lo hizo la vegetación acuática madura 1.924, 13 hectáreas (37,41%), siendo estos valores los más elevados hasta el año 2014. Entre los años 2000 y 2014 la vegetación acuática en crecimiento disminuyó 249,30 hectáreas (2,90%) y la vegetación acuática madura también disminuyó 492,57 hectáreas (6,97%). En el transcurso de estos años a través de las imágenes se registró una disminución del espejo de agua de 330,90 hectáreas (2,60%). Con los resultados obtenidos se demuestra el efecto de aumento de vegetación acuática en estado de crecimiento y madurez y disminución del espejo de agua. Con respecto a la proyección del aumento de cobertura vegetal acuática se encontró mediante la aplicación Land Change Modeler (LCM) de Idrisi Selva que la tendencia de la vegetación es expansiva en aproximadamente 533,16 hectáreas/año, lo que significa que para el año 2030 se tendría un crecimiento de superficie de vegetación acuática equivalente a 7.997,40 hectáreas, con la consiguiente disminución del espejo de agua en la misma superficie; la expansión de la vegetación se proyectó considerando los efectos del cambio climático y la concentración de sedimentos derivados de las actividades agrícolas y ganaderas en los aportes de la cuenca alta del río Peripa.

SUMMARY

In this research remote sensing techniques were used with spectral imaging to estimate multitemporal change of aquatic vegetation in Daule Peripa reservoir located in the provinces of Guayas, Manabí and Los Ríos. The fundamental process consisted of obtaining multispectral images Landsat with sensors TM, ETM and OLI with dates of capture 1993, 2000 and 2014. Supervised classification on the field and unsupervised classification in laboratory was performed. There were calculated indices NDVI (Presence of vegetation) and NDWI (water Presence). The analysis of spectral profiles showed differences in the near-infrared band between vegetation growth status and mature, allowing the estimation of aquatic vegetation in Daule Peripa reservoir. Obtaining multi-temporal following changes between preset as results: between 1993 and 2000 the mirror of water decreased to 4.231,60 hectares (17%), aquatic vegetation growth increased 1.089,16 hectares (14.25%), and likewise did the mature aquatic vegetation 1,924, 13 hectares (37, 41%), being these the highest values until the year 2014. Between 2000 and 2014 aquatic vegetation growth decreased to 249, 30 hectares (2.90%) and mature aquatic vegetation also decreased 492, 57 hectares (6.97%). During these years, the images registered a decrease of the water mirror of 330, 90 hectares (2.60%). The results demonstrate the increasing effect of aquatic vegetation in a state of growth, mature state and decrease of the water mirror. With regard to the projection of the increase of aquatic vegetable coverage one found by means of the application Land Change Modeler (LCM) of Idrisi Selva that the tendency of the vegetation is expansive in approximately 533,16 hectares / year, what means that for the year 2030 there would be had a surface growth of aquatic vegetation equivalent to 7.997,40 plants, with the consequent decrease of the water mirror in the same surface; the expansion of the vegetation was projected considering the effects of the climate change and the concentration of sediments derived from the agricultural and cattle activities in the contributions of the high basin of Peripa river.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	X
SUMMARY	XI
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. Preguntas Directrices	4
CAPÍTULO II	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Marco Legal.....	5
2.2. Embalses	9
2.3. Clasificación de embalses	10
2.4. Funciones de los embalses	11
2.5. Problemas de sedimentación.....	12
2.6. Vegetación acuática en embalses.....	12
2.7. Respuesta espectral y reflectancia de la vegetación acuática	16
2.8. Firmas espectrales.....	18
2.9. Teledetección aplicada al levantamiento de vegetación acuática en embalses	20
2.10. Software ERDAS	21
2.11. Técnicas de teledetección aplicadas a caracterización de vegetación acuática.....	22
2.12. Tipos de imágenes empleadas en teledetección.....	24
2.13. Clasificación digital de imágenes Landsat.....	25
2.14. Índices de vegetación acuática.....	29

2.15.	Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica.....	30
2.16.	Teledetección y SIG.....	31
2.17.	Técnicas de proyección del crecimiento de vegetación acuática.....	32
2.18.	Estudios realizados mediante técnicas de teledetección	33
CAPÍTULO III.....		35
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1.	Materiales y equipos	35
3.2.	Caracterización del área de estudio.....	36
3.2.1.	Componente biótico	39
3.2.2.	Componente abiótico	47
3.3.	Métodos.....	55
3.3.1.	Elaboración de cartografía base	55
3.3.2.	Adquisición de imágenes	56
3.3.3.	Procesamiento de imágenes	58
3.3.4.	Clasificación de imágenes.....	60
3.3.5.	Procesamiento de imágenes para el cálculo de índices de vegetación.....	63
3.3.6.	Firmas espectrales de la vegetación acuática.....	65
3.3.7.	Validación de la clasificación de imágenes	67
3.3.8.	Aplicación del SIG (Sistemas de Información Geográfica)	70
3.3.9.	Cartografía de vegetación acuática	71
CAPÍTULO IV		73
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
4.1.	Cuantificación de superficies afectadas por vegetación acuática en el embalse.....	73
4.2.	Descripción multitemporal.....	74
4.3.	Estimación de la cobertura vegetal acuática mediante clasificaciones y aplicaciones de NDVI y NDWI a imágenes Landsat.....	81
4.4.	Generación de cartografía	84

4.5.	Proyección del crecimiento de vegetación acuática al año 2030.....	86
4.6.	Firmas espectrales de vegetación acuática.....	89
4.6.1.	Análisis de firmas espectrales imagen LANDSAT	90
4.7.	Ventajas y desventajas de las técnicas de teledetección utilizadas.....	94
4.8.	Aplicaciones en caracterización, monitoreo y conservación del embalse Daule Peripa.....	95
4.9.	Utilidad de la metodología empleada	96

CAPÍTULO V.....99

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
5.1.	Conclusiones	99
5.2.	Recomendaciones	100

CAPÍTULO VI.....103

6.	BIBLIOGRAFÍA CITADA	103
----	---------------------------	------------

CAPÍTULO VII

7. ANEXOS

7.1.	Mapas
7.2.	Anexos fotográficos (Épocas lluviosa y seca)

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro. 2.1. Objetivos de un embalse a nivel mundial	11
Cuadro. 2.2. Matriz de detección de cambios (ejemplo).....	24
Cuadro. 2.3. Constelación LANDSAT.....	25
Cuadro. 2.4. Bandas Satelitales.....	26
Cuadro. 2.5. Ejemplo genérico de una matriz de confusión para un mapa con tres clases de uso y cobertura del suelo.....	28
Cuadro. 3.1. Coordenadas UTM del área de estudio, Datum WGS84, Zona 17 Sur.....	37
Cuadro 3.2. Descripción agua, vegetación acuática y áreas intervenidas.....	42
Cuadro 3.3. Control de especies acuáticas del Ecuador.....	45
Cuadro. 3.4. Estaciones pluviométricas valores multianuales (mm).....	41
Cuadro. 3.5. Clasificación taxonómica de suelos.....	48
Cuadro 3.6. Valores de NDVI para diferentes coberturas.....	53
Cuadro 3.7. Tipos de exactitud para la validación de clasificación de imágenes.....	67
Cuadro 3.8. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa.....	68
Cuadro 4.1. Puntos de referencia obtenidos en el trabajo de campo e interpretación de imágenes satelitales Landsat.....	70
Cuadro 4.2. Matriz de confusión: puntos de campo y clasificación supervisada.....	83
Cuadro 4.3. Comparación entre el número de píxeles por categoría, después de la interpretación visual a partir de la clasificación digital.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1. Convenciones de la vegetación acuática en ecosistemas acuáticos.....	15
Figura 2.2. Reflectancia de la vegetación en función de la longitud de onda.....	17
Figura. 2.3. Respuesta espectral de distintos tipos de vegetación, agua y asfalto, valores medios de reflectividad del sensor del satélite Landsat.....	18
Figura. 2.4. Firmas espectrales para vegetación, suelo y agua en el rango visible e infrarrojo reflejado.....	19
Figura. 2.5. Land Change Modeler (LCM) de IDRISI Selva.....	32
Figura. 3.1. Mapa Base del Embalse Daule Peripa.....	38
Figura. 3.2. Mapa Cobertura Vegetal del Embalse Daule.....	41
Figura. 3.3. Mapa de Tipos de Clima del Embalse Daule Peripa.....	49
Figura 3.4. Diagrama pluviométrico.....	50
Figura. 3.5. Mapa de Isotermas Anuales del Embalse Daule Peripa.....	51
Figura. 3.6. Mapa de Isoyetas Anuales del Embalse Daule Peripa.....	52
Figura. 3.7. Mapa de Tipos de Suelos del Embalse Daule Peripa.....	54
Figura: 3.8. Imagen del satélite Landsat 1993.....	57
Figura: 3.9. Imagen del satélite Landsat 1993.....	57
Figura: 3.10. Imagen del satélite Landsat 2000.....	57
Figura: 3.11. Imagen del satélite Landsat 2014.....	57
Figura 3.12. Procesamiento digital de imágenes en ERDAS.....	58
Figura 3.13. Herramienta Noise reduction para Corrección Topográfica en ERDAS.....	59
Figura 3.14. Herramienta Haze reduction para Corrección Atmosférica en ERDAS.....	60
Figura 3.15. Clasificación no supervisada de imágenes en ERDAS.....	61
Figura 3.16. Clasificación supervisada de imágenes en ERDAS.....	62
Figura 3.17. Cálculo del NDVI en ERDAS.....	63
Figura 3.18. Cálculo del NDWI en ERDAS.....	64

Figura 3.19. Absorción del espectro visible y reflectancia del infrarrojo en la vegetación verde y marchita.....	66
Figura. 3.20. Ingreso de puntos GPS en el software ERDAS para obtención de las firmas espectrales.....	67
Figura 3.21. Aplicación del SIG en generación de cartografía.....	71
Figura 4.1. Superficies afectadas por vegetación acuática.....	74
Figura 4.2. Áreas afectadas por vegetación acuática año 1993 – 2000.....	74
Figura 4.3. Áreas afectadas por vegetación acuática 2000 – 2014.....	75
Figura 4.4. Mapa cobertura vegetal Embalse Daule Peripa 2000.....	77
Figura 4.5. Mapa cobertura vegetal Embalse Daule Peripa 2014.....	78
Figura 4.6. Proyección del Embalse Daule Peripa 2030.....	80
Figura 4.7. Corrección de imágenes Landsat TM y ETM.....	85
Figura 4.8. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS.....	86
Figura 4.9. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS.....	87
Figura 4.10. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS.....	87
Figura 4.11. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS.....	88
Figura 4.12. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS.....	88
Figura 4.13. Puntos geo referenciados en áreas cubiertas con <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms. (Imagen Landsat 2000).....	89
Figura 4.14. Puntos geo referenciados en áreas cubiertas de <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms (Imagen Landsat 2014).....	90
Figura 4.15. Firmas espectrales año 2000.....	91
Figura 4.16. Firmas espectrales año 2014.....	92

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1. Señalización vía al embalse Daule Peripa.....	39
Fotografía 3.2. Vista panorámica al embalse Daule Peripa.....	40
Fotografía 3.3. <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms presente en el embalse Daule Peripa.....	43

Fotografía 3.4. Extracción de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) <i>Solms</i>	43
Fotografías 3.5. Tamaño y coloración de las raíces de <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) <i>Solms</i>	44
Fotografía 3.6. Gavilán caracolero (<i>Rostrhamus sociabilis</i>).....	46
Fotografía 3.7. Langosta de Río (<i>Cherax quadricarinatus</i>).....	47

ÍNDICE DE MAPAS

1. Mapa de ubicación
2. Mapa base
3. Mapa de cobertura vegetal
4. Mapa de vegetación acuática año 2000
5. Mapa de vegetación acuática año 2014
6. Mapa de tipos de suelo
7. Mapa hidrológico
8. Mapa de tipos de clima
9. Mapa de isoyetas medias anuales
10. Mapa de isotermas medias anuales
11. Mapa de proyección de vegetación

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua constituye uno de los factores ambientales de mayor importancia a nivel mundial, el cuidado y conservación ya sea de forma natural o artificial es vital. Desde la antigüedad el ser humano ha buscado la manera de almacenar grandes cantidades de agua, a raíz de esta necesidad se construyeron los embalses; considerados como una acumulación artificial de agua en un ambiente natural, producto de una acción humana con fines de uso. Un embalse se construye de un cierre, interceptando un curso de agua y usando las depresiones naturales del terreno, hacia las cuales se conduce el agua por canales, tuberías o túneles (Franklin & Adler, 2006).

Actualmente este tipo de construcciones representan un cambio en la matriz productiva del Ecuador. La creciente demanda de agua y energía hidroeléctrica, así como las múltiples aplicaciones ha impulsado ampliamente su construcción. La tendencia al aprovechamiento de los depósitos artificiales es creciente y la reserva mundial de agua dulce en esa forma es vital, lo que origina una necesaria complementación, optimización y conservación de estas fuentes de abastecimiento de agua.

En las últimas décadas en los embalses del Ecuador se ha observado un problema que va en aumento y ha pasado desapercibido por la falta de investigación e interés; el crecimiento y proliferación de vegetación acuática (macrófitas), está ocupando una amplia superficie, reduciendo a gran escala el espejo de agua y afectando directamente a las funciones del mismo (Guerrero & Carmona, 2001). El embalse Daule Peripa ubicado en las provincias Guayas,

Manabí y Los Ríos, al igual que muchos embalses en el país presenta este grave problema debido a un mal manejo dentro del mismo, el no controlar el crecimiento acelerado y tampoco cosechar las especies de forma continua, produce una serie de consecuencias como; la eutrofización, disminución del espejo de agua, dificultad de navegación, interrupción de las funciones hidrológicas, acumulación de sedimentos que ingresan a través de la cuenca que tiene como afluente principal el río Daule y que también se forman por la descomposición de las especies vegetales (Marey, 2013), la falta de información cuantitativa sobre la superficies cubiertas por vegetación acuática dificulta la ejecución de propuestas de manejo dentro del ecosistema acuático artificial.

La tecnología avanza y para analizar el problema a fondo se cuenta con herramientas que brindan eficacia en la investigación, en este caso el uso de imágenes espectrales obtenidas mediante un sensor localizado en el satélite Landsat serán clave en la obtención de resultados. Un geo - procesamiento de imágenes el cual consiste en la unión de bandas en un solo archivo raster, contribuye a una clasificación de las mismas, en donde usando las firmas espectrales para reconocer las distintas categorías de la vegetación acuática permitió la delimitación de áreas representativas en el embalse, el uso de valores NDVI y NDWI fueron cruciales para determinar presencia de vegetación y agua respectivamente (Martínez & Díaz, 2005); mediante software como ERDAS, ArcGIS e IDRISI Selva se analizó la situación actual y se elaboró una proyección del aumento de vegetación acuática del embalse para el año 2030, con el fin de encontrar soluciones a tiempo para el problema presente.

La presente investigación se realizó dada la necesidad de obtener información multitemporal del incremento de superficies cubiertas de especies vegetales en el embalse Daule Peripa durante las últimas décadas, ya que hasta el 2014 no se han realizado estudios en embalses artificiales cubiertos por vegetación en ecosistemas acuáticos, por lo cual los datos obtenidos pueden ser aplicados para posteriores análisis en otros embalses del país. Instituciones públicas gubernamentales, requieren disponer de información sobre el creciente aumento de vegetación

acuática en los embalses con fines hidroeléctricos de las provincias: Manabí, Los Ríos y Guayas; por esta razón la Carrera de Recursos Naturales de la Universidad Técnica del Norte realizó el estudio del aumento de la vegetación acuática del embalse Daule Peripa por medio del análisis de imágenes espectrales de sensores remotos, para proponer alternativas de solución que contribuyan a mitigar la problemática ambiental existente (SENAGUA, 2014). El presente estudio se fundamentó con los principios y herramientas empleadas en teledetección, con énfasis en la respuesta espectral y reflectancia de las coberturas de vegetación acuática que proliferan en el embalse del proyecto hidroeléctrico Daule Peripa. Los resultados a obtenerse pueden ser empleados para caracterizar proyectos multipropósitos que se encuentran en la región Costa del Ecuador.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar el aumento de la superficie de vegetación acuática en el embalse Daule Peripa mediante la aplicación de técnicas de teledetección, para establecer lineamientos generales de control de las especies acuáticas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Cuantificar las áreas de vegetación acuática en las épocas seca y lluviosa mediante el procesamiento digital de imágenes de sensores remotos multitemporales.
- Determinar los cambios multitemporales de la vegetación acuática a través de la comparación de imágenes multiespectrales con fecha de toma 1993, 2000 y 2014, mediante el software ERDAS.
- Generar cartografía multitemporal y mapas temáticos de la cobertura de vegetación acuática a escala 1:50.000 para calcular las variaciones en los

años preestablecidos y realizar una proyección hacia el año 2030 de la situación en la que se encontrará el embalse.

1.2. Preguntas Directrices

- ¿Aplicando técnicas de teledetección es posible establecer las variaciones de vegetación acuática en la superficie del Embalse Daule Peripa?
- ¿Es posible proyectar los cambios de vegetación acuática hacia el año 2030, en base a la información generada a escala 1:50.000?
- La variación en la vegetación acuática en función a la longitud de onda en el infrarrojo, ¿es aplicable para sugerir un manejo adecuado de vegetación acuática en embalses?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se presenta el sustento legal que valida el estudio, seguido de la revisión de argumentos básicos que fundamentan esta investigación y ayudan a su desarrollo, toda la revisión de literatura proviene de trabajos afines y documentos especializados.

2.1. Marco Legal

Esta investigación se sustenta principalmente en los artículos de la Constitución de la República de Ecuador reformada y aprobada en Montecristi en el año 2008, también en los artículos del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) y en la filosofía de la Convención RAMSAR.

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

CAPÍTULO II

BIODIVERSIDAD Y RECURSOS NATURALES

Art. 395. La constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. La política de gestión ambiental se aplicará de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, estas se aplicaran en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR 2013 – 2017

Sección: Derechos, libertades y capacidades para la construcción del Buen Vivir.

Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.

PATRIMONIO HÍDRICO

El Estado ecuatoriano reconoce y garantiza el derecho humano al agua, fundamental e irrenunciable. El agua constituye un patrimonio estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL ECUADOR

La Ley de Gestión Ambiental del Ecuador es una ley especial de carácter precautorio, la cual se crea con el fin de garantizar un desarrollo sustentable para el país, esta idea surge y se orienta según los principios universales del Desarrollo Sustentable, contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de 1992, sobre Medio Ambiente y Desarrollo, básicamente garantiza un mejor manejo para los recursos naturales y establece políticas para mejorar la calidad de vida.

LEY DE AGUAS

CAPÍTULO I

Art. 2.- Las disposiciones de la presente Ley regulan el ejercicio del derecho humano fundamental al agua, su gestión, aprovechamiento y conservación, incluyendo las aguas marítimas, superficiales, subterráneas, glaciares y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos y formas.

Art. 3.- El objeto de la presente ley es regular la obtención, preservación, conservación, uso y aprovechamiento del agua, comprendidos dentro del territorio nacional en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el Sumak Kawsay o buen vivir.

Art. 4.- Son titulares de derecho de la presente Ley: las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades, campesinos y la naturaleza, así como las agrupaciones que constituyan una unidad en el uso y aprovechamiento del agua.

CAPÍTULO II

Art. 10.- El patrimonio hídrico de los ecuatorianos está constituido por las aguas en cualquiera de sus formas y estados: aguas superficiales, subterráneas, meteóricas, termales o minero-medicinales, minerales, atmosféricas, glaciares, marítimas, sagradas y virtuales; son también parte del patrimonio las fuentes, los cauces de corrientes naturales continuas y discontinuas, los lechos de los lagos y lagunas, humedales, los acuíferos, pozos y manantiales, las obras de encauzamiento y almacenamiento, y las demás que señala el Código Civil Ecuatoriano, que se hallen en el territorio nacional.

Art. 12.- La presente ley regula la conservación, el buen uso y aprovechamiento y establece la nueva institucionalidad del agua.

CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CONELEC)

LEY DE RÉGIMEN DEL SECTOR ELÉCTRICO

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Art. 1. Deber del Estado

El suministro de energía eléctrica es un servicio de utilidad pública de interés nacional; por tanto, es deber del Estado satisfacer directa o indirectamente las necesidades de energía eléctrica del país, mediante el aprovechamiento óptimo de recursos naturales, de conformidad con el Plan Nacional de Electrificación.

Art. 3. Medio Ambiente

En todos los casos los generadores, transmisor y distribuidores observarán las disposiciones legales relativas a la protección del medio ambiente previo a la ejecución de la obra, los proyectos de generación, transmisión y distribución de

energía eléctrica deberán cumplir las normas existentes en el país de preservación del medio ambiente. Para ello deberá contarse con un estudio independiente de evaluación del impacto ambiental, con el objeto de determinar los efectos ambientales, en sus etapas de construcción, operación y retiro; dichos estudios deberán incluir el diseño de los planes de mitigación y recuperación de las áreas afectadas y el análisis de costos correspondientes.

ILUSTRE CONSEJO CANTONAL DE GUAYAQUIL

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES PRELIMINARES ORDENANZA

Art. 1. Las disposiciones de la presente ordenanza regirán la preservación de áreas protegidas, el uso del suelo y la vialidad primaria de las áreas urbanas y rurales del cantón Guayaquil, donde se ubican los embalses y atraviesa las obras de ingeniería del Proyecto de transvase de las Aguas del río Daule a la Península de Santa Elena, PHASE a cargo del CEDEGE (Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas). Estas disposiciones serán sustituidas o modificadas por disposiciones expresas debidamente aprobadas por el consejo cantonal.

CONVENCIÓN DE RAMSAR 1975

Misión

La conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo.

La Convención emplea una definición amplia de los tipos de humedales abarcados por esta misión, incluidos pantanos y marismas, lagos y ríos, pastizales húmedos y turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, zonas marinas próximas a las costas, manglares y arrecifes de coral, así como sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas.

La filosofía de RAMSAR gira en torno al concepto de “uso racional”. El uso racional se define como "el mantenimiento de las características ecológicas, logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del

contexto del desarrollo sostenible". Por consiguiente, la conservación de los de sitios naturales como artificiales, así como su uso sostenible y el de sus recursos, se hallan en el centro del "uso racional" en beneficio de la humanidad (RAMSAR, 2014).

2.2. Embalses

El agua fácilmente disponible en la naturaleza se encuentra en dos formas: subterránea y superficial. El ser humano, desde la antigüedad aprovechó el agua superficial (de los ríos y lagos) porque provee los mayores caudales y no requiere consumir energía para su extracción. De ahí la creación de lagos artificiales denominados embalses. Los embalses son grandes cuerpos de agua (volúmenes mayores a los 100.000 m³) construidos por el ser humano de carácter artificial, con el propósito principal de represar uno o varios ríos, cuyos objetivos son: almacenar agua para el consumo humano, para el uso industrial y en la agricultura, producción de energía eléctrica, control de inundaciones y navegación (PREPAC, 2005).

Debido a la importancia de esta mega construcción, el manejo del mismo debe ser primordial para su preservación; cada cierto tiempo es visible el aumento de vegetación acuática en el espejo de agua siendo aún más notorio en época seca, a través de imágenes espectrales obtenidas mediante el sensor del satélite Landsat se puede calcular en porcentaje cuanto a aumentado la vegetación en los últimos años y mediante las mismas imágenes elaborar una proyección de la situación futura del embalse. El aumento de la población vegetal afecta directamente a las funciones que cumple este gran cuerpo de agua, por ende se debe procurar hacer una limpieza de vegetación acuática cada cierto tiempo sobre todo en las zonas afluentes al Embalse como es en este caso en los ríos Daule y Peripa siendo estos los que aportan mayor volumen de agua al lago artificial.

Los embalses podrían tener impactos negativos en la flora y fauna nativas, ya que la represa interrumpe procesos de migración de especies acuáticas hacia el

estuario y hábitats silvestres. Las especies de peces necesitan estar en contacto con los estuarios para sus etapas reproductivas y los embalses destruyen estas conexiones al represar el agua donde los peces se establecen. No obstante, hay medidas de diseño y manejo que se utilizan para minimizar su impacto, considerando también que para la construcción de un embalse se debe realizar un estudio previo para levantar toda la información y analizar los posibles impactos positivos y negativos que resultarían de la ejecución del proyecto (Puerto DRNA, 2012).

2.3. Clasificación de embalses

Según Guevara (2013), los embalses se clasifican de acuerdo a dos aspectos importantes que son:

- Embalses según su función.
- Embalses según su tamaño.

Clasificación de embalses según su función:

De acuerdo a la función los embalses pueden ser:

Embalses de acumulación: Retienen excesos de agua en períodos de alto escurrimiento para ser usados en épocas de sequía.

Embalses de distribución: No producen grandes almacenamientos pero facilitan regularizar el funcionamiento de sistemas de suministro de agua, plantas de tratamiento o estaciones de bombeo.

Pondajes: Pequeños almacenamientos para suplir consumos locales o demandas pico.

Clasificación de embalses según su tamaño:

La clasificación de los embalses de acuerdo al tamaño se hace más por razones de tipo estadístico que por interés desde el punto de vista técnico, para

clasificarlos es importante tomar en cuenta el área y el volumen que posee, así pueden ser:

Embalses gigantes $> 100.000.000 \text{ m}^3$

Embalses muy grandes $10.000.000 \text{ m}^3 > 100.000.000 \text{ m}^3$

Embalses grandes $1.000.000 \text{ m}^3 > 10.000.000 \text{ m}^3$

Embalses medianos $1 \text{ m}^3 > 1.000.000 \text{ m}^3$

Embalses pequeños o pondajes $< 1.000 \text{ Mm}^3$

Según Zhelezniakov (1984) dentro de la clasificación a nivel mundial de embalses según su tamaño también constan dos categorías más: micro y mini embalses, en el Ecuador existen dos embalses que entran en esta clasificación y son embalse Azúcar ubicado en la provincia de Santa Elena y Agoyán en la provincia de Tungurahua respectivamente.

2.4. Funciones de los embalses

Los embalses se construyeron con la finalidad de regular los recursos hídricos y así cubrir parte de las demandas de agua; en el transcurso de los años se le han otorgado nuevos objetivos a nivel mundial señalando el porcentaje (Cuadro 2.1), siendo el objetivo principal brindar agua de riego a los distintos lugares aledaños al embalse.

Cuadro. 2.1. Objetivos de un embalse a nivel mundial

Objetivos de un embalse	Porcentaje
Regadío	38%
Producción hidroeléctrica	18%
Abastecimiento de agua	14%
Actividades recreativas	8%
Navegación y pesquería	3%
Otras	5%

Fuente: Casafont, (2008)

2.5. Problemas de sedimentación

La acumulación de agua en los embalses tiene consecuencias a futuro, la previsión de ciertos problemas es clave para el logro de buenos resultados, y para evitar acontecimientos adversos que puedan impactar en el ambiente. Según Guevara (2013), uno de los principales problemas que presenta un embalse es el arrastre de sedimentos definiéndolos como todas aquellas partículas que una corriente lleva por deslizamiento, rodamiento o saltación, ya sea en suspensión o sobre el fondo del ecosistema acuático. Los sedimentos tienen su origen en las pendientes del río y en la cuenca hidrográfica, su porcentaje se incrementa por las altas precipitaciones, y la construcción de vías en cercanías de los embalses.

Los sedimentos en embalses tienden a depositarse de acuerdo con el peso y el tamaño de las partículas, las más grandes y pesadas se depositan en las colas del embalse, y las más finas lo van haciendo a lo largo del eje en dirección a la presa. Existen factores que afectan los procesos de sedimentación, entre ellos la temperatura, las sales disueltas, la composición química del sedimento, la forma del embalse, el tiempo de retención hidráulica, y el estado de conservación de la cuenca. Los sedimentos ocasionan no solamente reducción de la capacidad de almacenamiento sino que también pueden llegar a ocasionar problemas en el funcionamiento de tomas y descargas de agua, considerando también la afectación al aspecto fisicoquímico del agua, especialmente la penetración de la luz, y la capacidad fotosintética del embalse (Ramírez, 1989).

2.6. Vegetación acuática en embalses

La vegetación acuática característica de los embalses la constituyen especies denominadas macrófitas. En función de las peculiaridades de cada embalse, estas formaciones vegetales se encuentran distribuidas desde las orillas o riberas hasta el centro del cuerpo de agua formando franjas no continuas, las comunidades

vegetales acuáticas se organizan de acuerdo a los ingresos de agua, sedimentos, nutrientes entre otros (Medina, 2003).

Las plantas acuáticas que crecen en los sistemas dulceacuícolas son conocidas como “macrófitas acuáticas”; actualmente representan menos del uno por ciento del total de la flora vascular terrestre. Son consideradas un componente fundamental de los ecosistemas límnicos, siendo parte clave en las funciones ecológicas de estos sistemas. Biológicamente, constituyen un grupo interesante por su alto grado de especialización, simpleza corporal, potencial como alimento, depuradoras de aguas servidas o como bioindicadores de condiciones límnicas, muchas comunidades de macrófitas se caracterizan por altas tasas de crecimiento y rápida acumulación de biomasa. Sin embargo, un desarrollo excesivo de macrófitas a causa de eutrofización de un cuerpo de agua puede generar serias alteraciones en estos ecosistemas (Marey, 2013).

La presencia también de algas y vegetación acuática sumergida es de gran importancia para la salud de los ecosistemas acuáticos naturales y artificiales, por la labor de oxigenación y retención de sólidos, así como de retirada de nutrientes en disolución, disminuyendo el carácter eutrófico al que tienden las aguas estancadas sobre todo de los embalses y constituyendo unos medios idóneos para la preservación del mismo (Medina, 2003).

Macrófitas

Las plantas acuáticas, también denominadas macrófitas, no son organismos especialmente atractivos porque carecen de flores llamativas, son poco vistosos, no sirven de alimento, y se encuentran en un medio cuyas condiciones dificultan su observación y estudio (Murillo & Zamudio, 2010). El crecimiento de las poblaciones de macrófitas puede variar ampliamente de un año al otro, provocando pérdidas millonarias en la economía del lugar. Según Ramírez & San Martín (2006) las macrófitas se pueden separar en dos grandes grupos: las plantas acuáticas propiamente tales o “hidrófitos” y las plantas palustres o “helófitos”.

Las primeras crecen y presentan la mayor parte del cuerpo en el agua, mientras que las segundas crecen en pantanos, a las riberas de los cuerpos dulceacuícolas y se caracterizan por presentar una parte de su tallo bajo el agua y la mayor parte de él, que lleva las hojas y flores, en el aire (Marey, 2013).

Debido a que las plantas acuáticas son muy sensibles a los cambios que se producen en los medios en los que viven (salinidad, pH, temperatura, turbiedad, nutrientes), se las puede utilizar como bioindicadores para un primer y rápido diagnóstico de la calidad ambiental o del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. La presencia de determinadas especies, y su abundancia, o la ausencia de otras, nos informan con una precisión considerable de cómo se encuentran los hábitats y constituyen el punto de partida para desarrollar análisis posteriores, que identificarán con exactitud los problemas concretos que se dan en los ecosistemas (Murillo & Zamudio, 2010).

TAXAGUA (2013), señala que desde un punto de vista funcional las macrófitas acuáticas pueden clasificarse en diversas categorías atendiendo a la relación de la especie con el medio en el que vive y a su forma de crecimiento, las clasifica de la siguiente manera:

- **Hidrófitos o macrófitas acuáticos en sentido estricto:** Aquellas plantas que tienen todas sus estructuras vegetativas sumergidas o flotantes. Se incluyen en este grupo a plantas vasculares, algunos géneros de briófitos y las algas carófitas y filamentosas. Se encuentran enraizados al sustrato o flotan libremente en el agua, son los mejores indicadores del estado de su hábitat. Ejemplos: espigas de agua (todas las especies de *Potamogeton*), miriofilo (*Myriophyllum spicatum*), japozorra (*Ceratophyllum demersum*), lentejas de agua (especies del género *Lemna*), nenúfares (*Nymphaea alba* y *Nuphar luteum*), entre otros.
- **Helófitos:** Plantas acuáticas de lugares encharcados con la mayor parte de su aparato vegetativo (hojas, tallos y flores) emergente. Se localizan en los bordes

de las lagunas, charcas y zonas inundables no muy profundas. Suelen presentar un sistema de rizomas que permiten la expansión subterránea de los individuos, que pueden colonizar rápidamente las áreas donde viven. Poseen un menor valor como indicadores de calidad de los ecosistemas que los hidrófitos. Ejemplos: carrizo (*Phragmites australis*), enea (*Typha domingensis*), junco de laguna (*Schoenoplectus lacustris*), castañuelas (*Boloschoenus maritimus*), junco florido (*Butomus umbellatus*), entre otros.

- **Higrófitos o plantas de borde:** Plantas que se sitúan sobre suelos húmedos en los bordes de los humedales, y que suelen acompañar a los helófitos. Ejemplos: apio borde (*Apium nodiflorum*), berro (*Rorippa nasturtium – aquaticum*).

Partiendo de una clasificación general de macrófitas se puede llegar a una clasificación particular que responde a convenciones, como se muestra en la figura 2.1., la cual organiza las especies más representativas y comunes dentro de un ecosistema acuático natural o artificial.

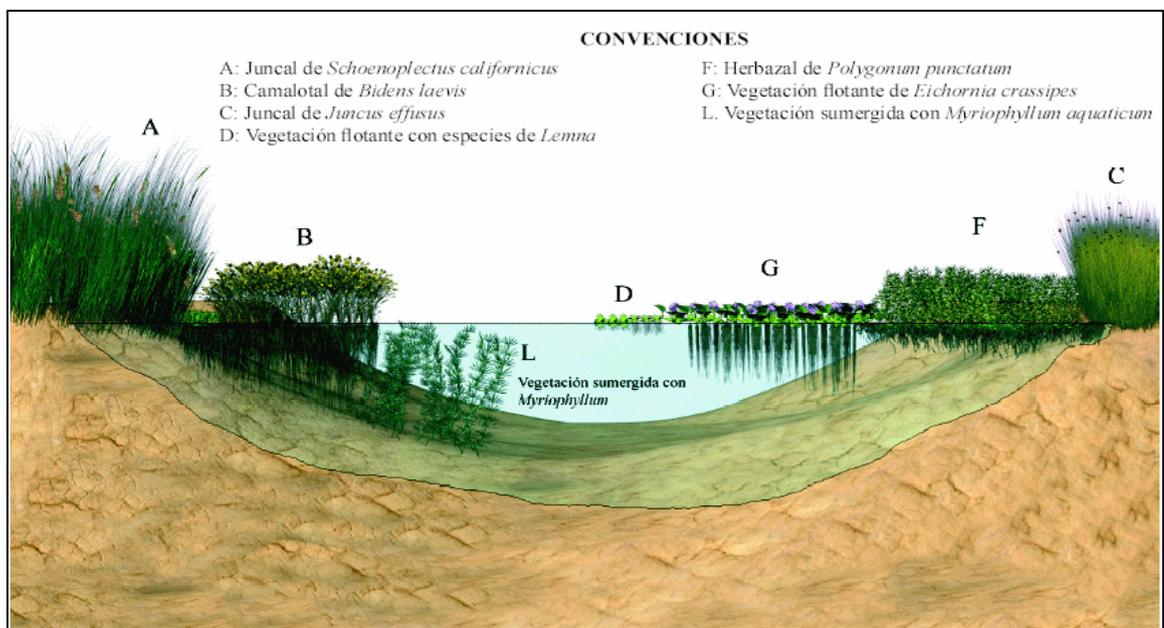


Figura. 2.1. Convenciones de la vegetación acuática en ecosistemas acuáticos
Fuente: Hernández et al. (2003)

2.7. Respuesta espectral y reflectancia de la vegetación acuática

Cuando la energía o radiación electromagnética incidente desde el espacio interactúa con la materia, parte de aquella es absorbida y la restante es reflejada. La respuesta espectral es el comportamiento de los cuerpos ante el suceso de dichas radiaciones electromagnéticas de distinta frecuencia, la respuesta de los cuerpos a la energía incidente no siempre será la misma, dependerá de varios factores tales como:

- Ángulo de incidencia de la energía con el cuerpo (varía según fecha, año y recorrido del satélite)
- Aspecto del relieve
- Interacción atmosférica con las distintas longitudes de onda
- Variaciones ambientales
- Ángulo de observación

La reflectividad de los cuerpos varía según la longitud de onda que se deposita sobre ellos (Figura 2.2.), normalmente la reflectividad de los cuerpos aumenta a medida que la longitud de onda disminuye, no obstante existen cuerpos donde esta relación es inversa (nieve) o irregular (vegetación), la reflectividad además está influenciada por la textura del cuerpo. Para una misma longitud de onda la reflectividad más baja se encuentra en el agua, aumenta para el suelo, vegetación enferma, vegetación sana y es máxima para la nieve. La respuesta de la vegetación en general es especialmente variable dependiendo de múltiples factores como: estado fenológico, forma y contenido de humedad. De manera general se puede decir que presenta una reducida reflectividad en las bandas visibles (Figura 2.3.) con un máximo relativo en la región del verde, esto es debido al efecto absorbente de los pigmentos fotosintéticos de las hojas como la clorofila que absorbe en la zona del rojo, es por eso que en la vegetación enferma la clorofila no absorbe tanto y la hoja se torna amarillenta.

La estructura celular interna proporciona la elevada reflectividad en el infrarrojo cercano que luego va reduciéndose paulatinamente hacia el infrarrojo

medio, por tanto el contraste más nítido se presenta entre las bandas visibles (especialmente rojo) y el infrarrojo cercano, por ende cuanto mayor sea ese contraste, mayor será el vigor de la vegetación.

La cantidad de pigmentos, estructura celular y contenido en agua son parámetros manifestados por la respuesta espectral de una masa de vegetación, pueden servir para discernir entre unas especies y otras, su nivel de desarrollo e incluso poder discernir entre vegetación sana y enferma (Terán & Viteri, 2005).

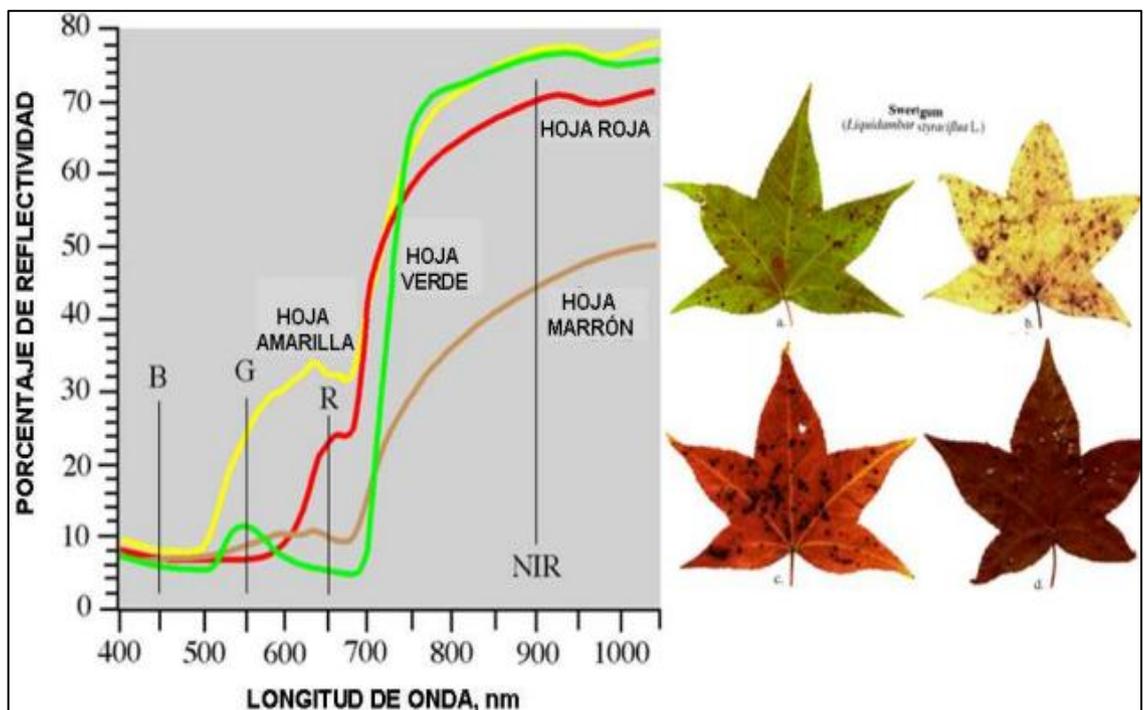


Figura 2.2. Reflectancia de la vegetación en función de la longitud de onda
Fuente: Cnice.men.ec (2014)

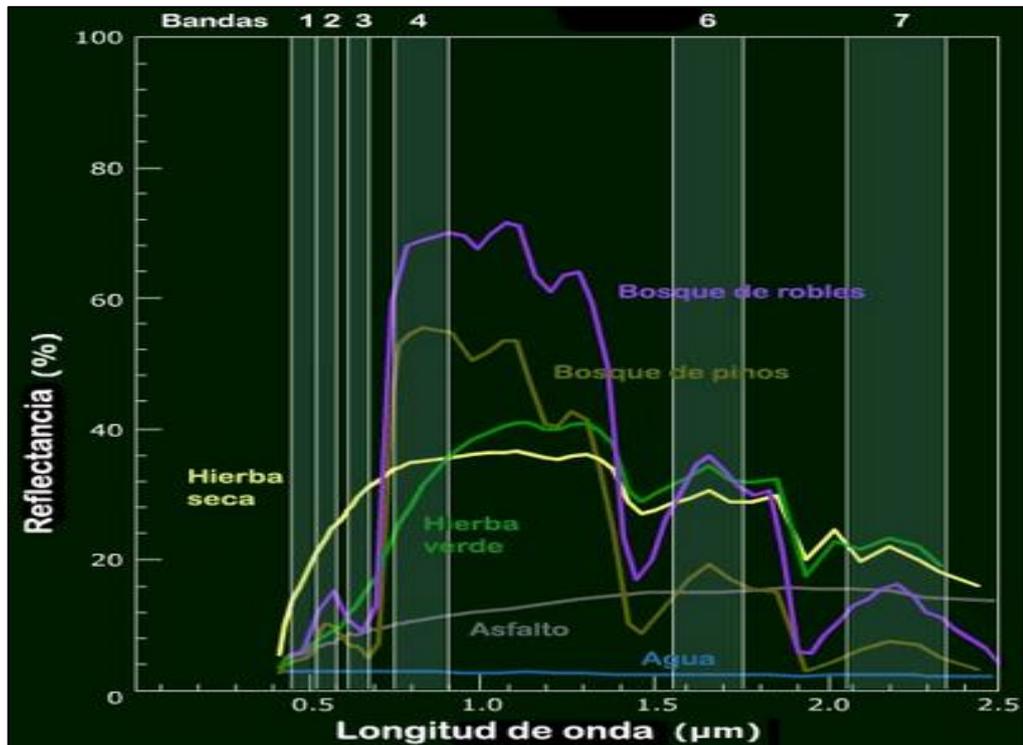


Figura. 2.3. Respuesta espectral (distintos tipos de vegetación, agua y asfalto), valores medios de reflectividad del sensor del satélite Landsat

Fuente: Biblioteca espectral (2014)

2.8. Firmas espectrales

Una vez que la energía electromagnética llega a la superficie terrestre, interactúa con cada tipo de material ya sea por reflexión, absorción o transmisión, de acuerdo a un patrón de respuesta espectral particular. Este comportamiento distintivo de cada tipo de material es aprovechado en procesos de clasificación de imágenes, siendo considerado como una firma espectral. Su determinación en forma consistente presenta algunas dificultades asociadas a las siguientes razones:

- La vegetación tiene un comportamiento dinámico debido a los cambios fenológicos que ocurren estacionalmente. Esto significa que su firma espectral cambia durante el año.
- Las condiciones de iluminación asociadas a la topografía (pendiente y orientación), la posición del sol durante el año (elevación), y las

condiciones de humedad del suelo y la vegetación pueden significar variaciones importantes en el patrón de respuesta espectral.

- Debido a la resolución espacial de la mayoría de los sensores, la información contenida en un píxel es el resultado de una mezcla espectral de varios tipos de materiales. Es decir que puede estar compuesta por vegetación herbácea, vegetación arbórea, suelo desnudo y pavimento, todo lo cual queda registrado en un único nivel digital.

La firma espectral se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación reflejada o emitida desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Además del espectro visible, todos los materiales presentan respuestas espectrales características que se pueden detectar usando sensores óptico electrónicos capaces de detectar energía en la región infrarroja reflejada y térmica. Estos instrumentos pueden ser usados a nivel terrestre, en campo o en laboratorio, o montados en plataformas aéreas o satelitales. La figura 2.3, presenta un conjunto de firmas espectrales de referencia general para un conjunto de materiales comunes que se encuentran en la superficie terrestre (Hernández & Montaner, 2009).

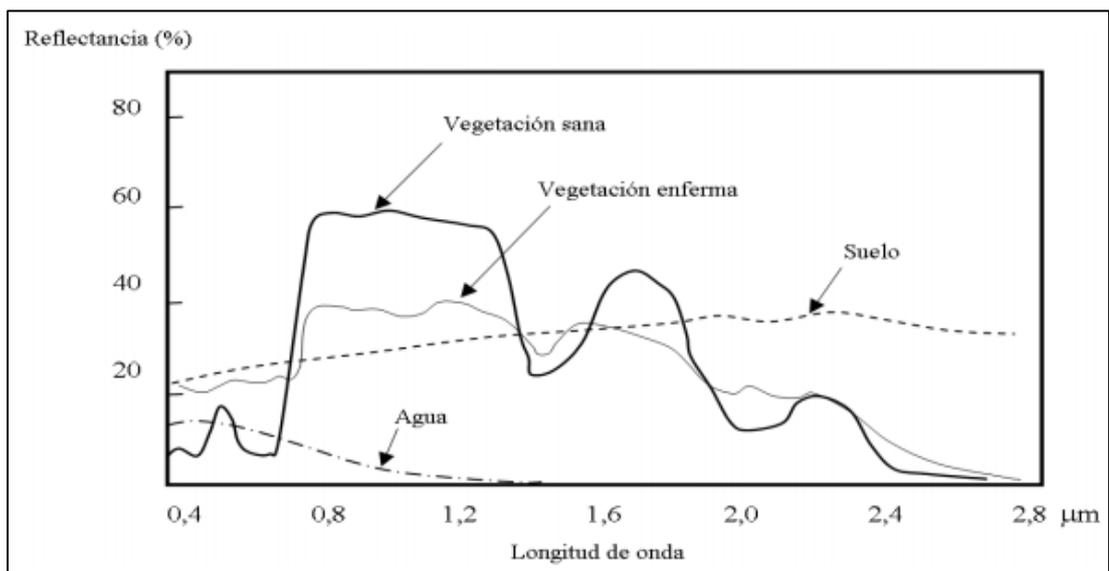


Figura. 2.4. Firmas espectrales para vegetación, suelo y agua en el rango visible e infrarrojo reflejado.

Fuente: Hernández & Montaner (2009)

Comportamiento espectral de la vegetación

En la vegetación el nivel de reflectancia se ve modificado principalmente por factores como: los tipos de pigmentos, estructura de las hojas y el contenido de humedad. El primero afecta a las longitudes de ondas del espectro visible (0,4 - 0,7 m) donde el 65% es absorbido por la Clorofila, el 29% por la Xantófila y el 6% por Carotenos. La estructura de las hojas a su vez aumenta la reflectividad en la zona del infrarrojo cercano (0,8 - 1,1 m). En el infrarrojo medio la reflectividad depende del contenido de agua entre y dentro de las células, en condiciones de hidratación normales estos son profundos y marcados, en condiciones de estrés hídrico estos son menos marcados aumentando su reflectividad (Alonso & Moreno, 1999). Si se analiza el comportamiento espectral del dosel vegetal, los factores que afectan su reflectividad son la proporción hojas, lignina y el efecto del suelo, la geometría de las hojas y los ángulos de observación de éstas (Manzano, 2004).

2.9. Teledetección aplicada al levantamiento de vegetación acuática en embalses

Los inicios de la observación remota o teledetección se remontan a los primeros sistemas de adquisición de fotografías aéreas de la superficie terrestre a través de cámaras montadas en globos y zepelines, hace más de 150 años. El avance de tecnología en teledetección experimento un notorio avance tecnológico a partir de los años 70 en donde EE.UU. lanzó los primeros satélites con propósitos comerciales; durante las décadas siguientes hasta la actualidad, el rastreo y monitoreo continuo de los recursos naturales de la superficie terrestre es posible mediante el lanzamiento sucesivo de las misiones satelitales Landsat, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre) entre otros, cuyos sensores a bordo mejoraron progresivamente sus características técnicas, conduciendo a nuevos procedimientos de procesamiento digital de imágenes y ampliando considerablemente el campo de acción de la observación remota (Peña, 2007).

La percepción remota o teledetección es la ciencia y el arte de obtener información de un objeto analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no esté en contacto físico con dicho objeto, esto es posible gracias a la relación sensor-cobertura, la cual en el caso de los barredores multiespectrales se expresa a través de la llamada radiación electromagnética presente también en las especies vegetales acuáticas, esta relación se presenta en tres formas: Emisión, Reflexión y Emisión – reflexión, el flujo de energía que se produce por alguna de estas formas va a estar en función de la transmisión de energía térmica Martínez & Díaz (2005).

2.10. Software ERDAS

ERDAS Imagine es el software geoespacial de creación estándar de la industria, centrado en procesamiento de imagen, teledetección y GIS raster. ERDAS IMAGINE es una completa colección de herramientas para crear una precisa base de imágenes y de productos derivados de imágenes para apoyar la toma de decisiones. El software "raster-base" está diseñado para el procesamiento y análisis de imágenes satelitales y fotografía aérea, incorporando el resultado dentro de un ambiente funcional de SIG y generando mapas que pueden ser usados como herramientas en investigación.

Este software ha sido usado por numerosas aplicaciones, incluyendo administración de recursos naturales, telecomunicaciones, planeación urbana y cartografía de hábitat. La claridad del producto, la interfaz fácil de usar presenta a los usuarios con un complejo conjunto de herramientas poderosas para el análisis y adecuación espacial. Además, las utilidades del software son extensas e incluyen lo necesario para realizar tareas organizando desde corrección geométrica y adecuación de imagen, hasta avanzados procesos y análisis de imágenes multiespectrales e hiperspectrales en ambientes de dos y tres dimensiones (GRMGIS, 2010).

2.11. Técnicas de teledetección aplicadas a caracterización de vegetación acuática

Para que la observación de la vegetación acuática situada sobre la superficie terrestre sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre la vegetación y el sensor. En este caso la interacción va a ser el flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor, dentro de la teledetección es posible usar una serie de técnicas dependiendo de las características de la imagen, así pueden ser las siguientes:

Composición multitemporal

Arozarena (2001), explica que esta técnica de detección que se basa en la comparación visual de los tonos o colores que ofrecen dos o más imágenes de distintas fechas se aplica previamente en alguna técnica de realce de color o transformaciones como índices de vegetación. Posteriormente se realizan composiciones multitemporales en color con esas bandas. Una muy común es aplicar el rojo a la primera fecha y el verde a la segunda, dejando el azul vacío. En tono amarillo aparecerán las áreas estables, en rojo las que hayan reducido su ND (Nivel Digital) entre fechas y en verde las que lo hayan ganado. En la aplicación multitemporal, se utiliza esta técnica de modo particular, se genera en primer lugar un archivo multitemporal con las bandas correspondientes a las dos fechas, usando las bandas originales de la imagen Landsat así como de la imagen Spot, y se crea una nueva imagen con 7 bandas (4 de Landsat y 3 de Spot), de la cual mediante diferentes combinaciones asignando 3 de las nuevas bandas en cada uno de los cañones RGB se puede determinar el cambio de diferentes coberturas de la tierra.

Análisis multitemporal

Según Jensen (2000), esta técnica trata de delimitar cambios a partir de clasificaciones que deben abordarse con doble enfoque, el primero comparando

imágenes clasificadas y el segundo clasificando conjuntamente las imágenes de las dos fechas. En el primer caso se aborda una clasificación a cada imagen por separado empleando la misma leyenda temática en las dos fechas, con el objetivo de compararlas posteriormente. A continuación se genera una tabla multitemporal de cambios en donde se presentan las transformaciones entre las dos fechas. En la diagonal de la tabla aparecen los píxeles estables, mientras que los cambios producidos se presentan en las demás celdas.

Mediante esta técnica no solo se observa zonas estables o dinámicas, sino también cual fue la cobertura original y cual la actual, lo que indica las tendencias de cambio en la zona de estudio. La realización de la tabla tiene un inconveniente y es la fiabilidad de las clasificaciones individuales, es decir, si las clases no se han discriminado correctamente en cualquiera de las dos fechas, los cruces entre categorías resultaran erróneos, ofreciendo una información imprecisa del cambio.

Diferencia de imágenes

La diferencia de imágenes consiste en una resta de píxeles entre las imágenes de dos fechas, permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios. Las zonas estables presentarán un valor cercano a cero, mientras las que hayan experimentado cambios ofrecerán valores significativamente distintos a cero (positivos o negativos). Los resultados serán guardados en una nueva imagen de cambios (Jensen, 2000).

Enmascaramiento binario de cambio

Macleod & Congalton (1998), incorporan modificaciones al tradicional tratamiento de la imagen de diferencias con el propósito de generar una imagen de cambio que presente la dirección y magnitud de cambio del uso del suelo, inmediatamente se crea una máscara binaria de cambio que separa las zonas estables y las zonas dinámicas en ambas fechas, y así se obtiene la clasificación de

las zonas dinámicas con cambio entre ambas fechas, y la clasificación de las zonas estables.

Técnicas de post-clasificación

Una vez obtenidas las clasificaciones individuales de cada imagen, se obtiene la matriz de detección de cambios en donde la columna inicial muestra las clases de la imagen (Cuadro 2.2). La duración del período de cambio se coloca en la fila horizontal, y en la diagonal principal se muestra los cambios que pueden y no pueden darse Bedon & Pinto (2012).

Cuadro. 2.2. Matriz de detección de cambios (ejemplo)

Píxeles como clasificados	Píxeles en clases verdaderas			
	CN	MLD	Nudos	Total píxeles
CN	2002	312	22	1336
MLD	3	11262	200	11465
Nudos	73	512	2014	799
Total píxeles	2078	12086	436	14600
Precisión (%)	96.3	93.2	49.1	92.3

Fuente: Rojas & Ortiz (2010)

2.12. Tipos de imágenes empleadas en teledetección

Martínez & Díaz (2005), mencionan que la teledetección espacial hace uso de las imágenes de satélite como un insumo de datos para extraer información del medio geofísico y geográfico. El número de bandas, las regiones del espectro electromagnético en las cuales se encuentran localizadas, la resolución espacial y el tamaño de la imagen producida por los diferentes satélites. Los sistemas de percepción remota constan de tres elementos, una fuente de iluminación, un sensor y el objeto observado. Las imágenes satelitales se encuentran en formato raster y pueden ser: imágenes pancromáticas y espectrales. Estas imágenes se caracterizan por poseer resolución espacial, espectral y radiométrica.

2.13. Clasificación digital de imágenes Landsat

Estrategia ambiental (2010), señala que la constelación de satélites Landsat (Land = tierra y Sat = satélite), que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres; la forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el Landsat 7 y 8 (Cuadro 2.3.), este último fue puesto en órbita recientemente, su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional Aeronáutica y Espacial (NASA) en tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Los satélites Landsat llevan a bordo diferentes instrumento, su evolución buscó siempre captar más información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí las mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores. Las imágenes Landsat están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una gama de imágenes de color que incrementan notablemente sus aplicaciones. Dependiendo del satélite y el sensor se incluye un canal pancromático; asimismo las resoluciones espaciales varían de 15, 30, 60 y 120 m.

Cuadro. 2.3. Constelación LANDSAT

SATÉLITE	FECHA DE LANZAMIENTO	FIN DE OPERACIÓN
ERTS1	23/JULIO/1972	05/ENERO/1978
LANDSAT 2	22/ENERO/1975	27/JULIO/1983
LANDSAT 3	05/MARZO/1978	07/SEPTIEMBRE/1993
LANDSAT 4	16/JUNIO/1982	1983
LANDSAT 5	01/MARZO/1984	2012
LANDSAT 6	03/OCTUBRE/1993	03/OCTUBRE/1993
LANDSAT 7	1998	EN OPERACIÓN
LANDSAT 8	2013	EN OPERACIÓN

Fuente: Aspectos técnicos de las imágenes Landsat, INEGI (2013)

Bandas satelitales

La descripción y el uso de las bandas que pertenecen a una imagen satelital Landsat es la siguiente (Cuadro 2.4):

Cuadro. 2.4. Bandas Satelitales

Banda	Longitud de onda	Aplicación
Banda 1	(0,45 a 0,52 micrones - azul)	Diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo: coníferas y latifoliadas. También es útil para diferenciar los tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.
Banda 2	(0,52 a 0,60 micrones - verde)	Especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas.
Banda 3	(0,63 a 0,69 micrones - rojo)	Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas.
Banda 4	(0,76 a 0,90 micrones - infrarrojo cercano)	Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.
Banda 5	(1,55 a 1,75 micrones - infrarrojo medio)	Indica el contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.
Banda 6	(10,40 a 12,50 micrones - infrarrojo termal)	El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo termal.
Banda 7	(2,08 a 2,35 micrones - infrarrojo medio)	Discriminación rocas y sirve para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de hidroxilos (OH) y la absorción de agua.

Fuente: Clasificación de usos de suelo de imágenes satelitales Landsat. Gómez (2006)

Estas siete bandas pueden combinarse de a tres o más, produciendo una gama de imágenes de color compuesto que incrementan notablemente sus aplicaciones, especialmente en el campo de los recursos naturales. (Gómez, 2006)

Clasificación no supervisada de imágenes Landsat

Crea agrupamientos espectrales o clusters y el analista debe intentar asociar una clase temática a cada uno de dichos grupos, a través de estudios se han propuesto numerosos algoritmos para crearlos. Se trata de un método iterativo que requiere relativamente poca intervención humana, siendo usual que el analista deba especificar lo siguiente:

- Número máximo.
- Máximo porcentaje de píxeles.
- Número mínimo.
- Máxima desviación.

Suele también fijarse valores mínimos para las distancias entre los centros de los clusters, cuando la distancia resulta inferior a dichos valores se fusionan (TELEDET, 2007).

Clasificación supervisada de imágenes Landsat

Según Mera (2013), es uno de los métodos usados para transformar datos de imágenes multiespectrales en clase de información temática. Este procedimiento asume que la imagen de un área geográfica específica es registrada, en regiones múltiples del espectro electromagnético.

La identidad y la ubicación de las clases o tipos de cubierta (urbano, hidrografía) son conocidas previamente a través de trabajos de campo, análisis de fotografías aéreas, o por otros medios. Comúnmente se identifican áreas específicas en la imagen multiespectral que representan los tipos deseados de rasgos conocidos, y usa las características espectrales de estas áreas conocidas

para “ordenar” el programa de clasificación para asignar cada pixel de la imagen a una de estas clases. Parámetros estadísticos multivariados tales como media, desviación estándar, y matrices de correlación son calculados para cada región de instrucción, y cada pixel es evaluado y asignado a la clase con la cual tiene la mayor probabilidad de ser parte.

Matriz de confusión

Los resultados de la clasificación de imágenes deben compararse con los datos obtenidos en campo. Esto permite generar una matriz de confusión que permite comparar la clase del mapa y la clase obtenida con información de referencia. La Figura 2.3, presenta un ejemplo genérico de una matriz de confusión para un mapa hipotético con tres clases de uso y cobertura del suelo. Los valores en la diagonal representan el número de puntos para los cuales la clase representada en el mapa coincide con la clase asignada. Los valores fuera de la diagonal representan errores de representación de las clases (diferencias entre la clase asignada en el mapa y la clase asignada al punto de validación).

Cuadro 2.5. Ejemplo genérico de una matriz de confusión para un mapa con tres clases de uso y cobertura del suelo

		Datos referencia			
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Total
Datos mapa	Clase 1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	$X_{1.}$
	Clase 2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	$X_{2.}$
	Clase 3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	$X_{3.}$
	Total	$X_{.1}$	$X_{.2}$	$X_{.3}$	$X_{..} = T$

Fuente: Congalton (1991)

Congalton (1991), señala que la matriz de confusión permite calcular las siguientes medidas de exactitud:

- Exactitud Total: Es la suma de la diagonal principal, dividido para el total de entradas en la matriz.

- Exactitud del Productor, errores de omisión: Se calcula, dividiendo el número de puntos interpretados correctamente en cada categoría, para el número total de puntos de referencia en la misma categoría. Esta medida muestra la probabilidad de clasificar correctamente una clase determinada.
- Exactitud del Usuario, errores de comisión: Se calcula dividiendo el número de puntos interpretados correctamente en cada categoría, para el número total de puntos clasificados para esa categoría. Esta medida representa la probabilidad de que un punto interpretado representa la categoría correcta.

Análisis Kappa, medida estadística de acuerdo, más allá de un efecto del azar, entre los puntos interpretados y los puntos de referencia (Cohen, 1960, Congalton, *et al.* 1983). El Análisis Kappa incorpora errores de omisión y comisión (fuera de la diagonal de la matriz de confusión) en una sola medida.

2.14. Índices de vegetación acuática

Sancha (2010), define a los índices de vegetación acuática como variables que permiten estimar el desarrollo tanto de la vegetación acuática como del espejo de agua. Los índices de vegetación acuática son los siguientes: Índice de vegetación normalizada (NDVI) e Índice de agua normalizada (NDWI).

Índice de vegetación normalizada (NDVI)

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en 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. Estimaciones como éstas han permitido usar éste índice para describir los patrones de vegetación, explorar el funcionamiento de los ecosistemas y respuestas a cambios globales.

El índice NDVI está basado en la observación del fuerte contraste producido entre la banda del rojo, por parte de la clorofila de las hojas y la fuerte reflexión en el infrarrojo cercano.

La fórmula para calcular el NDVI es la siguiente:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Dónde: NIR y RED son los valores de reflectancia de la luz en la región del rojo e infrarrojo cercano respectivamente (Meneses, 2011).

Índice de agua normalizada (NDWI)

El NDWI (Normalized Difference Water Index) es uno de los índices más utilizado para estimar la presencia de agua, se ha permitido explorar el funcionamiento de los ecosistemas y sus respuestas a cambios globales. El índice NDWI está basado en la observación del fuerte contraste producido entre la banda del verde y la fuerte reflexión en el infrarrojo cercano.

La fórmula para calcular el NDWI es la siguiente:

$$\text{NDWI} = (\text{G} - \text{NIR}) / (\text{G} + \text{NIR})$$

Dónde: G y NIR son los valores de reflectancia de la luz en la región del verde e infrarrojo cercano respectivamente (Meneses, 2011).

2.15. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta que integra conceptos y procedimientos generados trabaja con datos geo referenciados para la gestión de análisis de datos espaciales y elaboración de cartografía en diferentes campos de las ciencias tales como la geografía física y humana, el manejo de recursos naturales, ecología, agricultura, ciencias de la computación, matemáticas entre otras (Sánchez & Amorós, 2012). Por lo tanto el conocimiento

de las bases de los SIG es esencial para el trabajo interdisciplinario, por otro lado la adquisición de datos en estaciones terrestres dio inicio a la investigación en percepción remota de la superficie de la Tierra.

Los fundamentos de dicha técnica comprenden la adquisición, proceso y análisis de datos para la evaluación de la distribución de los recursos terrestres. Los datos obtenidos por satélites han contribuido a la evaluación de la distribución de los recursos naturales y al estado que guardan los mismos mediante el uso de imágenes digitales (Webster & Oliver, 2001).

2.16. Teledetección y SIG

La teledetección y los SIG en principio funcionaron como tecnologías independientes, sin embargo en el transcurso de los años surge una correlación entre SIG y teledetección, favorecida por su desarrollo en el mismo tipo de entornos de trabajo y por similares requerimientos en cuanto a hardware y software, en definitiva ambas tratan con información espacial georreferenciada de la que se pretenden extraer conclusiones relevantes desde un punto de vista medioambiental o de planificación, por lo tanto se considera a la teledetección como fuente de información importante para un SIG agilizando la determinación del estado de la vegetación simplemente procesando una serie de imágenes (TELEDET, 2007).

Una de las diferencias básicas entre la fotografía aérea y la teledetección es que en la primera la radiación procedente de los objetos se registra en un medio material mediante una reacción química, mientras que en teledetección el sensor explora la superficie terrestre a intervalos regulares y almacena, para cada uno de estos intervalos espaciales, un número que es función de la radiación recibida y cuyos valores están comprendidos entre 0 y $2b$ siendo b la resolución radiométrica del sensor. Este número se denomina Nivel Digital o ND, cuanto mayor sea el valor de ND mayor es la radiación que recibe el sensor. De este modo una imagen

de satélite es una matriz de NDs en la que la fila y columna de cada ND indica su posición en el espacio.

2.17. Técnicas de proyección del crecimiento de vegetación acuática

El Land Change Modeler (LCM) de IDRISI Selva es un software innovador de ordenación del territorio (Figura 2.5), se encuentra también disponible por separado como una extensión para ArcGIS. El LCM es una de las herramientas más útiles a nivel mundial, ampliamente utilizado para la priorización de conservación y planificación, el software permite analizar rápidamente el cambio de cobertura terrestre, simular escenarios futuros de cambio de tierras, escenarios de emisiones de REDD (Reducción de Emisiones de Carbono causada por la Deforestación y la Degradación de los Bosques) y modelo de impactos y biodiversidad.

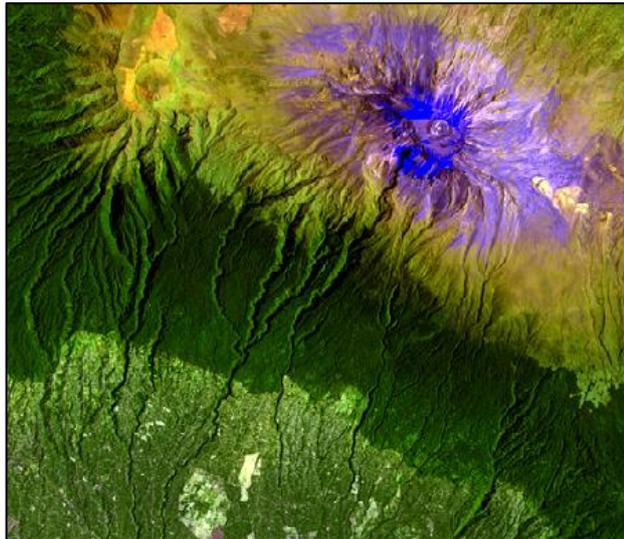


Figura. 2.5. Land Change Modeler for Ecological Sustainability (LCM) de IDRISI Selvente

Fuente: www.clarklabs.org (2014)

Con un flujo de trabajo fácil de usar automatizado, el software simplifica las complejidades del análisis de cambios, gestión de recursos y la evaluación del hábitat. Totalmente integrado en el IDRISI sistema de procesamiento de imagen y GIS (Clark University, 2012).

2.18. Estudios realizados mediante técnicas de teledetección

“Caracterización de la vegetación acuática del humedal del río cruces por medio del análisis de imágenes espectrales”

El trabajo consistió en explorar el uso de señales espectrales específicas de las principales especies de macrófitas y juncos actualmente presentes en el humedal del Río Cruces (*Egeria densa*, *Potamogeton spp* y *Scirpus californicus*) mediante el uso de imágenes espectrales, con el fin de estimar la cobertura de la vegetación acuática del humedal y proponer una metodología rápida y eficiente para su estudio y monitoreo. Se efectuó una clasificación supervisada y se calculó el índice NDVI a partir de imágenes Landsat TM del humedal. El análisis de los perfiles espectrales de las especies, mostró diferencias significativas en la banda del infrarrojo cercano, entre *E. densa* y *Potamogeton spp*. El perfil espectral de *S. californicus* fue significativamente mayor que el de las especies anteriores. Sin embargo, los valores NDVI obtenidos no mostraron diferencias entre las especies. Los resultados de la estimación de las coberturas de las especies objetivo, por medio de la clasificación supervisada, la aplicación del índice NDVI y la comparación entre ambos, muestran que ambos análisis detectan de manera similar los cambios temporales en la coberturas y que el uso de firmas espectrales de especies aplicadas a imágenes Landsat TM debiera estar orientado al estudio de comunidades de macrófitas más que a estudios especie-específicos, tal como ha sido señalado en la literatura en estudios de macrófitas mediante sensores remotos de resolución media (Marey, 2013).

“Aplicaciones de la teledetección y SIG en la caracterización de humedales en la reserva de la biosfera de la mancha húmeda”

Este trabajo de investigación tiene la finalidad de mostrar la utilidad de las técnicas de teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de una parte de los humedales de la Reserva Biosfera de la Mancha Húmeda ubicada en Madrid – España. Mediante las herramientas de los diferentes

softwares es posible diferenciar las algas de la vegetación higrohalófito mediante diversas mezclas de bandas. La aplicación de la teledetección al estudio de los humedales, ha permitido detectar la presencia de contaminación y eutrofización de sus aguas, revelando como más idóneas las imágenes de satélite del periodo estival. Las imágenes en falso color y color natural resultan muy útiles para diferenciar la vegetación acuática de la vegetación higrohalófito natural. En el caso de lagunas muy salinas, es necesario conocer el perfil espectral y el terreno, al confundirse en algunos casos los sectores eutrofizados con acumulaciones de materia orgánica. El resultado obtenido de la investigación permite cartografiar el perímetro de orla de vegetación natural máxima y cartografiar el perímetro de máxima inundación (Pérez, 2011).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe los materiales que se emplearon en la presente investigación, también el desarrollo sistemático y secuencial de los diferentes procesos investigativos.

3.1. Materiales y equipos

Materiales

- Imágenes multiespectrales del satélite LANDSAT sensores TM, ETM y OLI con tres fechas de toma 1993, 2007 y 2010
- Softwares ArcGIS 10 y ERDAS 2013
- Registros mensuales y anuales del INAMHI de precipitación y temperatura
- Cartas topográficas del IGM a escala 1:50.000
- Libretas de campo

Equipos

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- Computador portátil
- Impresora
- Cámara fotográfica y videocámara
- Vehículo

Recursos Humanos

- Tesista, Director de tesis y asesores
- Apoyo local

3.2. Caracterización del área de estudio

El proyecto multipropósito Daule Peripa, es una de las obras hidráulicas más importantes realizada en el Ecuador. Geográficamente comprendida entre las coordenadas 0°41' y 0°57' latitud sur, 79°54' y 79°32' longitud oeste, 10 km aguas abajo de la confluencia del río Daule con el Peripa (Figura 3.1) en la cuenca del río Guayas; el embalse inunda aproximadamente 420.000 hectáreas, de las cuales, 250.000 han sido declaradas como área de reserva, forma un lago artificial con un espejo de agua de aproximadamente 295 km², almacenando alrededor de 6.000.000.000 m³ (seis mil millones de metros cúbicos) de agua.

El área de estudio comprende cuatro provincias: Guayas, Los Ríos, Manabí y Pichincha, la provincia con mayor extensión dentro de la cuenca es Manabí con un total de cuatro cantones: Pichincha, Chone, Flavio Alfaro y El Carmen. En la provincia del Guayas, los territorios dentro del área de la cuenca pertenecen al cantón El Empalme, en la provincia de Los Ríos, los cantones Buena Fe y Quevedo y en Pichincha el cantón Santo Domingo de Los Colorados. Además, existe un área conocida como La Manga del Cura que no tiene jurisdicción provincial reconocida en ninguna de las cuatro provincias anteriormente mencionadas (CELEC, 2014).

El proyecto Daule Peripa genera al país desde su central hidroeléctrica 213 MW anuales, es decir, el 20% de la energía eléctrica que se consume en el país. Además, beneficia a la producción de más de 100.000 hectáreas a través de su sistema de riego y el trasvase de aguas hacia la península de “Santa Elena” y parte de la provincia de Manabí (Romero, 2005). Las coordenadas de los puntos extremos del área de estudio (Cuadro 3.1), y presentan de acuerdo a la cartografía los sitios más afectados por el crecimiento acelerado de las especies de vegetación acuática.

Cuadro. 3.1. Coordenadas UTM del área de estudio, Datum WGS84, Zona 17 Sur

PUNTOS	NOMBRES	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD msnm
P1 NORTE	Boca de Gualipe	660500	9920500	88
P2 SUR	Guayaquil Chiquito	660500	9910500	86
P3 ESTE	Barraganete	640500	9910500	87
P4 OESTE	La Reserva	660500	9910500	87

Fuente: Mapa Base Embalse Daule Peripa, (2014)

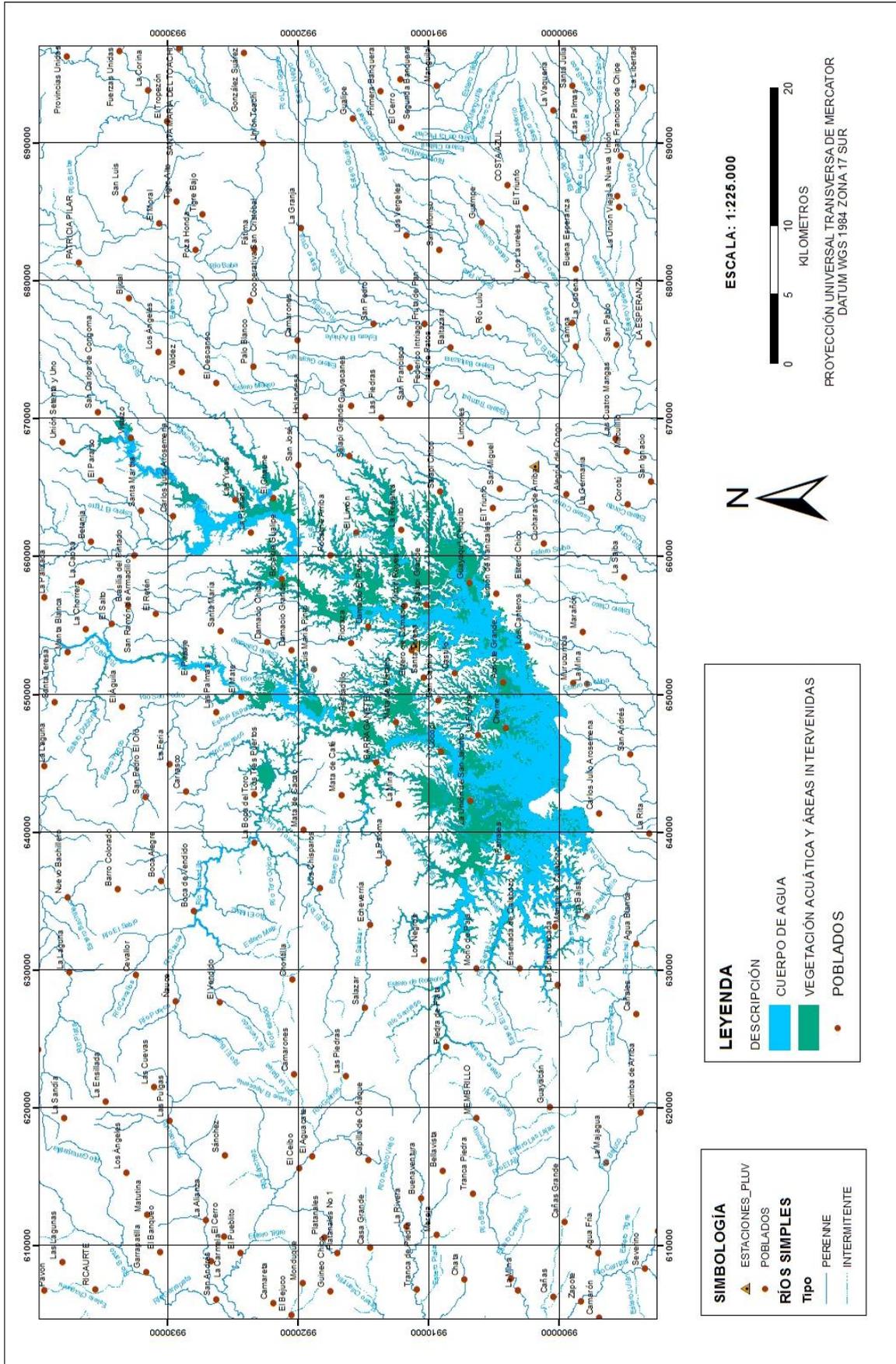


Figura. 3.1. Mapa Base del Embalse Daule Peripa
Fuente: Elaboración propia, (2014)

3.2.1. Componente biótico

El área de estudio, se encuentra ubicada en el cantón El Empalme, provincia del Guayas, el embalse atraviesa áreas rurales (Fotografía 3.1), aproximadamente un 30% del área de la cuenca está destinada a la actividad agrícola. La mayor parte de esta corresponde a cultivos de tipo permanente entre los que destacan el café (7%), cacao (7%), banano-plátano (4,5%), palma africana (4%) y otros (2,5%) como el caucho. El 5% restante se dedica a la producción de cultivos de ciclo corto entre los que se encuentran principalmente maíz, arroz, soya, maíz y hortalizas (Arauz, 2012).



Fotografía 3.1. Señalización vial al Embalse Daule Peripa.
Fuente: La autora (2014)

Dentro del trabajo de investigación se realizó la caracterización biótica del área, considerando que las áreas de estudio presentan cobertura vegetal natural a sus alrededores (Fotografía 3.2), excepto por algunos espacios dispersos de especies vegetales acuáticas que llegan por los afluentes al embalse. En el resto de la cuenca el área destinada a cultivos de ciclo corto es menor y está orientada fundamentalmente hacia el autoconsumo. Para el desarrollo de actividades agrícolas no se usa maquinaria, pero se emplean agroquímicos principalmente en

los cultivos de arroz, maíz y frutales. Este tipo de actividad es probablemente la causa de la intervención en los relictos de los bosques de la cuenca y su conversión final a pastizales (Arauz, 2012)

En la actualidad, es poca el área que queda de bosque y por lo tanto se recurre a la utilización de terrenos invadidos por malezas y sucesiones secundarias en etapas tempranas, con el riesgo de ir progresivamente degradando los recursos.



Fotografía 3.2. Vista panorámica al Embalse Daule Peripa.
Fuente: La autora (2014)

Flora

El área de estudio actualmente se encuentra conformada por zonas destinadas principalmente para cultivo y pequeños remanentes de vegetación secundaria (Figura 3.2), esta área, según las clasificaciones utilizadas comúnmente para describir la vegetación en el país, corresponde a la zona de vida Bosque húmedo Tropical (bhT) de acuerdo a Cañadas (1983); y Bosque deciduo de Tierras Bajas Sierra (1999). El tipo de vegetación se determinó a partir de la interpretación de imágenes satelitales obtenidas en los sitios web de la NASA, mediante el software ArcGIS 10 se obtuvieron los aspectos generales de la cobertura acuática, la misma que se describe a continuación: Vegetación acuática y áreas intervenidas con una superficie de 20.860 Ha, los cuales no fueron identificados de forma individual, en vista de que el área de estudio es demasiado extensa; mientras que la superficie ocupada por el espejo de agua es de 15.392 hectáreas.

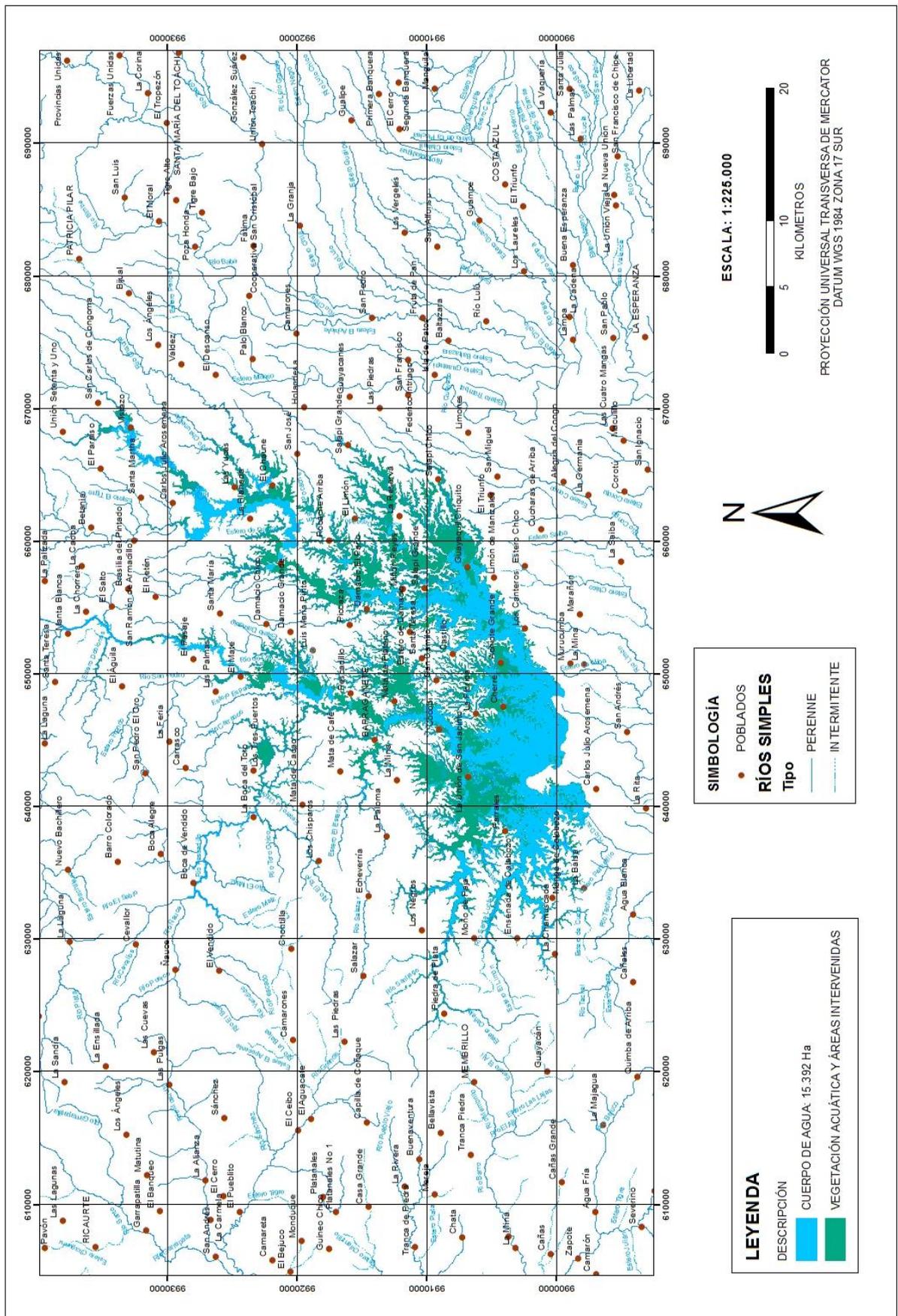


Figura. 3.2. Mapa Cobertura Vegetal del Embalse Daule Peripa
Fuente: Elaboración propia, (2014)

Tipo de vegetación

En el Embalse Daule Peripa, existen varias especies acuáticas, sin embargo hay una en especial que se encuentra en abundancia debido a su fácil propagación y reducido tiempo de crecimiento. Al recorrer el embalse en la época seca la distribución de la especie en el espejo de agua es más abundante que en la época lluviosa.

El análisis del mapa hidrológico del año 2014 brinda una descripción detallada del número de hectáreas que ocupa el cuerpo de agua y la vegetación acuática (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Descripción agua, vegetación acuática y áreas intervenidas

	Descripción	Superficie Hectáreas
	Cuerpo de agua	15.392
	Vegetación acuática y áreas intervenidas	20.860

Fuente: Sistema Nacional de Información (SNI), 2013

Especie abundante en el embalse Daule Peripa

En el embalse Daule Peripa existe diversidad de vegetación acuática entre flotante y sumergida, sin embargo la presencia de la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms es alta, debido al gran tamaño, rápida propagación y desarrollo, se encuentra ocupando gran parte del espejo de agua convirtiéndose en la especie más invasora del lugar.

Rzedowski (2004), menciona que la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms posee un rápido crecimiento y fácil adaptabilidad, la especie es originaria de los cursos de agua de la cuenca del Amazonas por lo cual logró introducirse de manera definitiva en el Ecuador. Esta macrófita se ha distribuido prácticamente por todo el mundo, se la considera mala hierba, debido a que puede "taponar" en poco tiempo una vía fluvial o lacustre, en el caso de embalses el problema es que debido a la cantidad de sedimentos que llegan a través de los afluentes se genera

un aumento considerable de la especie en biomasa. Esta especie se caracteriza por tener hábitat flotante, carece de tallo aparente, presenta un rizoma emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa que forma una cavidad llena de aire, mediante la cual la especie vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática (Fotografía 3.3).



Fotografía 3.3. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms presente en el Embalse Daule Peripa
Fuente: La Autora (2014)

El Jacinto de agua como se lo conoce de forma común, habita en cuerpos de agua dulce como son: ríos, lagos, charcas y embalses localizados en latitudes menores a 40°N y 45°S. Las temperaturas menores a 0°C afectan su crecimiento al igual que una alta salinidad. (Fotografía 3.4).



Fotografía 3.4. Extracción de la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.)
Solms
Fuente: La Autora (2014)

Las raíces de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, son de color oscuro con las extremidades blancas en estado de crecimiento (Fotografía 3.5), gris violáceo cuando son maduras y pueden llegar a medir hasta 2 metros.



Fotografía 3.5. Tamaño y coloración de las raíces de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.

Fuente: La Autora (2014)

Impactos de las Invasiones de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms

La organización European and Mediterranean Plant Protection Organization (2008), señala que los principales impactos que se han identificado a nivel mundial en relación a invasiones del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) y similares plantas acuáticas son:

- Pérdida de agua debido a la evapotranspiración
- Es un hospedaje alternativo para plagas que atacan cultivos de arroz y maíz en la región Costa
- Elevados costos de eliminación y manejo
- Reduce la cantidad de luz y oxígeno del ecosistema acuático alterando el fitoplancton, las comunidades de invertebrados y los peces

- Desplaza plantas y hábitats nativos
- Bajo las capas de vegetación se generan sedimentos e incrementa la cantidad de detritos que es el resultado de la descomposición de una masa sólida en partículas
- La invasión de los espejos de agua restringe las actividades de recreación y turismo como pesca, navegación y desarrollo de deportes acuáticos
- Aumenta la cantidad de óxido nítrico (N₂O) en el agua aumentando la corrosión en las turbinas de centrales hidroeléctricas
- Es un hábitat ideal para vectores de enfermedades como cólera y tifoidea

Métodos de Control

A nivel mundial, el costo de manejar el Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) es tan alto para la economía como para la ecología (Martínez, 2004), por ejemplo, entre 1980 a 1991 solo en el estado de Florida (EEUU) se gastaron 43 millones de dólares para la supresión del Jacinto de Agua y actualmente se asignan 3 millones de dólares anuales para el control (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008).

Sin embargo para controlar la invasión de la especie se emplean varios mecanismos (Cuadro 3.3) que usados a tiempo pueden evitar la proliferación intensa de esta y otras especies.

Cuadro 3.3. Control de especies acuáticas del Ecuador

TIPO DE CONTROL	DESCRIPCIÓN GENERAL	COSTO	OBSERVACIÓN
Control químico	Aplicación de herbicidas	Bajo	Efectivo para la eliminación inicial pero no evita la re infestación
Control mecánico	Movimiento y trituración mediante equipos específicos	Alto	Lenta eliminación apropiada para controlar los rebrotes
Control biológico	Uso de insectos y/o patógenos	Bajo	Reduce significativamente el vigor de las invasiones

Fuente: Castillo (2013)

Fauna

El presente trabajo tiene como unidad de estudio una región de la costa ecuatoriana ubicada entre las provincias del Guayas, Los Ríos y Manabí, que originalmente pertenecieron al bosque tropical suroccidental, pero debido a los procesos de cambio a los que ha estado expuesta actualmente las características ecológicas han cambiado drásticamente y por ende la composición faunística.

En cuanto a fauna silvestre, conversaciones con pobladores y trabajadores que frecuentan el lugar aseguran que lo que se observa con mayor frecuencia son aves como pato cuervo (*Phalacrocorax brasilianus*), gallareta común (*Gallinula chloropus*), garceta bueyera (*Bulbucus ibis*) y gavilán caracolero (*Rostrhamus sociabilis*) (Fotografía 3.6), entre otras; las mismas que anidan en la vegetación acuática del embalse.



Fotografía 3.6. Gavilán caracolero (*Rostrhamus sociabilis*)
Fuente: La Autora (2014)

Además se encuentran algunos reptiles como iguana verde (*Iguana iguana*), barba amarilla (*Bothrops atrox*), víbora de coral (*Micrurus altirostris*), y boa (*Boa Constrictor*). En el embalse también se reconocen algunas especies de peces que han logrado establecerse y adaptarse a las condiciones de este ecosistema tales como: tilapia (*Oreochromis spp.*), langosta de agua dulce (*Cherax quadricarinatus*) (Fotografía 3.7), dica (*Pseudocurimata boulengeri*), guanchiche

(*Hoplias microlepis*), vieja azul (*Andinoacara rivulatus*), dama (*Brycon alburnus*), chame (*Dormitator latifrom*), barbudo (*Rhamdia quelen*), vieja roja (*Cichlasoma festae*), ratón (*Leporinus ecuadoriensis*), bocachico (*Ichthyoclephas humeralis*), cachama (*Piaractus brachypomus*), y bagre ciego (*Paracetopsis bleekeri*).



Fotografía 3.7. Langosta de Río (*Cherax quadricarinatus*)
Fuente: La Autora (2014)

La destrucción del hábitat de estas especies ha continuado sin interrupción. Se estima que los restos de bosque todavía existentes no son lo suficientemente grandes ni diversos para ofrecer todas las necesidades a poblaciones adecuadas de las especies que necesitan bosque denso o bosque natural.

3.2.2. Componente abiótico

Se hace también una breve caracterización abiótica del área de estudio, considerando como aspectos principales las características climáticas, aire del lugar y paisaje. La mayor parte de la superficie corresponde al espejo de agua y a la vegetación acuática distribuida en las riveras del embalse.

Características climáticas

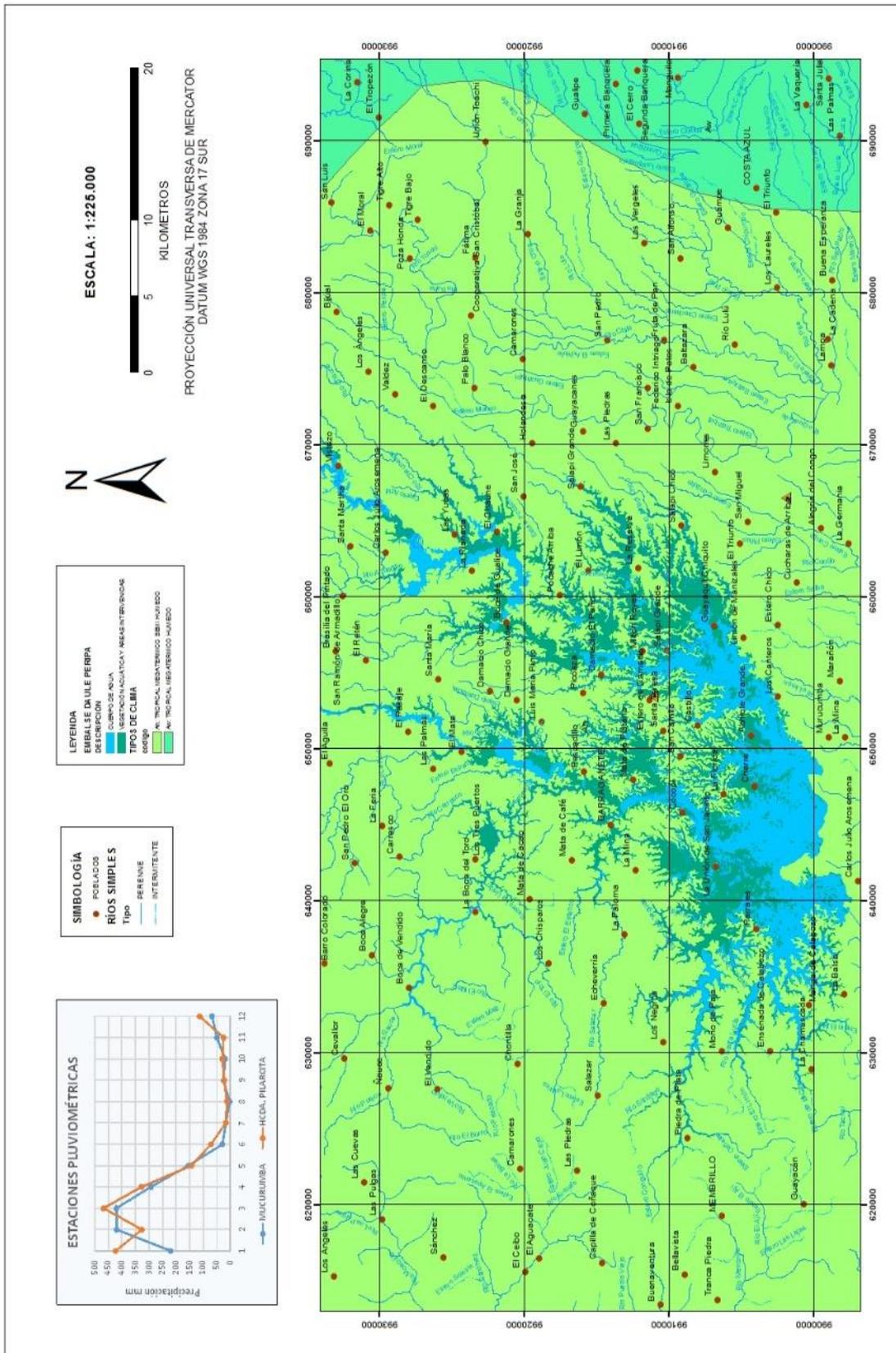
Según los datos de la estación meteorológica experimental Pichilingue ubicada en El Empalme a 52km del embalse, la temperatura anual del área de influencia es de 25,47 °C (Figura 3.3), con una humedad relativa promedio de 85,84% y una precipitación anual en el rango de 1718.2 a 1979.7 según las estaciones pluviométricas Mucurumba y Hda. Pilarcita (Cuadro 3.4) (INAMHI, 2013). Según el registro histórico climático, la región corresponde a la formación Bs-T (Bosque seco Tropical), según la clasificación ecológica de Holdridge (1992), es importante señalar que de acuerdo a la clasificación de Rodrigo Sierra (1998) el área de estudio se encuentra en una zona categorizada como intervenida.

Cuadro. 3.4. Estaciones pluviométricas valores multianuales (mm)

NOMBRE	MESES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
MUCURUMBA	219,7	419,1	420,1	293,2	154,5	29,1	16,7	2,8	25,7	19,7	49,7	67,9	1718,2
HDA. PILARCITA	423,1	326,1	467,6	327,6	143,1	71,3	16,7	12,3	23	29,9	25,3	113,7	1979,7

Fuente: INAMHI, 2013

El clima del área de estudio se clasifica como TROPICAL MEGA TÉRMICO SECO a SEMI – HÚMEDO (Pourrut,1996), debido a que el régimen de precipitación, se registra únicamente un máximo lluvioso y una sola estación seca muy marcada (Figura 3.5), las alturas promedio anuales de precipitación en todas las estaciones pluviométricas esta entre 500 a 3.000 mm, y la temperatura media anual es mayor a 25°C, (INIAP, 2014).



En los registros anuales del INAMHI del año 2013 (Figura 3.4), se muestra una

Figura. 3.3. Mapa de Tipos de Clima del Embalse Daule Peripa
Fuente: Elaboración propia, (2014)

distribución Los registros anuales del INAMHI en el año 2013, muestran una distribución de lluvias muy marcada (Figura 3.4), representada por un pico alto en el diagrama, esta época comienza desde la tercera semana de noviembre hasta marzo, y una disminución de lluvias a partir del mes de junio hasta las primeras semanas de noviembre, considerándose esta como la época seca, de acuerdo al diagrama pluviométrico se establecieron las salidas de campo para analizar la zona de estudio tanto en la época seca como en la época lluviosa (Figura 3.6).

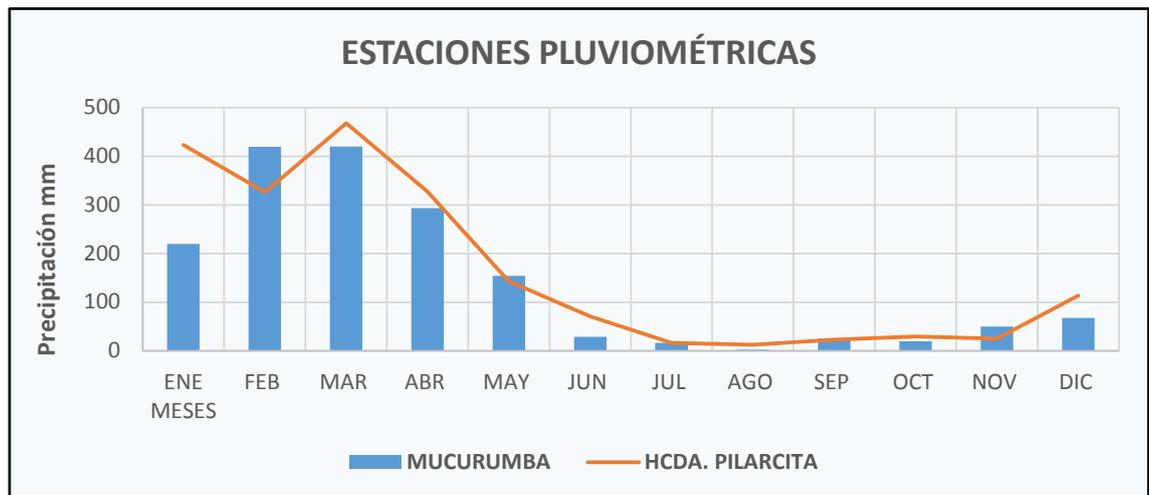


Figura 3.4. Diagrama pluviométrico
Fuente: INAMHI, 2013

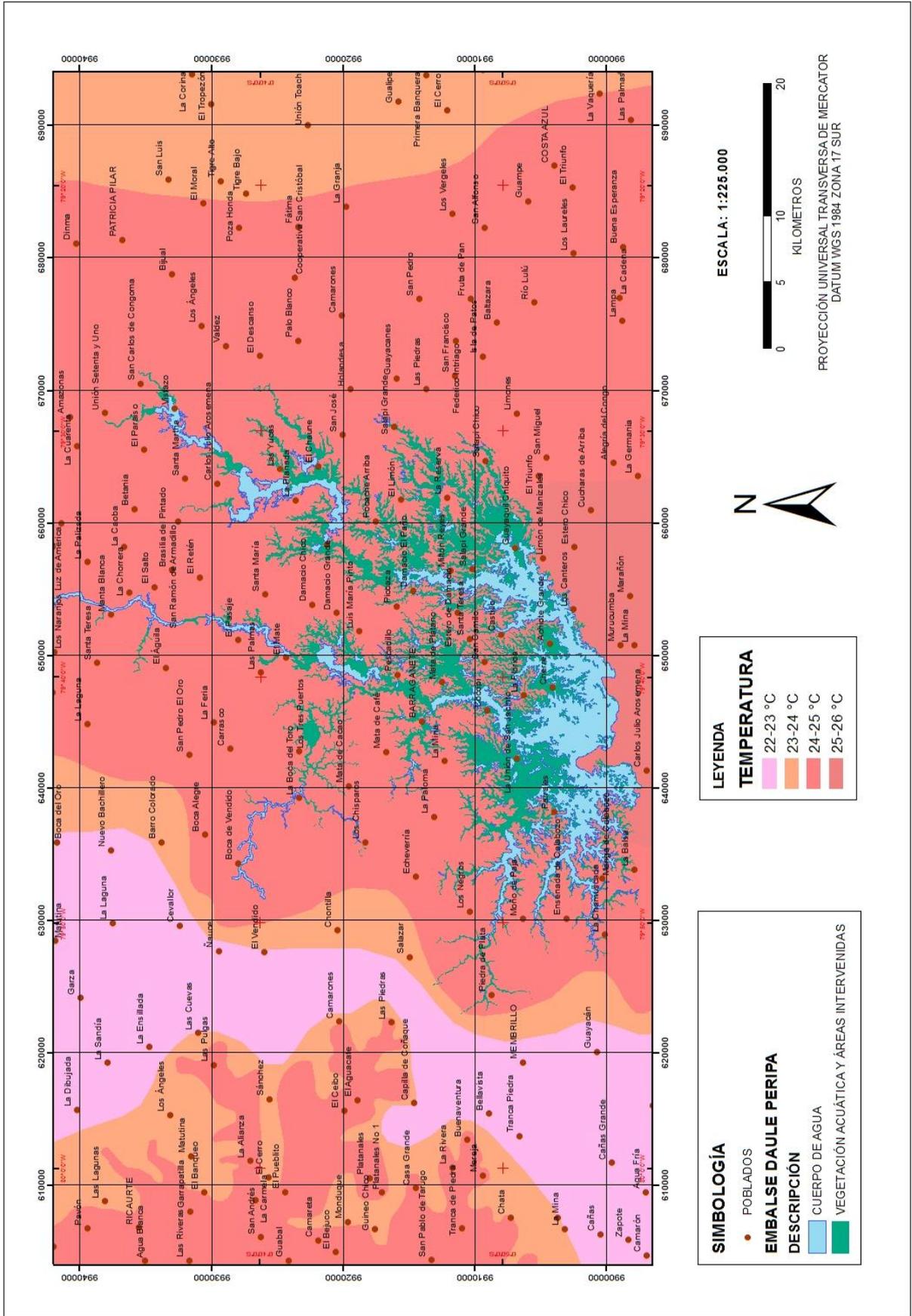


Figura. 3.5. Mapa de Isotermas Anuales del Embalse Daule Peripa
Fuente: Elaboración propia, (2014)

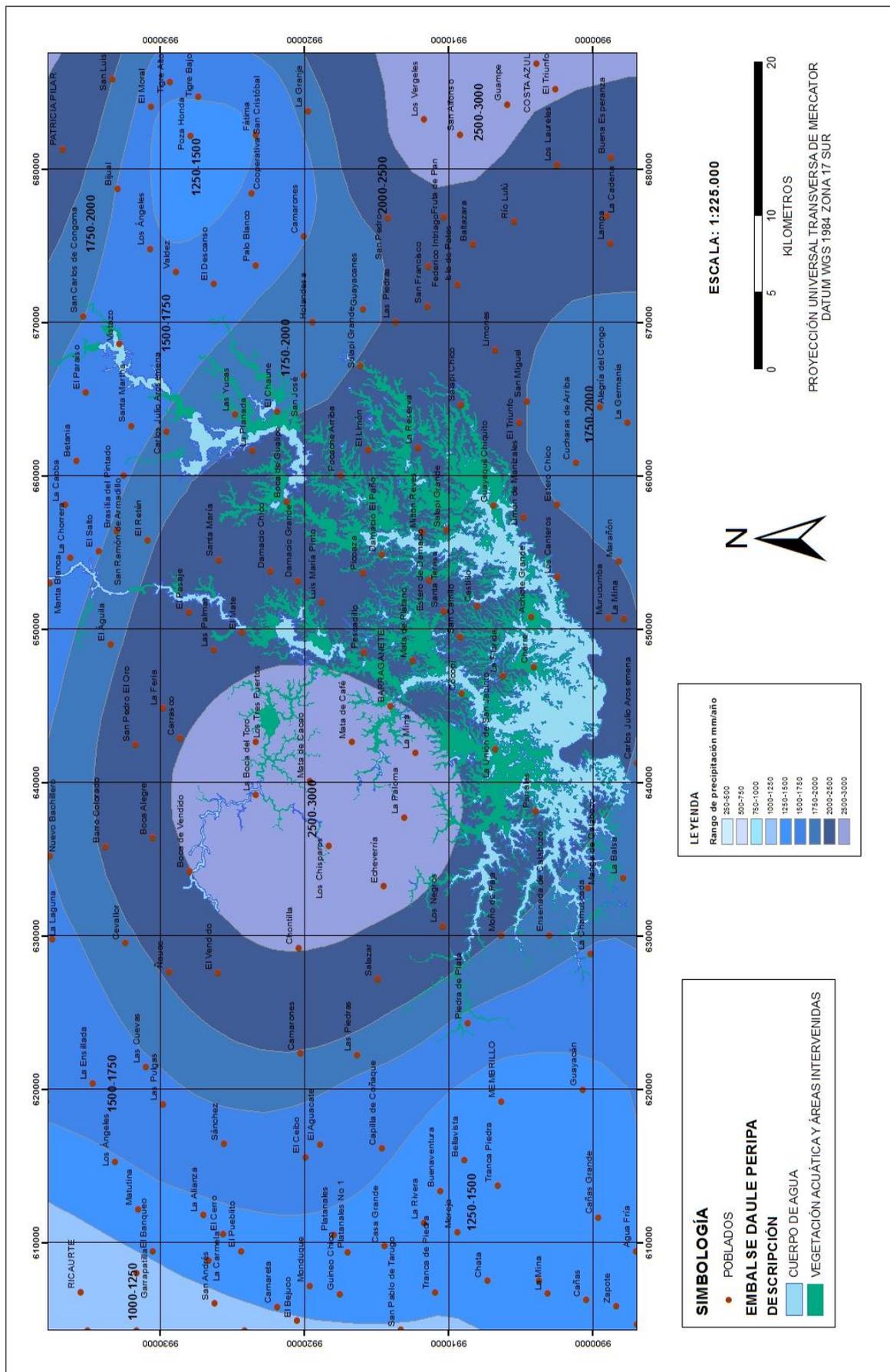


Figura. 3.6. Mapa de Isoyetas Anuales del Embalse Daule Peripa
Fuente: Elaboración propia, (2014)

Tipo de suelo en orden taxonómico

De acuerdo al Sistema Nacional de Información (2013), los suelos que ocupan una gran parte del área de estudio son clasificados (Cuadro 3.5) como INCEPTISOL con un 93,68%, son suelos de ambientes semihúmedos a húmedos, que generalmente presentan grados moderados de desarrollo, además son pobres en materia orgánica, este tipo de suelo ocupa 6.572 hectáreas. El tipo de suelo en orden taxonómico que predomina también es el ENTISOL con un 1,49%, se caracteriza por no presentar diferenciación de horizontes, son suelos desarrollados sobre material parental no consolidado, el único horizonte que se presenta en este orden es el A, (Figura 3.7).

Cuadro. 3.5. Clasificación taxonómica de suelos

ORDEN	SUPERFICIE Hectáreas	PORCENTAJE
INCEPTISOL	6.572	93,68%
ENTISOL	104	1,49%
MOLLISOL	85	1,22%
NO APLICABLE (INFRAESTRUCTURA)	76	1,08%
ALFISOL	66	0,94%
INCEPTISOL/ALFISOL	32	0,45%
MOLLISOL + INCEPTISOL	24	0,34%
TOTAL	6.861	100%

Fuente: Sistema Nacional de Información, 2013

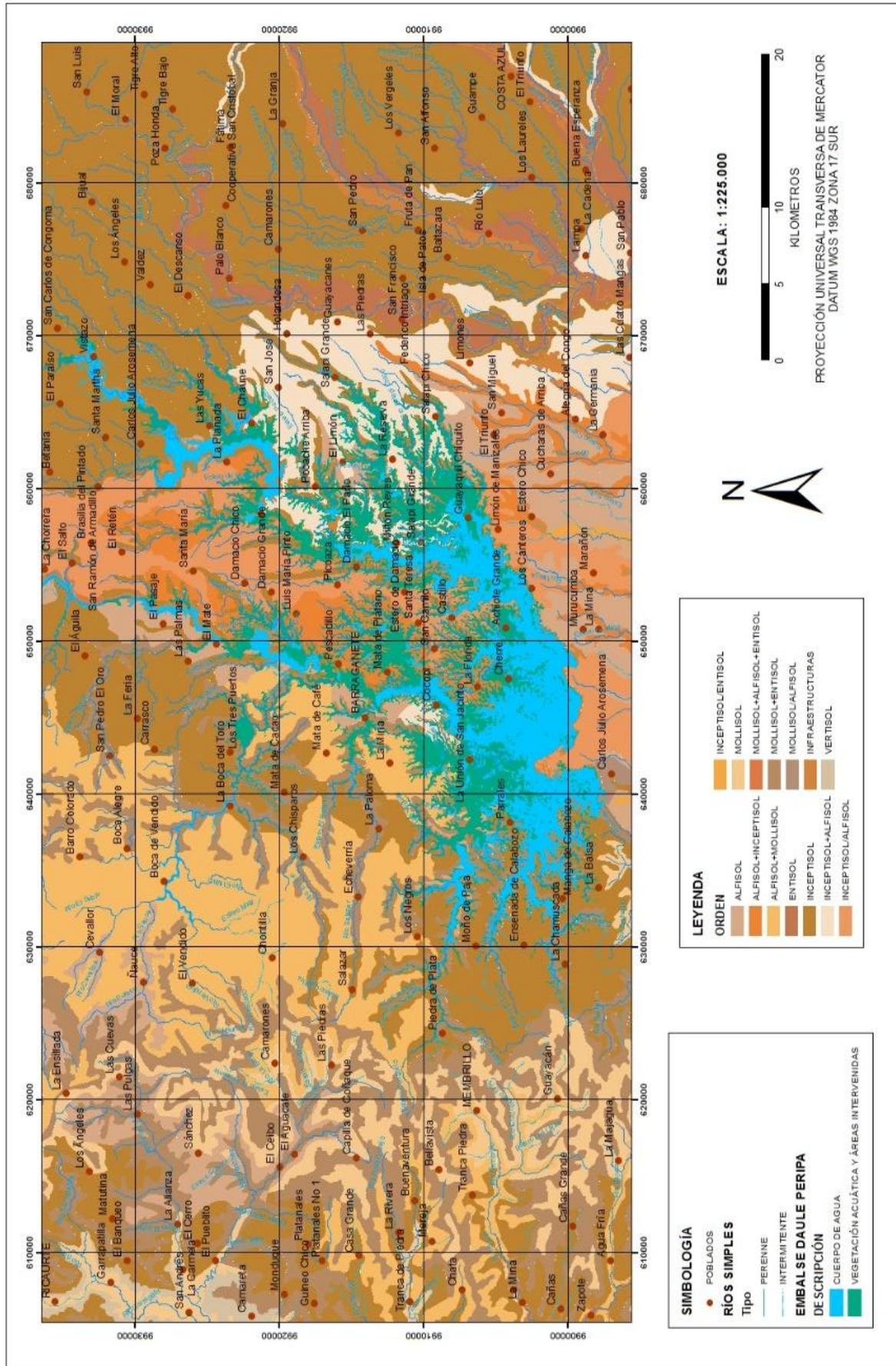


Figura. 3.7. Mapa de Tipos de Suelos del Embalse Daule Peripa
Fuente: Elaboración propia, (2014)

3.3. Métodos

Se analizó los factores físicos que intervienen en los procesos de reflectividad, absorción y dispersión de la radiación incidente, para plantear métodos de estimación para la reflectividad global observada por el sensor a partir de una serie de parámetros de entrada (propiedades ópticas de las hojas de vegetación acuática, ángulo de observación del sensor, fecha de toma de imágenes, entre otros).

Se estableció una relación de validez general, lo más independiente posible de las condiciones de observación que parten de demostrar la relación física entre el parámetro a estimar (ejemplo: reflectancia) y la información espectral contenida en la imagen (ejemplo: nivel de gris o digital). Luego de establecer esta relación, se estimó la variable a partir de la imagen, esto implicó un proceso de ajuste que generalmente no es muy preciso, ya que se deben asumir condiciones que rara vez se dan en la naturaleza, como isotropía en las hojas, reflectividad (sobre superficie especular), entre otros, (Godoy, 2013).

3.3.1. Elaboración de cartografía base

La elaboración de mapas temáticos se realizó en base a la información obtenida sobre el área de estudio, la cartografía fue generada a escala 1:225.000 debido su gran extensión y el software que se utilizó fue ArcGIS 10.1.

Los mapas temáticos generados fueron:

- Mapa base
- Mapa de ubicación
- Mapa de vegetación acuática 2000
- Mapa de vegetación acuática 2014
- Mapa de tipos de suelo
- Mapa hidrológico

Mapa de tipos de clima

Mapa de isoyetas medias anuales

Mapa de isotermas medias anuales

Mapa de proyección de vegetación acuática año 2030

3.3.2. Adquisición de imágenes

Consistió en la búsqueda y descarga de imágenes Landsat con fecha de toma 1993, 2000 y 2014, para lo cual se emplearon los geo portales de la NASA y la USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) como se observa en las figuras 3.8, y 3.9. Se describió las principales características de las imágenes como: resolución espacial, resolución espectral y resolución radiométrica. La descarga de imágenes consistió en la obtención de cuatro bandas en el caso del sensor TM, también cuatro bandas en el caso del sensor ETM y OLI para realizar el análisis de la vegetación.

Las imágenes descargadas fueron seleccionadas de acuerdo a las especificaciones requeridas (Figura 3.10), sobre todo la fecha de toma. En la década de 1990 al 2000 debido a la gran extensión del embalse en una sola imagen Landsat no era posible capturar toda el área de estudio, por ende se realizó la descarga dos imágenes y mediante las herramientas del software ERDAS se continuo con el procesamiento y unión de las imágenes Landsat. A partir del 2007 es decir para el año 2014 ya se encontró el área de estudio en una sola imagen satelital (Figura 3.11)



Figura: 3.8. Imagen del satélite Landsat 1993
Fuente: USGS, 2014

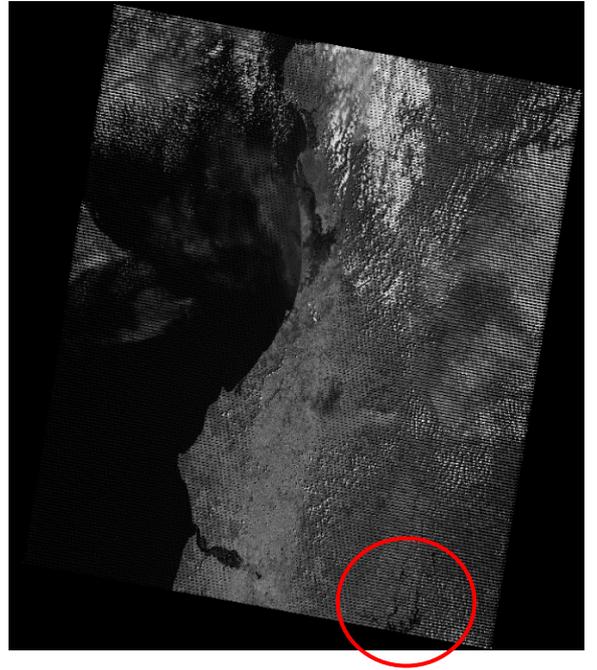


Figura: 3.9. Imagen del satélite Landsat 1993
Fuente: USGS, 2014

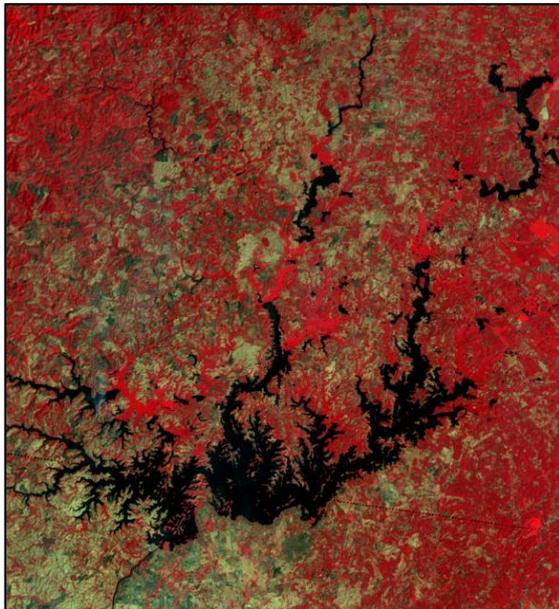


Figura: 3.10. Imagen del satélite Landsat 2000
Fuente: USGS, 2014

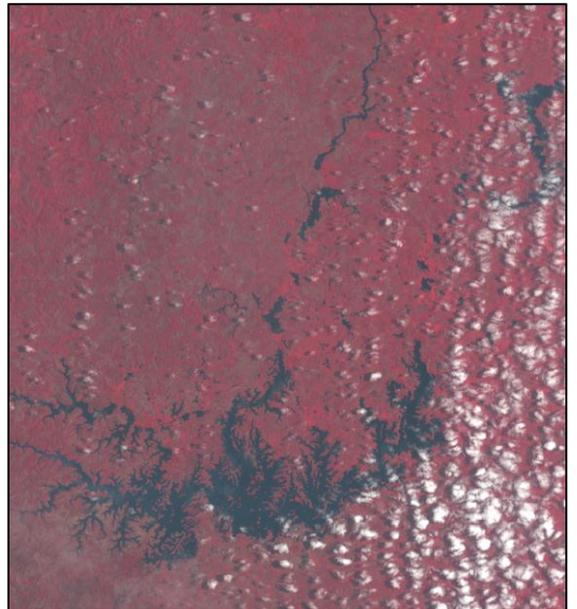


Figura: 3.11. Imagen del satélite Landsat 2014
Fuente: USGS, 2014

3.3.3. Procesamiento de imágenes

Se usó el software ERDAS (Figura 3.12) para el procesamiento de las imágenes, mediante este software se consiguió la unión de bandas en un solo archivo raster para proceder con la corrección geométrica, corrección radiométrica, corrección topográfica y corrección atmosférica.

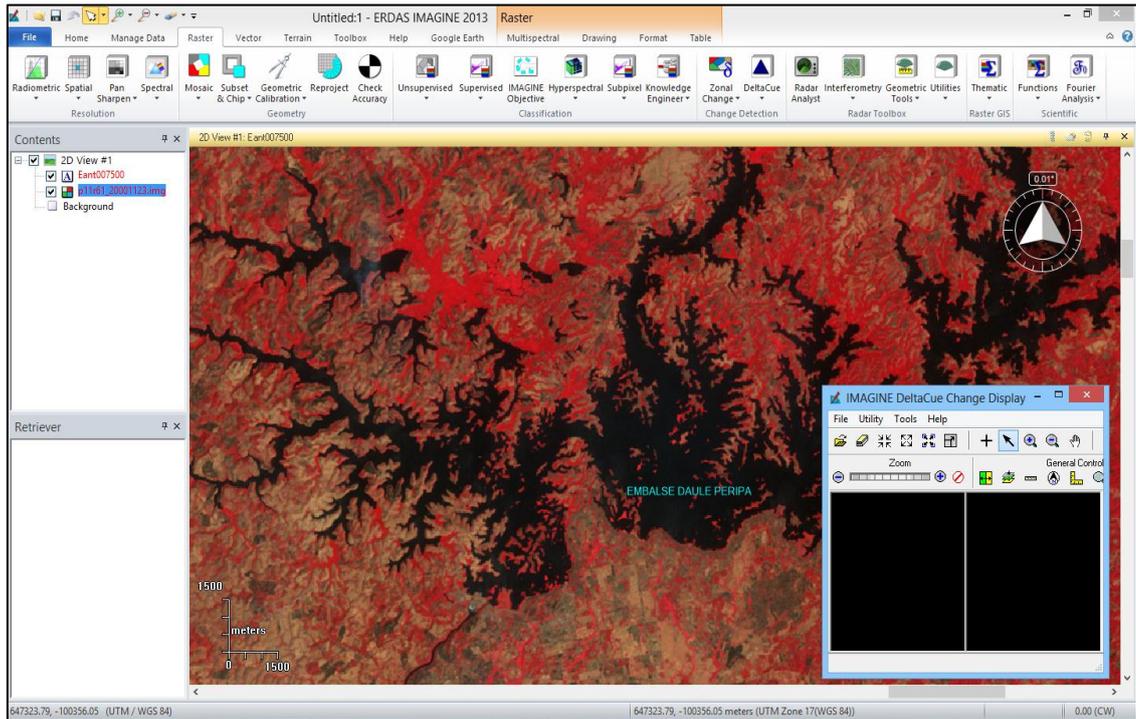


Figura 3.12. Procesamiento digital de imágenes en ERDAS

Fuente: La Autora (2014)

Corrección Geométrica

Las correcciones geométricas se realizan básicamente por dos motivos:

1. Por las variaciones espaciales ocurridas en el proceso de captura de la información e inherentes al movimiento del sensor (aleteo, cabeceo, variaciones en altura y velocidad, entre otros).
2. Por la necesidad de ajustar, dicha información, a un sistema de referencia determinado (sistema geodésico, proyección cartográfica, entre otros).

Sin embargo, dicha corrección se la realiza solo en imágenes hasta el año 1990, a partir de este ya no es necesario debido a que las imágenes ya se las adquiere referenciadas.

Corrección Topográfica

La corrección topográfica permite compensar las diferencias de iluminación solar, debidas a la variación altitudinal del terreno. Ciertas zonas del área de estudio pueden presentar menos reflectividad de lo que debieran, y otras zonas una reflectividad más alta de lo esperado (Chuvieco, 1996). La herramienta utilizada para la corrección atmosférica en ERDAS es Noise reduction (Figura. 3.13)

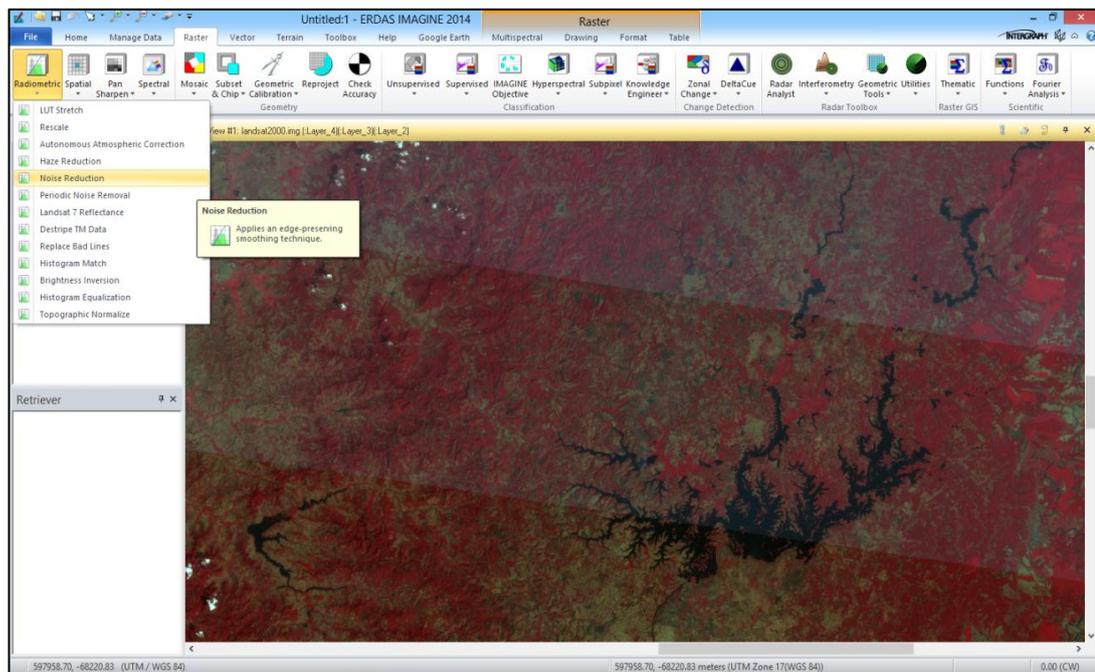


Figura 3.13. Herramienta Noise reduction para Corrección Topográfica en ERDAS
Fuente. La Autora (2014)

Corrección Atmosférica

Trata de corregir problemas mecánicos en el sensor que generan valores erróneos en píxeles concretos, por otra parte trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiación electromagnética que llegan al sensor desde la superficie terrestre, originados por parte de los gases y partículas en suspensión se realiza principalmente para que las variaciones en los modelos fueran independientes de las condiciones atmosféricas (Chuvieco, 1996). La herramienta utilizada para la corrección atmosférica en ERDAS es Haze reduction (Figura. 3.14).

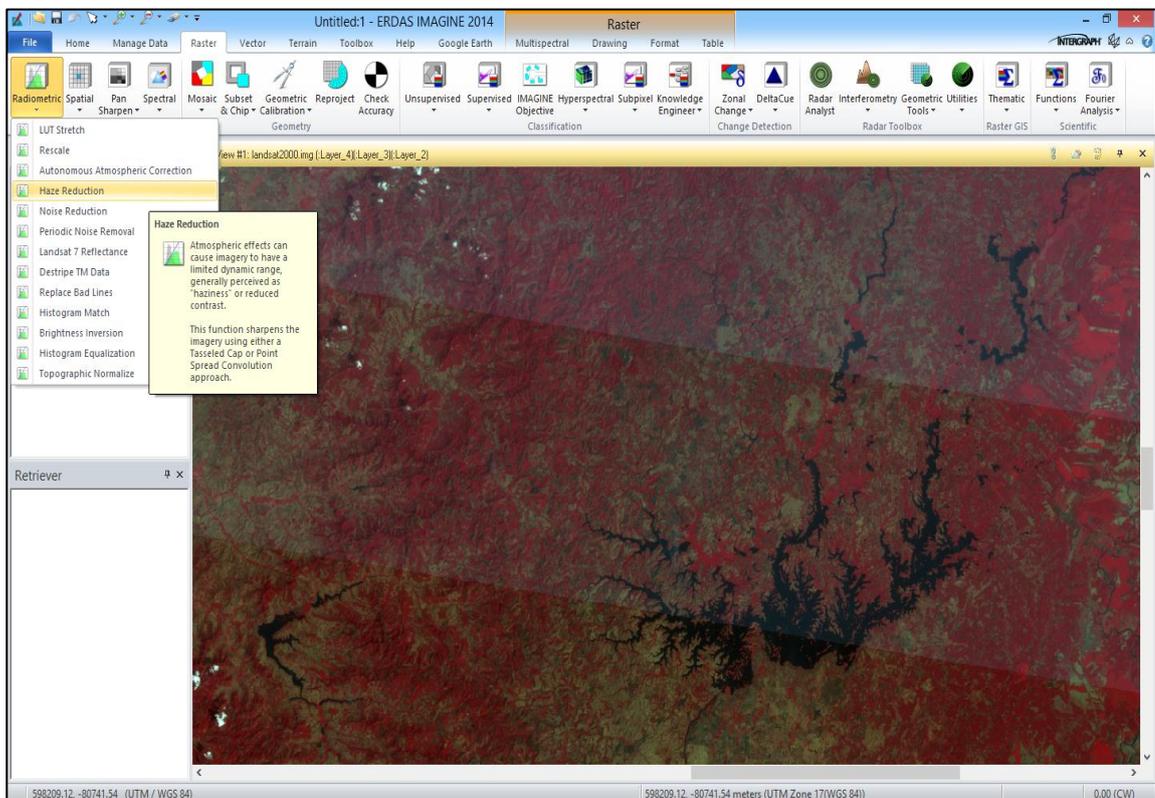


Figura 3.14. Herramienta Haze reduction para Corrección Atmosférica en ERDAS
Fuente. La Autora (2014)

3.3.4. Clasificación de imágenes

El proceso de clasificación digital se realizó contando con datos espectrales y espaciales, provenientes de las imágenes de satélite.

Clasificación no supervisada (Unsupervised)

Mediante el software ERDAS se realizaron clasificaciones no supervisadas (Figura 3.15) a las escenas de imágenes de 1993, 2000 y 2014, la clasificación se basó en la selección de tres parámetros: variables que intervienen en la densidad de la vegetación acuática, una medición de las distancias espectrales o longitudes de onda de la vegetación acuática, y el criterio de agrupamiento entre clases de vegetación acuática similar (Vegetación acuática en crecimiento y vegetación acuática en estado de madurez).

En el trabajo realizado, las variables fueron las diferentes bandas espectrales. Los casos son los píxeles que componen la imagen y cada uno de ellos está definido por ND (Valor radiómetro o niveles digitales) de las 4 bandas de las imágenes Landsat. Lo que se trató mediante este método es encontrar grupos de píxeles con ND parecidos para asignarlos a alguna de las categorías temáticas identificadas. La delimitación de cada grupo espectral se inicia señalando la similitud entre píxeles es decir reflectancia de los tipos de vegetación acuática.

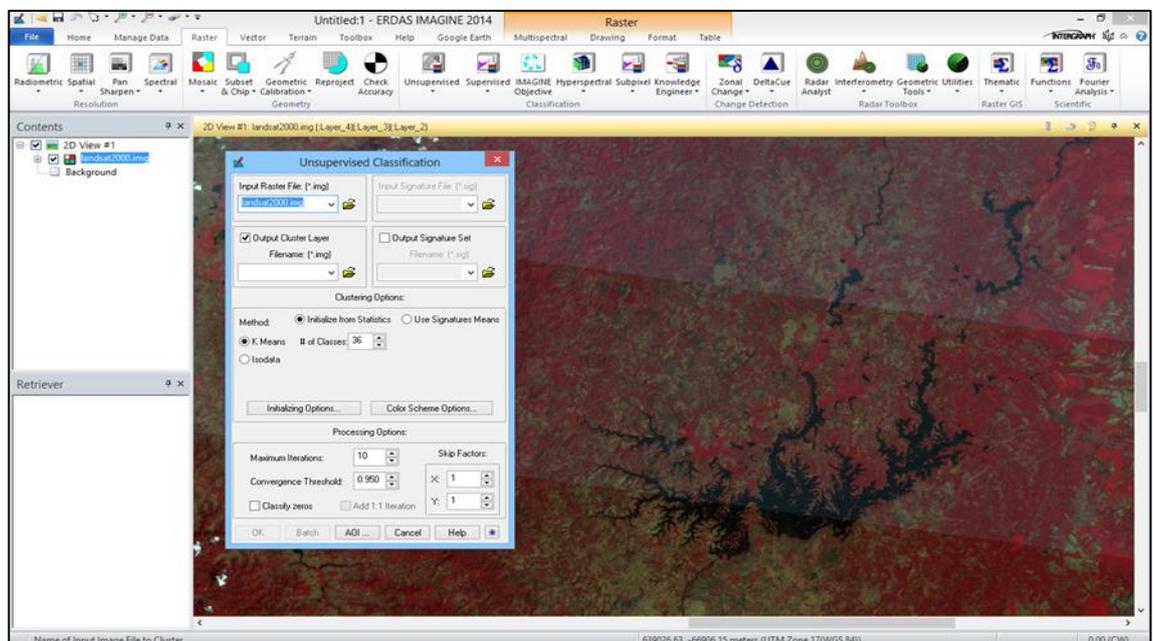


Figura 3.15. Clasificación no supervisada de imágenes en ERDAS
Fuente. La Autora (2014)

Clasificación supervisada (Supervised)

Para la determinación de la distribución, cobertura y fluctuaciones temporales dentro del embalse entre los años 1993, 2000 y 2014, se utilizaron firmas espectrales; posteriormente, se realizó una clasificación supervisada (Figura 3.16) de las imágenes Landsat TM, ETM y OLI disponibles para el embalse. Este método requirió de un cierto conocimiento de la zona de estudio, lo que permitió delimitar sobre la imagen áreas representativas de las distintas categorías. Todo el proceso consistió en ingresar en el software ERDAS las firmas espectrales para reconocer las categorías de vegetación acuática, a partir de estas áreas se calcularon diversos parámetros de ND que definen cada clase (Vegetación acuática en crecimiento y vegetación acuática en estado de madurez), para luego clasificar el resto de píxeles en una categoría determinada de acuerdo a la cantidad de niveles digitales reflejados.

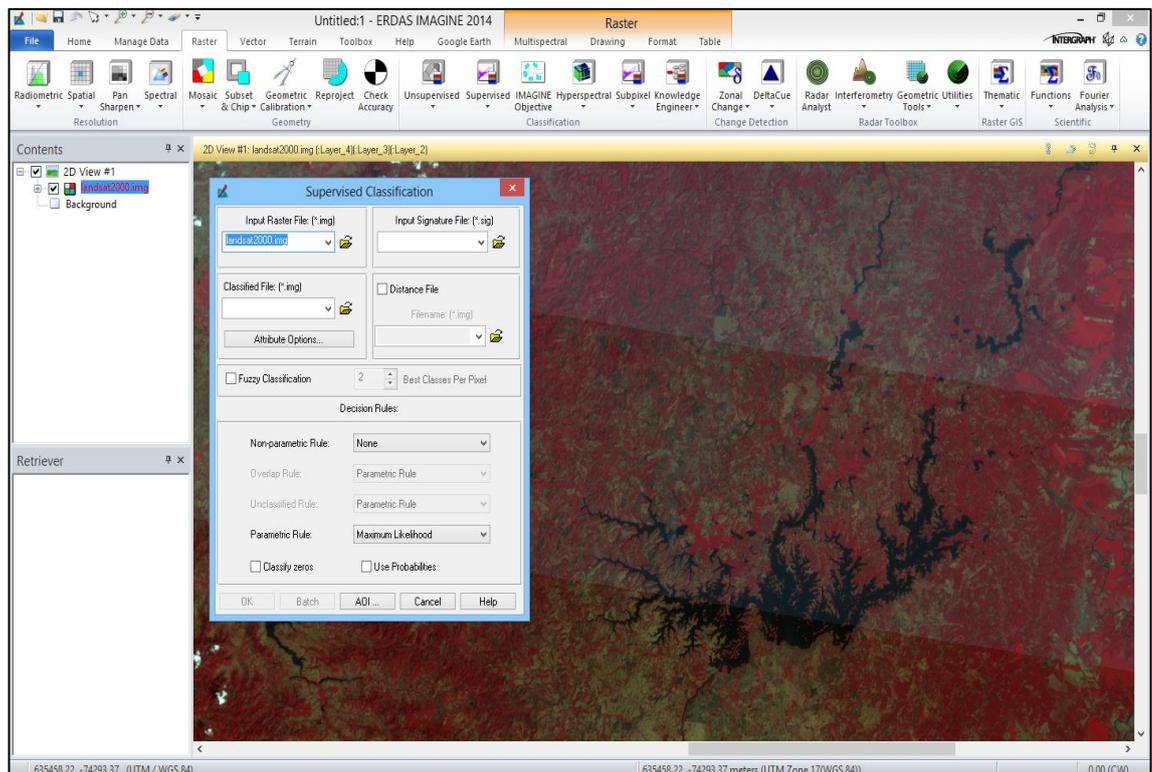


Figura 3.16. Clasificación supervisada de imágenes en ERDAS
Fuente: La Autora (2014)

3.3.5. Procesamiento de imágenes para el cálculo de índices de vegetación

Los índices de vegetación o índices verdes, son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales (Esperanza & Zerda, 2002).

Obtención de índices de vegetación (NDVI)

Para el análisis de la vegetación acuática se calculó el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI), a partir de las bandas del Rojo e Infra Rojo cercano (R y NIR, TM3 y TM4), presentes en las bandas multispectrales de las imágenes LANDSAT (Figura 3.17).

La fórmula para calcular el NDVI es la siguiente:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Dónde: NIR y RED son los valores de reflectancia de la luz en la región del rojo e infrarrojo cercano respectivamente, esta fórmula la calcula el programa de manera automática (Meneses, 2011).

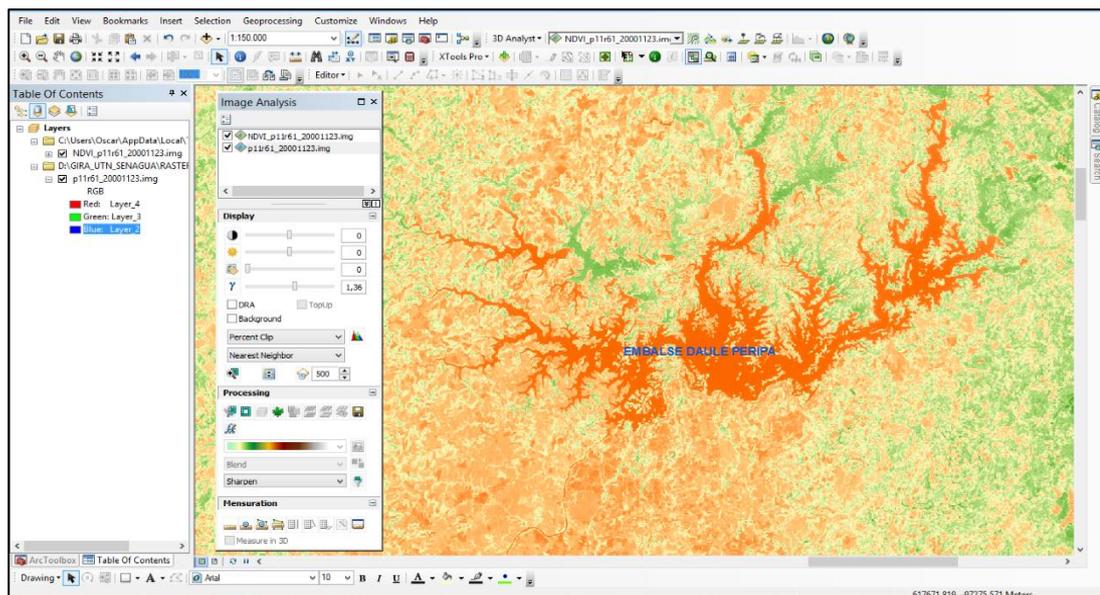


Figura 3.17. Cálculo del NDVI en ERDAS

Fuente: La Autora (2014)

Obtención del índice de agua (NDWI)

Para el analizar el espejo de agua del embalse se calculó el Índice de Agua (NDWI) a partir de las bandas del Verde e Infra Rojo cercano (G y NIR, TM2 y TM4), presentes en las bandas multiespectrales de las imágenes Landsat, como se observa en la figura 3.18.

La fórmula para calcular el NDWI es la siguiente:

$$\text{NDWI} = (G - \text{NIR}) / (G + \text{NIR})$$

Dónde: G y NIR son los valores de reflectancia de la luz en la región del verde e infrarrojo cercano respectivamente, el programa calcula este índice de manera automática.

Los valores de NDWI que se obtendrán estarán en el rango -1 a 1, donde los valores de NDWI superiores a 0 indican la presencia de agua (Meneses, 2011).

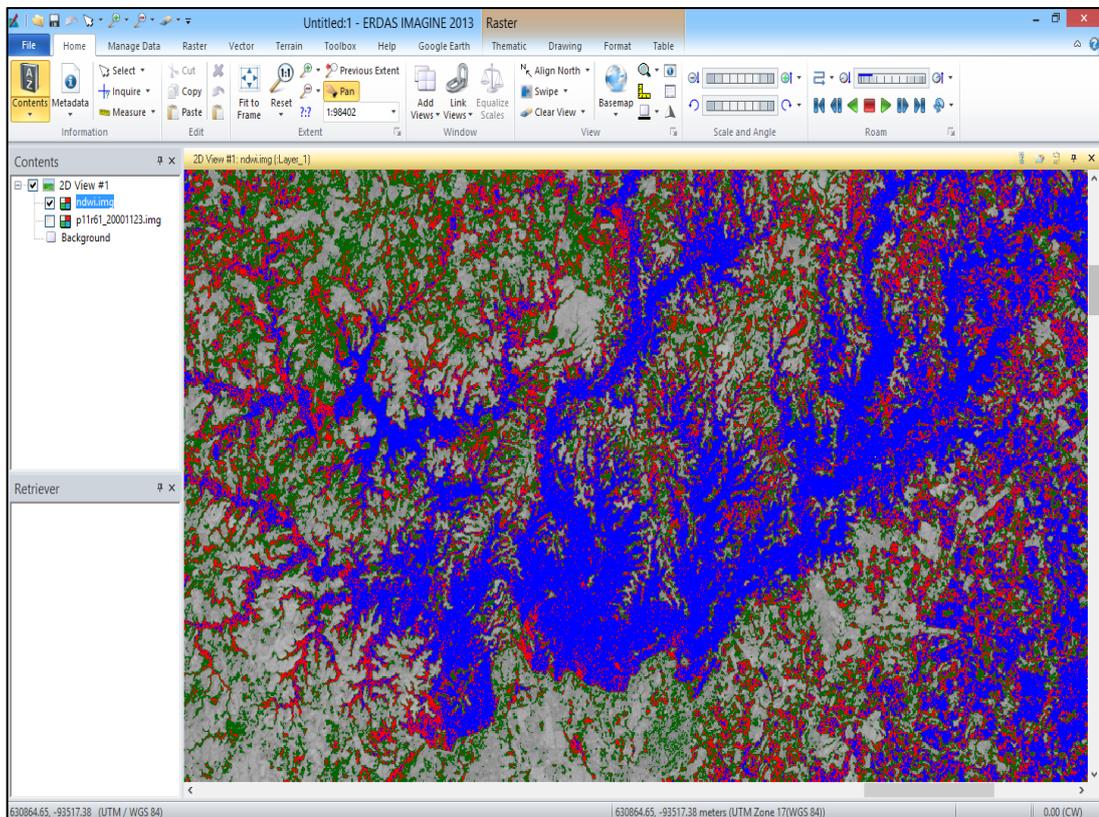


Figura 3.18. Cálculo del NDWI en ERDAS
Fuente: La Autora (2014)

3.3.6. Firmas espectrales de la vegetación acuática

Todos los elementos geográficos (bosques, cultivos, ríos, lagos) transforman de forma diferenciada la radiación electromagnética que reciben del Sol. Cada tipo de objeto presenta un nivel de respuesta específico en términos de:

% radiación reflejada + % absorbida + % transmitida (Figura 3.19)

La variación de la reflectancia en función de la longitud de onda se la denomina firma o signatura espectral. La firma espectral es la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales. También se la conoce como comportamiento espectral, concepto que incluye la variabilidad temporal de las signaturas espectrales, así como su variación en función de las condiciones meteorológicas, de las estaciones del año, y de las condiciones de iluminación (CENATEL, 2013).

Las células vegetales han evolucionado para dispersar la radiación solar en la región espectral del infrarrojo (Figura 3.18), la cual lleva aproximadamente la mitad del total de la energía solar debido a que el nivel de energía por fotón en ese dominio (La longitud de onda mayor a los 700nm) no es suficiente para sintetizar las moléculas orgánicas: una fuerte absorción en este punto solo causaría un sobrecalentamiento de la planta que dañaría los tejidos. La vegetación sana tiene una reflectividad (Figura 3.15) baja en el espectro visible aunque con un pico en el color verde debido a la clorofila. La reflectividad de la vegetación es muy alta en el infrarrojo próximo debido a la escasa absorción de energía por parte de las plantas en esta banda. En el infrarrojo medio hay una disminución especialmente importante en aquellas longitudes de onda en las que el agua de la planta absorbe la energía. La vegetación enferma presenta una disminución de la reflectividad en las bandas infrarrojas y un incremento en el rojo y azul. Se observa también que la reflectividad de una planta depende de su contenido en agua. Cuando el contenido de agua aumenta disminuye la reflectividad ya que aumenta la absorción de radiación por parte del agua contenida en la planta.

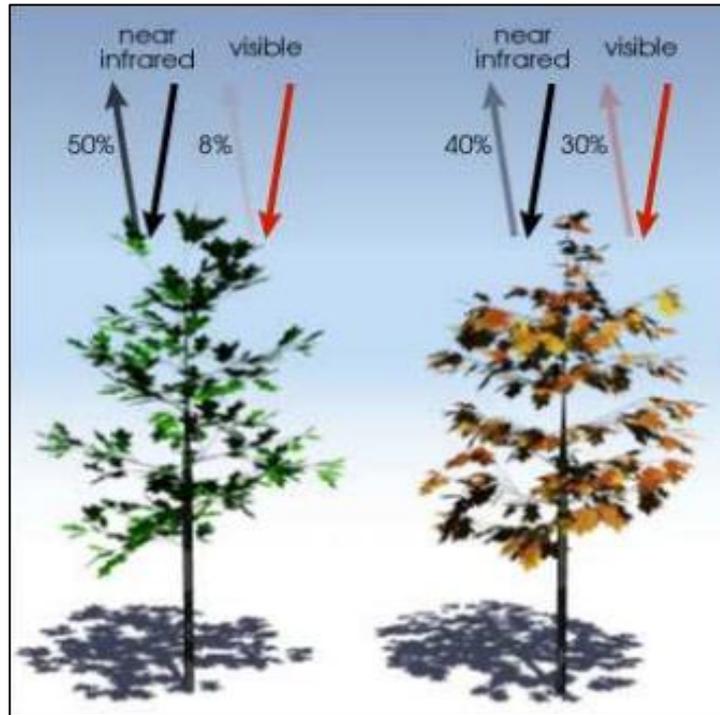


Figura 3.19. Absorción del espectro visible y reflectancia del infrarrojo en la vegetación verde y marchita.

Fuente: Cnice.mec.ec (2006)

Durante el trabajo de investigación se delimitaron áreas de vegetación acuática, con el objetivo de medir los valores de reflectancia para las bandas del verde, rojo e infrarrojo cercano, mediante el empleo de imágenes satelitales. Además se consideró de mayor importancia y valor los puntos con mayor presencia de vegetación acuática dentro del embalse, estos se hallaron en los recintos preestablecidos que son: Boca de Gualipe, Guayaquil Chiquito, Barraganete y La Reserva. Para analizar las firmas espectrales de la vegetación acuática y del agua, se obtuvo muestras de reflectancia de las 4 bandas a partir de diferentes fotografías las mismas que se ubicaron en puntos GPS en el área de estudio durante las épocas seca y lluviosa del 2014. El software ERDAS grafica las firmas (Figura 3.20) con la respectiva tabla de valores (Cuadro 3.6), donde profile 1 representa la banda 3 (reflectancia de la vegetación en el color rojo), profile 2 representa la banda 2 (color verde presencia de vegetación) y profile 3 o banda 1 (agua), (ERDAS, 2014).

Cuadro 3.6. Valores de NDVI para diferentes coberturas

VALORES	COBERTURAS
-1 – 0	Poca cobertura vegetal, suelo desnudo, zona urbana, nubes y sombras
0 – 0,1	Agua
0,2 – 0,3	Pastos y vegetación herbácea
0,3 – 0,6	Áreas de matorrales y arbustivas
0,6 – 0,8	Bosque

Fuente: ArcGIS Resources, (2014)

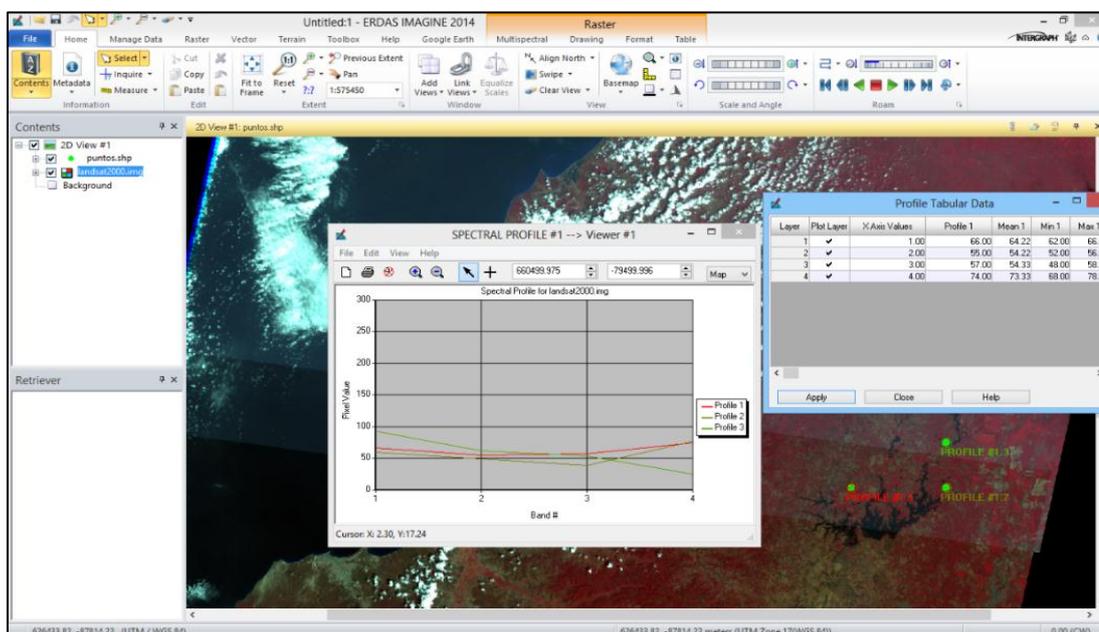


Figura. 3.20. Ingreso de puntos GPS en el software ERDAS para obtención de las firmas espectrales.

Fuente: La Autora (2014)

3.3.7. Validación de la clasificación de imágenes

Para el análisis de la vegetación acuática se trabajó con las coordenadas UTM 17 SUR de los recintos: Boca de Gualipe, Guayaquil Chiquito, Barraganete y La Reserva; el trabajo de campo consistió en salidas durante las épocas lluviosa y seca que corresponden a los meses de marzo y finales de noviembre respectivamente, de acuerdo a los datos pluviométricos de las estaciones de Mucurumba y Hda. Pilarcita localizadas en el área de influencia del Embalse Daule Peripa, específicamente en el cantón El Empalme.

En las salidas de campo se levantó información biofísica del área de estudio mediante un recorrido por el lugar e información geo referenciada de la cobertura de vegetación acuática.

3.3.7.1. Matriz de confusión

Para la validación de métodos de clasificación de las imágenes, se empleó la metodología propuesta por Santos (2007) y Li *et al.*, (2009) que sugieren realizar el análisis de la exactitud o aciertos de las clasificaciones, comparándola con otra que el investigador declare como absoluta, proceso realizado utilizando una Matriz de Confusión y el Coeficiente Kappa.

La matriz de confusión permitió comparar dos clasificaciones: una definida por el usuario como base y la otra, la que se desea evaluar. Se elaboró una comparación matricial de clases realizadas de la clasificación, ubicada generalmente en diferentes sectores o en la totalidad de la imagen, confrontando las clases de cada clasificación. Con la matriz de confusión se generaron tres tipos de exactitud: exactitud global, exactitud del usuario, y exactitud del productor, definiendo cada uno en el cuadro 3.7.

Cuadro 3.7. Tipos de exactitud para la validación de clasificación de imágenes

EXACTITUD	EXPLICACIÓN
GLOBAL (EG)	Indica la exactitud del conjunto de las clases del método a evaluar. $EG = \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{N}$ Xii: Diagonal mayor de C, N: Número total de puntos de muestreo, r: Número de filas de la matriz.
DE USUARIO (EU)	Es el acertamiento de una clase en particular, respecto a toda la clasificación. $EU = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100$ Xii: Diagonal de dicha fila, Xi+: Totales marginales de la fila i.

DE PRODUCTOR (EP)	<p>Es el acertamiento de una clase en particular, respecto a la clasificación a evaluar.</p> $EP = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100$ <p>X_{ii}: Diagonal de dicha columna, X_{+i}: Totales marginales de la columna i.</p>
----------------------------------	--

Fuente: Santos (2007) & Li et al., (2009)

3.3.7.2. Coeficiente de validación Kappa

Este coeficiente, propuesto por Jacob Cohen en 1960 (Dou *et al.*, 2007), es un estadístico que mide la concordancia de dos metodologías. Es utilizado para evaluar la similitud de dos clasificaciones de imágenes, realizado por medio de la siguiente ecuación.

$$CK = \frac{\sum_{i,j=1}^r x_{ij} - \sum_{i,j=1}^r (\sum x_i \cdot \sum x_j)}{N^2 - \sum_{i,j=1}^r (\sum x_i \cdot \sum x_j)}$$

En donde r es el número de filas en la matriz; x_{ij}, número de píxeles de la fila i, columna j, es decir la diagonal mayor; x_i, fila i; x_j, columna j y N el total de píxeles de la matriz.

El valor de coeficiente puede variar de 0 a 1, entre más cercano este a 1, quiere decir que la concordancia de los dos métodos es muy alta. De acuerdo al valor, éste índice se puede categorizar en seis clases (Cuadro 3.8) según Cerda & Villarroel (2008), de acuerdo a esta clasificación se puede rechazar o aceptar la nueva clasificación a evaluar.

Cuadro 3.8. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa.

Rango	Concordancia
0	Nula
0.01 - 0.02	Leve
0.21 - 0.40	Aceptable
0.41 - 0.60	Moderada
0.61 - 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi perfecta

Fuente: (Cerde & Villarroel, 2008)

3.3.8. Aplicación del SIG (Sistemas de Información Geográfica)

Cuando se realiza un análisis con datos raster, ya sea de imágenes de satélites, existen áreas que no son de mayor interés o en las que no es correcto realizar algún análisis. Por ello es necesario recortarlas o extraer solo la parte importante para el estudio, esto se puede realizar durante o posterior a los cálculos mediante la aplicación del SIG.

La herramienta Spatial Analyst permite dos opciones:

- Features to Raster: Permite convertir un Shapefile a un raster
- Raster to Features: Permite convertir un Raster a un Shapefile

Las opciones de la calculadora raster y extract by mask localizada en el menú de Spatial Analyst Tools de ArcToolbox facilitan la elaboración del shapefile.

Una máscara es un polígono que limita el área donde se muestra o realiza los cálculos, para aplicar la máscara con la calculadora raster, el polígono debe ser un raster, el cual se puede construir a partir de un Shapefile. Mendoza & García (2011)

3.3.9. Cartografía de vegetación acuática

Los resultados obtenidos en las clasificaciones supervisadas y no supervisadas fueron ingresados al Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) como se muestra en la figura 3.21, para generar la cartografía de la cobertura vegetal acuática a escala de impresión 1:225.000. Se realizaron composiciones de mapas temáticos para calcular las variaciones de la cobertura vegetal acuática en los años 1993, 2000 y 2014 (Análisis multitemporal).

Además los resultados del trabajo de campo se ingresaron en una base de datos para realizar el análisis espacial de la cobertura vegetal acuática del embalse. La cartografía final se diseñó en layout en formato A3 de impresión.

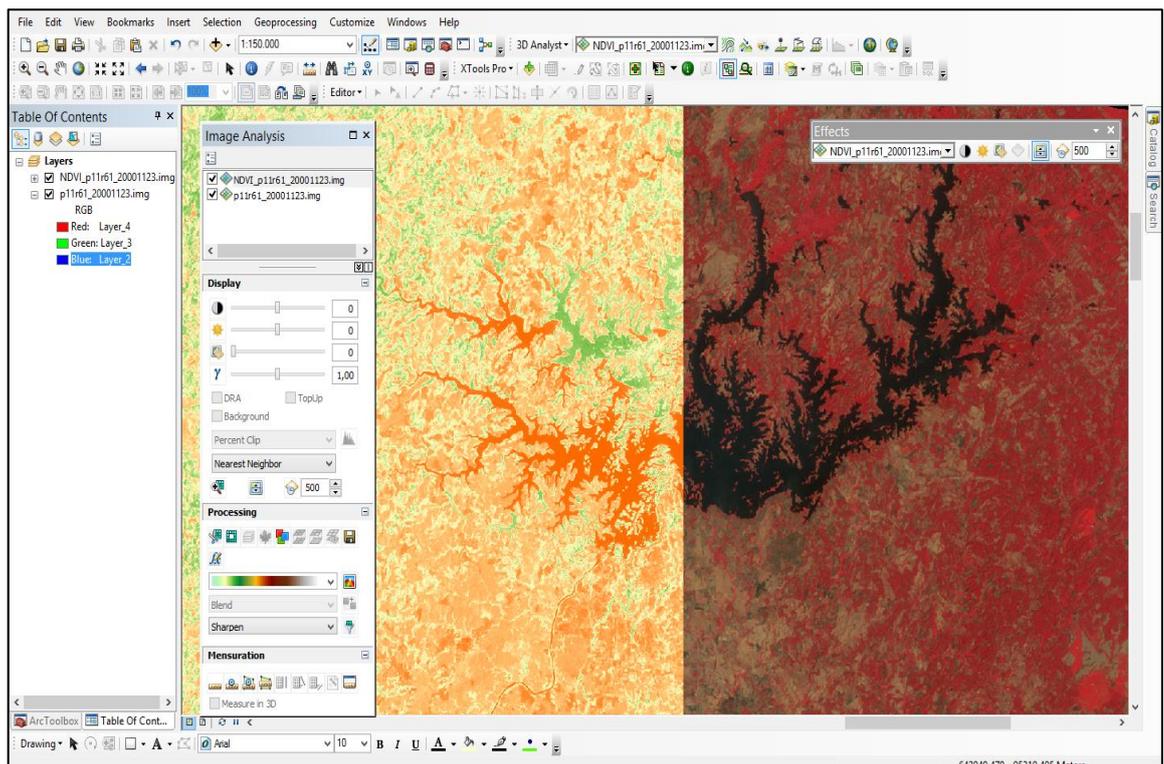


Figura 3.21. Aplicación del SIG en generación de cartografía
Fuente: Elaboración propia (2014)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se da a conocer los resultados obtenidos del análisis de imágenes multiespectrales con fechas de toma 1993, 2000 y 2014, seguido de las discusiones con diferentes autores que han realizado estudios similares en diferentes partes del mundo, con la finalidad de comparar resultados sobre el uso de teledetección aplicada a trabajos relacionados con vegetación acuática; se analizó la situación actual del embalse y se proyectó su situación futura al 2030.

4.1. Cuantificación de superficies afectadas por vegetación acuática en el embalse

Los sensores TM y ETM de los satélites Landsat fueron diseñados para estudiar y monitorear los recursos naturales, entre ellos la cobertura vegetal (USGS, 2015). Cuando se analiza la vegetación empleando imágenes Landsat, estas permiten diferenciar los tipos de cobertura vegetal sean terrestres o acuáticos; en los diferentes estados fenológicos en que se encuentran, haciendo posible la cuantificación de superficie afectada por vegetación. Para la vegetación en general la curva de firma espectral indica mayor reflectancia en el infrarrojo a partir de la longitud de onda de $0,7 \mu\text{m}$; cuando la vegetación acuática se encuentra en etapa de crecimiento la actividad fotosintética es alta, por lo tanto la reflectancia en el infrarrojo también es alta, mientras que la vegetación acuática madura presenta baja actividad fotosintética por lo tanto la reflectancia en el infrarrojo también es baja (Figura 4.1).

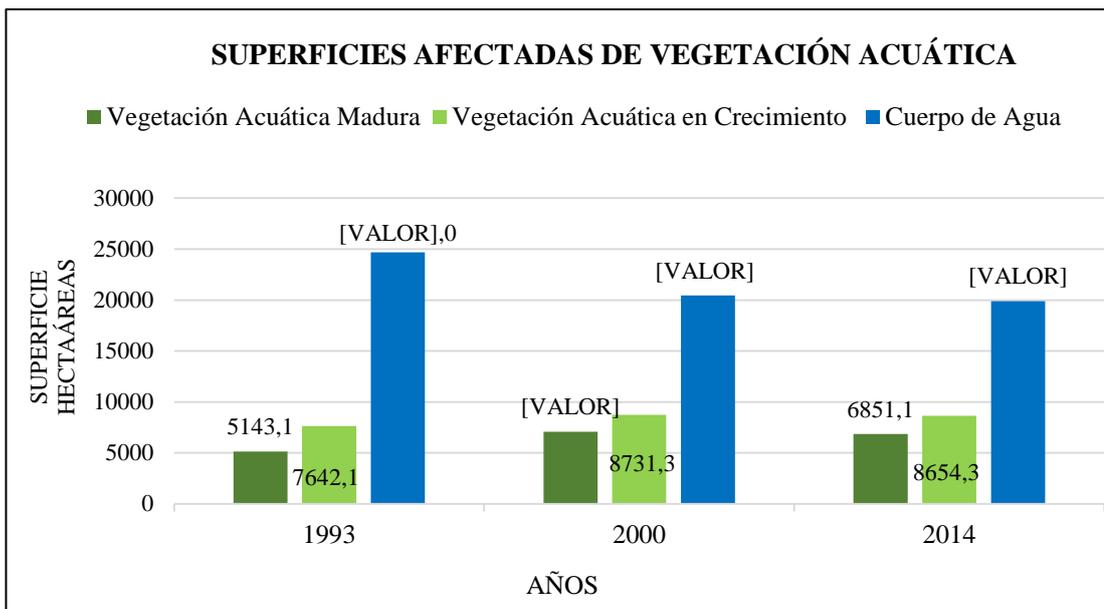


Figura. 4.1. Superficies afectadas por vegetación acuática.
Fuente: USGS y Earthexplorer, (Imágenes Landsat, 2014)

4.2. Descripción multitemporal

Entre los años 1993 y 2000 (Figura 4.2), el cuerpo de agua disminuyó 4231,60 hectáreas (17%), siendo esta la mayor pérdida hasta el 2014. Analizando los valores obtenidos de vegetación en crecimiento en el año 1993 ya existe presencia de vegetación acuática; hasta el año 2000, no se realizó ningún tipo de control para eliminar la especie por lo que se detectó un incremento de 1089,16 hectáreas representado el 14,25% de la vegetación acuática.

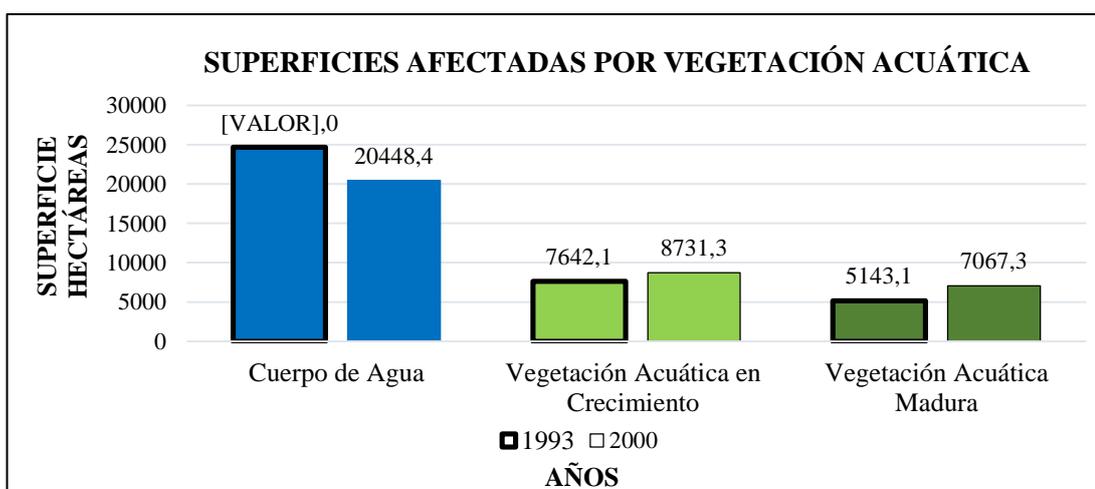


Figura. 4.2. Áreas afectadas por vegetación acuática año 1993 – 2000
Fuente: USGS y Earthexplorer

En la vegetación acuática en estado de madurez se analizó los resultados obtenidos y se observó las variaciones multitemporales de la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, dando como resultado entre el año 1993 y 2000, un aumento de 1924,13 hectáreas (37,41%) como se observa en la figura 4.4.

En los años 2000 y 2014 (Figura 4.3) la vegetación acuática en crecimiento disminuye 249,30 hectáreas (2,90%), la época en la que fue tomada la imagen Landsat ETM fue seca (Junio – Octubre). En el procesamiento digital de imágenes se diferenciaron las coberturas de vegetación en crecimiento de las coberturas de vegetación madura debido, a los valores de reflectancia altos y bajos respectivamente. Con respecto a la interpretación de la imagen Landsat que fue descargada del año 2014, se registró una disminución de 492,57 hectáreas (6,97%), la extracción mecánica por parte de la Empresa Privada SOAMSO (Soluciones Ambientales Sostenibles) puede ser la causa de la disminución de superficies cubiertas por la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms madura. Desde el año 2000 al 2014 el espejo de agua registró una disminución de 330,90 hectáreas que corresponde al 2,60%.

Finalmente entre los años 2000 y 2014 se registró un aumento en la presencia de la especie acuática en estado de crecimiento, llegando a ocupar 172,34 hectáreas, representado un 2,03% (Figura 4.5)

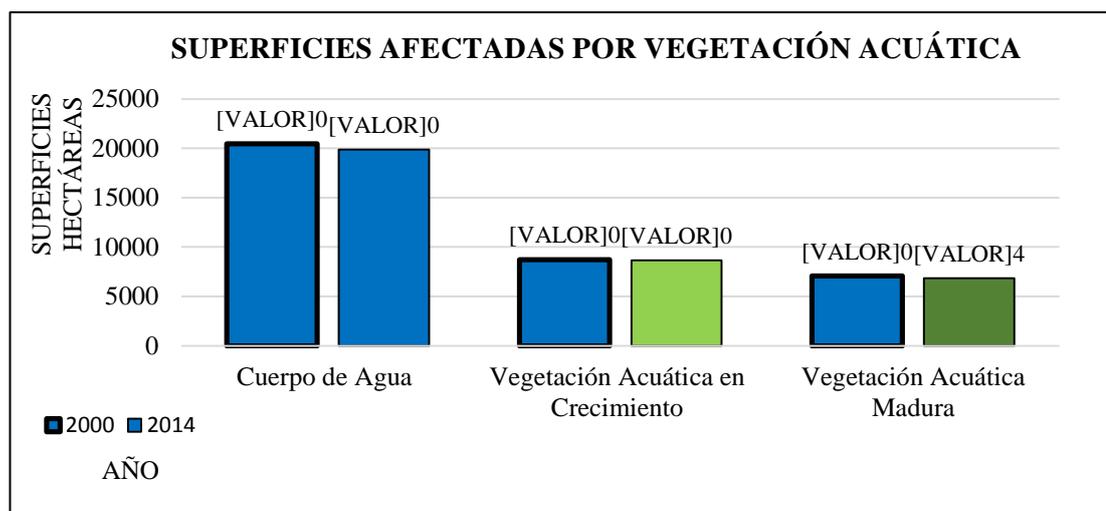


Figura. 4.3. Áreas afectadas por vegetación acuática 2000– 2014
Fuente: USGS y Earthexplorer (Imágenes Landsat, 2014)

La variación en el nivel del agua sería uno de los factores más importantes que determinan los cambios año a año en la cobertura de macrófitas emergentes. Dado que la vegetación acuática es relativamente dinámica, lo que permite atravesar cambios cuantitativos y espaciales (Lorens & Sugier, 2010).

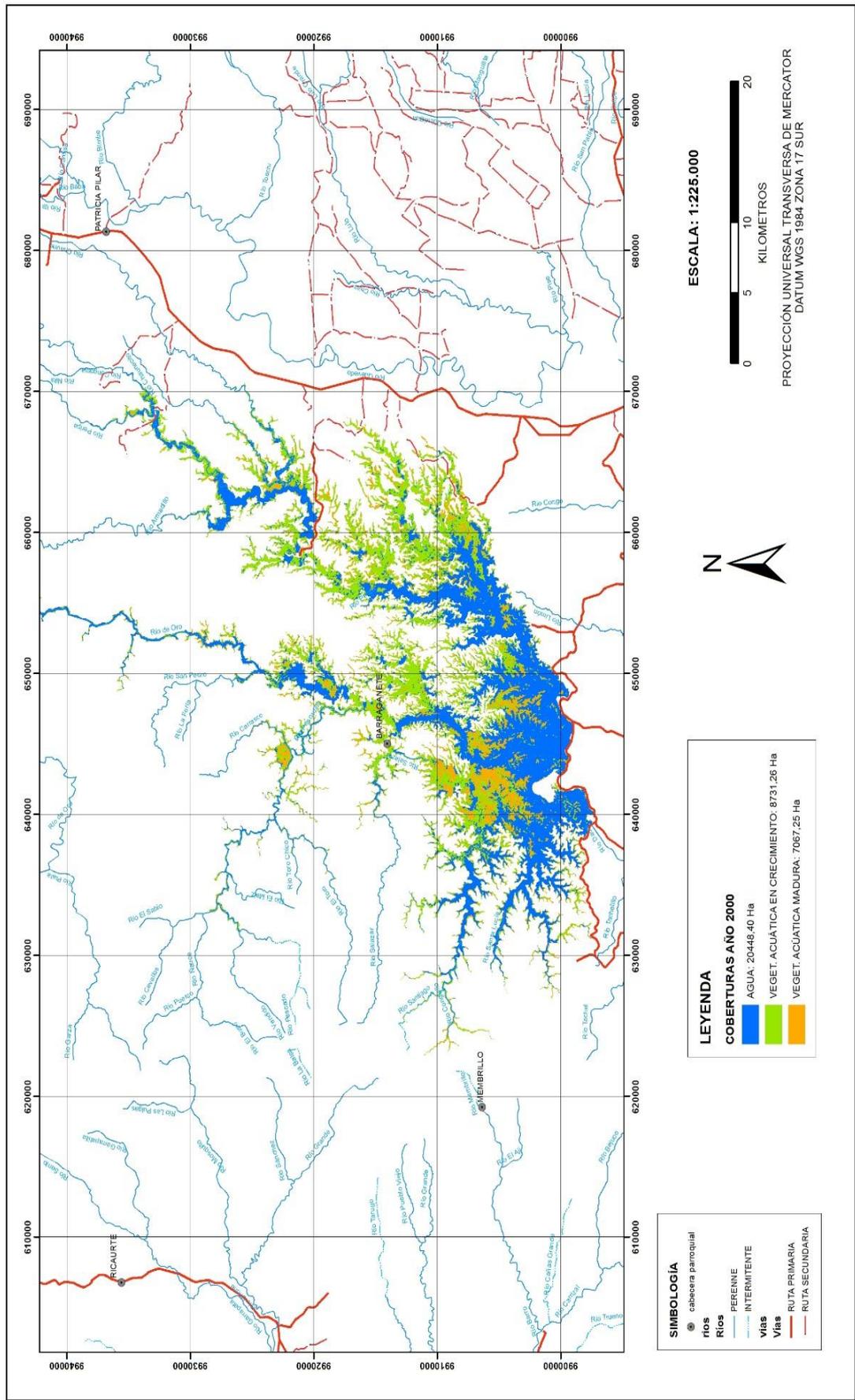


Figura. 4.4. Mapa cobertura vegetal Embalse Daule Peripa 2000
Fuente: Elaboración propia, (2014)

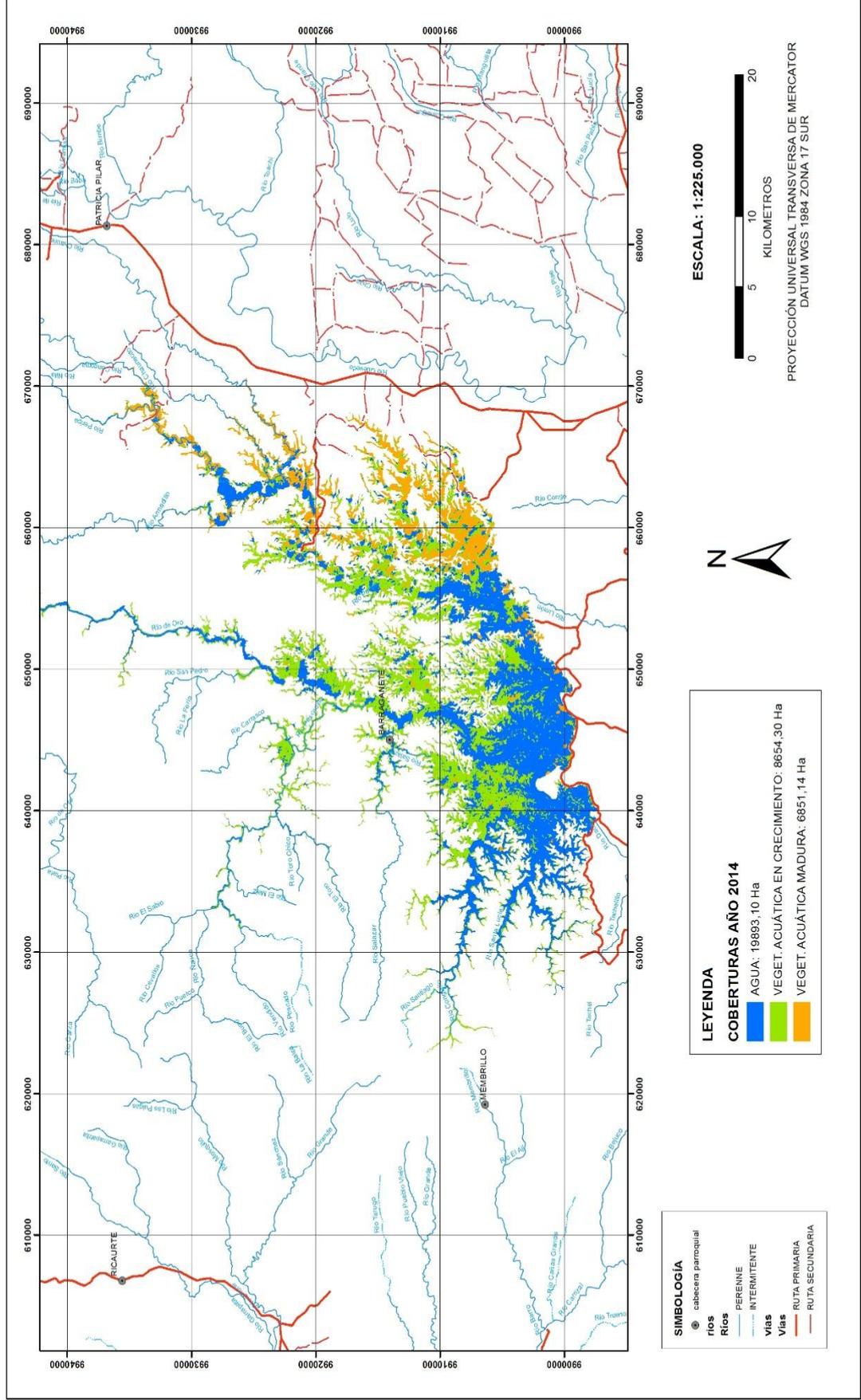


Figura. 4.5. Mapa cobertura vegetal Embalse Daule Peripa 2014
Fuente: Elaboración propia, (2014)

El incremento anual de la vegetación acuática es evidente (Figura 4.6), a través de las imágenes y coberturas cartográficas elaboradas se puede constatar el aumento y la proliferación de estas especies invasoras, las mismas que en mayor presencia de sedimentos se reproducen con mayor facilidad, es importante la labor que realiza la empresa Soluciones Ambientales Sostenibles SOAMSO quien desde el año 2000 trabaja de forma continua en la extracción mecánica de macrófitas y elaboración de abono orgánico a partir de las mismas, esta es la razón por la cual no se registran aumentos considerables de la población de vegetación acuática.

La variación multitemporal observada en la cobertura de vegetación acuática a partir de la clasificación supervisada y no supervisada, y mediante la aplicación del Índice de vegetación normalizada (NDVI), podría entre otros factores ser explicada por variaciones de caudales hidrológicos del río al interior del embalse. En sistemas acuáticos, los niveles de agua fluctúan de manera natural intra e interanualmente, dependiendo en gran parte de las condiciones climáticas de la región y de las actividades humanas. Mediante investigaciones se ha demostrado la importancia de la influencia del régimen hídrico como la profundidad en las fluctuaciones del nivel de vegetación acuática (Fernández-Aláez *et al.*, 2004).

Los altos niveles de agua en la época de crecimiento de las plantas reducen la disponibilidad de luz, mientras que bajos niveles de agua pueden causar desecación, especialmente en época seca (Coops *et al.*, 2003). En concordancia con los autores antes mencionados el régimen hídrico y las condiciones meteorológicas pueden ejercer una fuerte influencia sobre la biomasa y sobre las diferencias interanuales de la misma en macrófitas en este caso de tipo emergentes específicamente la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Con respecto a los valores de las coberturas a partir de los resultados obtenidos con las clasificaciones y con la aplicación de índice NDVI, se efectuó una comparación anual coincidente con los años en los que se verificó la estimación de la cobertura del embalse, no fue sencillo encontrar imágenes Landsat que cumplan con las características deseadas, sin embargo se encontró imágenes en el rango de los años preestablecidos para determinar los valores de aumento y disminución de la vegetación acuática presente en el área de estudio.

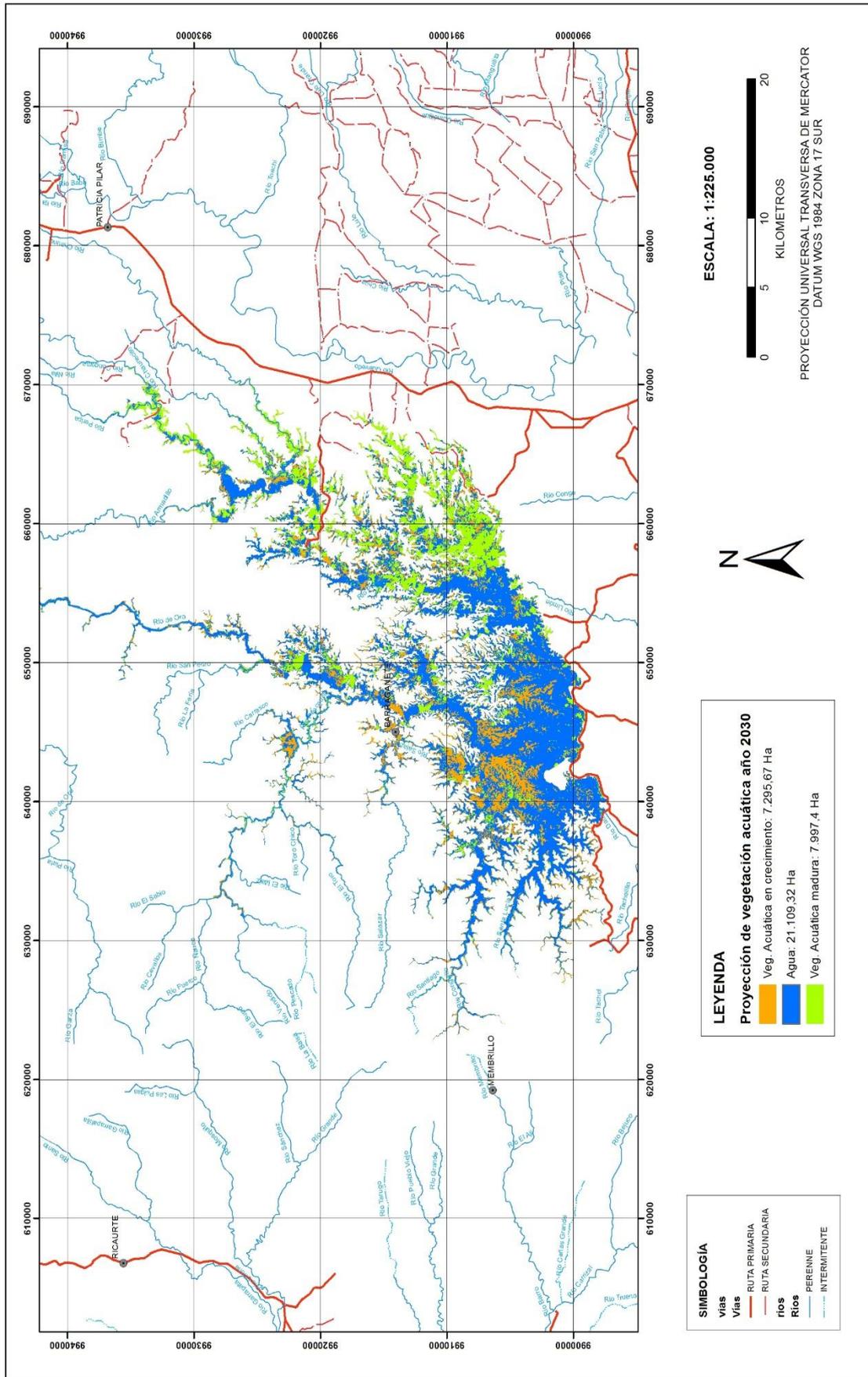


Figura. 4.6. Proyección del Embalse Daule Peripa 2030
Fuente: Elaboración propia, (2014)

Esta estimación de las coberturas de vegetación acuática podría ser explicada en gran parte por la pérdida de la señal espectral de la vegetación en los píxeles de las imágenes, sobre todo en aquellos correspondientes a los cauces más profundos, donde la señal de reflectancia dominante está determinada principalmente por la columna de agua, en tanto que a menores profundidades la señal de reflectancia está determinada principalmente por la densidad de la vegetación y sería ésta la vegetación que efectivamente se está logrando determinar en abundancia (Hestir *et al.*, 2008).

A partir del análisis de las imágenes resultantes de la clasificación supervisada, sólo se visualiza vegetación en las zonas afluentes al embalse, como se muestra en la imagen procesada del año 2000.

4.3. Estimación de la cobertura vegetal acuática mediante clasificaciones y aplicaciones de NDVI y NDWI a imágenes Landsat

Los valores de cobertura estimados con la aplicación de los dos análisis (clasificación supervisada y aplicación del índice NDVI), ayudan a obtener resultados similares en la estimación de coberturas en macrófitas emergentes (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms). Esto concuerda con lo obtenido en estudios previos en ecosistemas acuáticos (Jakubauskas *et al.*, 2000) que han mostrado una buena relación entre la cobertura de macrófitas y los valores de NDVI.

Las imágenes espectrales descargadas y procesadas permiten identificar cambios multitemporales en la vegetación acuática de manera similar, respecto a la variación estacional de las coberturas, los mayores valores de cobertura vegetal acuática se dan durante la época seca ya que coinciden con los periodos en que se registra mayor cobertura anual, en esta misma época la proliferación de la especie es acelerada (Ramírez *et al.*, 1979); el follaje hacia la superficie y la floración ocurren también en esta época (Ramírez *et al.*, 2006). Todos los procesos mencionados permiten una observación más clara, dado que la mejor oportunidad para distinguir la vegetación del agua, es cuando la *Eichhornia crassipes* (Mart.)

Solms se encuentra sobre la superficie. Lo que favoreció el trabajo de investigación fue que a la fecha de la realización de los análisis, se contó con casi todas las imágenes Landsat a excepción de la del año 1990 desde el 1993 en adelante mediante una búsqueda detallada se logró conseguir todas las necesarias para concluir el estudio. Por lo que si se considera la tendencia de cobertura de las macrófitas emergente obtenidas para el año 2014, actualmente se observa una dominancia mayor de macrófitas emergentes especialmente de la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) *Solms*, esto coincide con lo informado a partir de observaciones para la determinación del estado trófico del embalse “Daule Peripa” en el año 2014, en donde se determinó que el régimen ecológico actual es intermedio entre un estado de aguas turbias y aguas claras, con una dominancia cuantitativa de macrófitas. Además, en una salida de campo se constató la presencia de sólidos en suspensión, causa de un aumento considerable de la superficie cubierta por vegetación acuática sin tendencias a disminuir ya que altas concentraciones de sedimentos aceleran su crecimiento, y la resistencia a condiciones turbias (Carpenter *et al.*, 1998).

Los resultados de la metodología aplicada en este trabajo muestran que es posible estimar coberturas de vegetación acuática, mediante la aplicación de técnicas de teledetección y clasificaciones a imágenes Landsat TM, ETM y OLI corregidas, con la combinación de bandas. Sin embargo, la poca diferencia en los valores NDVI y NDWI de reflectancia y el fuerte contraste existente con el agua sin vegetación, muestran que puede diferenciarse eficientemente comunidades de macrófitas respecto del agua. En la clasificación supervisada de las imágenes Landsat se emplearon 12 puntos georreferenciados con navegador GPS levantados durante los recorridos de campo, en el tratamiento digital de las imágenes se colocaron 24 puntos ubicados aleatoriamente; los puntos de campo y de clasificación de imágenes corresponden a las categorías: Agua, vegetación emergente y vegetación sumergida. El número total de puntos fue de 36 (Cuadro 4.1) que corresponde a 565 píxeles de las imágenes de los años 1993, 2000 y 2014.

Cuadro 4.1. Puntos de referencia obtenidos en el trabajo de campo e interpretación de imágenes satelitales Landsat

Categoría	Puntos de campo	Puntos de clasificación de imágenes	Número de puntos	Número de píxeles
Agua	4	10	14	203
Vegetación emergente	4	8	12	187
Vegetación sumergida	4	6	10	175
Total	12	24	36	565

Fuente: Trabajo de campo (2014)

En la matriz de confusión (Cuadro 4.2) se compararon los resultados de la clasificación supervisada y los puntos de referencia tomados en campo, obteniendo valores de precisión y fiabilidad en un rango entre 80 y 88, lo que quiere decir que existe concordancia entre los píxeles de las categorías agua, vegetación en crecimiento y madura obtenidos en la clasificación supervisada de las imágenes y la interpretación visual de las mismas.

Cuadro 4.2. Matriz de confusión: puntos de campo y clasificación supervisada

Categoría		Resultados de la clasificación supervisada			
		Agua	Vegetación emergente	Vegetación sumergida	Precisión
Puntos de referencia	Agua	471	52	77	81
	Vegetación emergente	65	503	145	88
	Vegetación sumergida	68	158	458	83
	Fiabilidad	82	80	84	
		Precisión Global = 83,2 %			

Fuente: Trabajo de campo (2014)

La precisión global o índice Kappa obtenida fue de 83,2% que corresponde al rango de 0.81 a 1, de acuerdo a Cerda & Villarroel (2008) el índice kappa tuvo una concordancia calificada como casi perfecta, lo que valida la correcta clasificación supervisada de las imágenes.

En el área de estudio que corresponde al cuerpo de agua del embalse, vegetación acuática emergente y sumergida se obtuvo un número total de píxeles de 249.293 en las interpretaciones digitales y visuales (Cuadro 4.3); comparando el número de píxeles y porcentaje entre del agua, vegetación acuática en crecimiento y madura obtenido por los dos métodos de interpretación se observan similitudes, lo que significa que la interpretación fue aceptablemente validada.

Cuadro 4.3. Comparación entre el número de píxeles por categoría, después de la interpretación visual a partir de la clasificación digital

Categoría	Interpretación digital		Interpretación visual	
	Número de píxeles	%	Número de píxeles	%
Agua	155.678	62,45	146.534	58,78
Vegetación emergente	56.892	22,82	62.986	25,27
Vegetación sumergida	36.723	14,73	39.773	15,95
Total	249.293	100	249.293	100

Fuente: Trabajo de campo (2014)

4.4. Generación de cartografía

Las técnicas de teledetección son una herramienta fundamental para investigación en lugares muy extensos y de difícil acceso, estas técnicas son orientadas a la manipulación, análisis cualitativo y cuantitativo de imágenes digitales, corrección, transformación y clasificación temática con el fin de generar nueva información sobre levantamiento de cobertura vegetal. Con respecto a las correcciones se tienen en cuenta los procesos de eliminación de anomalías (Figura 4.7) ya sean de localización o por niveles digitales de los píxeles que forman la imagen, en las cuales se encuentran las correcciones radiométricas y geométricas. Para los realces y mejoras de las imágenes, están los ajustes de contraste, el pseudo - color, las composiciones en color, la transformación de HSI (Hue, Saturation, Value), transformación de tono, saturación e intensidad.

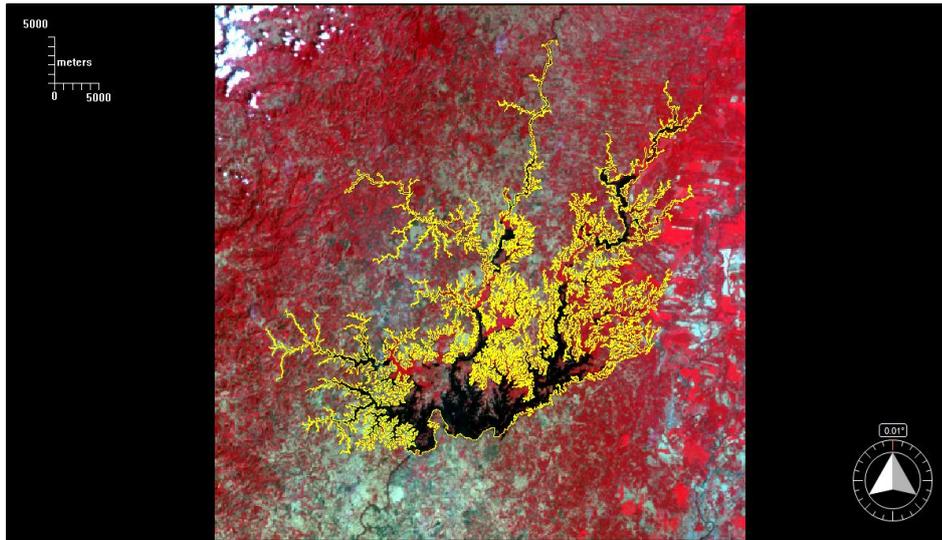


Figura 4.7. Corrección de imágenes Landsat TM y ETM

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizó el procesamiento de la imagen, que consistió en operaciones dirigidas a crear bandas artificiales a partir de combinaciones entre bandas originales; es decir dirigidas hacia la clasificación temática, ya sea visual o digital. Los softwares de procesamiento de imágenes y análisis GIS fueron ERDAS y ArcGis 10.1 para la salida gráfica (Figura 4.8)

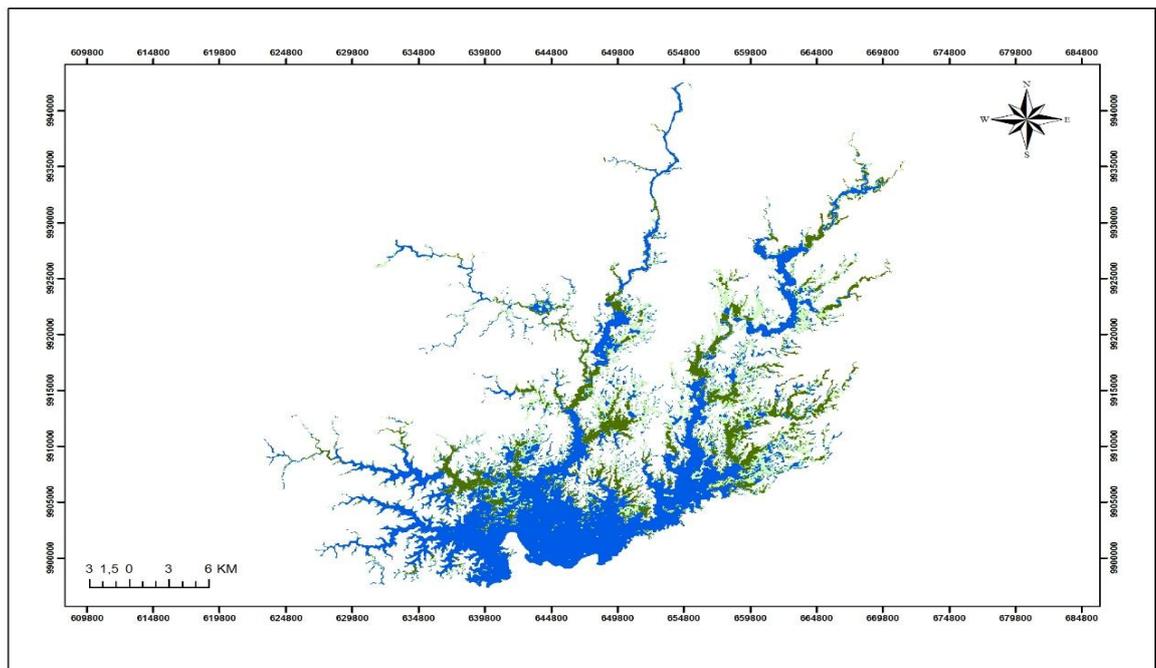


Figura 4.8. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS

Fuente: Elaboración propia

Se debe tomar en cuenta que cuando dos imágenes de la misma zona se obtienen en diferentes fechas y los canales se comparan con el fin de realizar un seguimiento temporal o cambio estacional, habrá una alta correlación entre las dos imágenes. En el caso de las aplicaciones multitemporales, se usa esta técnica en particular, a partir de dos imágenes de estudio, con estas se generan los respectivos análisis de componentes principales, en este caso los primeros componentes no son los más importantes, estos recogen información común en las dos fechas y estos datos no sufren cambios permaneciendo estables en el tiempo (Chuvieco, 1996).

4.5. Proyección del crecimiento de vegetación acuática al año 2030

Durante las últimas décadas el área que ocupa la vegetación acuática en el Embalse Daule Peripa ha aumentado de manera considerable, poniendo en riesgo el buen funcionamiento del mismo, el estudio demostró que cada año la vegetación crece aceleradamente y hasta el año 2030 aumentarán 533,16 hectáreas/año debido a las condiciones climáticas, otro factor fundamental es la actividad antropogénica que se realiza en las áreas afluentes al embalse, provocando el aumento de sedimentación y por ende el crecimiento de la población de macrófitas.

En las figuras 4.9, 4.10 y 4.11 se indican los procesos de cálculo para la proyección de aumento de la vegetación acuática, el cálculo obtenido mediante la herramienta Land Change Modeler de Idrisi Selva reportó un valor de 7.997,40 hectáreas para el año 2030.

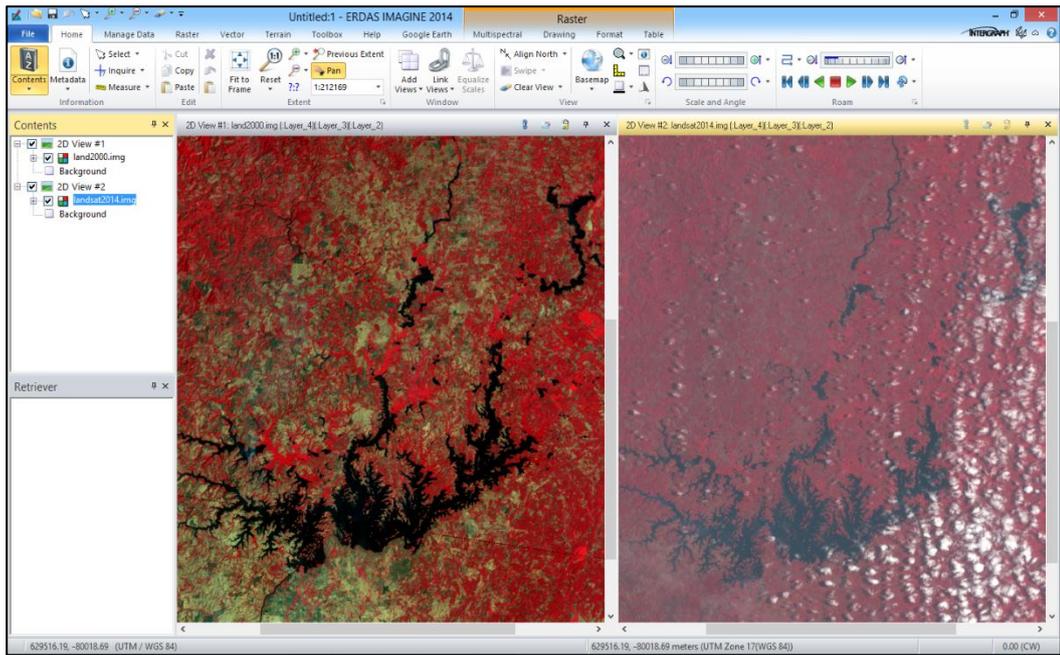


Figura 4.9. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS
Fuente: Elaboración propia, (2014)

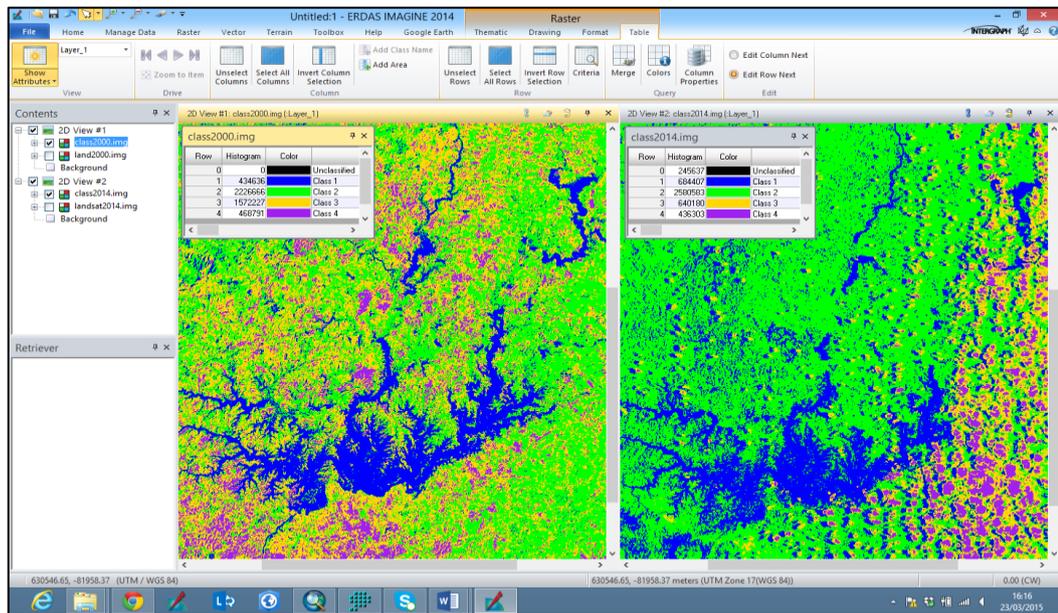


Figura 4.10. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS
Fuente: Elaboración propia, (2014)

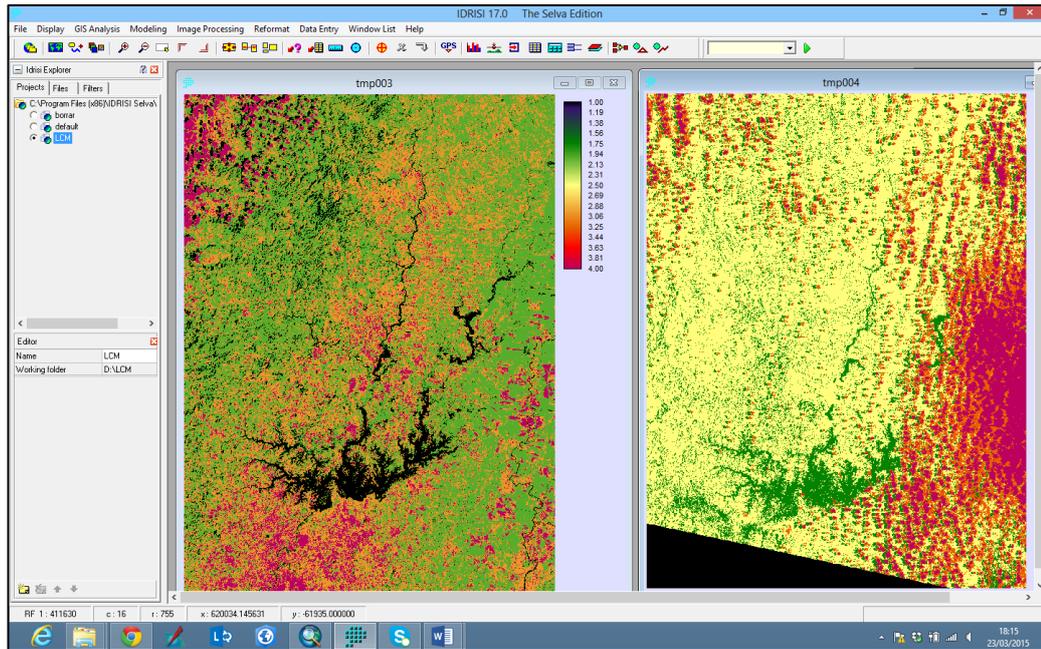


Figura 4.11. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS
Fuente: Elaboración propia, (2014)

En la figura 4.12 se muestra el aumento de la vegetación acuática en el embalse, las superficies con mayores aumentos se localizan en la parte este del embalse que es donde existen drenajes aportantes del río Peripa, se evidenció en el trabajo de campo que dichos drenajes arrastran sedimentos derivados de las actividades agrícolas y ganaderas del sector.

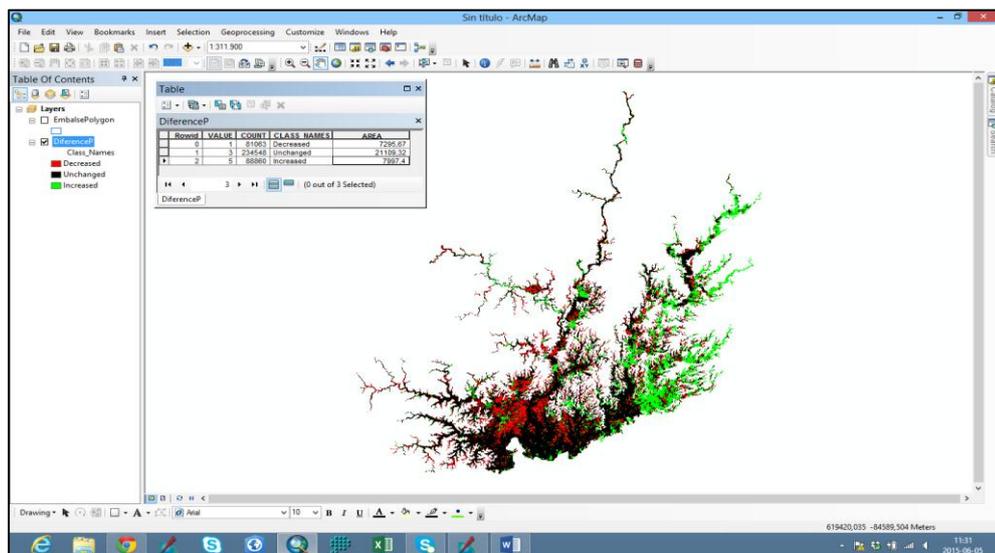


Figura 4.12. Imagen Landsat TM en ERDAS y ArcGIS
Fuente: Elaboración propia, (2014)

4.6. Firmas espectrales de vegetación acuática

Los mayores valores de reflectancia, muestran que puede establecerse una diferenciación más clara entre tipos funcionales de vegetación (en crecimiento y madura) para el caso específico de este estudio, sólo por la banda del infrarrojo cercano fue posible separar los perfiles espectrales de la vegetación acuática en crecimiento. Por otra parte, el hecho de que la señal espectral del agua difiera más con la vegetación acuática madura que con las especies en crecimiento, indica que es más difícil discriminar especies en crecimiento que especies en maduras respecto al agua en el interior de ecosistemas acuáticos. Lo anterior, requiere aislar la señal espectral del agua respecto de la señal proveniente de la vegetación (Figura 4.13) este procedimiento ha sido señalado como uno de los principales desafíos del sensor remoto y representa una de las principales problemáticas al estudio de macrófitas (Silva *et al.*, 2008). De manera que al menos a una resolución multiespectral, el uso de firmas espectrales debiera estar orientado al estudio de comunidades de macrófitas en general, dado que los resultados muestran una mayor precisión en la estimación de la abundancia de las especies (Figura 4.14) y, por tanto, representar una mejor aproximación de estudio para determinar cambios ecológicos en ecosistemas artificiales como son los embalses.

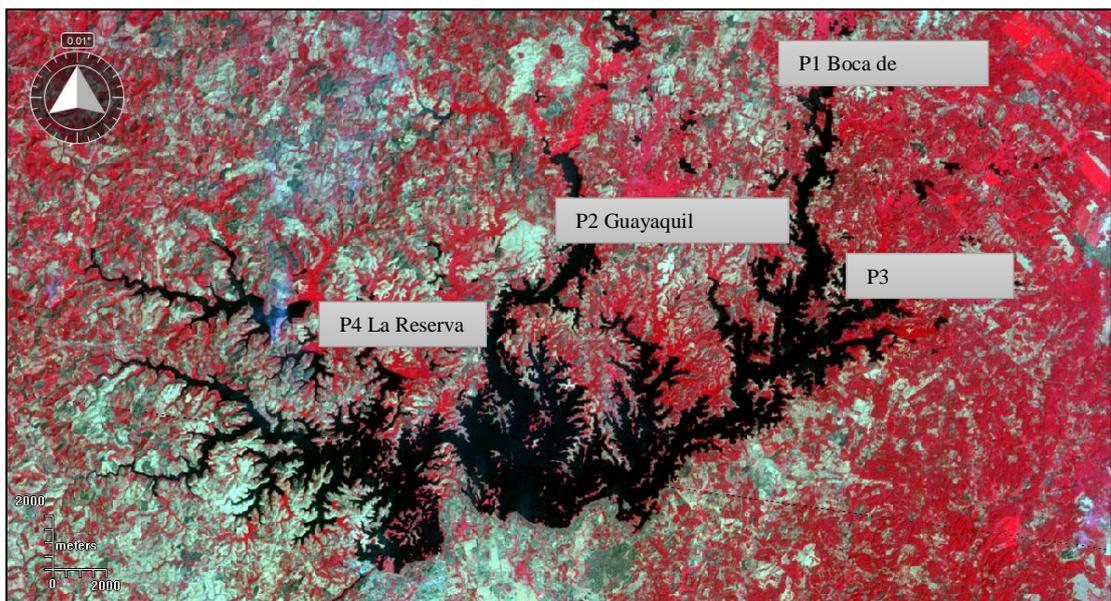


Figura. 4.13. Puntos geo referenciados en áreas con *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (Imagen Landsat 2000)

Fuente: Trabajo de campo (2014)

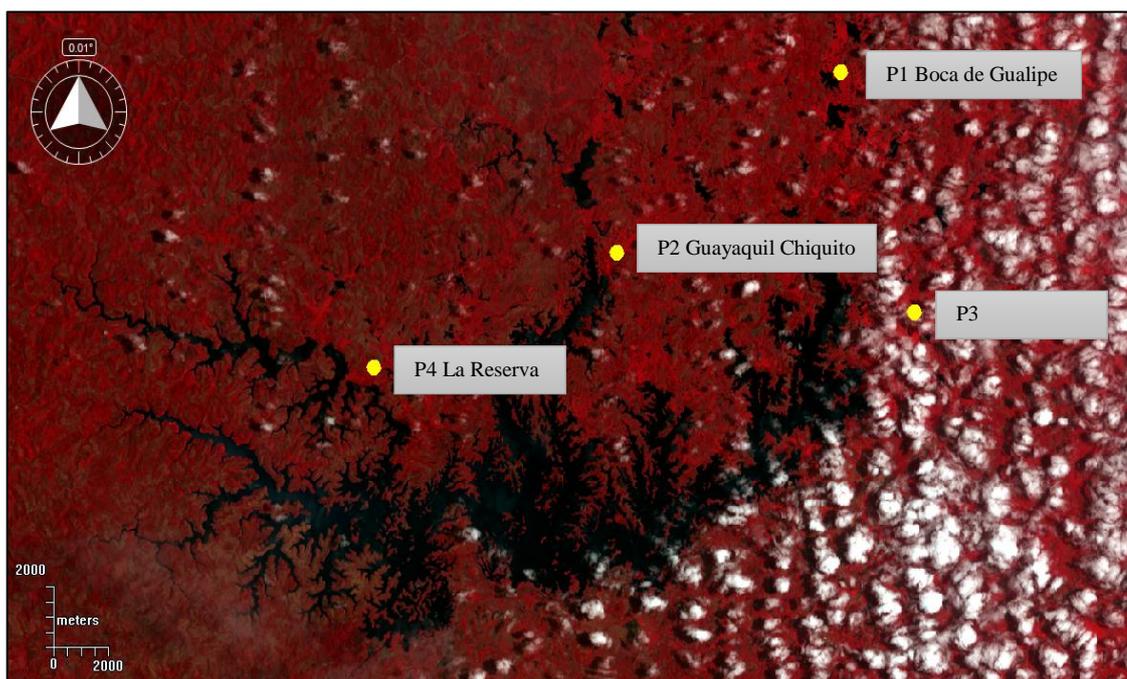


Figura 4.14. Puntos geo referenciados en áreas cubiertas de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (Imagen Landsat 2014)
Fuente: Trabajo de campo, 2014.

4.6.1. Análisis de firmas espectrales imagen LANDSAT

En los perfiles espectrales obtenidos para los años 2000 y 2014 se observa que para los 4 puntos geo-referenciados la curva de reflectancia tiene valores en niveles digitales distintos.

- **Imagen Landsat 2000**

Para la banda 4 el promedio de valores de ND se encuentra en el rango de 80 a 90 con (Figura 4.15) un valor de desviación estándar de 5, el valor más alto de ND se encontró en los puntos 1 y 3 que corresponde a Boca de Gualipe y Barraganete, lo que se interpreta que en estos sitios no existen diferencias significativas entre la vegetación emergente y sumergida. De la misma manera se interpreta en los puntos 2 y 4 que corresponden a Guayaquil Chiquito y La Reserva en los que el valor de ND fue de 80. La mayor diferencia de vegetación acuática emergente y sumergida se detectó entre los puntos 1 y 2, 2 y 3; y 1 y 4 debido a la ubicación en la cola del embalse (punto 1) y en los cursos fluviales (puntos 2, 3 y 4).

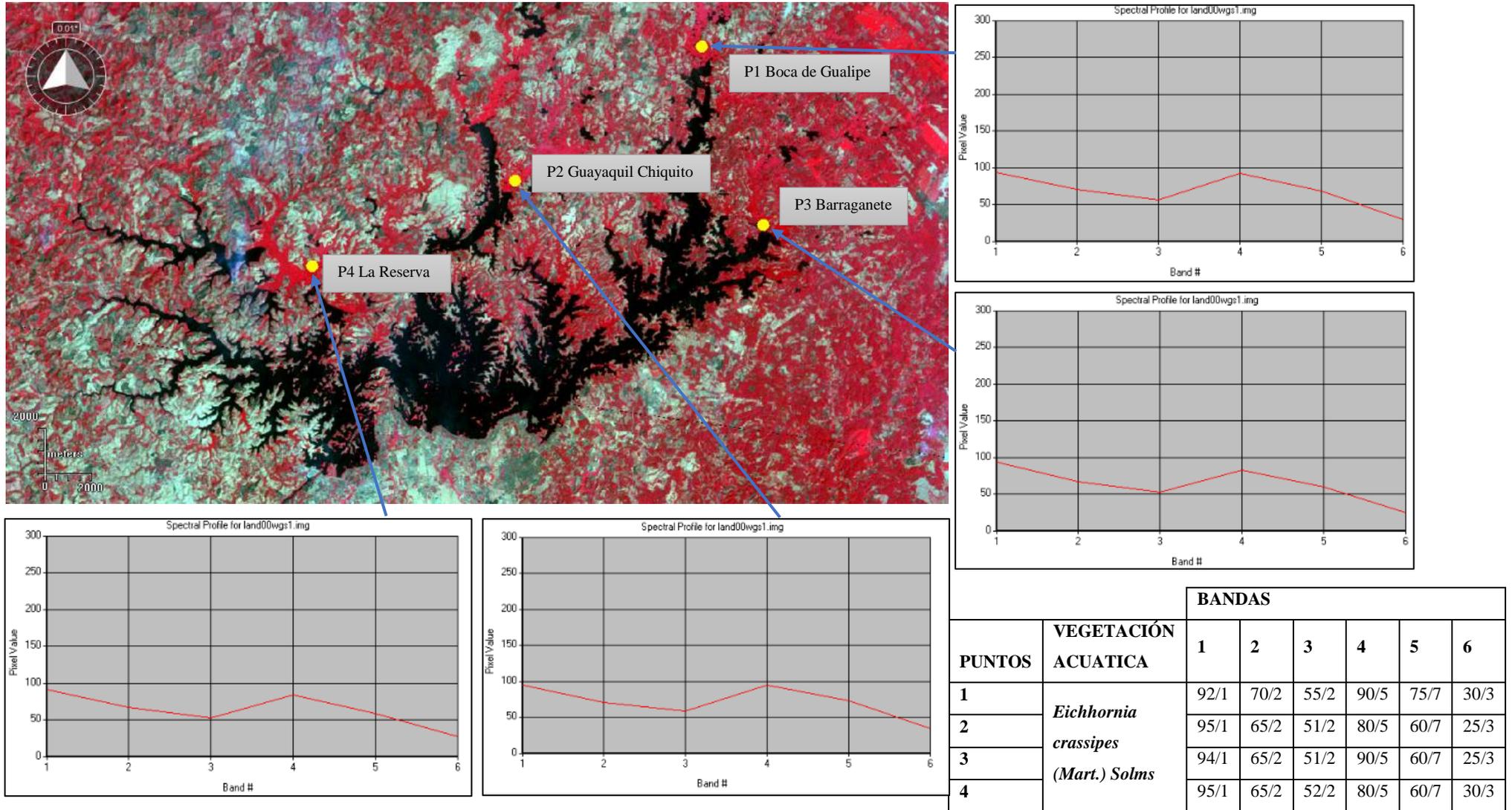


Figura 4.15. Firmas espectrales año 2000
Fuente: Elaboración propia, (2014)

- **Imagen Landsat 2014**

Para la banda 4 el promedio de valores de ND se encuentra en el rango de 80 a 98 con (Figura 4.16) un valor de desviación estándar de 9, el valor más alto de ND se encontró en los puntos 1 y 3 que corresponde a Boca de Gualipe y Barraganete, lo que se interpreta que en estos sitios no existen diferencias significativas entre la vegetación emergente y sumergida. De la misma manera se interpreta en los puntos 2 y 4 que corresponden a Guayaquil Chiquito y la reserva en los que el valor de ND fue de 80. La mayor diferencia de vegetación acuática emergente y sumergida se detectó entre los puntos 1 y 3 debido a la ubicación en la cola del embalse (punto 1) y en el curso fluvial (punto 3).

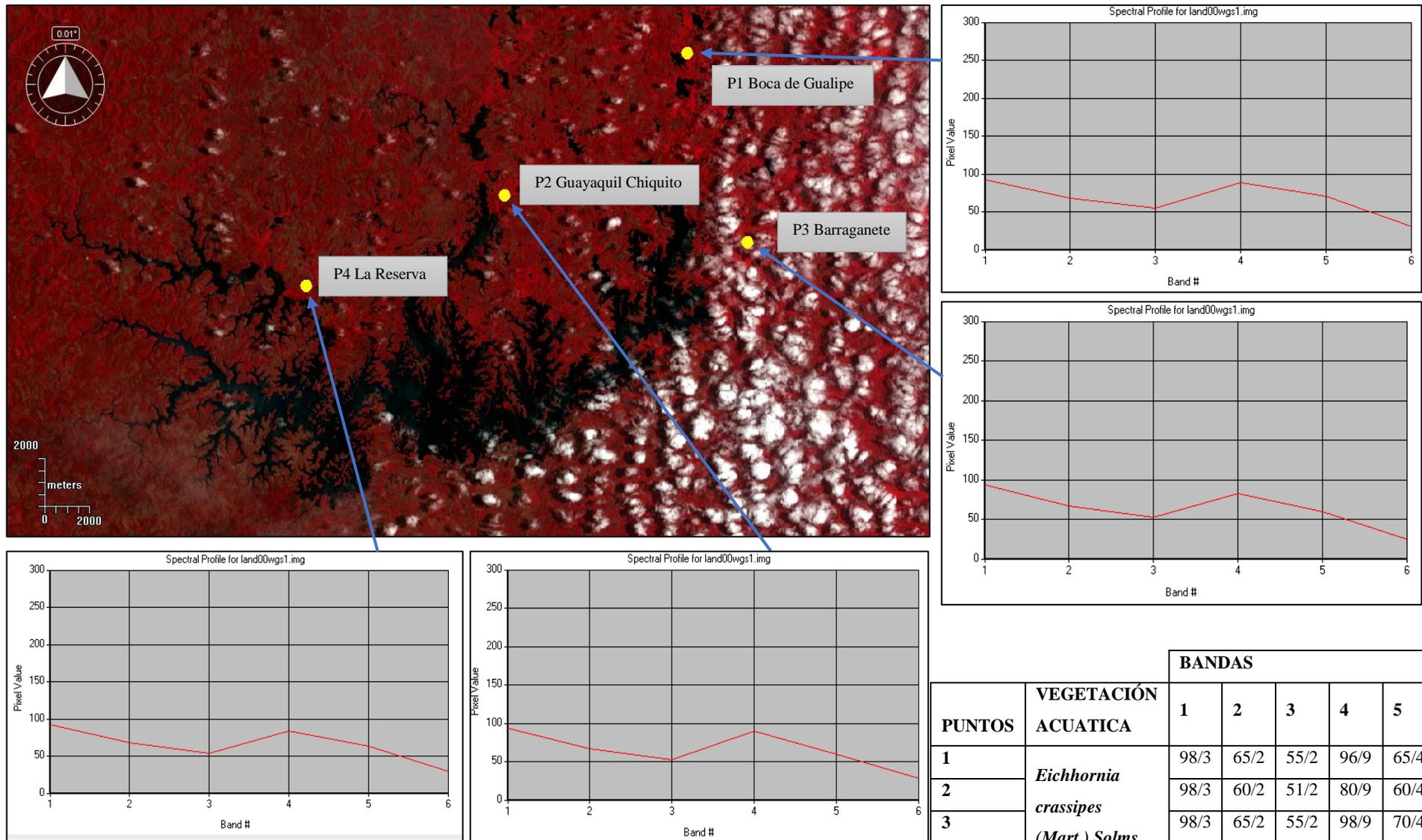


Figura 4.16. Firmas espectrales año 2014
Fuente: Elaboración propia, (2014)

4.7. Ventajas y desventajas de las técnicas de teledetección utilizadas

La vegetación acuática madura es particularmente difícil de monitorear, mediante información satelital debido a la disminución de la actividad fotosintética (Devranche *et al.*, 2010), y a la efectividad del análisis de imágenes en el mapeo de vegetación acuática. El monitoreo satelital ha sido limitado por la resolución relativamente baja de algunas imágenes, tal es el caso de las imágenes Landsat, que han sido señaladas en muchos casos con una resolución insuficiente para efectuar detecciones específicas. Sin embargo los resultados determinaron que son efectivas si el área de estudio tiene una gran extensión espacial, como en el caso del embalse “Daule Peripa”, en el que se pueden analizar suficientes elementos en cada imagen.

La aplicación de clasificación de imágenes presenta muchas ventajas en el monitoreo de la vegetación acuática (Devranche *et al.*, 2010), es necesario efectuar una aplicación rigurosa de los procedimientos de pre-procesamiento antes del análisis de los datos para obtener buenos resultados, además de requerir condiciones que incluyen mejor calidad de imágenes (Silva *et al.*, 2008). Respecto a los tipos de clasificación, tanto métodos de clasificación supervisada como métodos de clasificación no supervisada han demostrado generar resultados comparables en la generación de mapas de coberturas de vegetación acuática. La cartografía del embalse fue realizado mediante esquemas de clasificación supervisada y el uso del software ArcGIS 10.1.

La naturaleza dinámica de las comunidades de macrófitas (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) y la poca probabilidad de estar en la superficie en su totalidad representa grandes desafíos para realizar esquemas de clasificación precisos (Albright & Ode, 2011). En una imagen Landsat, es probable que una gran cantidad de píxeles contengan una mezcla de diversas especies lo que facilita calcular la abundancia más no las especies. Al incrementar la cantidad de “píxeles puros” puede mejorar las resoluciones espaciales y disminuir el error en la precisión de la clasificación de la vegetación mediante análisis de imágenes

(Zomer *et al.*, 2009). Estudios sobre los efectos de la profundidad del agua en las firmas espectrales de las especies de macrófitas en crecimiento, como los efectuados por Han & Rundquist (2003), han demostrado que al aumentar la profundidad, la cantidad de reflectancia de las macrófitas disminuye, de manera que adquirir firmas espectrales por metodologías de clasificación no supervisada en donde se seleccionan datos de entrenamiento (firmas espectrales de vegetación) directamente de las imágenes, parece ser menos efectivo que medir la reflectancia directamente sobre las especies, como permiten las fotografías espectrales.

4.8. Aplicaciones en caracterización, monitoreo y conservación del embalse Daule Peripa

La abundancia y la composición de las comunidades de macrófitas especialmente de la especie *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms tienen un efecto en los ecosistemas acuáticos artificiales. Muchos ecosistemas de este tipo son conocidos por alternar los estados de aguas entre turbias y claras (Scheffer *et al.*, 1993). Ecosistemas de aguas que mantienen abundante vegetación acuática, estando en un estado de aguas claras, pueden ser degradados por cargas excesivas de nutrientes provenientes de actividades agrícolas y forestales, cambiando la condición a un estado de aguas turbias y sin macrófitas (Hansel-Welch *et al.*, 2003).

Las herramientas como sensores remotos, clasificación de imágenes y aplicación de índices de vegetación, representan una gran ventaja para el estudio de las poblaciones de plantas acuáticas, y para evitar la pérdida o disminución del cuerpo de agua en el ecosistema. Imágenes Landsat han sido utilizadas para estimar la biomasa de vegetación en ecosistemas acuáticos, obteniendo buenos resultados. La información como la distribución y biomasa, estimada mediante análisis de imágenes, puede ser usada para el monitoreo ambiental y para un mejor entendimiento de la dinámica ecológica de las poblaciones de vegetación de ecosistemas acuáticos (Silva *et al.*, 2008), a través de programas de monitoreo

sistemáticos, sirviendo además, como apoyo en la gestión y en los programas de manejo proactivo en la conservación de ecosistemas acuáticos artificiales.

El desarrollo de herramientas de análisis precisas, eficientes y sólidas para el monitoreo de este tipo de ecosistemas sobre grandes extensiones espaciales son necesarias por la actual destrucción y degradación de los mismos, a pesar de los servicios y funciones que proveen a la sociedad; mientras que las prácticas tradicionales de monitoreo en terreno son más elevadas en inversión de tiempo y costos, además de estar limitados por la poca accesibilidad al interior de ecosistemas acuáticos, técnicas como las aplicadas en este trabajo, permiten cuantificar la vegetación acuática rápidamente sobre grandes extensiones espaciales. Así, como se ha demostrado en estudios de macrófitas, las técnicas tradicionales de mapeo son una herramienta complementaria a los datos satelitales en el monitoreo de ecosistemas acuáticos (Devranche *et al.*, 2010).

4.9. Utilidad de la metodología empleada

La metodología utilizada en este trabajo representa una alternativa de estudio en la determinación de cambios en componentes de ecosistemas artificiales frente a fenómenos de cambio climático, puesto que se puede obtener información a las escalas espaciales y temporales adecuadas para determinar cambios en la vegetación acuática. Principalmente por la adquisición regular de imágenes Landsat TM, ETM y OLI, y el registro histórico de la base de datos, haciendo posible combinar la generación de mapas de cobertura a través de series de tiempo con datos meteorológicos que podrían proveer una idea de cuáles son los factores asociados con la distribución y la abundancia de la vegetación acuática; especialmente si el cambio climático parece estar afectando los ecosistemas de diferentes maneras, no relacionadas necesariamente con la concentración de nutrientes. (Marín *et al.*, 2009)

La detección de variación en las superficies de vegetación acuática y estado fenológico en función de la longitud de onda en el infrarrojo cercano. Es decir la

identificación de períodos susceptibles en el ciclo de crecimiento del jacinto de agua puede ser usada para manejar esta especie. Luu & Getsinger (1988) observaron que hay una marcada disminución en la producción de tallos y biomasa como consecuencia de la floración. Pieterse *et al.* (1976) observaron que las plantas que no florecen produjeron el doble de ramas y cerca del doble de biomasa comparado con las plantas en floración. El fenómeno podría sugerir que la fase de reproducción sexual es el momento en que se debería considerar para aplicar algún método de control.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La aplicación de técnicas de teledetección al estudio del aumento poblacional de vegetación acuática en el embalse Daule Peripa, permitió detectar la disminución del cuerpo de agua en el transcurso de los siguientes años: 1993 a 2000 disminuyó 4231,6 hectáreas (17%) y del 2000 al 2014 se registró una disminución de 330,9 hectáreas (2,60%).
- Mediante el análisis de imágenes se determinó que el aumento de vegetación acuática en los años 1993 a 2000 fue de 430,47 hectáreas/año, mientras que en los años 2000 a 2014 se detectó una disminución de 20,93 hectáreas/año; estas variaciones se deben a que a partir del año 2000 se realizó una eliminación mecánica de la vegetación acuática por parte de la Empresa Privada SOAMSO Cía. Ltda. (Soluciones Ambientales Sostenibles).
- El análisis de proyección de crecimiento de vegetación acuática comparando dos imágenes con fechas de toma 2000 y 2014, dio como resultado un aumento promedio de 533,16 hectáreas/año; este crecimiento de comunidades de macrófitas se explica por la acumulación de material sedimentable y el aumento de la temperatura del agua ocasionado por el calentamiento global.
- El empleo de los índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y NDWI (Normalized Difference Water Index), utilizados en estudios de vegetación y cultivos, han mostrado importantes aplicaciones en el medio acuático (macrófitas). Mediante estos análisis, es posible detectar presencia

de agua, vegetación acuática en etapa de crecimiento y vegetación acuática en estado de madurez.

- En el trabajo de campo se determinó que existen 90 plantas en una superficie de 1 m², por lo tanto en el embalse con un área de 15.505,44 hectáreas de vegetación acuática, teóricamente existirían 13.954.896.000 plantas, lo que indica el grave problema de esta especie invasora en el año 2014.
- La ventaja del uso de imágenes obtenidas con sensores remotos de mayores resoluciones espaciales y espectrales puede ayudar a mejorar la resolución y el análisis de superficies de vegetación acuática de gran extensión.
- El presente estudio es aplicable para sugerir el manejo adecuado de vegetación acuática en embalses de la costa Ecuatoriana.

5.2. RECOMENDACIONES

- El uso de imágenes Landsat TM, ETM y OLI es recomendable para investigaciones en áreas de grandes extensiones y de difícil acceso, debido a la disponibilidad de imágenes en los geo portales de la USGS (United States Geological Survey) y GLCF (Global Land Cover Facility) los cuales cuentan con actualizaciones continuas, y coberturas globales.
- Se recomienda la aplicación de técnicas de teledetección con imágenes multiespectrales e hiperspectrales en futuros estudios en ecosistemas acuáticos naturales y artificiales, especialmente en los relacionados en producción hidroeléctrica.
- A partir de este estudio es fundamental elaborar propuestas de manejo para el control del aumento de vegetación acuática principalmente en el embalse Daule Peripa, infraestructura que beneficia a gran parte de las provincias del Guayas y Manabí.

- Es recomendable aplicar técnicas de teledetección con imágenes gratuitas de los sensores Landsat e imágenes comerciales del sensor ASTER para cuantificar las superficies cubiertas por vegetación acuática en embalses de la región costera del Ecuador tales como: La Esperanza, San Vicente, Tahuín y Poza Honda.
- Para analizar los cambios de cobertura vegetal acuática se recomienda emplear imágenes multiespectrales con 4 bandas, con la finalidad de identificar la vegetación en estado fenológico en crecimiento y la vegetación madura.
- Una posible solución frente a este problema sería adquirir señales espectrales en distintos estados fenológicos (crecimiento, floración) de las especies de vegetación acuática y analizar las imágenes disponibles con los espectros representativos.
- Se recomienda instalar pequeñas parcelas para evaluar métodos de control de la vegetación acuática. Los métodos pueden ser: control químico, mecánico y biológico, los ensayos deben ubicarse en las áreas de influencia de la presa y toma de agua de la central hidroeléctrica.
- La empresa privada Soluciones Ambientales Sostenibles Cía. Ltda. (SOAMSO) contratada para controlar el incremento de vegetación acuática del embalse Daule Peripa, debe tecnificar y aumentar los procesos de operación, para optimizar resultados y evitar la disminución del espejo de agua en mayor porcentaje. La labor que realizan al cosechar la especie invasora *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y convertirla en compost o abono orgánico es innovadora sin embargo, dentro de la Carrera de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte ya se han puesto en ejecución proyectos similares con más especies acuáticas trabajo que debe ser reconocido dentro de la provincia de Imbabura como alternativa para una agricultura orgánica.

- Se recomienda investigar el proceso de elaboración del abono orgánico ECOGREEN, para aprovechamiento del volumen de agua fluida de la vegetación acuática recolectada de forma mecánica, estudiar las propiedades físicas y químicas del agua generada por procesos fisiológicos de la vegetación. A partir de la investigación surgen temas de estudio para trabajos de grado.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Álvaro, Y. G. & Álvaro, G. S. (2006). *Clasificación de imágenes por satélite*.
- Alvarado Carrión, P. R. (2013). *Factibilidad del uso de Lechuguín del embalse mazar para la obtención de compost*.
- Adam E, O Mutanga & D Rugege (2010). *Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation*.
- Albright T & DJ Ode (2011). *Monitoring the dynamics of an invasive emergent macrophyte community using operational remote sensing data*.
- Bedon F. P. & Pinto S. A. (2012). *Evaluación de técnicas de detección de cambios del uso de la tierra a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el cantón Daule*.
- Cerón, C., Palacios, W., Sierra, R., & Valencia, R. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental*.
- CONELEC. (2009). *Estadísticas Del Sector Eléctrico Ecuatoriano*.
- Cabello, J. & Paruelo, J.M. (2008). *La teledetección en estudios ecológicos. Ecosistemas*.
- Cañadas, L. (1983). *Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador, MAG – PRONAREG. Quito – Ecuador*.
- Castaño-Gallego AA & P Lozano-Rivera. (2006). *Delimitación de ecosistemas sumergidos (praderas de fanerógamas) a partir de imágenes EOS-ASTER en la zona costera del departamento de la Guajira (Colombia)*.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de Teledetección Espacial Barcelona*.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*.

Cisa S.A. (2005). *Descripción de embalses de Honduras*. Recuperado de: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/bibliotecavirtual/embalseshonduras.pdf>

Constitución Nacional de la República del Ecuador del 2008.

De Souza Silva, R. (2008, Enero). *Influência da temperatura e de cargas de nutrientes no crescimento da macrofita aquática flutuante eicchornia crassipes (mart.) solms cultivada em água enriquecida artificialmente*. Rio Claro: Instituto de Biociencias Univeersidad Paulista Julio de Mesquita Filho.

DINAGUA (2011): *Manual de diseño y construcción de presas pequeñas. Vol. 1 Diseño hidrológico / Hidráulico*. Montevideo Uruguay.

Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. (2010). *Aspectos técnicos de las imágenes LANDSAT*.

Du Y, CI Chang, H Ren, CC Chang, JO Jensen & FM D´amico. (2004). *New Hyperspectral Discrimination Measure for Spectral Characterization*

Eastman JR. 2004. *IDRISI Kilimanjaro: user's guide*. Clark labs for cartography, technology and geographic analysis. Clark University, Worcester, Massachusetts, USA.

Erdas Imagine, (2001). *Erdas Tour Guide*.

European And Mediterranean Plant Protection Organization. (2008). *Data Sheet On Quarantine Pests*.

Fernández, M, Fernández, F García- Criado & C Trigal-Domínguez. (2004). *La influencia del régimen hídrico sobre las comunidades de macrófitas de lagunas someras de la Depresión del Duero*.

Franklin, J. & Adler. (2006). *Los Embalses y los Recursos Hídricos Superficiales*.

Godoy, L. A. (2013). *Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología, Vol. I. Editorial Universitas, Córdoba*.

Guevara, E. (2013). *Estructuras hidráulicas. Embalses Generalidades*.

GLCF Fuente de datos perteneciente al Global Land Cover Facility, Recuperado de: <http://www.landcover.org>

Hauenstein, E. (2006). *Visión sinóptica de los macrófitas dulceacuícolas de Chile*.

Héctor, F. & Gómez, A. (2006). *Clasificación de imágenes multiespectrales LANDSAT TM por medio de redes neuronales no supervisadas*.

- Holdrige, L.R. (1992). *Life Zone Ecology, San José de Costa Rica. Tropical Science Center.*
- Jian Jun, C., Yi, D., & Qi Jia, Z. (2006). *Invasion and control of Water Hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) in China. China: Journal Of Zhejiang University SCIENCE B.*
- John R. Jensen, 2000. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, Prentice Hall.*
- J.B. Campbell, 1987. *Introduction to Remote Sensing, The Guilford Press.*
- Kivaisi, A., & Mtila, M. (1998). *Production of Biogas from Water Hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) in a Two Stage Bioreactor. Tanzania: World Journal Of Microbiology And Biotechnology.*
- León Espinoza, M. E., & Lucero Peralta, A. M. (2008). *Estudio Eichhornia crassipes (Mart.) Solms, Azolla Filiculoides y Lemna Gibba, En El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Aplicando A Sistemas Unifamiliares Y Comunitarios en el Cantón Cotacachi - Ecuador.*
- López, D. (2012). *“Aprovechamiento del Lechuguín (“Eichhornia crassipes (Mart.) Solms”) para la Generación de Abono Orgánico Mediante la Utilización de Tres Diseños Diferentes de Biodigestores”.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Martínez Jiménez, M. (2004). *Progresos En El Manejo Del Jacinto De Agua (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms).*
- Martínez, J. & Díaz P. A. (2005). *Percepción Remota. “Fundamentos de Teledetección”.*
- Macleod & Congalton. (1998). *A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed dato. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.*
- Marshall, T. & Lee, P. (1994). *Mapeando los macrófitas acuáticos mediante análisis digital de imágenes de fotografías aéreas: una evaluación.*
- Melack, J. M. & Novo, E. (2008). *Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications, Silva TSF, MPF Costa.*

- Mera, E. (2013). *Clasificación supervisada*. Recuperado de: <http://www.slideshare.net/EduardoMera1/pr-clasificacion-supervisada-guzman-mera>
- Ortega, M. P. (2011). *Aplicaciones de la teledetección y SIG en la caracterización de humedales en la reserva de la biosfera de la mancha húmeda, Madrid*.
- Paul J. Curran, 1985. *Principles of Remote Sensing, Longman*.
- Pagot, M. (2003). *Metodologías inductivas y deductivas en técnicas de teledetección*.
- Pérez, M.E. & García, M.P. (2001). *Comparación de imágenes TM y ETM para analizar los cambios en la gestión del agua y el uso del suelo en La Mancha Húmeda (Provincias de Toledo y Ciudad Real). Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*.
- Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir 2013-2017.
- Puerto Rico Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, (2006): *Hojas de nuestro ambiente*. Recuperado de: www.drna.gobierno.pr
- RAMSAR convention on wetlands. Recuperado de: (<http://www.ramsar.org/>).
- PREPAC. (2005). *Inventario Nacional De Los Cuerpos De Agua Continentales Honduras*.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española*. from RAE: www.rae.es
- Ramírez, C. & San Martín, C. (2006): *Ecosistemas dulceacuícolas. Biodiversidad de Chile: patrimonios y desafíos*.
- Salvatierra, H. & Pérez, G. (1997). *Uriel Análisis Multitemporal de la Cobertura y Uso de la tierra con Apoyo de los Sensores Remotos*.
- TELEDET. (2007). *Introducción a la Percepción Remota*. Recuperado de: <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenessatelitales/clasificacion-no-supervisada.htm>
- Sandoval W. (1993) *Principios de la hidráulica*. Ed. ESPE Quito Ecuador

CÁPITULO VII

7. ANEXOS

7.1. Mapas

7.2. Anexos fotográficos (Épocas lluviosa y seca)



Fotografía 1. Señalización



Fotografía 2. Entrada Embalse Daule Peripa



Fotografía 3. Salida nocturna Embalse Daule Peripa



Fotografía 4. Salida nocturna Embalse Daule Peripa



Fotografía 5. Salida Embalse Daule Peripa



Fotografía 6. Diálogo con trabajadores



Fotografía 7. Recolección de macrófitas



Fotografía 8. Especie *Eichhornia crassipes* (Mart.)
Solms



Fotografía 9. Especie *Eichhornia crassipes* (Mart.)
Solms



Fotografía 10. Embalse Daule Peripa época lluviosa



Fotografía 11. Embalse Daule Peripa época lluviosa



Fotografía 12. Especies encontradas



Fotografía 13. Retiro de macrófitas



Fotografía 14. Especies encontradas



Fotografía 15. Embalse Daule Peripa época seca



Fotografía 16. Embalse Daule Peripa época seca



Fotografía 17. Embalse Daule Peripa época seca



Fotografía 18. Embalse Daule Peripa época seca



Fotografía 19. Recorrido época seca



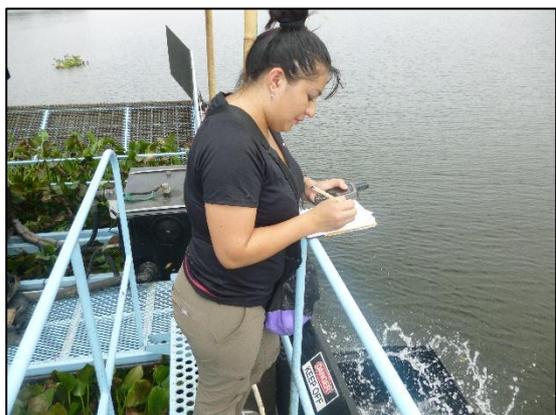
Fotografía 20. Vista en época seca



Fotografía 21. Presencia de ganado vacuno



Fotografía 22. Retiro mecánico de especies



Fotografía 23. Registro de puntos GPS



Fotografía 24. Puntos con mayor presencia de especies.



Fotografía 25. Retiro completo de especies



Fotografía 26. Quema de pantano



Fotografía 27. Sedimentos visibles en el agua



Fotografía 28. Semillas de *Eichhornia crassipes*
(Mart.) Solms



Fotografía 29. Elaboración de abono orgánico



Fotografía 30. Producto fina abono orgánico
Ecogreen