



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TEMA: “CORRELACIÓN ENTRE LA FRAGMENTACIÓN
AMBIENTAL Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL MANGLAR
CON LA REDUCCIÓN EN LAS CAPTURAS DE PINCHAGUA
(*Opisthonema spp*)”**

AUTOR: VELASCO VÁSQUEZ, DAVID MARCO

**DIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA LLUMIPANTA, NEPTALÍ
ARMANDO**

SANGOLQUÍ

2017



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*CORRELACIÓN ENTRE LA FRAGMENTACIÓN AMBIENTAL Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL MANGLAR CON LA REDUCCIÓN EN LAS CAPTURAS DE PINCHAGUA (*Opisthonema spp*)*” realizado por el señor **DAVID MARCO VELASCO VÁSQUEZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **DAVID MARCO VELASCO VÁSQUEZ** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de enero del 2017

Atentamente,

Una firma manuscrita en tinta oscura sobre un fondo claro, que parece ser la del director mencionado en el texto.

Director

Ing. Neptalí Armando Echeverría Llumipanta, Mg.



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DAVID MARCO VELASCO VÁSQUEZ**, con cédula de identidad N° 1722628219 declaro que este trabajo de titulación “**CORRELACIÓN ENTRE LA FRAGMENTACIÓN AMBIENTAL Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL MANGLAR CON LA REDUCCIÓN EN LAS CAPTURAS DE PINCHAGUA (*Opisthonema spp*)**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente, declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 24 de enero del 2017

DAVID MARCO VELASCO VÁSQUEZ

C.C. 1722628219



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

Yo, **DAVID MARCO VELASCO VÁSQUEZ**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**CORRELACIÓN ENTRE LA FRAGMENTACIÓN AMBIENTAL Y DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL MANGLAR CON LA REDUCCIÓN EN LAS CAPTURAS DE PINCHAGUA (*Opisthonema spp*)**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 24 de enero del 2017

Una fotografía de la firma manuscrita de David M. Velasco Vásquez en tinta oscura sobre un fondo claro.

DAVID MARCO VELASCO VÁSQUEZ

C.C. 1722628219

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico:

- *En primer lugar a Dios. Por guiarme, por protegerme y darme la fortaleza para superar las pruebas de la vida.*
- *A mis abuelitos Pastor Velasco y Teresa Chávez, por sembrar los valores que han hecho de mí un hombre útil para sí mismo y para la sociedad.*
- *A mi madre Catalina Vásquez, por el día a día que lucha por mí y mis hermanos y por hacer de mí un hombre fuerte y valiente.*
- *A mis hermanitos, Celine y Thiao.*
- *A mis seres queridos: Jennifer Velasco, Gabriela Velasco, Isabel Velasco, Daniel Velasco, Andrés Velasco, Justine Vallejo e Ignacio Zurita, los llevo siempre en mi corazón.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco:

- *A Dios. Sin su bendición NADA hubiese sido posible.*
- *A todos mis seres queridos, por estar siempre a mi lado, dándome ánimos para nunca rendirme. Les amo muchísimo a todos.*
- *A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.*
- *A la Unidad de Bienestar Estudiantil y en especial a la Dra. Ximena Tapia, por ser una gran amiga y por su incondicional apoyo. Muchísimas gracias.*
- *Al ingeniero Armando Echeverría, por su ayuda y por apoyar mis ideas.*
- *A mis amigas de toda la vida Anita Calderón y Priscila Aules.*
- *A mis amigos y amigas de la u: Carolina Tamayo, Christian Barahona, Daniela Guallichico, Erica Gualshpa, Gabriela Rondal, Gabriela Wolf, Irene Quishpe, Jackeline Iza, Katherine Yépez, Mario Balseca, Paulina Moreta, Vanessa Tenorio y Víctor Villamarín, gracias por su amistad.*
- *A la fundación DigitalGlobe (The DigitalGlobe Foundation) por proporcionar la información geoespacial para el desarrollo de mi proyecto.*
- *A Devon Libby de DigitalGlobe y Mike Lane de Hexagon Geospatial, por la ayuda y atención prestada a mi proyecto.*

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN:	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. METAS	5
1.6. HIPÓTESIS	5
1.7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	6

CAPÍTULO II	8
2. MARCO TEÓRICO:	8
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
2.1.1. Sistema de información geográfica (SIG).....	8
2.1.1.1. Definición.....	8
2.1.1.2. Componentes de un SIG.....	8
2.1.1.2.1 Datos e información geográfica (IG)	9
2.1.1.2.2 Modelos de datos o modelos de representación.....	11
2.1.1.3. Principales aplicaciones de un SIG	12
2.1.2. Fundamentos básicos de geodesia y cartografía	12
2.1.2.1. Sistemas y superficies de referencia	13
2.1.2.1.1 Elipsoide.....	13
2.1.2.1.2 Geoide	14
2.1.2.1.3 Superficie terrestre	15
2.1.2.2. Datum geodésico.....	16
2.1.2.3. Sistemas de coordenadas.....	18
2.1.2.3.1 Sistema de coordenadas geográficas o geodésicas.....	18
2.1.3. Teledetección	19
2.1.3.1. Definición.....	19
2.1.3.2. Componentes de un sistema de teledetección	19
2.1.3.3. Principales aplicaciones de la teledetección	21
2.1.3.4. Ondas electromagnéticas.....	21
2.1.3.4.1 Definición de onda electromagnética.....	21
2.1.3.4.2 Características de una onda electromagnética.....	22
2.1.3.5. El espectro electromagnético	24
2.1.3.5.1 Región visible	25
2.1.3.5.2 Región infrarroja	26
2.1.3.6. Imagen satelital	26
2.1.3.6.1 Resoluciones de un sistema sensor	26
2.1.3.7. Ortofoto	27
2.1.3.8. Modelo Digital del Terreno (MDT)	27

2.1.3.9. Extracción por máscara	28
2.1.3.10. Corrección radiométrica.....	29
2.1.3.10.1 Corrección atmosférica	29
2.1.3.10.2 Normalización radiométrica.....	29
2.1.3.11. Corrección geométrica	30
2.1.3.11.1 Rectificación	30
2.1.3.11.2 Ortorectificación	31
2.1.3.12. Clasificación de imágenes satelitales	31
2.2. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL.....	32
2.2.1. Análisis multitemporal	32
2.2.2. Análisis multivariante	33
2.2.3. Modelización matemática	33
2.2.4. Cambio de la cobertura del suelo	34
2.2.5. Degradación ambiental.....	35
2.2.5.1. NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)	35
2.2.6. Fragmentación ambiental	36
2.2.7. Tasas de variación	39
2.2.7.1. Tasa de cambio en la cobertura del suelo (TCA).....	39
2.2.7.2. Tasas de deforestación del manglar (TDM).....	39
2.2.7.3. Tasas de fragmentación ambiental (TFA).....	39
2.2.8. Manglares	40
2.2.8.1. Definición.....	40
2.2.8.2. Manglares en el Ecuador	41
2.2.9. Pinchagua o sardina.....	42
2.2.9.1. Características	42
2.2.9.2. Ubicación Taxonómica	43
2.2.9.3. Época de desove y madurez sexual.....	43
2.2.9.4. Distribución geográfica de la pinchagua en el Ecuador.....	44
2.2.9.5. Importancia económica	46
2.2.9.6. Desembarques	47
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	48

CAPÍTULO III.....	49
3. METODOLOGÍA:	49
3.1. ADQUISICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	49
3.2. ADQUISICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN SOBRE CAPTURAS	56
3.2.1. Capturas de pinchagua en las aguas ecuatorianas	57
3.2.2. Capturas de pinchagua en las aguas del área de estudio	59
3.3. CALIBRACIÓN RADIOMÉTRICA Y CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA	63
3.3.1. Calibración y corrección para WorldView-2	63
3.3.1.1. Radiometría	63
3.3.1.2. Geometría.....	65
3.3.1.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad	65
3.3.2. Calibración y corrección para RapidEye.....	68
3.3.2.1. Radiometría	68
3.3.2.2. Geometría.....	68
3.3.2.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad	69
3.3.3. Calibración y corrección para GeoEye-1	69
3.3.3.1. Radiometría	69
3.3.3.2. Geometría.....	69
3.3.3.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad	70
3.3.4. Calibración y corrección para QuickBird	70
3.3.4.1. Radiometría	70
3.3.4.2. Geometría.....	70
3.3.4.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad	70
3.4. CORRECCIÓN GEOMÉTRICA	71
3.4.1. Corrección para WorldView-2, GeoEye-1 y QuickBird.....	71
3.4.2. Corrección para RapidEye	72
3.5. ENMASCARAMIENTO DE NUBES, SOMBRAS Y AGUA	72
3.6. DETERMINACIÓN DE ÁREAS PARA EL ESTUDIO MULTITEMPORAL.....	73
3.7. EVALUACIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN Y DEGRADACIÓN	76
3.8. ELABORACIÓN DEL MAPA DE FRAGMENTACIÓN Y DEGRADACIÓN	78
3.9. ELABORACIÓN DEL MAPA DE CAMBIOS EN LA COBERTURA DEL SUELO.....	80

3.10. CÁLCULO DE LAS TASAS DE VARIACIÓN	81
3.10.1. Tasa de degradación ambiental (TDA)	81
3.10.2. Tasa de captura de pinchagua (TCP)	82
3.11. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD	82
3.12. ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN NO PARAMÉTRICA.....	83
3.13. MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE	83
CAPÍTULO IV	84
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES:.....	84
4.1. RESULTADOS.....	84
4.1.1. Degradación, fragmentación y capturas por zonas de estudio	84
4.1.2. Tasas de variación	87
4.1.2.1. Fragmentación, degradación y pesca	87
4.1.2.2. Mapas de cambios en la cobertura del suelo.....	88
4.1.3. Resultados de la comprobación de la normalidad.....	89
4.1.4. Coeficientes de correlación por rangos de Spearman	90
4.2. MAPAS	92
4.3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	107
4.3.1. Fragmentación ambiental	107
4.3.1.1. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 1	107
4.3.1.2. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 2	109
4.3.1.3. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 3	110
4.3.1.4. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 4	111
4.3.1.5. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 5	112
4.3.2. Degradación ambiental.....	113
4.3.3. Análisis de correlación.....	116
4.3.4. Modelo matemático.....	117
CAPÍTULO V.....	118
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	118
5.1. CONCLUSIONES	118

5.2. RECOMENDACIONES 119

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de la isla Puná	6
Tabla 2 Parámetros de un elipsoide	13
Tabla 3 Elipsoides utilizados en Ecuador y sus parámetros	14
Tabla 4 Datums y elipsoides utilizados en Ecuador.....	17
Tabla 5 Puertos con desembarques de pinchagua (<i>Opisthonema spp</i>)	45
Tabla 6 Descripción de la información geográfica adquirida	50
Tabla 7 Descripción de las imágenes satelitales	51
Tabla 8 ID de las imágenes entregadas por DigitalGlobe Foundation.....	55
Tabla 9 Capturas de pinchagua entre los años 1981 y 2015	58
Tabla 10 Capturas de pinchagua por zonas de pesca	60
Tabla 11 Capturas de pinchagua por año	61
Tabla 12 Archivo de calibración 1 (WorldView-2)	64
Tabla 13 Archivo de calibración 2 (WorldView-2)	64
Tabla 14 Archivo de calibración RapidEye	68
Tabla 15 Archivo de Calibración GeoEye-1	69
Tabla 16 Archivo de calibración de QuickBird	70
Tabla 17 Valores ingresados en ATCOR para la calibración y corrección	71
Tabla 18 Descripción de las zonas de estudio.....	74
Tabla 19 Temporalidades e imágenes para el mapa de cambios	80
Tabla 20 Resultados de degradación, fragmentación y capturas de pinchagua	85
Tabla 21 Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 1	85
Tabla 22 Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 2	86
Tabla 23 Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 3	86
Tabla 24 Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 4	86
Tabla 25 Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 5	87
Tabla 26 Tasas de variación.....	87
Tabla 27 Tasas de cambio del mapa de cambios en la cobertura del suelo	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio	7
Figura 2 Componentes de un SIG	9
Figura 3 Modelo ráster y vector	11
Figura 4 Comparación entre la esfera y elipsoide	14
Figura 5 Modelo Geoidal EGM2008	15
Figura 6 Comparación entre el geoide, elipsoide y la superficie topográfica	16
Figura 7 Sistema de coordenadas geográficas	19
Figura 8 Componentes de un sistema de teledetección.....	20
Figura 9 Onda electromagnética	22
Figura 10 Crestas y valles	23
Figura 11 Onda electromagnética y sus características.....	24
Figura 12 Espectro electromagnético.....	25
Figura 13 Ejemplo de MDT	28
Figura 14 Extracción por máscara	28
Figura 15 Clasificación no supervisada de una imagen	32
Figura 16 Fragmentación ambiental.....	37
Figura 17 Áreas de manglar en el Golfo de Guayaquil.....	42
Figura 18 <i>Opisthonema libertate</i>	42
Figura 19 Distribución geográfica de la pinchagua	44
Figura 20 Zonas de pesca de pinchagua.....	45
Figura 21 Desembarques de pinchagua desde 1981 hasta el 2009	47
Figura 22 Metodología utilizada por el INP para el muestreo de pinchagua.....	56
Figura 23 Capturas de pinchagua en toda la costa ecuatoriana.....	58
Figura 24 Cuadrícula base para el registro de las capturas de pinchagua.....	59
Figura 25 Capturas de pinchagua entre los años 2002 y 2015.....	61
Figura 26 Mapa de zonas de pesca de pinchagua	62
Figura 27 Dirección de los vientos en el Ecuador	66
Figura 28 Valores en ATCOR de la imagen WV-2-1-Multiespectral	67
Figura 29 Valores en ATCOR de la imagen WV-2-2-Multiespectral	67
Figura 30 Zonas de estudio del manglar en la isla Puná.....	75
Figura 31 Patch Analyst para ArcGIS, herramienta Spatial Statistics.....	78

Figura 32 Pruebas de normalidad en SPSS	89
Figura 33 Pruebas de normalidad para las variables CA, NUMP y MPE.....	90
Figura 34 Pruebas de normalidad para la variable CAPTURA	90
Figura 35 Correlaciones no paramétricas.....	91
Figura 36 Mapa de degradación y fragmentación, zona 1, (2002 – 2010).....	93
Figura 37 Mapa de degradación y fragmentación, zona 1, (2010 – 2011).....	94
Figura 38 Mapa de degradación y fragmentación, zona 1, (2011 – 2015).....	95
Figura 39 Mapa de degradación y fragmentación, zona 2, (2010 – 2011).....	96
Figura 40 Mapa de degradación y fragmentación, zona 2, (2011 – 2015).....	97
Figura 41 Mapa de degradación y fragmentación, zona 3, (2010 – 2011).....	98
Figura 42 Mapa de degradación y fragmentación, zona 3, (2011 – 2012).....	99
Figura 43 Mapa de degradación y fragmentación, zona 3, (2012 – 2015).....	100
Figura 44 Mapa de degradación y fragmentación, zona 4, (2010 – 2011).....	101
Figura 45 Mapa de degradación y fragmentación, zona 4, (2011 – 2012).....	102
Figura 46 Mapa de degradación y fragmentación, zona 5, (2002 – 2011).....	103
Figura 47 Mapa de degradación y fragmentación, zona 5, (2011 – 2015).....	104
Figura 48 Mapa de cambios entre los años 2002 y 2011.	105
Figura 49 Mapa de cambios entre los años 2011 y 2015.	106
Figura 50 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 1	114
Figura 51 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 2.....	114
Figura 52 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 3.....	115
Figura 53 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 4.....	115
Figura 54 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 5.....	116

RESUMEN

En el presente proyecto se evaluó los procesos de fragmentación ambiental y degradación ambiental del manglar en la isla Puná (Ecuador) entre los años 2002 y 2015 para correlacionarlos con la disminución en las capturas de pinchagua (*Opisthonema spp*). Se recopiló y trabajó con imágenes satelitales de alta resolución (WorldView-2, GeoEye-1, QuickBird y RapidEye) provistas por la fundación DigitalGlobe y entidades públicas ecuatorianas (Instituto Espacial Ecuatoriano, SIGTIERRAS, MAGAP, etc.) para luego realizar el pre-procesamiento de las mismas. Se determinaron 5 zonas de estudio para el análisis multitemporal y además se efectuó una digitalización e interpretación de la cobertura de manglar en diferentes temporalidades para posteriormente evaluar la fragmentación ambiental con la extensión Patch Analysis versión 5.2.0.16 para ArcGIS, las métricas seleccionadas fueron: superficie total de la clase manglar (CA), número de parches (NUMP), tamaño medio de los parches (MPS), borde medio de los parches (MPE), índice promedio de forma de los parches (MSI) y dimensión fractal promedio de los parches (MPFD). Para la evaluación de la degradación ambiental se utilizó la diferencia de imágenes de NDVI y se obtuvieron los porcentajes de áreas con gran aumento del NDVI, áreas con gran descenso del NDVI y áreas sin cambios importantes en el NDVI. Se concluyó que no hubo procesos de fragmentación importantes, que en algunas zonas no hubo fragmentación y en otras se encontraron procesos de regeneración del manglar. Se obtuvo un MPS promedio y un NDVI promedio de 41,53 Ha y 0,760 respectivamente. Se calcularon coeficientes de correlación por rangos de Spearman (0,97; -0,325; -0,298; etc.) usando IBM SPSS Statistics 23 y se determinó que no existe correlación entre la fragmentación y degradación del manglar con la disminución en las capturas de pinchagua, considerando que los valores de fragmentación y degradación obtenidos provenían de muestras diferentes (zonas de estudio).

PALABRAS CLAVE

- **DEGRADACIÓN**
- **FRAGMENTACIÓN**
- **MULTITEMPORAL**
- **PINCHAGUA**
- **CORRELACIÓN**

ABSTRACT

This project monitor the environmental fragmentation processes and environmental degradation processes of mangroves in Puná island (Ecuador) during the period of 2002 through 2015 for correlating them with the decrease of sardine (*Opisthonema spp*) fishing. High resolution satellite images (WorldView-2, GeoEye-1, QuickBird and RapidEye) were provided by The DigitalGlobe Foundation and public ecuadorian entities (Instituto Espacial Ecuatoriano, SIGTIERRAS, MAGAP, etc.). Images were pre-processed and the mangrove cover was delimited through digitizing and visual interpretation in five areas of analysis inside of the Puná island that were determined to monitor fragmentation and degradation. The extension Patch Analysis 5.2.0.16 for ArcGIS was used and the selected metrics were: number of patches (NUMP), mean patch size (MPS), mean patch edge (MPE), mean shape index (MSI) and mean patch fractal dimension (MPFD). The evaluation of the degradation was realized using vegetation index differencing and obtaining the percentage of areas with big increase of NDVI, areas with big decrease of NDVI and areas with no changes in NDVI. It was concluded that there were no significant processes of environmental fragmentation, that in some areas there was no environmental fragmentation and in other areas processes of regeneration of mangrove cover were found. An average MPS of 41,53 Ha and a NDVI of 0,760 were calculated considering all the areas of analysis and periods of time. Spearman's rank correlation coefficients (0,97; -0,325; -0,298; etc.) were calculated with IBM SPSS Statistics 23 and the conclusion was that there isn't a statistical relationship between fragmentation and degradation with the decrease of sardine fishing, considering the resulting values of fragmentation and degradation came from different samples.

KEYWORDS

- **DEGRADATION**
- **FRAGMENTATION**
- **MULTITEMPORAL**
- **PINCHAGUA**
- **CORRELATION**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN:

1.1. Antecedentes

A partir del año 1966 se inicia el cultivo del camarón (*Penneus spp*) en el Ecuador. La industria del camarón creció considerablemente a causa de la demanda internacional así como de los elevados beneficios económicos que proporcionaba, sin embargo, se convirtieron aproximadamente unas 40000 Ha de manglar en camaroneras y otras 40000 Ha pasaron a ser pastos para el ganado. Hoy en día existen varios estanques que se han vuelto improductivos por la salinización y acidificación y ya no son más rentables (FAO, 2005).

Los manglares son el refugio de: peces, juveniles y adultos; aves residentes y aves migratorias; reptiles; mamíferos; moluscos; crustáceos e insectos. Todos estos organismos hacen uso del ecosistema en alguna parte de su ciclo biológico, por lo tanto, el manglar proporciona y mantiene en estabilidad a las cadenas tróficas (Villalobos, 1996).

Según menciona el Centro de Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (2007) y que hace referencia a Vega et al. (2007), especies como la *Opisthonema bulleri*, *Opisthonema libertate* y *Opisthonema medirastre* han sido capturadas en el área de manglar en el golfo de Montijo de Panamá. En el Ecuador se determinó a través de un diagnóstico de la biocenosis de los manglares de la comuna Palmar en la provincia de Santa Elena que la especie *Opisthonema libertate* formaba parte de la fauna residente del ecosistema del manglar del Palmar y que *Opisthonema spp* se encontraba en los desembarques de los botes artesanales del Palmar (Caicho, 2013).

En el Ecuador específicamente en la Reserva Ecológica Manglares Cayapas – Mataje se determinó que las larvas de pinchagua (*Opisthonema spp*) se concentran en las aguas interiores (también llamados esteros interiores) de los manglares – preferiblemente las que tienen mayor transparencia– que poseen mayor disponibilidad de nutrientes (fosfatos, nitratos y clorofila), adicionalmente se encontró que la cantidad

de nutrientes está correlacionada positivamente con aumentos en la densidad de huevos y lavas de peces cupleiformes (Luzuriaga, Solano, & Cevallos, 2007).

Estudios establecen que la pinchagua ha venido presentando una rápida declinación en la biomasa desde mediados de los años ochenta hasta el año 2013, con la presencia de cambios negativos e importantes en la productividad, en los niveles poblacionales y en los reclutamientos –hasta mediados de los años noventa se tuvieron grandes reclutamientos, y en consecuencia, grandes desembarques y estimaciones de biomasa superiores al millón de toneladas– (Canales, Peralta, & Jurado, 2013).

La pinchagua ha estado distribuida a lo largo de la costa ecuatoriana, principalmente frente a Manabí y en el golfo de Guayaquil. Las mayores capturas se obtuvieron al occidente de la isla Puná, en los alrededores de la isla Santa Clara y en el estuario exterior del golfo de Guayaquil (N. González, 2010; Prado, 2008).

Es importante recalcar que la economía de la parroquia rural Posorja se encuentra sustentada en un 90% por la actividad pesquera (procesamiento y comercialización) (Barzola, 2015). La captura de pinchagua, especie más costera, se realiza por la flota pesquera con embarcaciones de clase I, es decir, con menor autonomía y capacidad de bodega, para luego descargarse en caletas pesqueras y en muelles de propiedad privada (N. González, 2010).

1.2. Definición del problema

No se han realizado estudios en el Ecuador con herramientas geoespaciales para determinar la correlación entre la fragmentación y degradación ambiental con la disminución en la pesca de pinchagua. Se conoce que la pinchagua es parte de la fauna del manglar y que debido a las condiciones oceanográficas como los *upweallings* (surgencias de aguas cargadas de nutrientes) y la posición geográfica del Ecuador, la pinchagua forma parte de una cadena trófica simple y esto deriva en una gran productividad en las aguas ecuatorianas. Adicionalmente, el manglar proporciona múltiples bienes y servicios ambientales y sus beneficios económicos se obtienen de su conservación al igual que la pesca de pinchagua es fuente de ingresos económicos.

La acción antrópica ejerce gran presión sobre los ecosistemas. La camaronicultura y la agricultura son dos de las varias actividades humanas que ejercen mayor presión

sobre los ecosistemas de manglar, y en consecuencia, el inicio o la aceleración de procesos de fragmentación y la degradación ambiental de los hábitats. En el Ecuador los manglares son una fuente de ingreso económico para recolectores de cangrejo y concha prieta, especies que científicamente, se ha comprobado dependen del manglar, la pinchagua de acuerdo a ciertos estudios reside cierta parte de su ciclo de vida en los estuarios de los manglares, por lo tanto, con la finalidad de observar y estudiar la influencia de las presiones antrópicas sobre el ecosistema de manglar y la disponibilidad del recurso pesquero, especialmente la pinchagua –pez pelágico pequeño comercial utilizado para elaborar sardinias en lata–, y ante la ausencia de estudios científicos que observen la correlación estadística entre los procesos de degradación y fragmentación ambiental con los recursos pesqueros del Ecuador, se planteó analizar este problema, principalmente desde una perspectiva geoespacial.

1.3. Justificación e importancia

El presente proyecto propuso determinar si la disminución en la pesca de pinchagua (*Opisthonema spp*) está correlacionada con la fragmentación y degradación del manglar. La necesidad de determinar esta relación radica en la importancia que tiene el recurso pesquero para el Ecuador, si se comprueba que estas variables están estrechamente ligadas, la presente investigación servirá como un instrumento en diversos proyectos orientados al manejo responsable de los recursos naturales, de manera que, se protegería enfáticamente el manglar para garantizar el acceso a los beneficios ambientales, económicos y sociales derivados de la pesca de pinchagua considerando que no se ha estudiado en el Ecuador sobre las relaciones entre la pinchagua (*Opisthonema spp*), la reducción de las áreas de manglar y la disponibilidad del recurso pesquero.

El Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) 2013 – 2017 menciona que: es de carácter imperioso proteger, conservar y recuperar los ecosistemas degradados; también, que es primordial manejar adecuadamente los recursos naturales con el objetivo de reducir los desbalances económicos, sociales, de infraestructura y ambientales (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades, 2013).

Este proyecto de investigación se acopló con el objetivo que se encuentra dentro del PNBV, en el capítulo 7. Estrategia Territorial Nacional, en 7.4. Síntesis del modelo territorial, 7.4.3. Matriz Productiva, en la Tabla 7.3. Lineamientos para el eje sustentabilidad ambiental, en el lineamiento número 8, que enuncia:

“Promover la conservación del bosque de manglar como un ecosistema mitigador de tsunamis e inundaciones costeras y regulador de ciclos ecológicos” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades; 2013, p. 367).

El presente proyecto de investigación colaboró con el objetivo que se encuentra en el PNBV, en el resumen de la Agenda Zonal de la zona 8 (Guayaquil, Samborondón y Durán), en 2. Principales líneas de acción, y dentro de la línea de acción 2.3. Sustentabilidad patrimonial natural y cultural, y que establece:

“Rehabilitar áreas degradadas por la deforestación de los bosques y la eliminación de manglares, a través de procesos participativos generadores de empleo” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades; 2013, p. 407).

El proyecto se alineó con el Objetivo 15 de Desarrollo Sostenible que menciona:

“Objetivo 15: Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica” (United Nations, 2016).

1.4. Objetivos

Los objetivos propuestos para el siguiente proyecto de investigación son:

1.4.1. Objetivo general

Determinar la correlación entre la fragmentación y degradación del manglar con la reducción en las capturas de pinchagua (*Opisthonema spp*).

1.4.2. *Objetivos específicos*

1. Recopilar y estandarizar la información geoespacial y de capturas de pinchagua.
2. Análisis multitemporal de los datos e información recopilada y estandarizada.
3. Evaluar los cambios de cobertura del suelo, la degradación y la fragmentación del manglar en la isla Puná a través de herramientas geoespaciales.
4. Establecer el modelo más adecuado de correlación entre la fragmentación y degradación del manglar con respecto a las capturas de pinchagua.
5. Definir áreas de conservación de manglar.

1.5. **Metas**

1. Dos mapas de fragmentación del manglar por época a escala 1:25.000 con su respectiva tabla de atributos.
2. Dos mapas de degradación del manglar por época a escala 1:25.000 con su respectiva tabla de atributos.
3. Dos mapas de cambio en la cobertura del suelo a escala 1:25.000 con su respectiva tabla de atributos.
4. Un reporte de variaciones de fragmentación ambiental y degradación ambiental.
5. Un reporte de coeficientes de correlación.
6. Un modelo de capturas de pinchagua considerando la fragmentación ambiental y degradación ambiental del manglar.

1.6. **Hipótesis**

- Hipótesis nula (H₀): No existe correlación entre la fragmentación ambiental y la degradación ambiental con la reducción en las capturas de pinchagua.
 - H₀: $\rho = 0$

- Hipótesis alternativa (Ha): Existe correlación entre la fragmentación ambiental y la degradación ambiental con la reducción en las capturas de pinchagua.
 - Ha: $\rho \neq 0$

1.7. Descripción del área de estudio

El área de estudio abarca aproximadamente 8855 Km² que considera a la isla Puná (894,6 Km²) así como las aguas oceánicas cercanas a la isla. En la Tabla 1 consta la información respectiva a la isla Puná:

Tabla 1
Descripción de la isla Puná

	Puná	Fuentes
Zona:	9 (Distrito Metropolitano de Guayaquil)	Sistema Nacional de Información (SNI).
Provincia:	Guayas	
Cantón:	Guayaquil	
Superficie:	894,6 Km ²	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Censo 2010.
Población total:	6769 hab.	
Población masculina:	3640 hab.	
Población femenina:	3129 hab.	
Densidad poblacional:	7,57 hab/Km ²	
Clima:	Tropical Megatérmico Semiárido	Clasificación climática para el Ecuador de Pierre Pourrut.
Temperatura promedio anual:	25,2 °C	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Anuario Meteorológico 2012.
Precipitación anual:	1136,4 mm	

A continuación se presenta en la Figura 1 un mapa donde se puede observar el área total donde se realizó el proyecto:

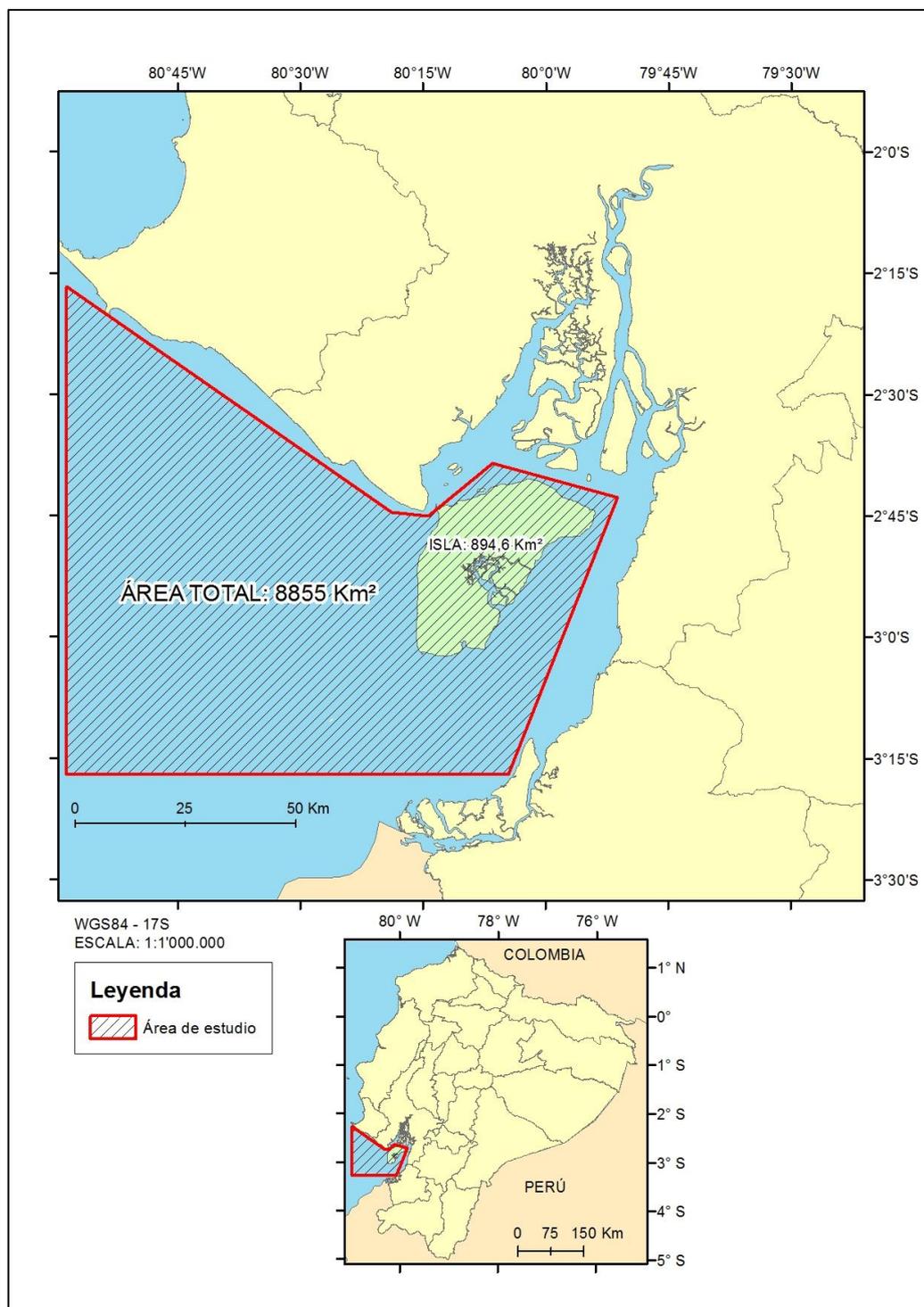


Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio

Fuente: (Sistema Nacional de Información, 2016)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO:

2.1. Fundamentación teórica

2.1.1. Sistema de información geográfica (SIG)

2.1.1.1. Definición

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) o *Geographic Information System* (GIS) está integrado organizadamente por personal, datos geográficos, hardware y software para: la captura, almacenamiento, manejo, análisis, modelación y representación de la información georreferenciada o que tiene una referencia espacial con el objetivo de solucionar diversos problemas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013; Sastre, 2010).

Se define un SIG como una estructura que está constituida por un conjunto de instrumentos y tecnologías con la finalidad de adquirir, gestionar, almacenar, transformar, analizar y visualizar datos espaciales georreferenciados (Brovelli, 2011).

Un SIG es un sistema informático para la captura, almacenamiento, revisión y visualización de datos relacionados a coordenadas en la superficie de la Tierra (National Geographic, 2016).

Por tanto, un SIG es la integración sistematizada de usuarios o personal, datos geográficos, hardware, software y metodologías con el objetivo de adquirir, capturar, almacenar, revisar, visualizar, transformar, manejar, analizar, modelar y representar datos con coordenadas en la superficie de la Tierra para solucionar diferentes tipos de problemáticas.

2.1.1.2. Componentes de un SIG

Para Olaya (2011), los componentes de un SIG son: datos, procesos, visualización, tecnología y factor organizativo.

Datos, sin ellos el resto de componentes en el sistema no pueden actuar. Se debe conocer su forma y propiedades, su gestión y almacenamiento, su procedencia y calidad.

Procesos, son métodos destinados a analizar los datos.

Visualización, es la representación gráfica de los datos geográficos.

Tecnología, hardware y software.

Factor organizativo, se refiere entre la comunicación y coordinación entre tecnología, datos y personas.

En la Figura 2 a continuación se muestran los componentes de un SIG.

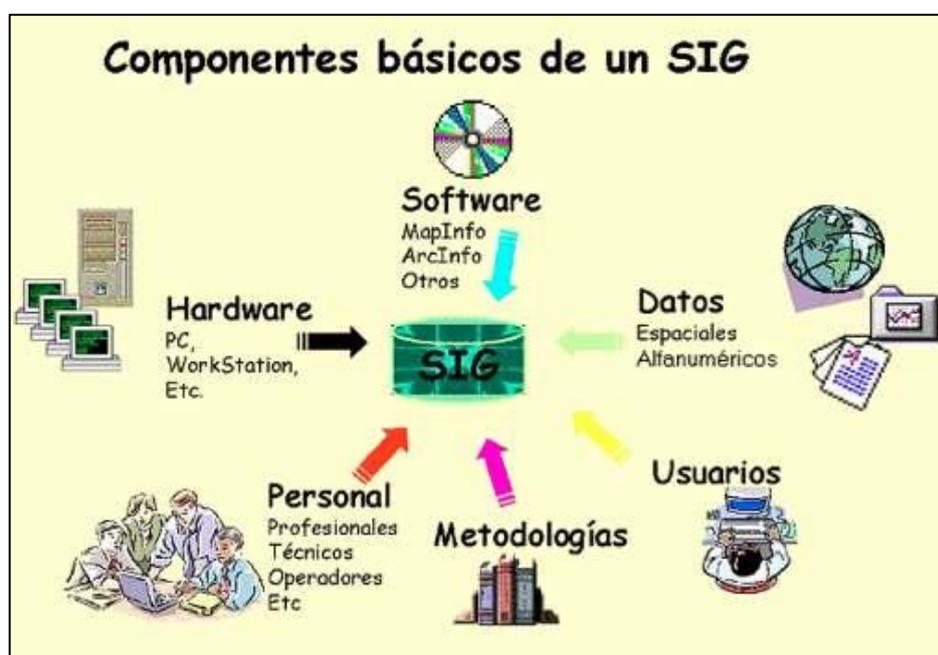


Figura 2 Componentes de un SIG

Fuente: (educarchile, 2011)

2.1.1.2.1 Datos e información geográfica (IG)

Los términos *Dato* e *Información Geográfica* frecuentemente son utilizados como sinónimos pero poseen significados diferentes. La diferencia entre estos términos se compara con un conjunto desorganizado de letras y una palabra conformada por dichas letras. Como producto de la observación se obtiene el dato, afirmado como un hecho bruto para representar la dinámica y compleja realidad. El dato no está libre de errores.

Por otro lado, el contenido de la Información Geográfica es más elaborado con tendencia a reducir la incertidumbre del mundo que nos rodea (Bernabé & López, 2012).

Mediante la interpretación de los datos se obtiene información. Los datos pueden contener mucha información que con un simple vistazo a veces no puede apreciarse. Por ejemplo, si se tiene un código como 502132N, se tiene un dato, al realizar un interpretación del mismo se nos *informa* el significado que posee. El código en puede interpretarse como una referencia geográfica, es decir, es la latitud 50° 21' 32'' N, que se encuentra en los 50 grados, 21 minutos y 32 segundos del hemisferio norte (Olaya, 2011).

La Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (2013), establece que la información geoespacial o información geográfica o también llamada geoinformación es la información que posee un objeto y que considera una posición y un estándar de referencia. Se establece que la información que se genere sea relevante, necesaria y útil; debe ser producida de manera oportuna; debe producirse con la utilización estándares, metodologías y normas tanto nacionales como internacionales; debe ser accesible y transparente; debe fluir de forma segura, íntegra y consistente en los sistemas estatales y privados; debe producirse descentralizadamente.

Un dato geográfico se refiere a toda la información que se obtiene y requiere para operaciones de orden científico, administrativo o legal, y que concede conocer lo que sucede (qué), en cierta posición del espacio (dónde), de cierta manera (cómo) y en cierto tiempo (cuándo). Los datos geográficos marco establecidos por la SENPLADES son los datos fundamentales (sistemas de referencia, límites territoriales, altimetría, datos de sensores remotos, infraestructura vial, redes hidrográficas y los nombres geográficos), datos básicos (datos geoestadísticos, datos geológicos y geomorfológicos, datos hidrológicos, datos meteorológicos, datos edafológicos, etc.) y datos de valor agregado o temático (son datos altamente especializados) (Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013).

2.1.1.2.2 Modelos de datos o modelos de representación

Los elementos existentes en la naturaleza se pueden representar a través de formas geométricas (puntos, líneas y polígonos, es decir, vectores) o a través de celdillas (píxeles) que contienen información (ráster). Con estas formas, versátiles e intuitivas, se puede ilustrar y comprender los diversos objetos de estudio tomando en cuenta su naturaleza. Según la forma que se utilice para representar el espacio se tienen dos modelos o formatos: modelo ráster y el modelo vectorial (Confederación de Empresarios de Andalucía, 2010). En la Figura 3 se muestran los dos modelos de representación:

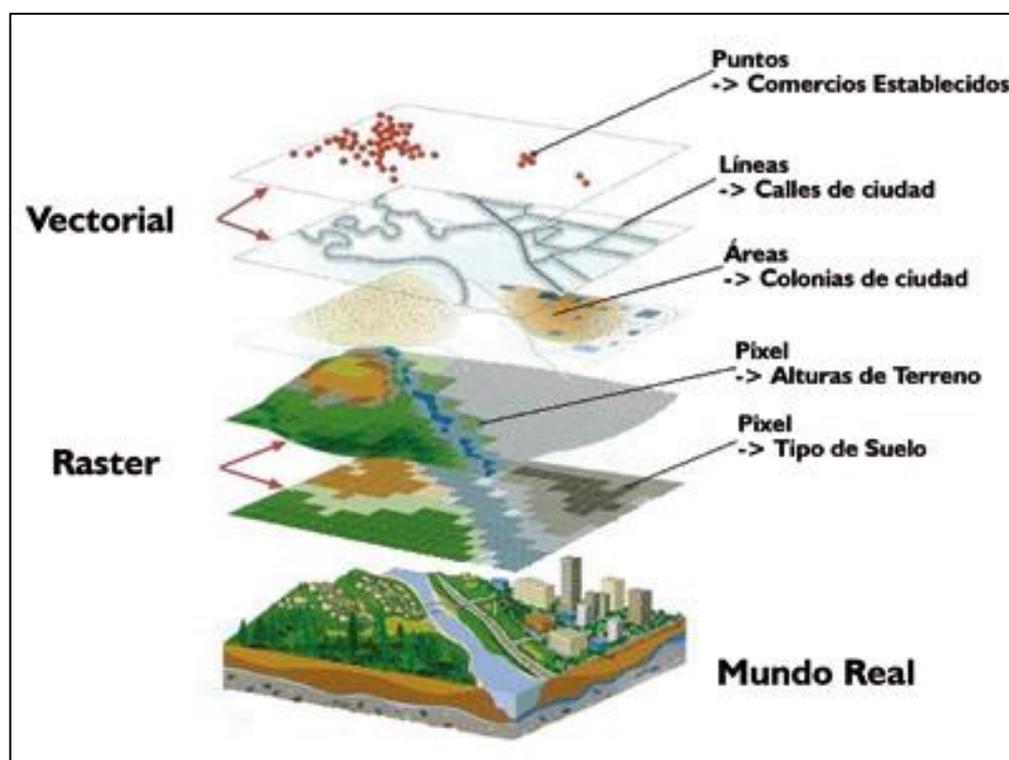


Figura 3 Modelo ráster y vector

Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016)

Dependiendo del análisis que se vaya a realizar y de las propiedades topológicas que se exijan se considerará uno de los dos modelos. Si el análisis que se desea realizar necesita de una estructura de datos precisa, compleja y que considere propiedades topológicas, el modelo vectorial es la mejor opción, pero los procesos a desarrollar se

podrían ralentizar. Si en cambio el análisis a desarrollar no necesita de las propiedades topológicas, es más eficaz usar el formato ráster. Si se desea mostrar más atributos o características de cierto objeto de estudio el modelo vectorial es el más adecuado, mientras que en el modelo ráster será necesario realizar una capa o cobertura para cada atributo que se quiera representar (Confederación de Empresarios de Andalucía, 2010).

2.1.1.3. Principales aplicaciones de un SIG

Las aplicaciones son varias y se puede mencionar las siguientes:

- Gestión de riesgos naturales:
 - Estudios de peligrosidad sísmica,
 - Estudios de peligrosidad de avalanchas,
 - Estudios de peligrosidad de inundaciones, etc.
- Manejo de los recursos naturales.
- Prospección arqueológica.
- Estudios epidemiológicos.
- Elaboración de cartografía para Estudios de Impacto Ambiental.
- Planes de Ordenamiento Territorial.
- Estudios socioeconómicos.
- Geomarketing inmobiliario.
- Análisis de la movilidad urbana y
- Modelamiento del crecimiento urbano.

2.1.2. Fundamentos básicos de geodesia y cartografía

La información georreferenciada se caracteriza principalmente porque se encuentra localizada en el espacio, específicamente en el espacio terrestre. A través de las coordenadas se puede establecer la localización de la información, lo que a su vez exige constituir un sistema en el cual se puedan expresar dichas coordenadas (Olaya, 2011).

La geodesia es la ciencia que estudia la figura de la Tierra y tiene como fin determinar una superficie matemática para su representación. Las superficies que se

consideran son el elipsoide y el geoide. El elipsoide es una superficie geométrica y el geoide es una superficie equipotencial coincidente con el nivel medio del mar. El elipsoide es el más utilizado en la comunidad científica debido a que los cálculos que se pueden realizar en él son más sencillos, mientras que el geoide es más complejo y requiere mucho más conocimiento para su entendimiento (Corchete, 2016).

A continuación se hará referencia a una serie de conceptos y definiciones importantes que se utilizan cuando se trabaja en un SIG.

2.1.2.1. Sistemas y superficies de referencia

2.1.2.1.1 Elipsoide

Un elipsoide es una figura geométrica tridimensional y biaxial (que tiene dos ejes) que más se ajusta a la forma que posee la Tierra y que se genera a partir de la rotación de una elipse sobre su eje menor (Gómez, 2010).

Los parámetros que se utilizan para definir un elipsoide frecuentemente son el semieje mayor, el semieje menor, achatamiento, la primera excentricidad y la segunda excentricidad. A continuación se indican las expresiones matemáticas para cada uno de los parámetros en la Tabla 2 y en la Figura 4 se muestra un elipsoide en comparación con una esfera.

Tabla 2
Parámetros de un elipsoide

Semieje mayor	a
Semieje menor	b
Achatamiento o aplanamiento	$f = \frac{a - b}{a}$
Primera excentricidad	$e_1^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$
Segunda excentricidad	$e_2^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$

Fuente: (Instituto Nacional Geográfico de España, 2006)

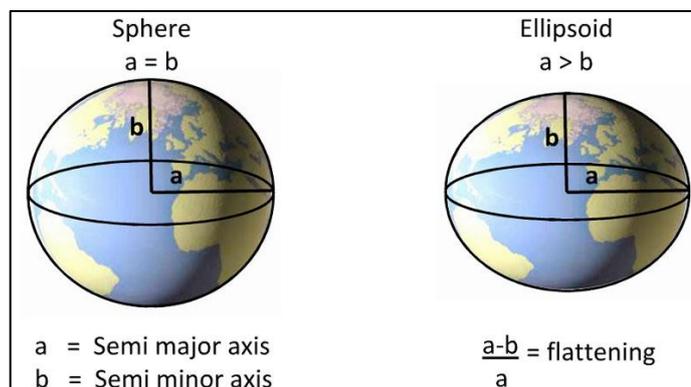


Figura 4 Comparación entre la esfera y elipsoide

Fuente: (GeoCue Group, 2014)

En la figura anterior se observa que para el caso de la esfera los ejes mayor y menor tienen la misma longitud mientras que en el elipsoide ambos tienen longitudes diferentes. El elipsoide tiene por tanto un achatamiento o aplanamiento *flattening*.

Se han definido varios elipsoides, pero en el Ecuador se utilizan: el WGS84, el GRS80 y Hayford. En la Tabla 3 se describen los elipsoides mencionados:

Tabla 3
Elipsoides utilizados en Ecuador y sus parámetros

Nombre	Año	Semieje mayor (a)	Semieje menor (b)
Hayford	1924	6378388	6356911,946130000
GRS80	1980	6378137	6356752,314140000
WGS84	1984	6378137	6356752,314245180

Fuente: (Instituto Nacional Geográfico de España, 2006)

2.1.2.1.2 Geoide

El geoide es una superficie física y el elipsoide es una superficie arbitraria que se utiliza como fundamento para cálculos geodésicos. El geoide posee un inconveniente

y es que no puede ser representado por alguna función algebraica, y esto le imposibilita que sea utilizado como superficie de referencia (Cabezas, 2010).

El geoide es una superficie equipotencial que considera las anomalías gravimétricas así como el achatamiento en los polos. Como superficie irregular presenta depresiones y protuberancias (ver Figura 5). El geoide es coincidente aproximadamente al nivel medio del mar, pero esa coincidencia no es exacta, a causa de factores como: las corrientes marinas, los vientos, las variaciones de la temperatura del agua marina y las variaciones en la salinidad (Gómez, 2010).

A través de la obtención de un promedio de los registros mareográficos obtenidos durante 19 años se determina el nivel medio del mar y se materializa el geoide, el mismo que, es la prolongación de las aguas promedio de los mares –en estado de equilibrio– por debajo de los continentes. Hay que considerar que el geoide varía a lo largo del tiempo debido a cambios en el núcleo, a la tectónica de placas, cambios en el ciclo hidrológico o el desprendimiento de masas de hielo en los polos (Introcaso, 2006).

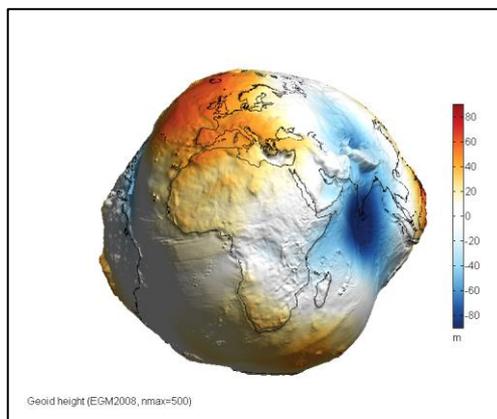


Figura 5 Modelo Geoidal EGM2008

Fuente: (Bezděk, 2017)

2.1.2.1.3 Superficie terrestre

La superficie terrestre es estudiada por la geomorfología. Para fines cartográficos solo interesan las formas que adopta el terreno y que pueden ser desde elevaciones, depresiones, llanuras o zonas con una baja pendiente, acantilados o zonas con

pendientes extremas hasta valles en U y en V (Fernández, 2008a). En la Figura 6 se muestran las tres superficies de referencia mencionadas.

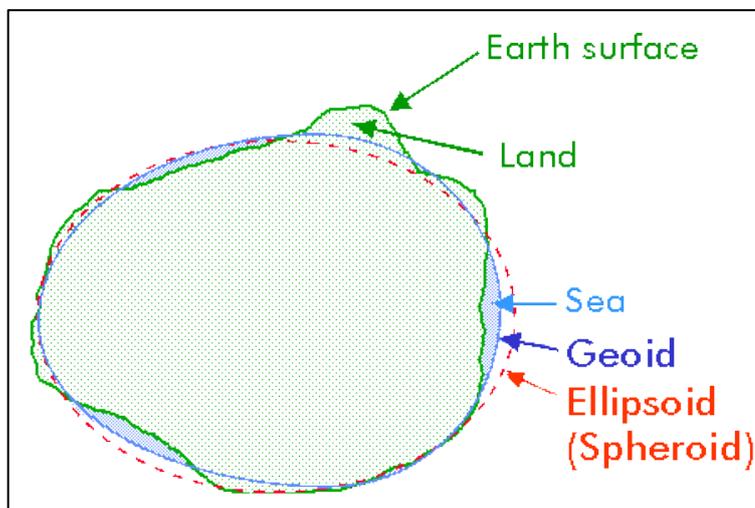


Figura 6 Comparación entre el geode, elipsoide y la superficie topográfica

Fuente: (CineSat, 2015)

2.1.2.2. Datum geodésico

El datum se define como una cantidad numérica o geométrica cualquiera o como un conjunto de cantidades que funcionan para establecer una referencia o una base para otras cantidades, en resumidas palabras, es un punto de partida. En la geodesia se consideran dos datums: el datum horizontal, que es el punto de partida que considera la curvatura de la Tierra y se utiliza para realizar un control horizontal en los levantamientos; el datum vertical, que se utiliza para todo lo referido a elevaciones. Todo datum tiene un único elipsoide (Mejía, 2012). En la Tabla 4 se presentan las relaciones establecidas entre diferentes elipsoides y datums.

Tabla 4
Datums y elipsoides utilizados en Ecuador

Elipsoide	Datum	Horizontal	Vertical
Internacional de Hayford 1924	Provisional Sud- American Datum 1956 (PSAD)	La Canoa en Venezuela	Estación Mareográfica de la Libertad en la Provincia de Santa Elena.
World Geodetic System 1984 (WGS84)	World Geodetic System 1984 (WGS84)	En el centro de la Tierra	Estación Mareográfica de la Libertad en la Provincia de Santa Elena.
Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur (SIRGAS) con el elipsoide GRS80	World Geodetic System 1984 (WGS84)	En el centro de la Tierra	Estación Mareográfica de la Libertad en la Provincia de Santa Elena.

Fuente: (Mejía, 2012)

El datum geodésico horizontal está constituido por un punto de partida y un elipsoide en el que se realizan cálculos y consta de cinco elementos que son: semieje mayor y achatamiento –sirven para definir un elipsoide–, azimut, latitud y longitud del punto inicial u origen. El datum geodésico vertical se refiere a las elevaciones que tienen los puntos, generalmente están referidos al nivel medio del mar, sin embargo la referencia puede ser una superficie cualquiera (Mejía, 2012).

2.1.2.3. Sistemas de coordenadas

El objetivo de un sistema de coordenadas es determinar la posición que tiene un punto en la superficie de la Tierra. Los sistemas frecuentemente utilizados son el sistema geográfico, el sistema cartesiano y el sistema de coordenadas proyectadas (Navarro et al., 2011).

2.1.2.3.1 Sistema de coordenadas geográficas o geodésicas

El sistema geográfico es un sistema de coordenadas a través del cual se determina la posición de un punto con dos valores angulares, estos son, la latitud y la longitud (Olaya, 2011).

La latitud (φ) es un ángulo formado entre el plano ecuatorial y la línea que conecta el centro (origen de coordenadas) del elipsoide con el punto en la superficie. La línea de puntos con una latitud igual a cero grados (0°) forma el *ecuador*, línea que divide la Tierra, en hemisferio norte y sur. La latitud tiene signo positivo cuando el punto se encuentra en el hemisferio norte y tiene signo negativo cuando el punto se encuentra en el hemisferio sur. La sucesión de puntos con igual latitud forma los paralelos, círculos concéntricos que están paralelos al ecuador (Olaya, 2011). La latitud está entre los 0 y 90° (Hemisferio norte) y entre los 0 y -90° (Hemisferio sur)

La longitud (λ) es el ángulo que se forma entre dos planos meridianos¹, el plano en el que está ubicado el punto y el plano meridiano origen (Meridiano de Greenwich, es decir, $\lambda = 0^\circ$). La longitud está entre los valores 0° y 180° grados (Este u Oriente) y 0° y -180° grados (Oeste u Occidente).

En la Figura 7 se muestran la latitud, la longitud, los paralelos y los meridianos.

¹ Plano meridiano: Es cualquier plano que contiene al eje polar y que corta a la tierra. Los planos meridianos son perpendiculares al plano ecuatorial.

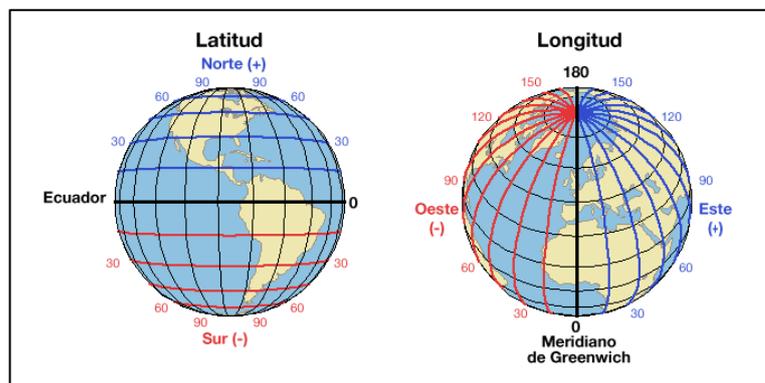


Figura 7 Sistema de coordenadas geográficas

Fuente: (CivilGeeks, 2016)

2.1.3. Teledetección

2.1.3.1. Definición

De acuerdo a Gutiérrez & Nieto (2006) y Sobrino et al. (2000), la teledetección se define dentro del ámbito de las ciencias de la Tierra como la captura y adquisición de información de un objeto a distancia a través de diferentes técnicas o procedimientos y sin entrar en contacto material con el objeto observado, se realiza por medio de sensores que están montados sobre plataformas espaciales (satélites artificiales) que captan la radiación electromagnética, posteriormente, se da tratamiento a los datos (imágenes satelitales) obtenidos en información útil para así analizar, interpretar y reconocer las características de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella tienen lugar.

Segado (1996) hace referencia a Sabins (1978), el cual enuncia que la teledetección está restringida a aquellos métodos que emplean la energía electromagnética reflejada o irradiada por los objetos, lo que excluye la investigación eléctrica, magnética y gravimétrica, que lo que miden son campos de fuerza.

2.1.3.2. Componentes de un sistema de teledetección

Según enuncia Chuvieco (1995) un sistema de teledetección espacial incluye los siguientes elementos:

Fuente de energía, puede tratarse de un foco externo al sensor o de un haz energético emitido por este, la fuente de energía más importante es la solar;

Cubierta terrestre, está formada por la vegetación, suelos, agua y construcciones que reciben la señal energética de la fuente de energía y reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas;

Sistema sensor, está conformado por el sensor que se encuentra montado en una plataforma o satélite espacial y que capta la energía procedente de las cubiertas terrestres para luego codificarla, grabarla y enviarla directamente a un sistema de recepción;

Sistema de recepción-comercialización, recibe la información obtenida del sistema sensor para luego ser grabada en un formato adecuado, se hacen algunas correcciones y finalmente se distribuye a los intérpretes.

Usuario final, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

En la Figura 8 se muestra un gráfico con los componentes mencionados:

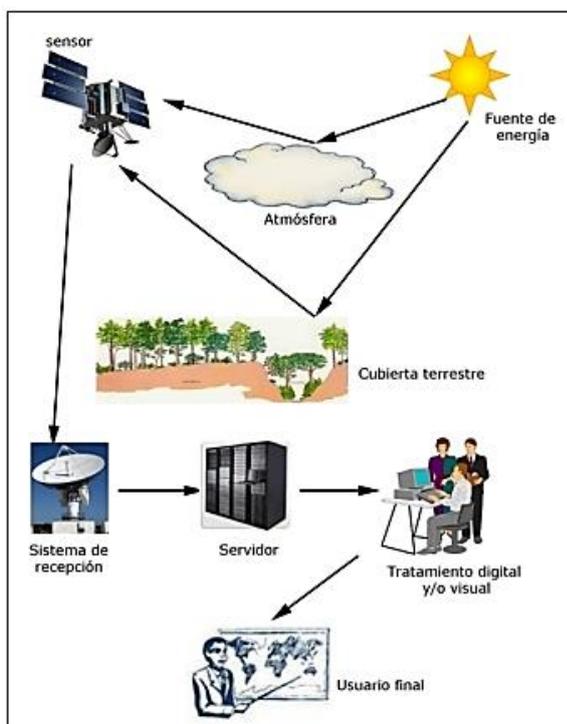


Figura 8 Componentes de un sistema de teledetección

Fuente: (Red de Información Ambiental de Andalucía, 2014)

2.1.3.3. Principales aplicaciones de la teledetección

De acuerdo a Gutiérrez & Nieto (2006) y Chuvieco (1995), se puede mencionar las siguientes aplicaciones de la teledetección:

- Estudios de erosión de playas y arenales.
- Inventarios de recursos naturales para Estudios de Impacto Ambiental.
- Cartografía geológica para exploración de minerales y petróleo.
- Cartografía de depósitos volcánicos.
- Control de la acumulación de nieve en zonas con peligrosidad de aludes.
- Control de icebergs.
- Estimación de modelos de escorrentía y erosión.
- Análisis en tiempo real de masas nubosas.
- Medidas de aguas superficiales y humedales.
- Verificación de contenidos de salinidad en corrientes de agua.
- Cartografía térmica de la superficie del mar para el estudio de las corrientes marinas.
- Cartografía de áreas quemadas.
- Control de la calidad del agua.
- Cartografía de la cobertura y uso del suelo.
- Predicción de rendimientos de cultivos.

2.1.3.4. Ondas electromagnéticas

2.1.3.4.1 Definición de onda electromagnética

Una onda se produce cuando una vibración que se origina en una fuente se propaga a través del espacio (Centro de Innovación y Desarrollo de la Educación a Distancia, 2010).

James Clerk Maxwell en 1895 llegó a la conclusión de que los campos eléctrico y magnético podían propagarse como ondas en el espacio (ver Figura 9), posteriormente, Hertz comprueba que las ondas electromagnéticas cumplen las leyes de la reflexión y

refracción al igual que la luz, finalmente, se concluyó que la luz es una onda electromagnética (I.E.S.-Al-áandalus, 2016).

De acuerdo a las ondas electromagnéticas se desplazan por el vacío a la velocidad de la luz sin ningún medio de soporte, es decir, no necesitan la presencia de ningún medio material para su propagación y están conformadas por un campo eléctrico y electromagnético en donde la energía se divide por igual entre los dos (Tippens, 2007; Bauer & Westfall, 2011).

La luz visible, las microondas, las ondas de radio y los rayos X son ejemplos de ondas electromagnéticas.

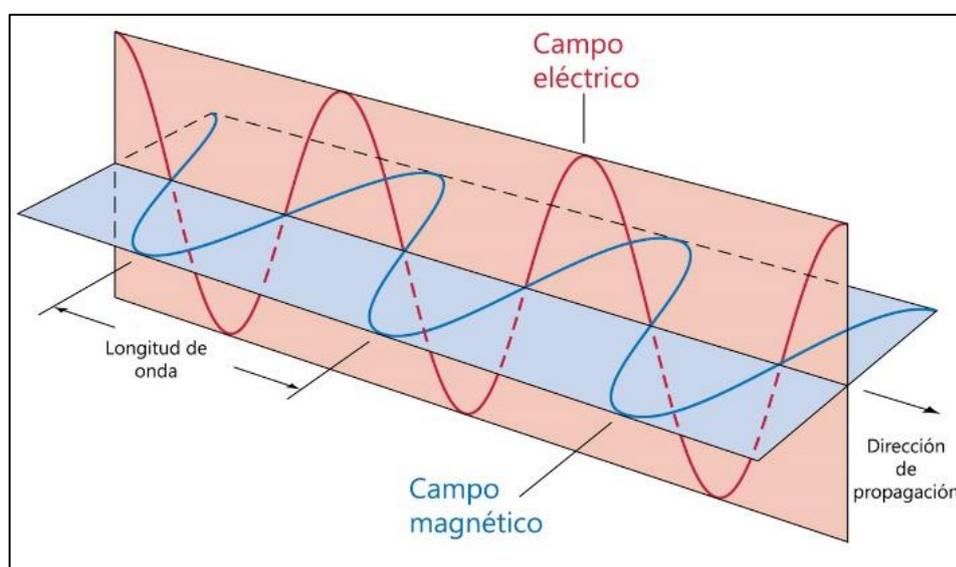


Figura 9 Onda electromagnética

Fuente: (curiosoando, 2016)

2.1.3.4.2 Características de una onda electromagnética

- *Cresta y valle*, la cresta es la máxima posición o punto que alcanza una partícula con respecto a la línea que representa la posición de reposo o equilibrio de una onda mientras el valle es la mínima posición que alcanza la partícula con respecto a la línea que representa la posición de equilibrio o reposo. En la Figura 10 se observan las crestas y los valles (Verdugo, 2016).

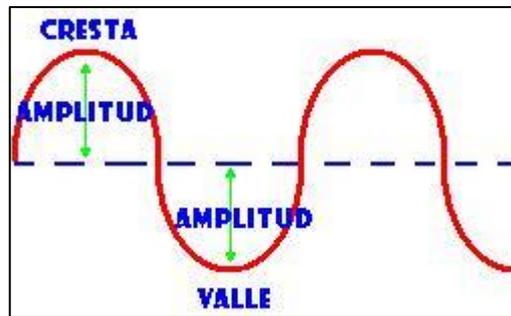


Figura 10 Crestas y valles

Fuente: (Oviedo, 2014)

- *Amplitud* (A), es la distancia perpendicular que va desde la línea que representa la posición de equilibrio o reposo de una perturbación (onda) hasta la máxima oscilación (cresta) de una partícula. La amplitud es variable y puede crecer o decrecer conforme el tiempo avanza. La amplitud es medida en metros (ver Figura 10) (Verdugo, 2016).
- *Longitud de onda* (λ), es la distancia recorrida por una partícula en línea recta y entre dos puntos con una misma posición relativa. La longitud de onda se mide en metros y entre dos crestas continuas o también entre dos valles continuos (Verdugo, 2016).
- *Período* (T), el período es el tiempo en el que se propaga una partícula considerando la distancia entre dos puntos de igual equivalencia en una onda. El período se mide en unidades de tiempo (Verdugo, 2016).
- *Frecuencia* (f), la frecuencia mide el número de ciclos por unidad de tiempo y es una magnitud inversa al período. Los Hertz (Hz) sirven para medir la frecuencia y ésta siempre es positiva (Verdugo, 2016). En la ecuación 1 se muestra la fórmula de la frecuencia y en la Figura 11 se observa la frecuencia, la longitud de onda y la amplitud.

$$Frecuencia = \frac{1}{Período} \quad (1)$$

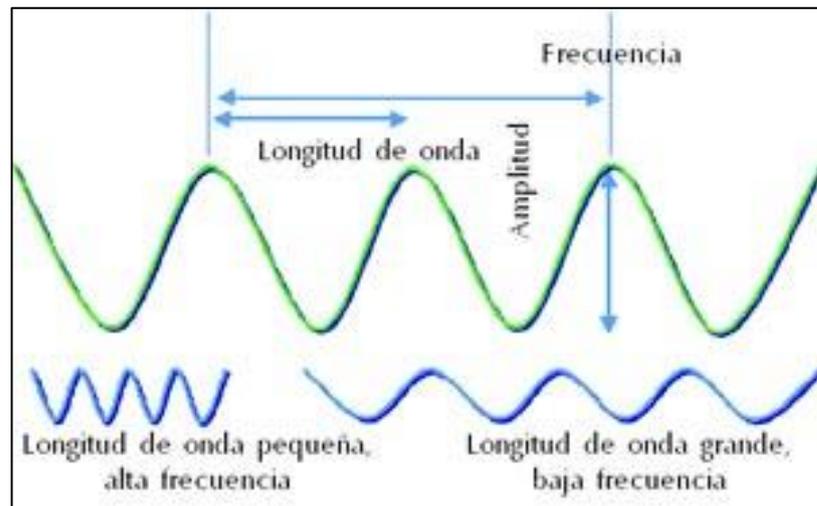


Figura 11 Onda electromagnética y sus características

Fuente: (Villamor, 2016)

2.1.3.5. El espectro electromagnético

El espectro electromagnético está constituido actualmente por las siguientes regiones: ondas largas de radio, ondas cortas de radio, región infrarroja, región visible, región ultravioleta, rayos X, rayos gamma y fotones cósmicos (Tippens, 2007).

Sabiendo que las ondas electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz se establece que la velocidad de la luz (c) es igual al producto de la longitud de onda (λ) por la frecuencia (f) (ver ecuación 2) (Tippens, 2007).

$$c = \lambda \cdot f \quad (2)$$

A continuación se presentan en la Figura 12 las regiones del espectro electromagnético.

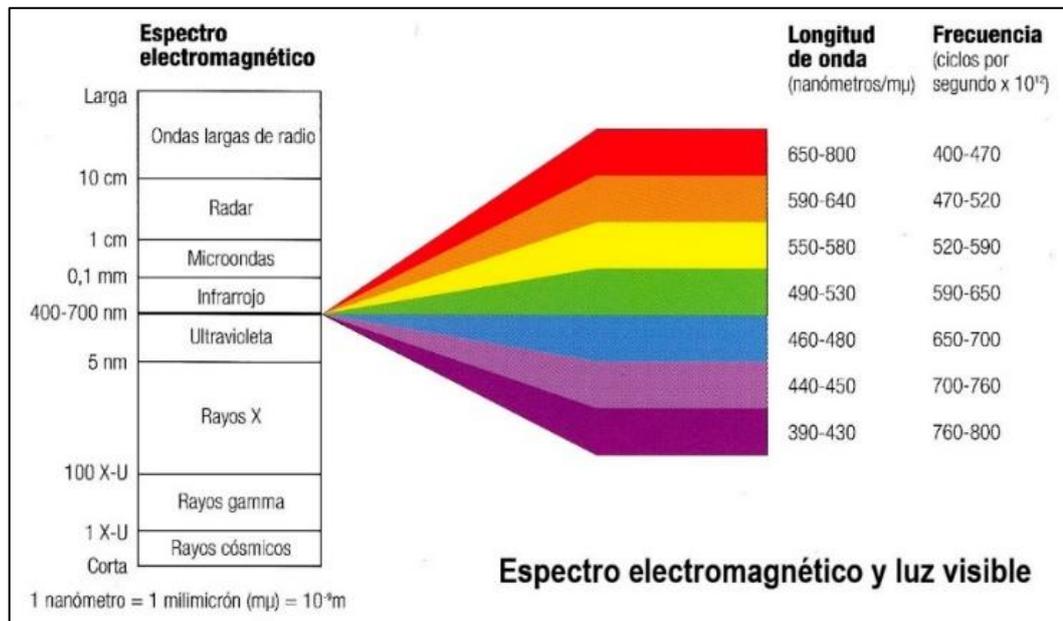


Figura 12 Espectro electromagnético

Fuente: (WordPress, 2016)

Los límites superior e inferior de cada porción del espectro varían según la bibliografía consultada.

2.1.3.5.1 Región visible

De acuerdo a Chuvieco (1995), es una pequeña porción del espectro electromagnético que está entre los 400 y 700 nanómetros. Es la única región que puede ser percibida por el ojo humano.

Malacara (2011), menciona que existen siete subregiones dentro de la región visible que son:

- violeta (380 - 430 nm),
- azul (430 - 500 nm),
- cian (500 - 520 nm),
- verde (520 - 565 nm),
- amarillo (565 - 580 nm),
- naranja (580 - 625 nm),
- y rojo (625 - 740 nm).

2.1.3.5.2 Región infrarroja

Las ondas infrarrojas son un tipo de radiación electromagnética con longitudes de onda que no pueden ser percibidas por el ojo humano.

Según Chuvieco (1995), los límites superior e inferior de las tres subregiones que tiene la radiación infrarroja son:

- infrarrojo próximo o cercano (0,7 – 1,3 μm),
- infrarrojo medio (1,3 a 8 μm) y
- infrarrojo térmico o lejano (8 a 14 μm).

2.1.3.6. Imagen satelital

Se denomina imagen satelital a la representación visual de los datos que refleja la superficie terrestre y que se capturan a través de un sensor que está en un satélite artificial. Seguidamente los datos se envían a una estación terrena, son procesados y se obtienen imágenes (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2016).

El producto que se obtiene a partir de un sensor que está instalado en un satélite artificial y que capta la radiación electromagnética que un cuerpo emite o refleja se llama imagen satelital. El producto se envía a estaciones terrenas en las cuales puede ser visualizado, procesado y analizado (Teledet, 2016).

2.1.3.6.1 Resoluciones de un sistema sensor

Las resoluciones permiten definir las características de un sistema de teledetección y determinan el nivel de detalle que el sistema genera. Las resoluciones dependen fundamentalmente del sensor y de la plataforma (Olaya, 2011). Existen cuatro tipos de resoluciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal (Calle & Salvador, 2012; Olaya, 2011; Chuvieco, 1995).

Resolución espacial: Se refiere al tamaño del objeto más pequeño que puede identificarse en una imagen satelital (Chuvieco, 1995) o al tamaño de cada uno de los píxeles que posee la imagen (Olaya, 2011).

Resolución espectral: Se refiere al número y anchura de las bandas² que discrimina el sensor (Chuvienco, 1995). El número de bandas y la región del espectro electromagnético captada por cada una de las mismas (Olaya, 2011).

Resolución radiométrica: Se define como el número de bits que un sensor utiliza para cuantificar la medida física de la radiancia (Calle & Salvador, 2012).

Resolución temporal: También llamada *ciclo de repetición*, se refiere al tiempo que le toma a un sensor en volver a cubrir un área determinada, conservando la geometría de visión que establece el ancho de barrido o *swath* (Calle & Salvador, 2012).

2.1.3.7. Ortofoto

A la imagen fotográfica del terreno que tiene inicialmente una proyección central para luego tener una proyección ortogonal se le llama ortofoto. En la ortofoto se eliminan las distorsiones planimétricas, adicionalmente, se ha eliminado la variación de escala que existe en un fotograma no rectificado (a causa de las diferencias en el nivel del terreno que se ha fotografiado y las inclinaciones que tiene la cámara al momento de la toma) y de esta manera se consigue una escala única para toda el área de la ortofoto. A través del proceso denominado *rectificación* se transforma una proyección central a una ortogonal (J. Gutiérrez, 2006).

2.1.3.8. Modelo Digital del Terreno (MDT)

“Un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa³ y continua⁴” (Felicísimo, 1994). En la Figura 13 se muestra un MDT.

² Intervalos de frecuencias del espectro electromagnético.

³ Son variables que toman como argumento cantidades numéricas. Una variable cuantitativa puede ser discreta o continua.

⁴ La variable continua, a diferencia de la discreta, nunca puede ser medida con exactitud.

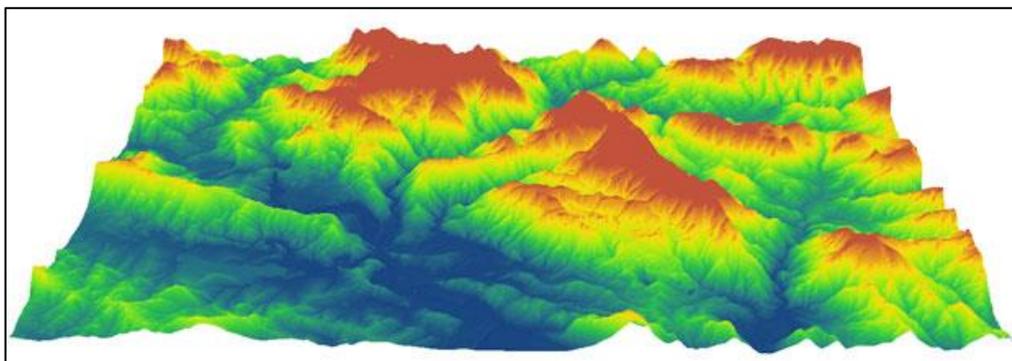


Figura 13 Ejemplo de MDT

Fuente: (Gis&Beers, 2016)

2.1.3.9. Extracción por máscara

En determinadas ocasiones, se tienen áreas que no interesan o en las que no se debe realizar análisis alguno, y en consecuencia, se debe extraer las áreas que son necesarias. La extracción por máscara consiste en crear un polígono que delimitará y extraerá los píxeles o celdas del área de interés (Agua y SIG, 2011). En la Figura 14 se muestra la extracción del área de interés a partir de una máscara.

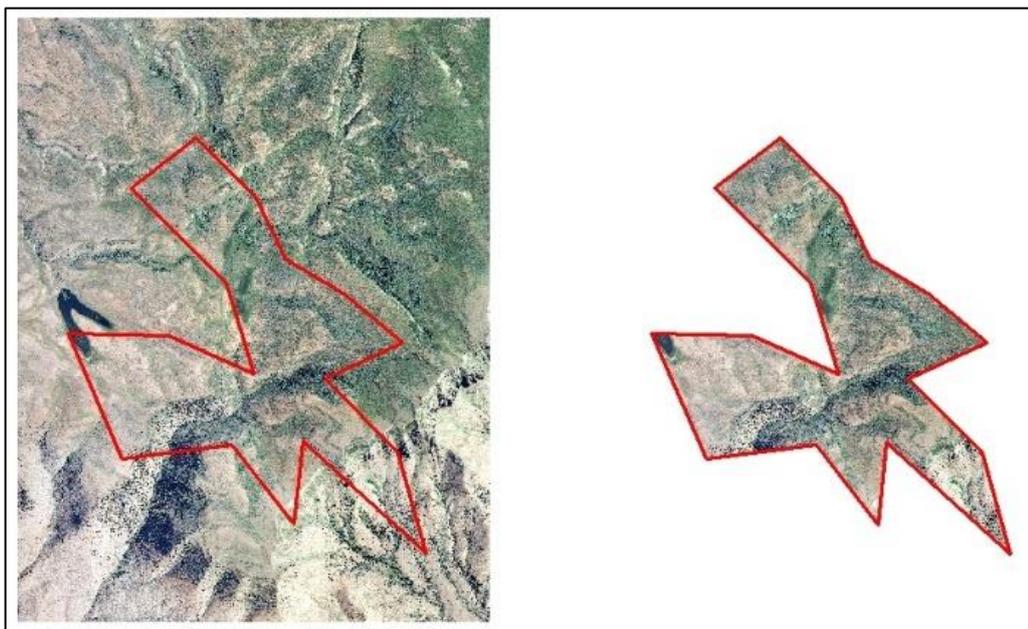


Figura 14 Extracción por máscara

Fuente: (Geographic Information Systems Stack Exchange, 2015)

2.1.3.10. Corrección radiométrica

Las imágenes satelitales pueden contener anomalías radiométricas o distorsiones que afectan a los niveles digitales⁵ (ND) de los píxeles. La corrección radiométrica corrige estas anomalías con el fin de que la información que proporcionen los ND se acerque a la realidad que se está estudiando. Se consideran tres tipos de anomalías: distorsión del aspecto, fallas en el sensor y anomalías atmosféricas (Fernández, 2008b).

La corrección geométrica corrige, por ejemplo, los niveles digitales que han sido registrados o recogidos incorrectamente por el sensor montado en la plataforma satelital o al ruido existente en una imagen satelital. Los errores pueden generarse a partir de fallas en los procesos de almacenamiento y transmisión, o a causa de distorsiones que la atmósfera provoca sobre la radiación y por tanto sobre los valores capturados (Olaya, 2011).

2.1.3.10.1 Corrección atmosférica

Mediante la corrección atmosférica se obtiene la máxima correlación entre la señal registrada por un sensor y las características de la zona observada. Lo que generalmente se corrige es la distorsión atmosférica (dispersión), la misma que, produce un aumento de la radiación atmosférica que es detectada por el sensor. Se debe tomar en cuenta que una dispersión no es constante ni en el tiempo ni en el espacio, y por lo tanto, las correcciones son solo aproximaciones a la realidad. La corrección atmosférica es indispensable cuando se realizan estudios multitemporales, se transforman valores de radiancia en parámetros físicos y cuando se desea obtener combinaciones lineales entre bandas (Fernández, 2008b).

2.1.3.10.2 Normalización radiométrica

Cuando se adquieren imágenes de satélite existen varios factores que tienen efecto en la respuesta radiométrica o en los valores radiométricos, como por ejemplo,

⁵ Valores numéricos contenidos en las celdas o píxeles de un ráster.

variables de iluminación, absorción atmosférica, dispersión atmosférica, el desfase del sensor, entre otros. El problema es más evidente cuando se realizan mosaicos digitales con la utilización de fotografías aéreas y en estudios multitemporales que utilizan imágenes satelitales. La diferencia radiométrica se resuelve a través de una corrección lineal de histogramas en donde se modifica el contraste y el brillo (Mateu & Ruiz, 1999).

La normalización radiométrica entre imágenes satelitales se utiliza para ajustar las señales radiométricas de un año considerando otro de referencia, de modo que sean consistentes y se produzca una reducción en la variabilidad debida a distorsiones geométricas, diferencias atmosféricas, diferencias de iluminación, calibración del sensor, entre otras; permitiendo que las imágenes puedan compararse y los cambios detectados no se hayan producido a partir de los factores ya mencionados (G. Galindo, Espejo, Rubiano, Vergara, & Cabrera, 2014).

2.1.3.11. Corrección geométrica

En los estudios de detección de cambios siempre es necesario obtener la mejor sobreposición entre las imágenes para evitar la aparición de *falsas alarmas*, es decir, cambios detectados que no corresponden a los diversos procesos dinámicos sobre la superficie de la tierra sino cambios producidos por el deficiente co-registro espacial entre las imágenes satelitales (Garrido, 2013).

2.1.3.11.1 Rectificación

Debido a que en las imágenes de satélite, los píxeles están ubicados en algún sistema coordinado arbitrario tipo fila y columna, y sabiendo que un SIG trabaja con datos que poseen una ubicación en la Tierra, deberán asignarse a los píxeles esas ubicaciones empleando algún sistema de coordenadas (coordenadas geográficas, UTM, etc.), de esta manera, la imagen puede interactuar con otras coberturas dentro de un SIG. Una vez realizada la georreferenciación se obtiene una nueva cobertura en la que cada fila y columna corresponde con un valor de latitud y longitud respectivamente. Para modificar las coordenadas de la imagen se utilizan ecuaciones polinómicas,

generalmente, son transformaciones de tipo lineal, cuadrático o cúbico, adicionalmente, se emplean un conjunto de puntos de control, es decir, puntos que se conoce sus coordenadas reales así como su fila y columna, y según la transformación se utilizan: 6 si se usa una transformación lineal, 12 si se usa una transformación cuadrática y 24 en el caso de una transformación cúbica. Finalmente para transferir la información que tienen los píxeles originales a los píxeles resultantes se pueden aplicar, considerando la transformación utilizada y el tipo de datos, el método del vecino más cercano, la interpolación bilineal o la convolución cúbica (Universidad de Murcia, 2006).

2.1.3.11.2 Ortorectificación

La ortorectificación es parecida a la rectificación, pero considera el factor elevación. En la ortorectificación se da una transformación del tipo espacial, ya que para realizar el ajuste se relacionan los valores de elevación con sus respectivos píxeles. La elevación produce un aparente desplazamiento en las celdillas, y por tanto, se obtienen imágenes con escalas uniformes, en las que se pueden medir áreas y distancias. En una imagen sin ortorectificar existen distorsiones geométricas que son producidas por el relieve. El insumo más importante para la realización de la ortorectificación es el Modelo Digital del Terreno (MDT) (Olaya, 2011).

A través de la ortorectificación se remueven las distorsiones geométricas que existen en las imágenes y que se producen por: la orientación del sensor montado en un satélite o una cámara montada en un avión, desplazamiento a causa del relieve y diversos errores sistemáticos. Las imágenes que están ortorectificadas muestran los diferentes objetos presentes en el terreno en su *verdadera localización*, es decir, en sus *verdaderas coordenadas X y Y*. Las imágenes ortorectificadas son importantes para la creación de datos vectoriales en un SIG (ERDAS, 1999).

2.1.3.12. Clasificación de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales están en formato ráster y poseen varias bandas, por tanto, son ideales para la generación de capas o coberturas clasificadas. La clasificación de

imágenes es un técnica, un proceso, a través del cual, es posible estudiar los valores de la radiación reflejada por la superficie terrestre en diferentes longitudes de onda y asignarles un significado, dicho de otra manera, es posible categorizar el área de estudio considerado una serie de variables y criterios. Existen dos métodos de clasificación: la clasificación supervisada y la clasificación no supervisada (Olaya, 2011). En la Figura 15 se muestra una imagen clasificada.

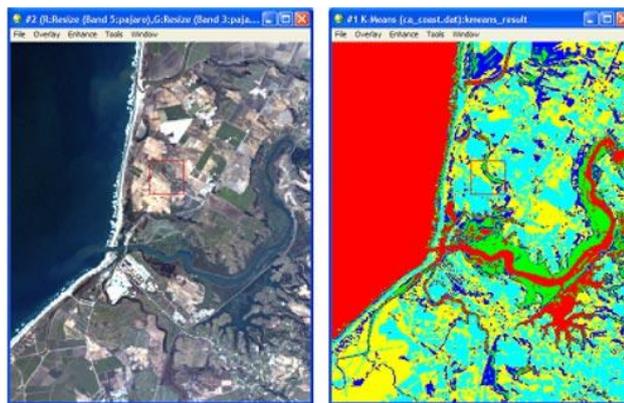


Figura 15 Clasificación no supervisada de una imagen

Fuente: (Harris Geospatial Solutions, 2013)

2.2. Fundamentación conceptual

2.2.1. Análisis multitemporal

Una de las principales ventajas de la teledetección es la de obtener observaciones de la superficie de la Tierra durante intervalos de tiempo regulares, a partir de la captura de esta información, es posible realizar comparaciones del terreno en diferentes temporalidades o épocas (Earth Observation Research programme STEREO, 2016).

A través del análisis multitemporal se pueden detectar cambios entre fechas diferentes, y de esta manera, deducir como el medio natural ha ido evolucionando a causa de las actividades humanas sobre el medio ambiente (Ruiz, Savé, & Herrera, 2013).

Los estudios multitemporales a través de las técnicas que posee la teledetección pueden monitorear, analizar y cuantificar los cambios que se dan en un territorio en un

periodo de tiempo determinado. Además, la información que se obtiene de estos estudios, permite gestionar adecuadamente los ecosistemas e identificar áreas que tengan mayor afectación a lo largo del tiempo así como las causas que generan esos daños, y con los planes de ordenamiento territorial y las políticas conservacionistas, proteger y manejar sosteniblemente esas áreas sensibles (Rebollo, 2014).

Los estudios multitemporales permiten estimar el deterioro de los bosques realizando un análisis comparativo de fotografías aéreas tomadas en diferentes años y que estén georreferenciadas. Se procesa y analiza los mosaicos fotográficos para determinar por ejemplo la fragmentación o la micro fragmentación de los bosques (Chapa, Sosa, & de Alba, 2008). También se puede hacer uso de imágenes satelitales.

2.2.2. Análisis multivariante

El análisis multivariante es una rama de la estadística y del análisis de datos que a través de métodos estadísticos y matemáticos tiene como objetivo describir, estudiar, analizar, representar e interpretar datos de una muestra de individuos que son resultantes de la observación de varias variables estadísticas que se estudian en conjunto (Cuadras, 2014).

El análisis multivariante estudia simultáneamente varias variables, es decir, se toma un objeto para analizarlo, y no solo se mide un aspecto del objeto, sino varios aspectos. Además se determinan las relaciones entre las medidas (Marín, 2014).

2.2.3. Modelización matemática

La modelización matemática es un proceso que hace uso de conceptos y técnicas matemáticas para analizar situaciones que son reales (Bassanezi & Biembengut, 1997) y solucionar problemas (Villa, Bustamante, Berrio, Osorio, & Ocampo, 2009). Como resultado de la modelización se obtiene un modelo matemático que de acuerdo a Díaz (2012), es una construcción matemática simple y abstracta que está relacionada con una porción de la realidad. Un modelo matemático es una descripción de un objeto utilizando el lenguaje matemático (Rodríguez & Steegmann, 2003).

2.2.4. Cambio de la cobertura del suelo

El desarrollo urbano, la silvicultura, la agricultura, la minería y otras actividades, pueden alterar la superficie de la tierra. El uso del suelo desemboca en un cambio en la cobertura del suelo y tiene importantes efectos en los sistemas ecológicos y sus procesos. Con estudios que proyectan la cobertura del suelo a determina fecha es posible optimizar y mitigar las potenciales consecuencias en los procesos ecosistémicos, la biodiversidad, la calidad del agua, entre otros (United States Geological Survey, 2016).

Los estudios de cambio de la cobertura del suelo buscan explicar: ¿Dónde está sucediendo un cambio? ¿Qué tipos de coberturas del suelo están cambiando? ¿Qué tipos de transformaciones están ocurriendo? ¿Cuál es la tasa o cantidad de cambio en la cobertura del suelo? Las preguntas previamente mencionadas se usan para: comprender las tendencias de cambio de la cobertura, realizar una evaluación y un manejo de las consecuencias de los cambios y así definir futuros escenarios de cambio (United States Geological Survey, 2015).

El cambio en la cobertura del suelo se refiere a los atributos biofísicos de la superficie de la Tierra que pueden ser detectados a partir de fotografías aéreas o imágenes satelitales. El uso del suelo considera la acción humana o el propósito para el cual el suelo es utilizado. El uso del suelo puede inferirse remotamente a través de datos capturados por los satélites y verificarse localmente por un experto o por datos recolectados. La utilización de información precisa en el uso del suelo es crítico para entender las causas de los cambios en las coberturas forestales y desarrollar políticas y estrategias efectivas para desacelerar o revertir las pérdidas en las coberturas forestales (Lindquist et al., 2012).

Existen algunas razones para realizar un estudio que detecte los cambios en la cobertura del suelo, entre los más importantes se puede mencionar: la identificación de áreas de deforestación y reforestación, el monitoreo del crecimiento de las áreas urbanas y las poblaciones rurales, la predicción de los futuros cambios considerando los cambios previos, el monitoreo de cambios en los hábitats de las especies y el monitoreo de cambios que la agricultura produce en la cobertura del suelo (Horning, 2004).

2.2.5. Degradación ambiental

La degradación ambiental o deterioro ambiental está definida como el resultado de las acciones entre elementos de la naturaleza y elementos humanos que modifican el ambiente y hacen que pierda sus cualidades y por lo tanto se provoque un decremento de los bienes y servicios ambientales (Landa, Carabias, & Meave, 1997). La degradación ambiental está causada por el proceso de crecimiento y globalización económica, donde los sectores pudientes de los países desarrollados y sus patrones y niveles de consumo, degradan más que los países del tercer mundo (Leff, 2004).

Bocco, Mendoza, & Masera (2001) que citan a Lambin (1997) establecen que gran parte de los cambios que se dan en los ecosistemas terrestres son causados por: a) los cambios en la cobertura del suelo, b) la degradación del suelo y c) la intensificación en el uso del suelo; además los autores enuncian que todos los procesos mencionados previamente están incluidos dentro de lo que es la deforestación o la degradación forestal y conllevan impactos ambientales importantes que producen varios efectos como: cambios en los microclimas, pérdida de la biodiversidad, etc.

Galicia, Cuevas, González, & Couturier (2014) mencionan que los cambios ambientales que se dan a nivel global son consecuencia de eventos a escala planetaria como el calentamiento global; y eventos a escala regional como el cambio de uso del suelo, el incorrecto manejo de recursos y los fenómenos hidrometeorológicos; y que para comprender espacial y temporalmente estos fenómenos se requiere de los SIG y la teledetección, herramientas útiles para realizar evaluaciones, diagnósticos y monitoreos a los procesos que conducen hacia la degradación ambiental.

2.2.5.1. NDVI (*Índice de vegetación de diferencia normalizada*)

Un índice es un indicador, es decir, un parámetro claro y sencillo que simplifica lo complejo y proporciona información para la representación de fenómenos, en este caso, fenómenos medio ambientales. Con los indicadores se facilita la toma de decisiones para la protección y mejoramiento del medio ambiente (Colmenar, 2002).

El NDVI (*Índice de vegetación de diferencia normalizada*) es un indicador que permite conocer la salud del bosque en el tiempo y que se calcula con la utilización de

imágenes satelitales. La degradación de la vegetación en un ecosistema se refleja en el valor más bajo del NDVI, y consecuentemente se puede dar seguimiento a los procesos de degradación ambiental. El NDVI tiene como objetivo medir la relación existente entre la energía absorbida y emitida por los objetos de la superficie terrestre. Si el índice se aplica a comunidades de plantas, el índice indica valores de intensidad en el verdor de la vegetación de la zona e informa sobre su vigor vegetativo o salud. El NDVI adopta valores entre -1 y +1 (Meneses, 2012) y es una herramienta viable para la detección de la degradación y la deforestación (Meneses, 2009). El NDVI se ha correlacionado con variables como son la deficiencia de nutrientes o la escasez de agua a largo plazo (Govaerts & Verhulst, 2010). Las variables del índice son R y NIR, las cuales se definen con los valores de reflexión espectral que se adquieren en las regiones del rojo e infrarrojo cercano respectivamente (Cutillas et al., 2009). La ecuación 3 se utiliza para el cálculo del NDVI es la siguiente:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

2.2.6. Fragmentación ambiental

García (2011) que cita a Lindenmayer & Fisher (2006) menciona que cuando existen modificaciones en la configuración y en la estructura de los hábitats dentro del paisaje, se habla de fragmentación. Este proceso se describe como la transformación que experimenta un hábitat, que inicialmente es dominante y relativamente continuo, y en parches muy pequeños que forman un conjunto, y que se denominan fragmentos, que quedan rodeados en un hábitat nuevo, mucho más grande y con cualidades muy diferentes al original, denominado matriz. La Figura 16 muestra un hábitat original y un fragmentado, se evidencia el cambio a lo largo del tiempo en la configuración y en la composición del paisaje que se produce por la fragmentación de hábitats.

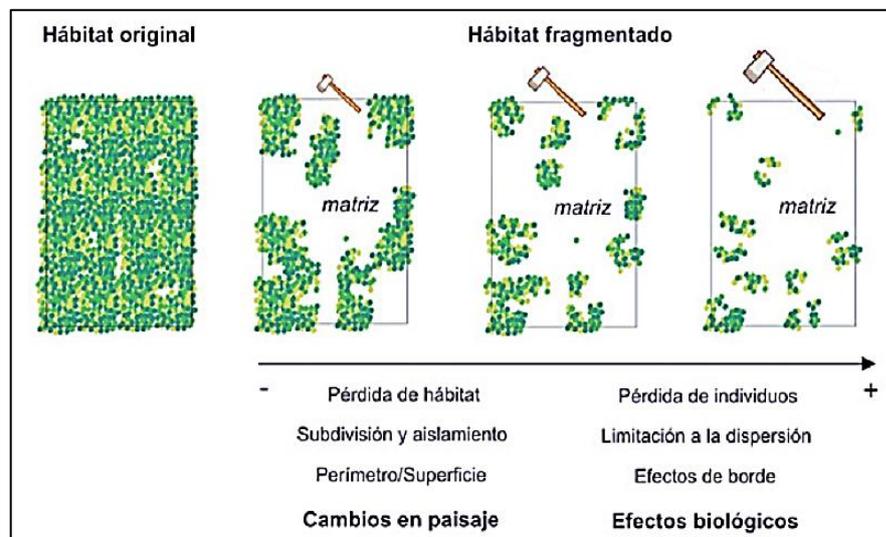


Figura 16 Fragmentación ambiental

Fuente: (García, 2011)

Las métricas utilizadas para evaluar la fragmentación de acuerdo a McGarigal & Marks (1994) y Romero, Acosta, Tovilla, Schmook, & Gómez (2015) y aplicadas a la clase *manglar* son:

- *Superficie total de la clase manglar (CA)*, sumatoria de todas las áreas de todos los parches correspondientes a la clase manglar en hectáreas (Ha).
- *Número de parches (NUMP)*, número total de parches existentes en la clase manglar.
- *Tamaño medio de los parches (MPS)*, ecuación 4, MPS se obtiene en hectáreas (Ha):

$$MPS = \frac{CA}{NUMP} \quad (4)$$

- *Borde medio de los parches (MPE)*, ecuación 5, el MPE se obtiene al dividir la sumatoria de los perímetros de todos los parches entre el número total de parches (NUMP) en la clase manglar. MPE se obtiene en metros/parche.

$$\frac{\sum_{i=1}^{NUMP} (Pi)}{NUMP} \quad (5)$$

Pi = Perímetro del parche i en la clase manglar

- *Índice promedio de forma de los parches* (MSI), ecuación 6, el MSI es igual a 1 cuando todos los parches son circulares (en una capa vectorial tipo polígono) o cuadrados (en una capa ráster). A medida que aumenta la irregularidad en la forma de los parches el valor del MSI también. $MSI \geq 1$, sin límite. La fórmula para el cálculo del MSI en una capa vectorial tipo polígono es:

$$\frac{\sum_{i=1}^{NUMP} \left(\frac{Pi}{2\sqrt{\pi \cdot Si}} \right)}{NUMP} \quad (6)$$

Pi = Perímetro del parche i en la clase manglar

Si = Superficie del parche i en la clase manglar

- *Dimensión fractal promedio de los parches* (MPFD), ecuación 7, el MPFD toma valores entre 1 y 2: 1 para formas euclidianas con perímetros muy simples como círculos o cuadrados y de 1,001 a 2 para formas con perímetros altamente complejos (Ruiz et al., 2013). La fórmula para el cálculo de la MPFD en una capa vectorial tipo polígono es:

$$\frac{\sum_{i=1}^{NumP} \left(\frac{2 \cdot \ln(Pi)}{\ln(Si)} \right)}{NumP} \quad (7)$$

Pi = Perímetro del parche i en la clase manglar

Si = Superficie del parche i en la clase manglar

2.2.7. Tasas de variación

2.2.7.1. Tasa de cambio en la cobertura del suelo (TCA)

Para realizar un análisis y una cuantificación de los cambios en la cobertura en suelo Ruiz et al. (2013) y Romero et al. (2015) se utiliza la ecuación propuesta por la FAO para calcular la Tasa de Cambio Anual (TCA) (ecuación 8).

$$TCA = \left(\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right) \cdot 100 \quad (8)$$

TCA: Tasa de cambio anual

*S*₂: Superficie fecha 2

*S*₁: Superficie fecha 1

n: Es el número de años entre las dos fechas

Esta ecuación se aplicó para todas las clases establecidas en los mapas de cambios en la cobertura del suelo 2002 – 2011 y 2011 – 2015.

2.2.7.2. Tasas de deforestación del manglar (TDM)

Autores como Romero et al. (2015) hacen uso de la ecuación anterior propuesta por la FAO para calcular las Tasas de Deforestación del Manglar (TDM).

2.2.7.3. Tasas de fragmentación ambiental (TFA)

Romero et al. (2015) calcularon las tasas de fragmentación a través de la ecuación 9.

$$TFA = \left(\left(\frac{NP_2}{NP_1} \right)^{1/n} - 1 \right) \cdot 100 \quad (9)$$

TFA: Tasa de fragmentación ambiental

NP₂: Número de parches en el tiempo 2

NP₁: Número de parches en el tiempo 1

n: Es el número de años entre las dos fechas

2.2.8. Manglares

2.2.8.1. Definición

El término *manglar* se refiere a asociaciones vegetales que se desarrollan en las zonas costeras tropicales y subtropicales. Las especies vegetales que conforman a estas asociaciones tienen en común características morfológicas y fisiológicas, aunque corresponden a grupos taxonómicos diferentes. Entre estas adaptaciones se puede mencionar: sin ser plantas halófitas⁶, poseen una gran tolerancia a la salinidad; tienen un crecimiento que se adapta a sustratos inestables; capacidad de intercambio de gases en suelos con concentraciones bajas de oxígeno y con dispersión hidrócora⁷ a través de propágulos⁸. Polanía (1998) que cita a Parson (1991), menciona que la importancia del manglar radica en su productividad, equivalente hasta 1000 g de Carbono/m²/año, en el rol que tiene en la conservación de los ecosistemas costeros adyacentes y como potenciales zonas de refugio, protección y alimentación para la fauna. El carbono que fijan las plantas de mangle (como hojas, flores, frutos, ramas, etc.) se exporta e incorpora a las redes tróficas de los ecosistemas vecinos pero, adicionalmente, las enredadas raíces constituyen un refugio y criadero de varios organismos

⁶ Plantas que toleran y se desarrollan en lugares con altas concentraciones de sales.

⁷ El mecanismo a través del cual los propágulos se dispersan por el agua, se denomina hidrocoria (Grupo Magisterio Biología, 2013).

⁸ Órgano o fragmento de órgano, que poseen ciertas plantas para verificar su reproducción asexual, por ejemplo: las semillas, pero también los frutos, las esporas o las yemas y esquejes.

2.2.8.2. Manglares en el Ecuador

Los manglares se encuentran a lo largo de la costa ecuatoriana y en las provincias como: el Guayas, Esmeraldas, El Oro y Manabí; existen también manglares en las Islas Galápagos. Las formaciones con mayor importancia se encuentran situadas en los estuarios de los ríos: Jubones – Santa Rosa – Arenillas, Santiago – Cayapas – Mataje, Muisne, Cojimíes, Chone y Guayas; De entre todos los mencionados, el área de manglar más grande está ubicada cerca al estuario del río Guayas y del Golfo de Guayaquil, las altas precipitaciones en la zona del estuario Santiago – Cayapas – Mataje, han sido responsables de convertir a este manglar en uno de los más desarrollados del Pacífico, lugar donde los árboles llegan a alcanzar más de 50 metros en altura. Dejando de lado los estuarios, en la costa ecuatoriana existen extensas áreas que forman estratos abruptos y que limitan el desarrollo del mangle. Los manglares riparios⁹ tienen un desarrollo más estructurado debido a la contribución de enormes aportes de agua dulce. Se desarrollan dos tipos de bosques estructurados: los manglares de hilera – que son la mayoría de los manglares del Ecuador – y los bosques de cuenca – los que están inundados por altas mareas y se caracterizan por tener un alto grado de salinidad. La FAO menciona las siguientes especies de manglares que existen en el Ecuador: *Acrostichum aureum*, *Avicennia germinans* (mangle negro), *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Pelliciera rhizophorae*, *Rhizophora harrisonii* y *Rhizophora mangle* (mangle rojo) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005). En la Figura 17 se muestran las zonas de manglar en el Golfo de Guayaquil y en la isla Puná.

⁹ Cualquier especie de árbol que está evolutivamente adaptado para desarrollarse específicamente en las orillas de los ríos con condiciones de excesiva humedad en el suelo y corrientes de agua permanentes (El mundo forestal, 2016).



Figura 17 Áreas de manglar en el Golfo de Guayaquil

Fuente: (Sistema Nacional de Información, 2016)

2.2.9. *Pinchagua o sardina*

2.2.9.1. *Características*

En América Central y en América del Sur estas especies tienen diferentes nombres: *sardina gallera* en Costa Rica, *pinchagua* o *sardina ecuatoriana* en Ecuador, *sardina plumuda* en Colombia; los nombres se originan de su característica externa más distintiva, es decir, la prolongación filamentosa que tienen en el último radio de la aleta dorsal (ver Figura 18) (Natalia González & Solís, 2010).

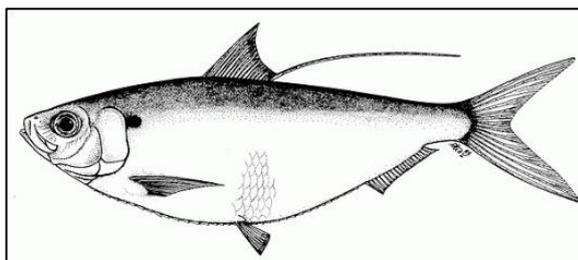


Figura 18 *Opisthonema libertate*

Fuente: (Discover Life, 2017)

2.2.9.2. Ubicación Taxonómica

La ubicación taxonómica de la pinchagua de acuerdo a González & Solís (2010):

Phyllum: Chordata

Subphyllum: Vertebrata

Superclase: Gnathostomata

Clase: Osteichthyes

Orden: Clupeiformes

Suborden: Clupeoidei

Familia: Clupeidae

Género: *Opisthonema*

Especies:

Opisthonema libertate

Opisthonema mediraastre

Opisthonema bulleri

Opisthonema berlangai

Las especies que se reportan en aguas ecuatorianas son: *Opisthonema bulleri*, *O. libertate*, *O. mediraastre* y *O. berlangai*; las tres primeras se encuentran en el área costera continental y la cuarta ha sido reportada alrededor de las Islas Galápagos. Debido a las características morfológicas de las especies de pinchagua es difícil su distinción y por eso se han agrupado a nivel de género (*Opisthonema spp*) (Natalia González & Solís, 2010).

2.2.9.3. Época de desove y madurez sexual

González & Solís (2010) que citan a Santos & Fuentes (1992) establecen que la pinchagua tiene entre los meses de febrero y abril un periodo de máximo desove y en el mes de septiembre el segundo periodo.

2.2.9.4. Distribución geográfica de la pinchagua en el Ecuador

González & Solís (2010) que citan a Patterson & Scott (1991) establecen que la pinchagua es una especie costera que está distribuida desde el Golfo de California hasta la Bahía de Sechura en Perú (ver Figura 19). En el Ecuador la pinchagua se distribuye desde el norte de Bahía de Caráquez hasta el sur del Golfo de Guayaquil; los cardúmenes son compactos y migratorios, y se encuentran a lo largo de la zona costera, además, existe una población pequeña en la provincia de Esmeraldas.

La flota cerquera-sardinera ha reportado que las zonas de pesca a lo largo de la costa ecuatoriana son: los exteriores del Golfo de Guayaquil y los alrededores de la Península de Santa Elena; en la provincia de Manabí, frente a la costa centro-sur; en la isla de la Plata, la actividad extractiva que se desarrolla es de mayor intensidad debido a que gran porcentaje de la flota (barcos independientes) está asentada en la zona. Existen escasos reportes en los registros de pinchagua frente a la provincia de Esmeraldas, y que a causa de dificultades para acceder a la costa se dificulta también el desembarque, por lo cual lo realizan en Los Arenales y Crucita en la provincia de Manabí (Natalia González & Solís, 2010).



Figura 19 Distribución geográfica de la pinchagua

Fuente: (Natalia González & Solís, 2010)

A continuación, en la Figura 20 se presentan mapas con las zonas de pesca de pinchagua reportadas por la flota cerquera- sardinera para los años 2007 (a), 2008 (b) y 2009 (c):

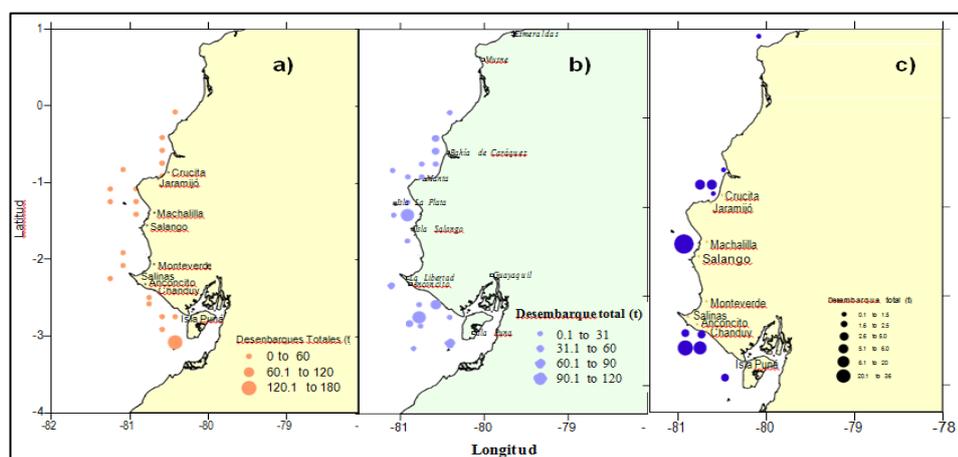


Figura 20 Zonas de pesca de pinchagua

Fuente: (Natalia González & Solís, 2010)

Los principales puertos pesqueros en los que frecuentemente se realizan desembarques de pinchagua, se localizan en las provincias de Manabí, Santa Elena y Guayas (Canales et al., 2013).

A continuación en la Tabla 5 constan los puertos donde se dan los desembarques de sardina:

Tabla 5
Puertos con desembarques de pinchagua (*Opisthonema spp*)

Provincia		
Manabí	Santa Elena	Guayas
Jaramijó	Palmar	Posorja
Manta	La Libertad	
Machalilla	Anconcito	
Puerto López		
Salango		

Fuente: (Canales et al., 2013)

2.2.9.5. *Importancia económica*

Las especies pinchagua tienen importancia económica dentro de los pequeños pelágicos tropicales. El motivo por el cual se estudia a la pinchagua es porque es una de las principales especies que captura la flota cerquera – sardinera. La pinchagua está presente en la dieta de la población y se utiliza como materia para elaborar conservas, además la captura y el procesado – embarcaciones, pescadores, evisceradores, etc – generan ingresos a las comunidades pesqueras dependientes del recurso, de igual manera, las conservas enlatadas que se exportan representan un rubro considerable de divisas para el Ecuador (Natalia González & Solís, 2010).

El sector pesquero en el Ecuador ha llegado a convertirse en una de las actividades con mayor importancia económica debido a que aporta una gran cantidad de mano de obra y representa un 3% del PIB. La sardina se exporta en conserva principalmente, entre los años 2011 y 2014, las exportaciones presentaron una tasa de crecimiento promedio anual (TCPA) del 19,14%. Las sardinas, sardinelas y espadines en salsa de tomate en el año 2014 fueron las más exportadas, con un porcentaje de participación en las exportaciones de sardina del 95,08%. La sardina es uno de los principales productos que se exportan en el sector pesquero, con un porcentaje en volumen del 8% (PRO Ecuador, 2015).

Considerando que la pesca de la pinchagua se realiza desde finales de junio hasta mediados de agosto: la tonelada de sardina eviscerada (limpia, sin escamas, sin cabeza y sin vísceras) se vende a los comerciantes a 600 USD; los cuales venden el producto a las procesadoras en Manta, Montecristi y Jaramijó para la elaboración de conservas. Para el consumo familiar se puede comprar lotes desde 5 hasta 20 sardinas en 3 y 5 USD. Cuando los barcos sardineros – en el país existen 60 barcos con capacidades de 6 a 15 toneladas – arriban a los puertos, las familias trabajan y reciben 50 centavos por cada tacho de sardina limpia, en días con grandes desembarques y según la habilidad del trabajador se pueden obtener hasta 10 USD por persona (El Comercio, 2011).

2.2.9.6. Desembarques

La pesca comercial de los peces pelágicos pequeños inició aproximadamente en la década de los 60. Las embarcaciones que se utilizaron inicialmente estaban construidas con cascos de madera y se utilizaban para capturar especies costeras como la pinchagua. A causa del colapso en la pesca de Anchoveta en aguas peruanas durante la década de los 70, se adquirieron embarcaciones con mayor autonomía y con cascos de acero por empresas ecuatorianas, lo que representó un incremento de la capacidad de pesca de esta flota. Conjuntamente se mejoró y amplió la infraestructura de fábricas harineras y conserveras que ya existían, con el objetivo de comercializar dentro y fuera del país (Natalia González & Solís, 2010).

González & Solís (2010) que hacen referencia a González et al. (2008) establecen que los desembarques de pinchagua han declinado a partir del año 1985 (pico máximo de 328074 toneladas), luego se observa una aparente recuperación en los desembarques durante los años 1993 y 1994 y después se da una disminución en los desembarques a partir del año 1995 que se considera drástica. En el año 2003 se registra un mínimo desembarcado de 6895 toneladas, para luego recuperarse hasta 25263 toneladas en el 2008 aproximadamente (ver Figura 21).

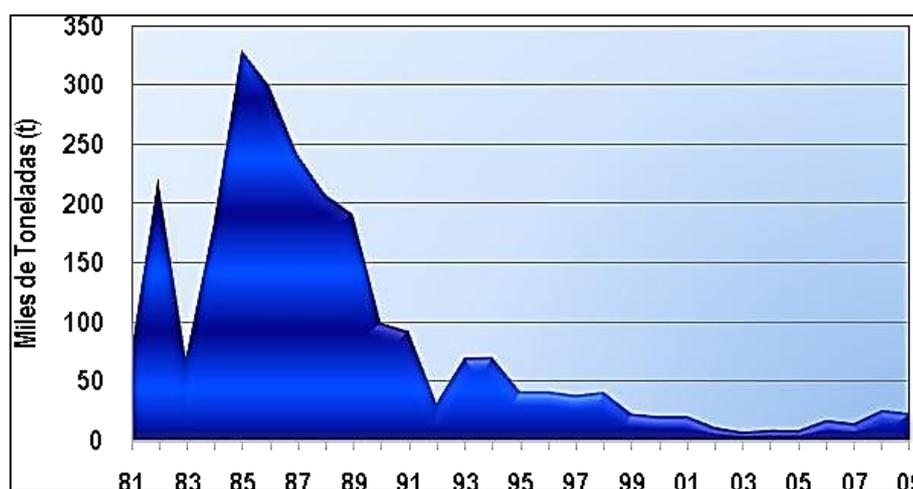


Figura 21 Desembarques de pinchagua desde 1981 hasta el 2009

Fuente: (Natalia González & Solís, 2010)

2.3. Fundamentación legal

La fundamentación legal para el presente proyecto es:

- El Instituto Nacional de Pesca (2016) hace referencia al Acuerdo Ministerial N° 018 del 9 de marzo del 2010, en el que se establece:

“Art. 5.- Se ratifica la vigencia del Acuerdo Ministerial N° 183 publicado en el Registro Oficial N° 475 de 17 de diciembre del 2001 sobre la veda de pinchagua (*Opisthonema spp.*) y chuhueco (*Cetengraulis mysticetus*) en lo que no se oponga al presente acuerdo, y se dispone que la Dirección General de Pesca haga cumplir los artículos 2 y 3 de dicho acuerdo, sobre el recurso pinchagua”.
- En el Acuerdo Ministerial N° 183 publicado en el Registro Oficial N° 475 del 17 de diciembre del 2001 consta:

“Art. 1.- Establecer una veda total para la captura de la especie chuhueco (*Cetengraulis mysticetus*) entre el primero de enero y el treinta de junio de cada año y para la pinchagua (*Opisthonema spp.*) durante los meses de marzo y septiembre de cada año. La veda comprende también la venta, transporte, procesamiento y comercialización de estas especies.

Art. 2.- Prohibir la utilización de la especie pinchagua (*Opisthonema spp.*) para la fabricación de harina de pescado. Los desembarques de esta especie serán destinados exclusivamente a la elaboración de conservas para el consumo humano directo. Los desperdicios de esta producción podrán ser destinados a la elaboración de harina de pescado, en un volumen que no excederá el 40% de los desembarques, a cuyo efecto las plantas procesadoras deberán mantener un registro actualizado de ingresos de materia prima, así como de producción.

Art. 3.- A fin de preservar la mejor calidad del producto y la salud de los consumidores, prohíbese la captura de pinchagua (*Opisthonema spp.*) a las embarcaciones que no dispongan de equipos de frío o bodegas enfriadas por hielo y térmicamente aisladas”.
- En el Acuerdo Ministerial No. 406 del 12 de octubre de 2011 se prohíbe el uso de pantallas para la captura de especies pelágicas.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA:

3.1. Adquisición y descripción de la información geográfica

Para la adquisición de la información geográfica se contó con el apoyo de entidades públicas y privadas, nacionales e internacionales, entre ellas: Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS), Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), Subsecretaría de Información, Instituto Geográfico Militar (IGM), Sistema Nacional de Información (SNI) y The DigitalGlobe Foundation. A continuación en la Tabla 6 se describe la información facilitada por cada una de las entidades mencionadas mientras que en la Tabla 7 el *nombre*, la fecha de adquisición, la hora de adquisición, el sensor/cámara, la resolución espacial, la resolución espectral, la resolución radiométrica, el porcentaje de cobertura de nubes, si la imagen cubre el área de estudio y es útil para la elaboración de los mapas de: cobertura del suelo, degradación, fragmentación.

Tabla 6
Descripción de la información geográfica adquirida

IEE
Se recibió, realizando previa solicitud, 8 Imágenes satelitales multiespectrales RapidEye L3A (Imágenes Ortorectificadas) de los años 2011 y 2012 con una resolución espacial de 5m (Anexo 1).
SIGTIERRAS
Se recibió, realizando previa solicitud: un ortofotomosaico generado entre los años 2010 y 2013 con 3 bandas espectrales (RGB), a escala 1:5000, resolución espacial de 0,4 m y una precisión altimétrica de 1 m; un Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espacial de 4 m y una precisión altimétrica de 1,5 m (Anexo 2).
Subsecretaría de Información
Capas de información geográfica base y temática; MDT con una resolución espacial de 10 m.
MAGAP
Capa de información geográfica sobre uso y cobertura del suelo de la provincia del Guayas.
IGM y SNI
Capas de información geográfica base y temática descargadas a través de los geoportales institucionales.
The DigitalGlobe Foundation
13 imágenes satelitales (multiespectral + pancromática) del satélite Worldview-2 tomadas entre los años 2010 y 2015 con una resolución espacial de 2 m en la multiespectral y 0,5 m en la pancromática; 1 imagen (multiespectral + pancromática) del satélite Geoeye-1 tomada en el año 2010 con una resolución espacial de 2 m en la multiespectral y 0,5 m en la pancromática; 1 imagen (multiespectral + pancromática) del satélite QuickBird tomada en el año 2002 con una resolución espacial de 2,4 m en la multiespectral y 0,6 m en la pancromática . La información se recibió tras ser aprobada la solicitud para obtener una donación de imágenes satelitales por la fundación DigitalGlobe y se transfirió a través de File Transfer Protocol (FTP). El costo aproximado de las imágenes tipo Ortho Ready Standard es de 51220 dólares americanos (Anexo 3).

Tabla 7
Descripción de las imágenes satelitales

NÚMERO	NOMBRE	FECHA DE ADQUISIÓN	HORA DE ADQUISIÓN	SENSOR/CÁMARA	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	COBERTURA DE NUBES	COBERTURA DEL SUELO	DEGRADACIÓN	FRAGMENTACIÓN	¿CUBRE EL ÁREA?
1	WV-2-1-Multiespectral	31/07/2010	15:53:59	WorldView-2	2m	8 Bandas	16 bits	1	SI	SI	SI	SI
2	WV-2-1-Pancromatica	31/07/2010	15:54:00	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	2	SI	NO	SI	SI
3	WV-2-2-Multiespectral	29/04/2015	15:49:40	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	9,5	SI	SI	SI	SI
4	WV-2-2-Pancromatica	29/04/2015	15:49:40	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	9,5	SI	NO	SI	SI
5	WV-2-3-Multiespectral	17/09/2015	15:49:21	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	9,5	SI	SI	SI	SI
6	WV-2-3-Pancromatica	17/09/2015	15:49:21	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	9,5	SI	NO	SI	SI
7	WV-2-4-Multiespectral	06/04/2012	16:06:48	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	1,2	SI	SI	SI	SI
8	WV-2-4-Pancromatica	06/04/2012	16:06:48	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	1,2	SI	NO	SI	SI
9	WV-2-5-Multiespectral	04/01/2011	15:50:36	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	2,1	NO	NO	NO	NO
10	WV-2-5-Pancromatica	04/01/2011	15:50:37	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	2,1	NO	NO	NO	NO
11	WV-2-6-Multiespectral	01/01/2014	16:11:54	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	7,1	SI	SI	SI	SI
12	WV-2-6-Pancromatica	01/01/2014	16:11:54	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	7,1	SI	NO	SI	SI

Tabla 7
Descripción de las imágenes satelitales (Continuación)

NÚMERO	NOMBRE	FECHA DE ADQUISIÓN	HORA DE ADQUISIÓN	SENSOR/CÁMARA	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	COBERTURA DE NUBES	COBERTURA DEL SUELO	DEGRADACIÓN	FRAGMENTACIÓN	¿CUBRE EL ÁREA?
13	WV-2-7-Multiespectral	03/04/2012	16:18:01	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	9,1	SI	SI	SI	SI
14	WV-2-7-Pancromatica	03/04/2012	16:18:01	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	9,1	SI	NO	SI	SI
15	WV-2-8-Multiespectral	06/04/2012	16:07:12	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	8,8	SI	SI	SI	SI
16	WV-2-8-Pancromatica	06/04/2012	16:07:12	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	8,8	SI	NO	SI	SI
17	WV-2-9-Multiespectral	17/09/2015	15:48:22	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	18	SI	SI	SI	SI
18	WV-2-9-Pancromatica	17/09/2015	15:48:22	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	18	SI	NO	SI	SI
19	WV-2-10-Multiespectral	02/08/2015	15:44:05	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	18,5	NO	NO	NO	NO
20	WV-2-10-Pancromatica	02/08/2015	15:44:05	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	18,5	NO	NO	NO	NO
21	WV-2-11-Multiespectral	31/07/2010	15:54:53	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	0	SI	SI	SI	SI
22	WV-2-11-Pancromatica	31/07/2010	15:54:53	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	0	SI	NO	SI	SI
23	WV-2-12-Multiespectral	17/09/2015	15:48:40	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	0,7	NO	NO	NO	NO
24	WV-2-12-Pancromatica	17/09/2015	15:48:40	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	0,7	NO	NO	NO	NO

Tabla 7
Descripción de las imágenes satelitales (Continuación)

NÚMERO	NOMBRE	FECHA DE ADQUISIÓN	HORA DE ADQUISIÓN	SENSOR/CÁMARA	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	COBERTURA DE NUBES	COBERTURA DEL SUFIC	DEGRADACIÓN	FRAGMENTACIÓN	¿CUBRE EL ÁREA?
25	WV-2-13-Multiespectral	28/07/2011	16:05:40	WorldView-2	2 m	8 Bandas	16 bits	0,4	SI	SI	SI	SI
26	WV-2-13-Pancromatica	28/07/2011	16:05:40	WorldView-2	0,5 m	1 Banda	16 bits	0,4	SI	NO	SI	SI
27	GE1-1-Multiespectral	30/06/2010	15:53:27	GeoEye-1	2 m	4 Bandas	16 bits	3	SI	SI	SI	SI
28	GE1-1-Pancromatica	30/06/2010	15:53:26	GeoEye-1	0,5 m	1 Banda	16 bits	3	SI	NO	SI	SI
29	QB-1-Multiespectral	19/04/2002	15:44:47	QuickBird	2,4 m	4 Bandas	16 bits	0	SI	SI	SI	SI
30	QB-1-Pancromatica	19/04/2002	15:44:47	QuickBird	0,6 m	1 Banda	16 bits	0	SI	NO	SI	SI
31	RE-1	15/01/2011	16:50:21	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	4	SI	SI	SI	SI
32	RE-2	24/09/2011	16:40:01	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	4	SI	SI	SI	SI
33	RE-3	02/11/2011	16:35:17	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	0	SI	SI	SI	SI
34	RE-4	24/09/2011	16:40:05	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	0	SI	SI	SI	SI
35	RE-5	24/09/2011	16:40:05	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	2	SI	SI	SI	SI

Tabla 7
Descripción de las imágenes satelitales (Continuación)

NÚMERO	NOMBRE	FECHA DE ADQUISIÓN	HORA DE ADQUISIÓN	SENSOR/CÁMARA	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	COBERTURA DE <small>NÚMERO</small>	COBERTURA DEL SUELO	DEGRADACIÓN	FRAGMENTACIÓN	¿CUBRE EL ÁREA?
36	RE-6	12/03/2012	16:45:42	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	54	NO	NO	NO	NO
37	RE-7	21/01/2012	16:55:36	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	3	NO	NO	NO	NO
38	RE-8	07/03/2012	16:41:01	RapidEye	5 m	5 Bandas	16 bits	0	NO	NO	NO	NO
39	Ortofotomosaico del Guayas	2010 - 2013	N.A.	- DMC-01-0143 - Ultracam X	0,4 m	3 Bandas	8 bits	0	SI	NO	SI	SI

Las imágenes satelitales de DigitalGlobe tenían los siguientes ID en el catálogo ImageFinder de DigitalGlobe (Tabla 8):

Tabla 8
ID de las imágenes entregadas por DigitalGlobe Foundation

Imágenes	ID del catálogo ImageFinder
WV-2-1-Multiespectral y WV-2-1-Pancromatica	103001000663B000
WV-2-2-Multiespectral y WV-2-2-Pancromatica	1030010040276A00
WV-2-3-Multiespectral y WV-2-3-Pancromatica	10300100481C7400
WV-2-4-Multiespectral y WV-2-4-Pancromatica	10300100121F9000
WV-2-5-Multiespectral y WV-2-5-Pancromatica	1030010008BAC200
WV-2-6-Multiespectral y WV-2-6-Pancromatica	103001002B96D200
WV-2-7-Multiespectral y WV-2-7-Pancromatica	1030010012A5DC00
WV-2-8-Multiespectral y WV-2-8-Pancromatica	103001001396A200
WV-2-9-Multiespectral y WV-2-9-Pancromatica	1030010048527D00
WV-2-10-Multiespectral y WV-2-10-Pancromatica	1030010047569300
WV-2-11-Multiespectral y WV-2-11-Pancromatica	1030010006310B00
WV-2-12-Multiespectral y WV-2-12-Pancromatica	103001004A678000
WV-2-13-Multiespectral y WV-2-13-Pancromatica	103001000CBC1800
GE1-1-Multiespectral y GE1-1-Pancromatica	105041000354B900
QB-1-Multiespectral y QB-1-Pancromatica	1010010000546800

Las imágenes satelitales número 9, 10, 19, 20, 23, 24, 37 y 38 no cubrían el área de estudio y por lo tanto no se pre-procesaron. La imagen 36 estaba defectuosa e igualmente no se pre-procesó.

Las imágenes RapidEye L3A (RapidEye Ortho Products) son imágenes de 25 Km (5000 filas) x 25 Km (5000 columnas); ortorectificadas con puntos de control y un MDT de 30 m a 90 m de resolución espacial; con las correcciones: radiométrica, del sensor, geométrica; y con una proyección cartográfica (Blackbridge, 2016).

Las imágenes WorldView-2 y GeoEye-1 tipo Ortho Ready Standard son productos con las correcciones radiométrica, del sensor, geométrica y que vienen con una proyección cartográfica; estas imágenes vienen proyectadas a una superficie constante, por lo tanto, el usuario puede utilizar su propio MDT para realizar la ortorectificación; la precisión de una coordenada está alrededor de los 5 m (CE90), siempre y cuando, la inclinación del sensor sea hasta 30° fuera del nadir (DigitalGlobe, 2016b).

En el Anexo 4 se muestran las imágenes satelitales proporcionadas por la fundación.

3.2. Adquisición y descripción de la información sobre capturas

La entidad encargada en el Ecuador que realiza el muestreo de pinchagua es el Instituto Nacional de Pesca (INP) dentro del programa de peces pelágicos pequeños. Se realizó una solicitud para acceder a la información disponible sobre las capturas de pinchagua. La metodología de muestreo de campo y laboratorio del seguimiento de la pesquería de peces pelágicos pequeños en el Ecuador se indica en la Figura 22:



Figura 22 Metodología utilizada por el INP para el muestreo de pinchagua

Fuente: (Instituto Nacional de Pesca, 2016b)

De acuerdo al INP, los principales puertos pesqueros en los que frecuentemente se realiza el muestreo y desembarque de los peces pelágicos pequeños son: en la provincia de Manabí: Crucita, Gilces, Jaramijó, Manta, Machalilla, Puerto López, Salango; en la provincia del Guayas: Palmar, Salinas, La Libertad, Anconcito, Chanduy y Porsoja.

Según el INP, en el Ecuador hay dos flotas cerqueras: flota costera-cerquera y la flota atunera. Se diferencian principalmente por la autonomía, entendiéndose por autonomía, como los días que puede estar una embarcación en el mar sin abastecerse de combustible, agua y víveres. Las embarcaciones de la flota costera-cerquera tienen autonomías de uno o dos días mientras que la flota atunera tiene embarcaciones con autonomías de 90 días, por ejemplo.

La flota cerquera-costera pesca durante la fase lunar *oscura* o *luna nueva* y hasta un máximo de 25 millas debido a la misma autonomía de sus embarcaciones. Entre las especies que esta flota captura están: macarela (*Scomber japonicus*), sardina del sur (*Sardinops sagax*), pinchagua (*Opisthonema spp.*), sardina redonda (*Etrumeus teres*), jurel o chicharro (*Trachurus murphyi*), chuhueco (*Centengraulis mysticetus*), botellita (*Auxis thazard*), barrigajuma (*Larimus spp.*), picudillo (*Decapterus macrosoma*), gallinazo (*Peprilus medius*), gallineta (*Prionotus spp.*), entre otras.

3.2.1. Capturas de pinchagua en las aguas ecuatorianas

En el artículo del INP elaborado por Canales et al. (2013), en el que se realiza una evaluación de la población de pinchagua en aguas ecuatorianas, se presenta una tabla con las capturas de pinchagua entre los años 1981 y 2012. En la Tabla 9 se presentan los valores de captura (en toneladas) de pinchagua entre los años especificados y actualizados hasta el año 2015 según la información disponible en la página web del INP.

Tabla 9
Capturas de pinchagua entre los años 1981 y 2015

AÑO	CAPTURAS (t)	AÑO	CAPTURAS (t)
1981	68390	1999	22253
1982	219849	2000	20037
1983	69155	2001	20071
1984	182074	2002	10952
1985	328074	2003	6895
1986	297721	2004	8590
1987	240577	2005	8282
1988	206766	2006	16851
1989	189789	2007	14153
1990	98632	2008	25263
1991	91622	2009	22527
1992	31016	2010	35849
1993	69247	2011	20273
1994	69892	2012	32253
1995	40910	2013	13191,4
1996	41041	2014	25624,6
1997	37723	2015	32900
1998	40530	2016	-

Fuente: (Canales et al., 2013) e Instituto Nacional de Pesca

En la Figura 23 se muestra el descenso en las toneladas capturadas de pinchagua.

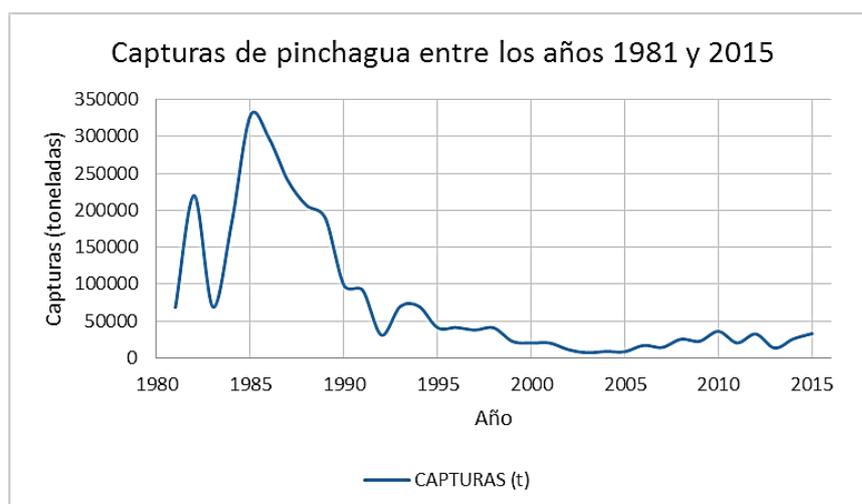


Figura 23 Capturas de pinchagua en toda la costa ecuatoriana

Fuente: (Canales et al., 2013) e Instituto Nacional de Pesca

3.2.2. Capturas de pinchagua en las aguas del área de estudio

El Instituto Nacional de Pesca proporcionó los datos de capturas de pinchagua en el área de estudio: para el registro de las capturas se utiliza una cuadrícula (ver Figura 24) en la que se registra la captura (en toneladas) con su respectiva coordenada geográfica y zona de pesca (ejemplo: M24).

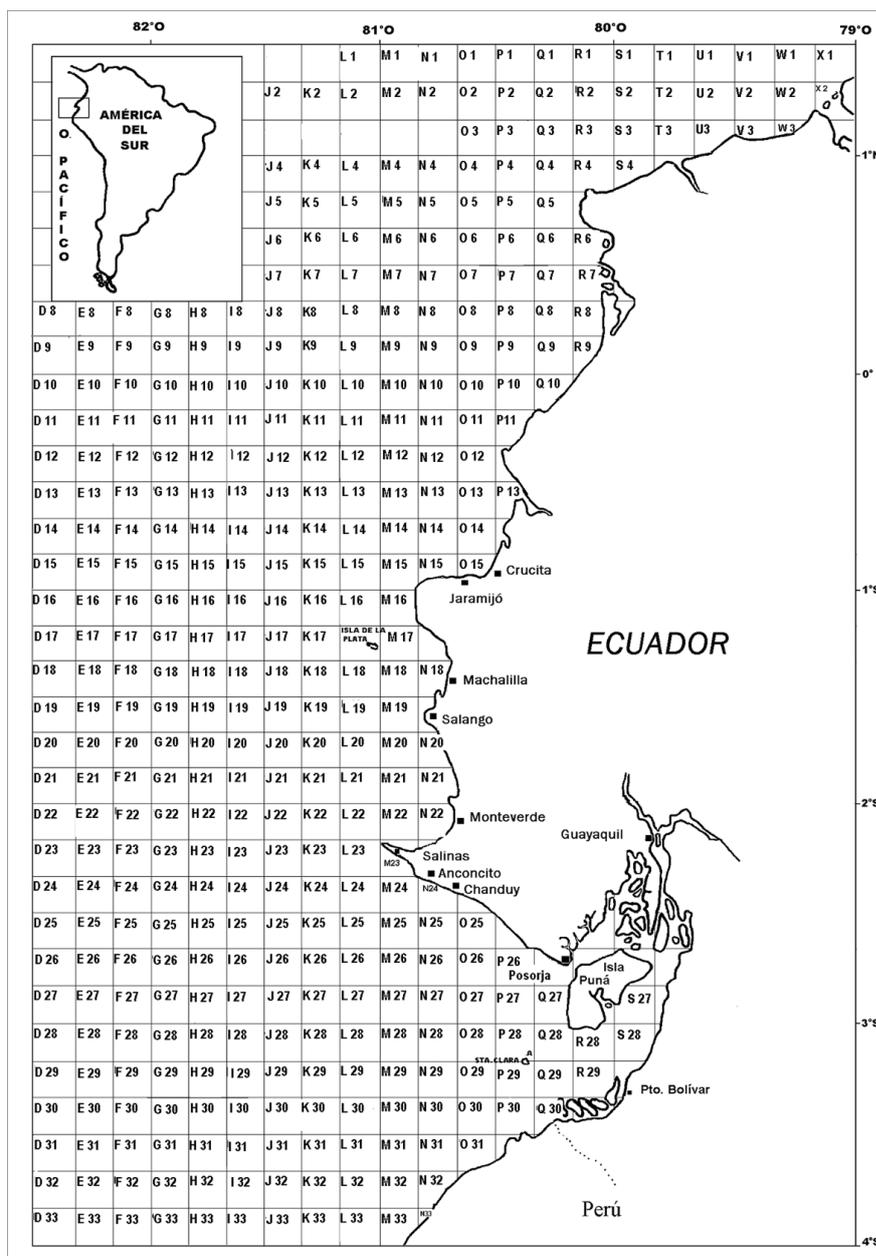


Figura 24 Cuadrícula base para el registro de las capturas de pinchagua

Fuente: Instituto Nacional de Pesca

Se consideró las zonas de pesca que se encontraban dentro del área de estudio definida en este proyecto. En la Tabla 10 se muestran las capturas de pinchagua considerando la zona de pesca y el año de registro.

Tabla 10
Capturas de pinchagua por zonas de pesca

AÑO	CAPTURAS (t)	ZONA DE PESCA
2002	8,5	M25
2002	65,7	N25
2002	71,2	N26
2002	25,5	N27
2002	52,4	O26
2002	145	P26
2002	43,2	P29
2010	30	N25
2010	2,2	N26
2010	0,5	O25
2010	10	O27
2010	1,6	O28
2010	6	O29
2010	4	P26
2010	25,4	P28
2011	4	M24
2011	2,3	M25
2011	80	N28
2011	2,3	P26
2012	5,4	O25
2012	95	P28
2015	125,1	M28
2015	1,5	N24
2015	2,9	N25
2015	2,2	N26
2015	1,3	P26

Fuente: Instituto Nacional de Pesca

En la Tabla 11 y en la Figura 25 se presentan las sumatorias de las capturas de pinchagua en función del año de registro:

Tabla 11
Capturas de pinchagua por año

AÑO	CAPTURAS (t)
2002	411,5
2010	79,7
2011	88,6
2012	100,4
2015	132,9

Fuente: Instituto Nacional de Pesca

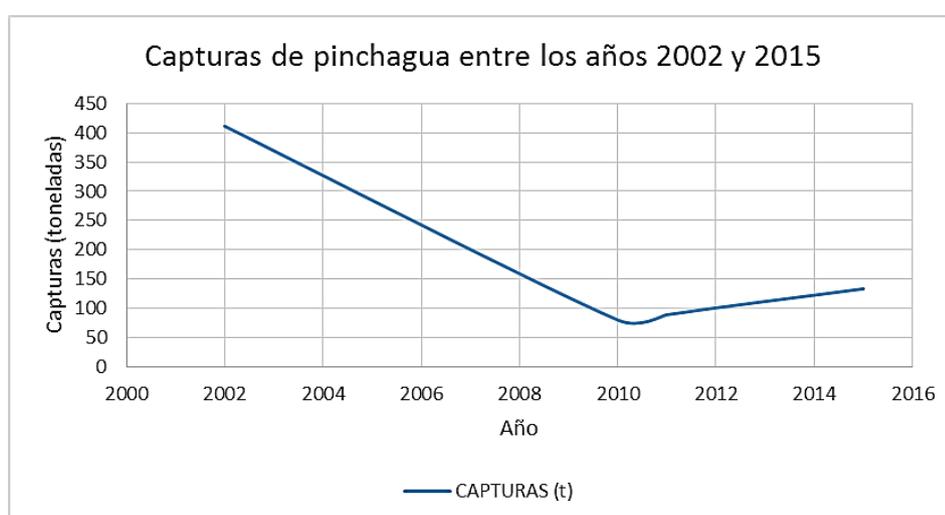


Figura 25 Capturas de pinchagua entre los años 2002 y 2015

Fuente: Instituto Nacional de Pesca

A continuación se presenta en la Figura 26 un mapa en el que se muestran las capturas de pinchagua para los años 2002, 2010, 2011, 2012 y 2015.

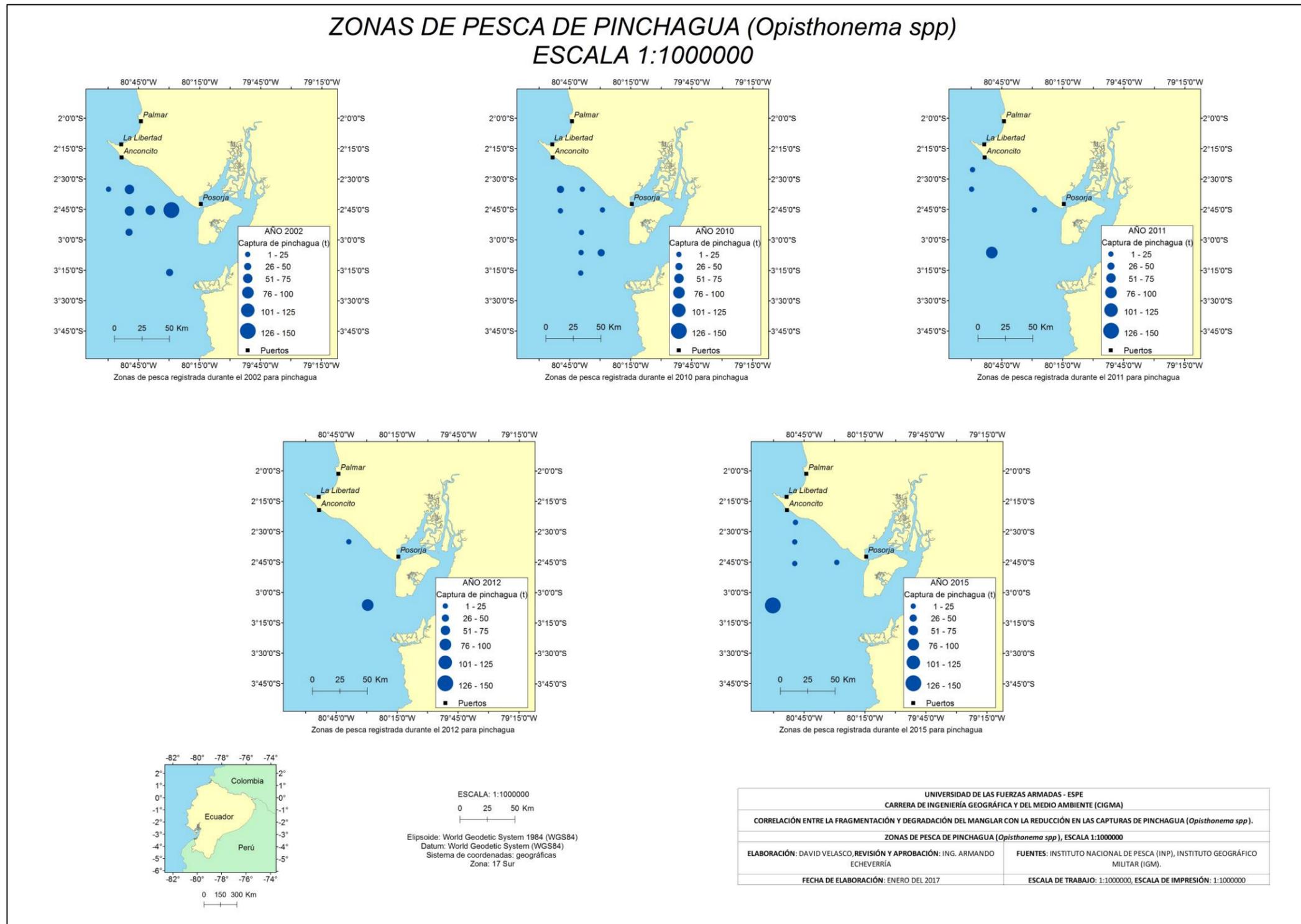


Figura 26 Mapa de zonas de pesca de pinchagua

3.3. Calibración radiométrica y corrección atmosférica

La calibración radiométrica y la corrección atmosférica se realizó a todas las imágenes multiespectrales utilizando el módulo ATCOR para ERDAS IMAGINE 2014. Este módulo permite realizar correcciones atmosféricas en zonas planas y en zonas montañosas. Ha de considerarse que la resolución radiométrica (bits por píxel) de 16 bits comúnmente se conoce como 11 bits.

3.3.1. Calibración y corrección para WorldView-2

3.3.1.1. Radiometría

La calibración radiométrica se desarrolló de acuerdo a lo establecido por Richter & Schlapfer (2016) y Geosystems (2014). Los autores mencionan que se puede elaborar el archivo de calibración que ATCOR solicita utilizando los datos *abscalfactor* y *effectivebandwidth* (FWHM) de cada una de las bandas, estos valores se encuentran en el metadato (*.IMD) que viene adjunto con cada escena y se reemplazan como se muestra en la Tabla 12 y 13. El *offset c0* (polarización de radiancia) es cero para todos los canales mientras que el *gain c1* (ganancia de radiancia) debe calcularse. Las unidades del *abscalfactor* y *effectivebandwidth* vienen en vatios por metro cuadrado por micrón ($\text{W/m}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) y se transformaron a milivatios por centímetro cuadrado por micrón ($\text{mW/cm}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) utilizando 0,1 como factor de conversión. Se obtuvieron dos archivos de calibración:

Tabla 12
Archivo de calibración 1 (WorldView-2)

#	Banda	c0	c1 = 0,1*(abscalfactor/ FWHM)		
			abscalfactor	μm FWHM	mW/cm ⁻² sr ⁻¹ μm^{-1}
1	CoastalBlue	0	0,009295654	0,0473	0,0196525
2	Blue	0	0,01783568	0,0543	0,0328466
3	Green	0	0,01364197	0,063	0,0216539
4	Yellow	0	0,005829815	0,0374	0,0155877
5	Red	0	0,01103623	0,0574	0,0192269
6	RedEdge	0	0,005188136	0,0393	0,0132014
7	NearInfrared_1	0	0,0122438	0,0989	0,0123800
8	NearInfrared_2	0	0,009042234	0,0996	0,00907855

Tabla 13
Archivo de calibración 2 (WorldView-2)

#	Banda	c0	c1 = 0,1*(abscalfactor/ FWHM)		
			abscalfactor	μm FWHM	mW/cm ⁻² sr ⁻¹ μm^{-1}
1	CoastalBlue	0	0,009295654	0,0473	0,0196525
2	Blue	0	0,01783568	0,0543	0,0328466
3	Green	0	0,01364197	0,063	0,0216539
4	Yellow	0	0,006810718	0,0374	0,0182105
5	Red	0	0,01851735	0,0574	0,0322602
6	RedEdge	0	0,006063145	0,0393	0,0154278
7	NearInfrared_1	0	0,02050828	0,0989	0,0207364
8	NearInfrared_2	0	0,009042234	0,0996	0,00907855

- El archivo de calibración 1 se utilizó con las imágenes multiespectrales:
 - WV-2-1-Multiespectral,
 - WV-2-2-Multiespectral,
 - WV-2-6-Multiespectral,
 - WV-2-11-Multiespectral y
 - WV-2-13-Multiespectral.

- El archivo de calibración 2 se utilizó con las imágenes multiespectrales:
 - WV-2-3-Multiespectral,
 - WV-2-4-Multiespectral,

- WV-2-7-Multiespectral,
- WV-2-8-Multiespectral y
- WV-2-9-Multiespectral.

3.3.1.2. Geometría

ATCOR solicita para la corrección atmosférica el ángulo azimutal solar (*solar azimuth*), el ángulo azimutal del sensor (*satellite azimuth*), el ángulo cenital solar (*solar zenith*), el ángulo de inclinación del sensor o también llamado *fuera del nadir* (*sensor tilt*) y la elevación promedio del terreno (*ground elevation*). El ángulo cenital solar (*solar zenith*) se obtiene restando 90° - elevación solar (*sun elevation*). En *ground elevation* se estableció el valor de 0 Km para todas las imágenes, ya que la isla Puná se encuentra a nivel del mar. Todos los valores se encuentran en el metadato de la imagen. En la Tabla 17 constan todos los valores ingresados en ATCOR para la corrección atmosférica.

3.3.1.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad

ATCOR solicita establecer la visibilidad en unidades de Km y el modelo atmosférico.

La visibilidad es necesaria para describir las condiciones atmosféricas en el momento de la adquisición de las imágenes (PCI Geomatics, 2016). La visibilidad indica si al momento de la adquisición de la imagen hubo: buenas condiciones atmosféricas, bruma moderada o bruma espesa (Harris Geospatial Solutions, 2009). La visibilidad estándar o promedio de acuerdo a algunos autores toma el valor de: 25 Km (Paz-Pellat et al., 2008), 30 Km (Mikhaylova & Dvornikov, 2015), 15 Km (Geosystems, 2009), entre otros. Se estableció el valor de 35 Km para todas las imágenes después de evaluar los resultados con los valores encontrados en la literatura.

ATCOR contiene 4 modelos de aerosol: rural, urbano, marítimo y desértico. Considerando lo establecido por PCI Geomatics (2016), se utilizó el modelo marítimo tropical para todas las imágenes tomando en cuenta que el mismo se puede aplicar cuando los vientos provienen del océano (*onshore winds*) (Geosystems, 2009). En la

isla Puná los vientos vienen desde el sur para luego dirigirse hacia el este y llegar a las costas de la isla. En la Figura 27 se muestran las direcciones de los vientos en el Ecuador.

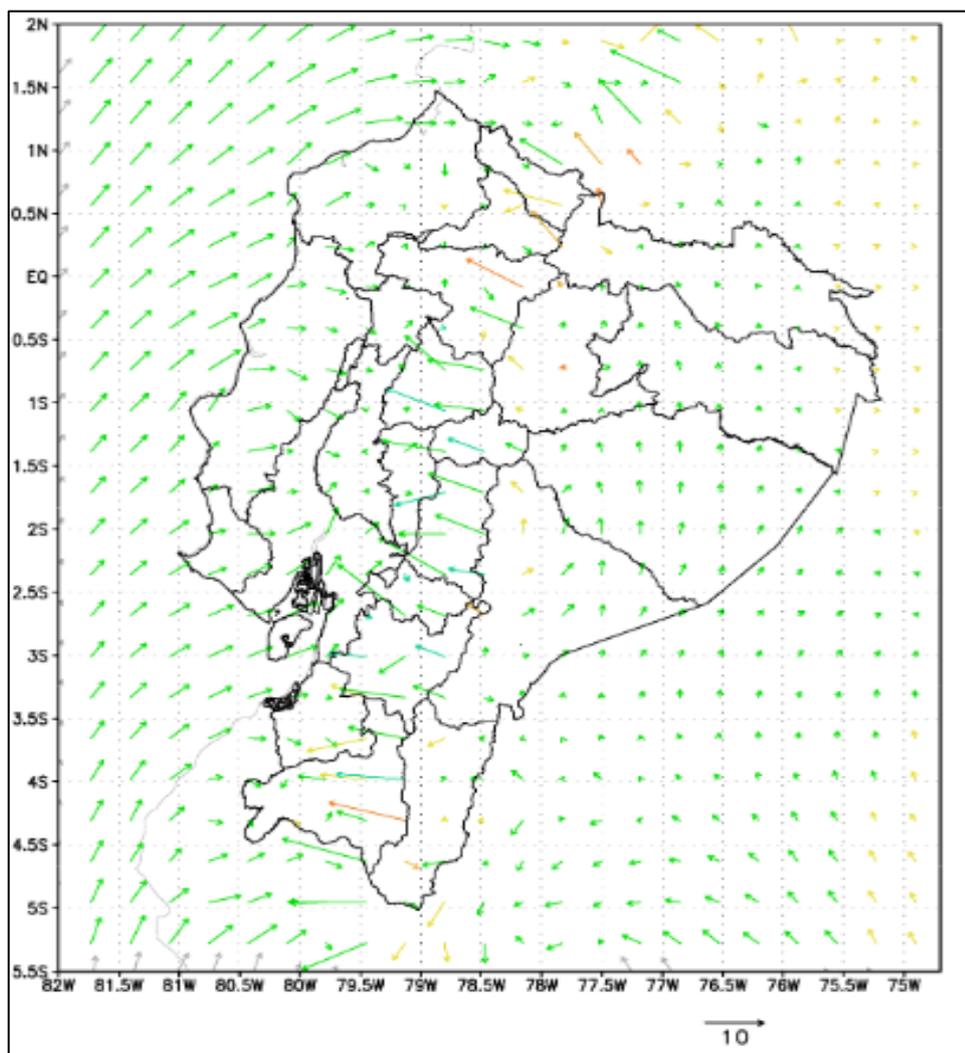


Figura 27 Dirección de los vientos en el Ecuador

Fuente: ute.edu.ec

Después de seleccionar el modelo de aerosol se especifica en que latitud y en que época del año (modelo atmosférico) se desea realizar la corrección. PCI Geomatics (2016), establece que para las latitudes entre los 20° N y 20° S y en cualquier época del año, en ATCOR se debe seleccionar conjuntamente con el modelo de aerosol marítimo la opción *tropical marítimo* como modelo atmosférico. En la Figura 28 y Figura 29 se muestra una captura de ATCOR con los parámetros que solicita.

ATCOR2 For ERDAS IMAGINE 2014 Workstation Main Menu

Specifications Atmospheric Selections

Files

Input Raster File (*.img) 15apr29154940-m2as-055189964010_01_p002.ir

Output Raster File atcor_15apr29154940-m2as-055189964010_01_f

Acquisition Date: Set... Input Layers: Set... Scale Factors: Set...

Sensor

Sensor WorldView-2 MS Calibration File worldview2_ten

Geometry

Solar Zenith 27.8 Solar Azimuth 50.8 Calculate... Apply...

Sensor Tilt 8.0 Satellite Azim. 106.8 Elevation 0

Validate Spectra...
Run Correction...
Value Adding...
Cancel
Help

Figura 28 Valores en ATCOR de la imagen WV-2-1-Multiespectral

ATCOR2 For ERDAS IMAGINE 2014 Workstation Main Menu

Specifications Atmospheric Selections

Visibility

Scene Visibility (km) 35 Estimate...

Aerosoltype

Model for Solar Region maritime

tropical_marit

Model for Thermal Region

Validate Spectra...
Run Correction...
Value Adding...
Cancel
Help

Figura 29 Valores en ATCOR de la imagen WV-2-2-Multiespectral

3.3.2. Calibración y corrección para RapidEye

3.3.2.1. Radiometría

Se aplicó lo establecido por Richter & Schlapfer (2016) y Geosystems (2014). Los autores mencionan que no es necesario elaborar un archivo de calibración para las imágenes RapidEye, por lo tanto, el archivo de calibración que se utilizó para la calibración radiométrica y que ATCOR ofrece, se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14
Archivo de calibración RapidEye

#	Banda	c0	c1 [mW/cm-2 sr-1 μm-1]
1	Blue	0	0,001
2	Green	0	0,001
3	Red	0	0,001
4	RedEdge	0	0,001
5	NearInfrared	0	0,001

3.3.2.2. Geometría

En ATCOR se ingresan directamente del metadato (*.XML): el *solar azimuth* y el *satellite azimuth*. Igualmente, se obtiene el *solar zenith*, restando 90° - elevación solar (*sun elevation*). En *ground elevation* se estableció el valor de 0 Km. El valor del *sensor tilt* se determina a partir de la ecuación 10 mencionada por Richter & Schlapfer (2016). La fórmula es:

$$\phi_V = \arcsen \left[\frac{R_E}{R_E + h} \cdot \text{sen} \phi_1 \right] \quad (10)$$

Donde ϕ_V es el *sensor tilt*, ϕ_1 es el ángulo de incidencia (*incidence angle*), R_E es el radio de la Tierra ($R_E = 6371$ Km) y h es la altura a la que está el satélite ($h = 630$ Km). En la Tabla 17 se muestran los valores ingresados en ATCOR.

3.3.2.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad

Se utilizó la visibilidad de 35 Km, el mismo modelo de aerosol y modelo atmosférico aplicado a las imágenes WorldView-2.

3.3.3. Calibración y corrección para GeoEye-1

3.3.3.1. Radiometría

Para la calibración se siguió lo establecido por Richter & Schlapfer (2016) y Geosystems (2014). El archivo de calibración elaborado se observa en la Tabla 15. Cabe recalcar que los valores de *abscalfactor* y *effectivebandwidth* vienen en vatios por metro cuadrado por micrón ($\text{W}/\text{m}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) y deberán transformarse a $\text{mW}/\text{cm}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$.

Tabla 15
Archivo de Calibración GeoEye-1

#	Banda	c0	c1 = 0,1*(abscalfactor/ FWHM)		
			abscalfactor	μm FWHM	$\text{mW}/\text{cm}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$
1	Blue	0	0,008919	0,06	0,014865
2	Green	0	0,0120281	0,07	0,017183
3	Red	0	0,005667901	0,035	0,016194
4	NearInfrared	0	0,0134302	0,14	0,009593

3.3.3.2. Geometría

Se ingresó a ATCOR los valores del *solar azimuth* y el *satellite azimuth*, valores que están disponibles en el metadato (*.IMD) de la imagen. De igual manera para obtener el *solar zenith*, se restó 90° - elevación solar (*sun elevation*). Para determinar el valor del *sensor tilt* se restó 90° - elevación del sensor (*sensor elevation*). Se estableció igualmente 0 Km para el parámetro *ground elevation*. En la Tabla 17 constan los valores ingresados en ATCOR para la imagen GeoEye-1.

3.3.3.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad

Se estableció el mismo modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad aplicado en las imágenes WorldView-2 y RapidEye.

3.3.4. Calibración y corrección para QuickBird

3.3.4.1. Radiometría

La calibración radiométrica de la imagen QuickBird se efectuó de igual forma que las imágenes WorldView-2 y GeoEye-1. El archivo de calibración utilizado se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16
Archivo de calibración de QuickBird

#	Banda	c0	c1 = 0,1*(abscalfactor/ FWHM)		
			abscalfactor	μm FWHM	mW/cm ⁻² sr ⁻¹ μm^{-1}
1	Blue	0	0,0160412	0,068	0,02359
2	Green	0	0,0143847	0,099	0,01453
3	Red	0	0,0126735	0,071	0,01785
4	NearInfrared	0	0,0154242	0,114	0,01353

3.3.4.2. Geometría

Los valores de la geometría de la escena se ingresaron en ATCOR de la misma forma que se realizó con las imágenes WorldView-2. En la Tabla 17 se encuentran los valores ingresados en ATCOR para la imagen QuickBird.

3.3.4.3. Modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad

Se aplicó el mismo modelo de aerosol, modelo atmosférico y visibilidad que las imágenes WorldView-2, GeoEye-1 y RapidEye.

Tabla 17
Valores ingresados en ATCOR para la calibración y corrección

NOMBRE	SOLAR AZIMUTH (GRADOS)	SATELLITE AZIMUTH (GRADOS)	SENSOR TILT (GRADOS)	SUN ELEVATION (GRADOS)	SOLAR ZENITH (GRADOS)
WV-2-1-Multiespectral	46,6	69,8	9,9	58,9	31,1
WV-2-2-Multiespectral	50,8	106,8	8	62,2	27,8
WV-2-3-Multiespectral	77,2	190,6	15,8	68	22
WV-2-4-Multiespectral	63,1	22,2	24,2	68,7	21,3
WV-2-6-Multiespectral	140,8	219,2	22,1	63,5	26,5
WV-2-7-Multiespectral	62,8	286,5	16,2	71,4	18,6
WV-2-8-Multiespectral	62,8	25,6	13,3	68,9	21,1
WV-2-9-Multiespectral	77,2	9,6	13	67,8	22,2
WV-2-11-Multiespectral	46,4	166,8	19,8	58,9	31,1
WV-2-13-Multiespectral	41,4	190	16,6	60,5	29,5
GE1-1-Multiespectral	39,4	255,6	22,3	56	34
QB-1-Multiespectral	58,6	71,2	11,5	62,7	27,3
RE-1	153,86	97,99	20,51	69,37	20,63
RE-2	74,94	279,11	12,66	81,67	8,33
RE-3	149,56	278,08	19,47	75,92	14,08
RE-4	73,50	279,13	12,25	81,62	8,38
RE-5	73,91	279,29	14,23	81,42	8,58

3.4. Corrección geométrica

En el proceso de corrección geométrica se obtuvo un RMS total de 2,6 pixels.

3.4.1. Corrección para WorldView-2, GeoEye-1 y QuickBird

La corrección geométrica de estas imágenes se realizó en el módulo IMAGINE AutoSync Workstation de ERDAS IMAGINE 2014 y se utilizó la metodología propuesta por DigitalGlobe: las imágenes se ortorectificaron con el archivo de coeficientes polinomiales racionales (RPC) que viene incluido con cada escena, el MDT y el ortofotomosaico del SIGTIERRAS; se remuestrearon a un tamaño de píxel

de 2 metros y con el método del vecino cercano, debido a que es el método más utilizado para aplicaciones científicas donde el usuario necesita preservar los valores de los píxeles (DigitalGlobe, 2016a).

3.4.2. Corrección para RapidEye

Las imágenes se georreferenciaron utilizando el módulo IMAGINE AutoSync Workstation de ERDAS IMAGINE 2014. Se utilizó el ortofotomosaico de Guayas del SIGTIERRAS para obtener los puntos de control *tie points*. Para una mejor sobreposición de las imágenes se remuestreó aplicando una transformación polinómica de orden dos –polinomio establecido según Chuvieco (1998)– y el método del vecino cercano con un tamaño de píxel de 2 m. La proyección aplicada fue la Universal Transversal de Mercator Zona 17 Sur (UTM 17S).

3.5. Enmascaramiento de nubes, sombras y agua

Se digitalizó en ArcMap las áreas con nubes, sombras y agua para elaborar una máscara y así eliminar estos elementos no deseados en las imágenes. El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- Creación de una capa vectorial tipo polilínea utilizando la proyección: WGS 1984, UTM, Zona 17, Sur.
- Interpretación de las imágenes satelitales y digitalización de nubes, sombras y agua utilizando la barra de herramientas *Editor* de ArcMap.
- Conversión de la capa vectorial tipo polilínea a una capa vectorial tipo polígono con la herramienta *Feature to Polygon*. Se creó un campo en la tabla de atributos con el nombre MASCARA y con tipo de dato *short integer*, en el que se estableció el valor de 0 para las áreas que se eliminaron y 1 para las áreas que se conservaron.
- Conversión de la capa vectorial tipo polígono a una capa ráster con la herramienta *Feature to Raster*. Se utilizó el campo MASCARA para la creación de la capa ráster, en la cual, se fijó un tamaño de píxel de 2 metros.

- En ERDAS IMAGINE 2014 se utilizó la herramienta *Mask* para el enmascaramiento de nubes, sombras y agua.

La mayoría de las imágenes satelitales tenían una cantidad importante de nubes y sombras, y en consecuencia, una pérdida considerable de información.

3.6. Determinación de áreas para el estudio multitemporal

Después del proceso de enmascaramiento se evaluó la posibilidad de elaborar mosaicos con las imágenes pero existían diferencias importantes en los niveles digitales debido a que las imágenes fueron tomadas en fechas diferentes, otro factor que debe de considerarse es el ángulo de elevación del sol, ya que este ángulo influye en la cantidad de luz que incide en la superficie terrestre, por lo tanto, las diferencias radiométricas entre las imágenes son inevitables y al momento de realización de mosaicos los valores originales de los niveles digitales se ven comprometidos y en consecuencia también la imagen con el NDVI obtenida. Finalmente, se decidió seleccionar las zonas con menor cobertura de nubes y en las que existía la posibilidad de evaluar multitemporalmente el estado fenológico del manglar y la fragmentación ambiental, las zonas se determinaron a través de interpretación de imágenes y se extrajeron con una máscara.

Una vez determinadas las áreas se aplicó las máscaras de nubes, sombras y agua que cada imagen tenía a todas las imágenes de la misma zona. Las zonas se muestran y describen a continuación en la Tabla 18 y en el mapa de la Figura 30:

Tabla 18
Descripción de las zonas de estudio

ZONA DE ESTUDIO	TEMPORALIDADES E IMÁGENES UTILIZADAS	COORDENADAS (UTM WGS 1984) [m]
Zona 1	2002: núm. 29 (QB-1-Multiespectral). 2010: núm. 27 (GE1-1-Multiespectral). 2011: núm. 32 (RE-2). 2015: núm. 17 (WV-2-9-Multiespectral).	P1: (609061, 9705231) P2: (612819, 9694342)
Zona 2	2010: núm. 27 (GE1-1-Multiespectral). 2011: núm. 32 (RE-2). 2015: núm. 17 (WV-2-9-Multiespectral).	P1: (595512, 9705166) P2: (612302, 9694407)
Zona 3	2010: núm. 27 (GE1-1-Multiespectral). 2011: núm. 33 (RE-3). 2012: núm. 7 (WV-2-4-Multiespectral). 2015: núm. 5 (WV-2-3-Multiespectral).	P1: (581339, 9705183) P2: (594631, 9694392)
Zona 4	2010: núm. 1 (WV-2-1-Multiespectral). 2011: núm. 35 (RE-5). 2012: núm. 7 (WV-2-4-Multiespectral).	P1: (580481, 9687499) P2: (594605, 9663505)
Zona 5	2002: núm. 29 (QB-1-Multiespectral). 2011: Mosaico entre núm. 32 (RE-2) y núm. 34 (RE-4). 2015: Mosaico entre núm. 3 (WV-2-2-Multiespectral) y núm. 17 (WV-2-9-Multiespectral).	P1: (609082, 9691301) P2: (615812, 9685478)

La Zona 5 es una de las más importantes debido a que en ésta se evidenció el aumento de manglar entre los años 2002 y 2015. Se decidió elaborar dos mosaicos pero deben recordarse las advertencias mencionadas en este ítem: el mosaico del año 2011 se elaboró con dos imágenes RapidEye, ambas capturadas el mismo día; mientras que, el mosaico del año 2015 se elaboró con dos imágenes WorldView-2 capturadas en el mismo año pero en diferente mes. El módulo MosaicPro de ERDAS IMAGINE 2014 se utilizó para la elaboración de los dos mosaicos.

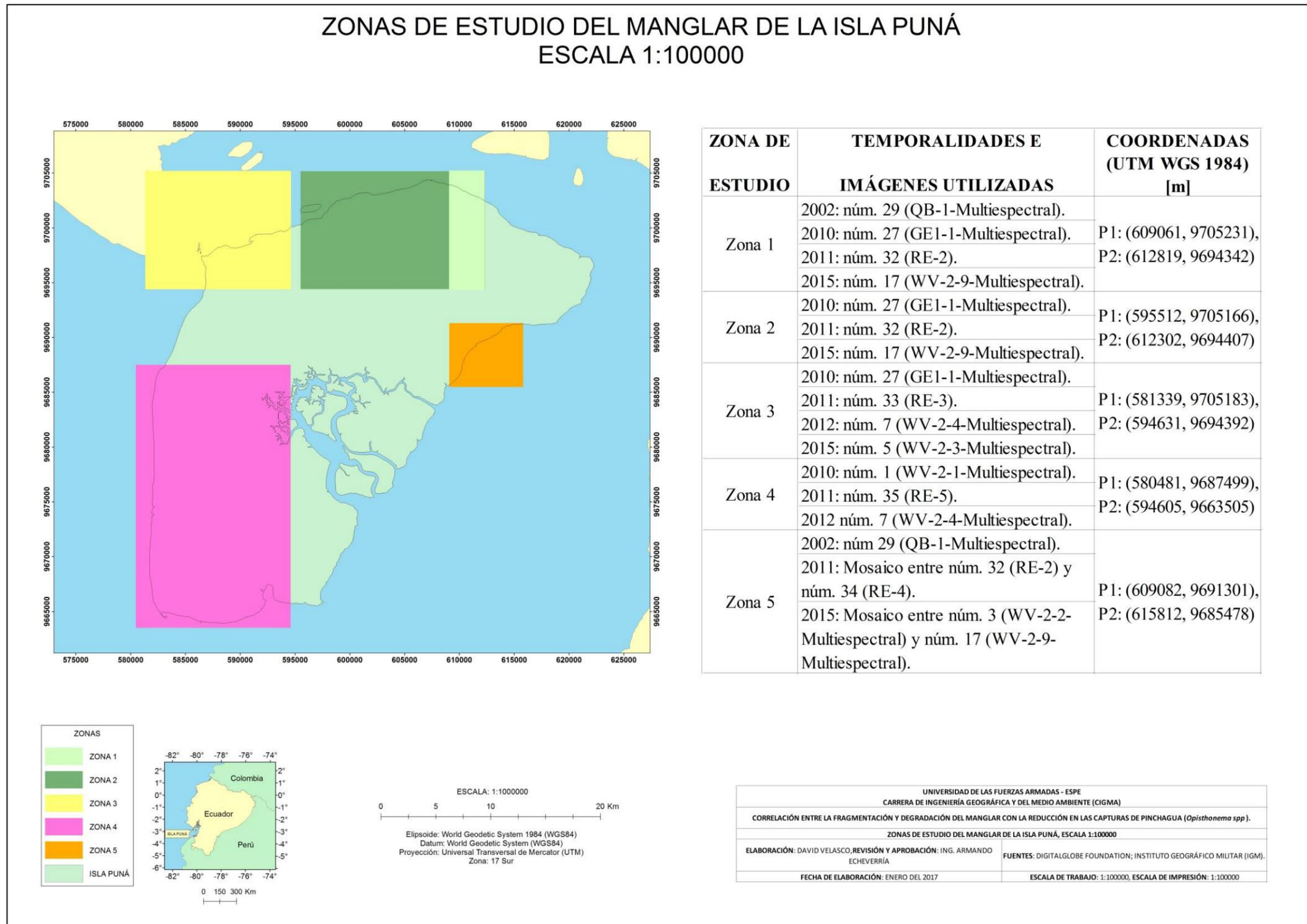


Figura 30 Zonas de estudio del manglar en la isla Puná

3.7. Evaluación de la fragmentación y degradación

El proceso para la determinación de la cantidad de hectáreas ganadas o perdidas de manglar conjuntamente con el valor promedio de NDVI que cada área tenía en diferente año se realizó de la siguiente forma:

- En las zonas de estudio propuestas y con sus respectivas temporalidades se calculó el NDVI.
- De la capa vectorial tipo polígono sobre uso y cobertura del suelo del Guayas se extrajo únicamente los polígonos de manglar en la isla Puná.
- Se actualizaron y crearon nuevos polígonos a través de fotointerpretación y digitalización utilizando las imágenes satelitales correspondientes a las zonas de estudio y temporalidades establecidas.
- Se realizó la conversión de la capa vectorial anterior a una capa vectorial tipo línea a través de la herramienta *Feature to Line*. Se dibujó el límite de cada área de estudio –de acuerdo a la información de la Tabla 18– en cada temporalidad para que así se generen los polígonos al aplicar el paso que sigue a continuación.
- Se realizó la conversión de la capa vectorial tipo línea a una capa vectorial tipo polígono haciendo uso de la herramienta *Feature to Polygon*. En la tabla de atributos de esta capa se crearon los campos MASCARA y AREA: en el campo MASCARA y con tipo de dato *short integer*, se estableció el valor de 0 para las áreas sin presencia de manglar y 1 para las áreas con presencia de manglar; en el campo AREA y con tipo de dato *double* se calculó el área de cada polígono en m^2 para observar la presencia de polígonos con áreas inferiores a $10 m^2$ y así anexarlos al polígono más cercano.
- A través de la herramienta *Dissolve* se determinó la cantidad de hectáreas de manglar ganadas o perdidas en las diferentes temporalidades de cada zona de estudio. Se utilizó el campo MASCARA para la aplicación de la herramienta.
- Se realizó la conversión de la capa vectorial tipo polígono a una capa ráster considerando el campo MASCARA y definiendo un tamaño de píxel de 2

m. El resultado genera una capa ráster con ceros y unos, donde el 0 son áreas sin manglar y 1 son áreas con manglar.

- Para evaluar la degradación ambiental se realizó en ERDAS IMAGINE 2014 la extracción de las zonas de manglar en las imágenes que ya se había calculado el NDVI con la utilización de la capa ráster creada previamente. Se utilizó la herramienta *Mask* y se seleccionó la opción de ignorar los ceros para el cálculo de las estadísticas en la imagen resultante. En el metadato de cada imagen se puede observar el valor promedio de NDVI y otras medidas como la desviación estándar, el valor máximo y el valor mínimo. Las variables planteadas fueron: valor promedio del NDVI de la clase manglar (DEGPROM) y la desviación estándar de la variable DEGPROM (DEGDE).
- Para evaluar la fragmentación ambiental se utilizaron las capas vectoriales tipo polígono en las que se había establecido el valor de 1 para áreas con manglar y 0 para áreas sin manglar y a través de la extensión *Patch Analysis* Versión 5.2.0.16 (Centre for Northern Forest Ecosystem Research (OMNR) y el Sustainable Forest Management Network (NCE)) para ArcGIS (ver Figura 31) y de acuerdo a Romero, Acosta, Tovilla, Schmook, & Gómez (2015) se calcularon las siguientes métricas a nivel de clase: superficie total de la clase manglar (CA), número de parches (NUMP), tamaño medio de los parches (MPS), desviación estándar del tamaño de los parches (PSSD), borde medio de los parches (MPE), índice de promedio de forma de los parches (MSI) y dimensión fractal promedio de los parches (MPFD).

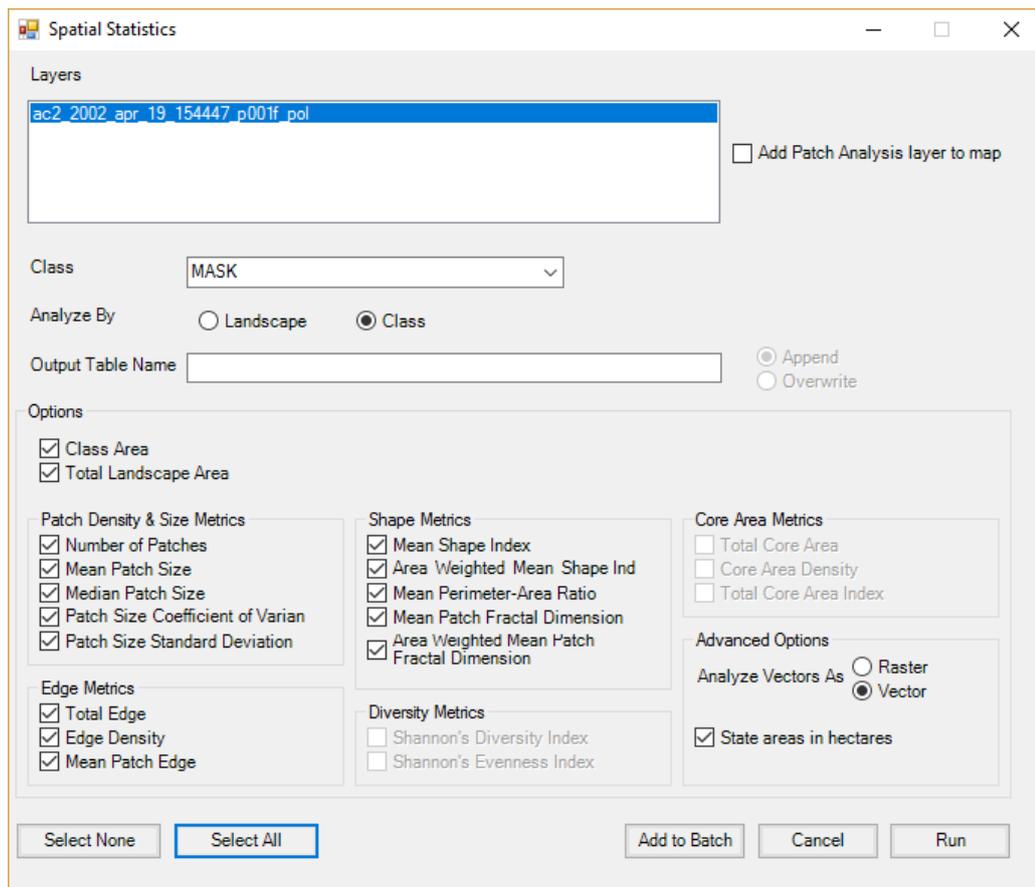


Figura 31 Patch Analyst para ArcGIS, herramienta Spatial Statistics

3.8. Elaboración del mapa de fragmentación y degradación

- En el mapa de fragmentación ambiental se representó la cobertura de manglar obtenida a través de los procesos de interpretación visual y digitalización, y se mostró los valores de las métricas calculadas.
- Para la elaboración del mapa de degradación ambiental se siguió la metodología propuesta por Castro (2013). La metodología se desarrolla en el software ENVI y aplicando el método sustractivo: se realiza la diferencia entre imágenes de dos fechas diferentes en las que se ha calculado el NDVI para la detección de cambios en la salud de la vegetación, se aplican umbrales de cambio automáticos (método Otsu's) y filtros de generalización para obtener los aumentos y descensos en los valores del NDVI.

Es importante mencionar que los estudios de degradación ambiental observan los aumentos y descensos en los valores del NDVI, autores como: Castro (2013) y Lu, Mausel, Brondízio, & Moran (2003) hablan sobre la diferencia entre dos imágenes satelitales en las que se ha calculado el NDVI para la detección de cambios; Meneses (2012) explica cómo utilizar el NDVI como un indicador de degradación ambiental en los bosques y también en otro artículo publicado por la FAO y redactado igualmente por Meneses (2009) se observa a la degradación ambiental a través de mapas en los que se muestran los aumentos y descensos en los valores de NDVI con sus respectivas interpretaciones.

- Para obtener: el % de áreas de manglar con aumento del NDVI, el % de áreas de manglar con descenso del NDVI y el % de áreas de manglar sin cambios del NDVI se realizó el siguiente procedimiento para cada una de las temporalidades de cada zona de estudio:
 - Se realizó en ArcGIS un *Clip* entre las capas: cobertura de manglar en el *año 1* y cobertura de manglar en el *año 2* con la capa vectorial resultante de la diferencia entre dos imágenes satelitales en las que se calculó el NDVI correspondiente a los *años 1* y *2*, obteniéndose los polígonos con: aumento de NDVI, descenso de NDVI y los polígonos en los que no se registraron cambios en el NDVI.
 - Se utilizó la herramienta de geoprocésamiento *Dissolve* para agrupar los polígonos con atributos comunes en las dos capas resultantes del proceso anterior.
 - Después de aplicar el *Dissolve*, se calcularon el número de hectáreas de manglar con: aumento de NDVI, descenso de NDVI y sin cambios en el NDVI.
 - Se calcularon los porcentajes en las dos capas resultantes del proceso previo. En las zonas 1, 3, 4 había únicamente polígonos con aumento del NDVI y descenso del NDVI; mientras en las zonas 2 y 5 existían polígonos con: aumento del NDVI, descenso del NDVI y zonas sin cambios en el NDVI.

- En el capítulo IV, se presentan los porcentajes de degradación ambiental del manglar.

3.9. Elaboración del mapa de cambios en la cobertura del suelo

La elaboración del mapa de cambios no fue posible en toda la superficie de la isla Puná debido a la gran cobertura de nubes que presentaban las imágenes. Se decidió realizar una actualización –a través de interpretación visual y digitalización– de la cartografía proporcionada por el MAGAP y haciendo uso de las imágenes satelitales entregadas por la DigitalGlobe Foundation. En la Tabla 19 constan las coordenadas del área en la que se detectaron los cambios así como las imágenes satelitales utilizadas:

Tabla 19
Temporalidades e imágenes para el mapa de cambios

TEMPORALIDADES E IMÁGENES UTILIZADAS	COORDENADAS (UTM WGS 1984) [m]
2002: núm. 29 (QB-1-Multiespectral).	
2011: núm. 25 (WV-2-13-Multiespectral).	P1: (610688, 9704752)
2015: núm. 3 (WV-2-2-Multiespectral) y núm. 11 (WV-2-6-Multiespectral).	P2: (623528, 9688294)

La interpretación visual y la digitalización se realizaron a escala 1:10000 y mayores. Se consideró una unidad mínima de mapeo (UMM) de 1 hectárea, correspondiente a un mapa de escala 1:25000. Se elaboraron dos mapas de cambio en la cobertura del suelo: 2002 – 2011 y 2011 – 2015.

Se aplicó en ArcGIS la herramienta diferencia simétrica para así obtener las zonas con cambios en la cobertura del suelo para las siguientes clases: área salina, banco de arena, barbecho, bosque seco muy alterado, bosque seco medianamente alterado, bosque seco poco alterado, cacao, camaronera, chirimoya, ciruelo, cocotero,

lago/laguna, maíz, manglar muy alterado, manglar medianamente alterado, mango, matorral seco muy alterado, matorral seco medianamente alterado, misceláneo de frutales, misceláneo indiferenciado, papaya, pasto cultivado, playa, río doble, saman, sandía urbano y vegetación herbácea seca muy alterada.

Es importante mencionar que para la detección de los cambios entre los años 2011 y el año 2015 hubo muchos inconvenientes a consecuencia del alto porcentaje de cobertura de nubes, por lo tanto, se realizó la interpretación visual y la digitalización en lo que se observaba perfectamente. Los mapas y las tasas de cambio en la cobertura del suelo se presentan en el capítulo IV.

3.10. Cálculo de las tasas de variación

Se calcularon las tasas de cambio en la cobertura del suelo, la tasa de deforestación del manglar y la tasa de fragmentación ambiental, descritas en el marco teórico en el ítem 2.2.7. Se propuso, obedeciendo al concepto de tasa de variación, la tasa de degradación ambiental y la tasa de captura de pinchagua.

3.10.1. Tasa de degradación ambiental (TDA)

Con los valores promedio de NDVI obtenidos después de la extracción del manglar de las imágenes con el NDVI se calcularon tasas de variación. El concepto matemático de tasa de variación se aplica de igual forma para la degradación ambiental. En la ecuación 11 se muestra la tasa de degradación ambiental:

$$TDA = \left(\left(\frac{NDVI \text{ promedio}_2}{NDVI \text{ promedio}_1} \right)^{1/n} - 1 \right) \cdot 100 \quad (11)$$

TDA: Tasa de degradación ambiental

NDVI promedio₂: Valor de NDVI promedio en el tiempo 2

NDVI promedio₁: Valor de NDVI promedio en el tiempo 1

n: Es el número de años entre las dos fechas

3.10.2. Tasa de captura de pinchagua (TCP)

La tasa de captura de pinchagua se definió como está establecido en la ecuación 12:

$$TCP = \left(\left(\frac{\text{Captura de pinchagua}_2}{\text{Captura de pinchagua}_1} \right)^{1/n} - 1 \right) \cdot 100 \quad (12)$$

TCP: Tasa de captura de pinchagua

Captura de pinchagua₂: Captura de pinchagua en el tiempo 2

Captura de pinchagua₁: Captura de pinchagua en el tiempo 1

n: Es el número de años entre las dos fechas

3.11. Comprobación de la normalidad

Para la comprobar si las observaciones se ajustaban a la distribución de probabilidad normal se aplicó el test de Shapiro – Wilk con el software fue IBM SPSS Statistics 23.

Se comprobó la normalidad de las variables: degradación ambiental –como NDVI promedio– (DEGPROM), desviación estándar de la degradación ambiental (DEGDE), superficie total de la clase manglar (CA), número de parches (NUMP), tamaño medio de los parches (MPS), desviación estándar del tamaño de los parches (PSSD), borde medio de los parches (MPE), índice de promedio de forma de los parches (MSI), dimensión fractal promedio de los parches (MPFD) y en los datos de captura de pinchagua en el área de estudio (CAPTURA).

El test de Shapiro – Wilk se aplicó con un nivel de significancia del 95% ($\alpha=0,05$) y con las siguientes hipótesis nula (Ho) e hipótesis alternativa (Ha):

- Ho: La distribución de probabilidad de la variable es normal.
- Ha: La distribución de probabilidad de la variable no es normal (o es distinta de la normal).

3.12. Análisis de la correlación no paramétrica

Se calculó en IBM SPSS Statistics 23 el coeficiente de correlación por rangos de Spearman al comprobarse que algunas variables no se ajustaban a una distribución de probabilidad normal. Considerando lo establecido por (E. Galindo, 2010), se aplicó la prueba de correlación por rangos de Spearman donde la hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_a) establecen que:

- H_0 : No existe correlación estadística entre la variable x con la variable y analizadas.
- $H_0: \rho = 0$
- H_a : Existe correlación estadística entre la variable x con la variable y analizadas.
- $H_a: \rho \neq 0$

3.13. Modelo de regresión lineal múltiple

Como algunas de las variables no se ajustaban a una distribución normal –requisito para correr la regresión lineal múltiple– se decidió transformar los datos usando $\text{Log}_{10}(x)$, pero no fue posible normalizar algunas variables, como la variable dependiente CAPTURA y las variables independientes CA, NUMP y MPE. Considerando los bajos coeficientes de correlación obtenidos entre las variables de fragmentación ambiental y degradación ambiental con la variable CAPTURA, no se prosiguió a la obtención o elaboración del modelo matemático, ya que no se puede modelar si no se tienen correlaciones muy altas (cercanas a ± 1) (Echeverría & Tierra, 2010).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES:

En este capítulo se presentan: en el ítem 4.1. los resultados de degradación ambiental y fragmentación ambiental por zona de estudio y también las capturas de pinchagua, posteriormente se muestran las tasas de variación, seguidamente la comprobación de la normalidad de las variables y finalmente se exponen los coeficientes de correlación; en el ítem 4.2. se indican los mapas de degradación ambiental, mapas de fragmentación ambiental y los mapas de cambios en la cobertura del suelo. Y en el ítem 4.3. se realiza la interpretación de los resultados y las discusiones.

4.1. Resultados

4.1.1. Degradación, fragmentación y capturas por zonas de estudio

A continuación en la Tabla 20 se muestran los resultados de degradación ambiental, fragmentación ambiental y las capturas de pinchagua para las cinco zonas de estudio, respectivamente:

En las Tablas 21, 22, 23, 24 y 25 se muestran los porcentajes: % de áreas de manglar con aumento del NDVI, el % de áreas de manglar con descenso del NDVI y el % de áreas de manglar sin cambios del NDVI correspondientes a cada ráster de degradación ambiental tras realizar el proceso establecido en el ítem 3.8.

Tabla 20
Resultados de degradación, fragmentación y capturas de pinchagua

	AÑO	DEGRADACIÓN				FRAGMENTACIÓN					PESCA
		DEGPROM	DEGDE	CA	NUMP	MPS	PSSD	MPE	MSI	MPFD	CAPTURA
ZONA 1	2002	0,806	0,129	131,88	4	32,97	51,94	4807,69	2,409	1,454	411,50
	2010	0,842	0,157	137,84	3	45,95	56,10	6348,51	2,564	1,415	79,71
	2011	0,716	0,142	134,83	3	44,94	54,69	5952,13	2,479	1,412	88,60
	2015	0,754	0,141	135,19	2	67,59	54,29	9115,15	3,258	1,378	132,96
ZONA 2	2010	0,813	0,175	640,66	17	37,69	62,20	6326,49	3,150	1,407	79,71
	2011	0,685	0,136	621,90	14	44,42	66,25	7330,80	3,473	1,426	88,60
	2015	0,742	0,152	645,94	15	43,06	67,07	6921,20	3,436	1,431	132,96
ZONA 3	2010	0,799	0,154	236,00	6	39,33	81,28	6525,10	3,906	1,475	79,71
	2011	0,651	0,117	236,36	6	39,39	81,60	6418,39	3,540	1,450	88,60
	2012	0,801	0,163	236,16	6	39,36	81,61	6527,18	3,732	1,466	100,40
	2015	0,754	0,178	237,27	6	39,54	82	6210,35	3,462	1,450	132,96
ZONA 4	2010	0,713	0,198	1542,55	103	14,98	20,90	4373,27	3,246	1,429	79,71
	2011	0,7	0,191	1536,34	103	14,92	20,88	4352,99	3,243	1,433	88,60
	2012	0,767	0,202	1537,25	102	15,07	21	4367,87	3,237	1,432	100,40
ZONA 5	2002	0,834	0,141	129,33	4	32,33	52,58	4814,15	2,139	1,350	411,50
	2011	0,783	0,113	217,35	3	72,45	76,60	10231,44	3,387	1,393	88,60
	2015	0,766	0,155	245,89	3	81,97	81,51	14032,07	4,482	1,432	132,96

Tabla 21
Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 1

TEMPO- RALIDAD	AÑO DE LA COBERTURA	Zonas con aumento o descenso del NDVI (Ha)		% de áreas con aumento o descenso del NDVI	
		Aumento	Descenso	Aumento	Descenso
2002 - 2010	2002	119,92	11,79	91,05	8,95
	2010	125,66	12,00	91,28	8,72
2010 - 2011	2010	0,87	136,79	0,63	99,37
	2011	0,85	133,80	0,63	99,37
2011 - 2015	2011	98,21	36,52	72,89	27,11
	2015	100,60	34,49	74,47	25,53

Tabla 22
Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 2

TEMPO- RALIDAD	AÑO DE LA COBERTUR A	Zonas con aumento o descenso del NDVI (Ha) y Zonas sin cambios			% de áreas con aumento o descenso del NDVI y Zonas sin cambios		
		Aumento	Descenso	Sin cambios	Aumento	Descenso	Sin cambios
2010	2010	17,51	40,43	582,49	2,73	6,31	90,95
-	2011	17,42	24,53	579,72	2,80	3,95	93,25
2011	2011	546,70	3,51	71,49	87,94	0,56	11,50
-	2015	572,95	3,16	69,66	88,72	0,49	10,79

Tabla 23
Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 3

TEMPO- RALIDAD	AÑO DE LA COBERTURA	Zonas con aumento o descenso del NDVI (Ha)		% de áreas con aumento o descenso del NDVI	
		Aumento	Descenso	Aumento	Descenso
2010 - 2011	2010	2,38	233,61	1,01	98,99
	2011	3,55	232,82	1,50	98,50
2011 - 2012	2011	234,10	2,22	99,06	0,94
	2012	233,71	2,42	98,98	1,02
2012 - 2015	2012	24,12	212,03	10,21	89,79
	2015	24,79	212,46	10,45	89,55

Tabla 24
Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 4

TEMPO- RALIDAD	AÑO DE LA COBERTURA	Zonas con aumento o descenso del NDVI (Ha)		% de áreas con aumento o descenso del NDVI	
		Aumento	Descenso	Aumento	Descenso
2010 - 2011	2010	378,60	1077,32	26,00	74,00
	2011	378,58	1071,14	26,11	73,89
2011 - 2012	2011	1411,46	38,02	97,38	2,62
	2012	1412,55	37,85	97,39	2,61

Tabla 25
Degradación ambiental del manglar en la zona de estudio 5

TEMPO- RALIDAD	AÑO DE LA COBERTUR A	Zonas con aumento o descenso del NDVI (Ha) y Zonas sin cambios			% de áreas con aumento o descenso del NDVI y Zonas sin cambios		
		Aumento	Descenso	Sin cambios	Aumento	Descenso	Sin cambios
2002	2002	0,08	14,77	114,48	0,06	11,42	88,52
2011	2011	83,78	2,48	131,09	38,55	1,14	60,32
2011	2011	0,03	0,06	217,26	0,01	0,03	99,96
2015	2015	21,89	0,06	223,94	8,90	0,02	91,07

4.1.2. Tasas de variación

4.1.2.1. Fragmentación, degradación y pesca

En la Tabla 26 se muestran las tasas de variación que se calcularon con los resultados de degradación ambiental, fragmentación ambiental y con las capturas de pinchagua.

Tabla 26
Tasas de variación

ZONA	TEMPORALIDAD	DEFORESTACIÓN ¹⁰	FRAGMENTACIÓN	DEGRADACIÓN	PESCA
ZONA 1	2002 - 2010	0,55	-3,53	0,55	-18,55
	2010 - 2011	-2,18	0	-14,96	11,15
	2011 - 2015	0,07	-9,64	1,30	10,68
ZONA 2	2010 - 2011	-2,93	-17,65	-15,74	11,15
	2011 - 2015	0,95	1,74	2,02	10,68
ZONA 3	2010 - 2011	0,16	0	-18,52	11,15
	2011 - 2012	-0,08	0	23,04	13,32
	2012 - 2015	0,16	0	-1,995	9,81
ZONA 4	2010 - 2011	-0,40	0	-1,82	11,15
	2011 - 2012	0,06	-0,97	9,57	13,32
ZONA 5	2002 - 2011	5,94	-3,15	-0,70	-15,69
	2011 - 2015	3,13	0	-0,55	10,68

¹⁰ Las tasas con signo negativo corresponden a tasas de deforestación, pero éste signo negativo se omite en algunos estudios ambientales. Las tasas con signo positivo indican regeneración del manglar.

4.1.2.2. Mapas de cambios en la cobertura del suelo

En la Tabla 27, se muestran las tasas de cambio para el mapa de cambios en la cobertura del suelo.

Tabla 27
Tasas de cambio del mapa de cambios en la cobertura del suelo

COBERTURA	2002 (Ha)	2011 (Ha)	2015 (Ha)	TASA	TASA
				2002 - 2011	2011 - 2015
ÁREA SALINA	70,81	70,81	71,90	0	0,39
BANCO DE ARENA	6,88	7,06	12,71	0,29	15,82
BARBECHO	1,60	1,60	1,60	0	0
BOSQUE SECO MEDIANAMENTE ALTERADO	44,12	41,08	41,08	-0,79	0
BOSQUE SECO MUY ALTERADO	3,86	3,86	3,86	0	0
BOSQUE SECO POCO ALTERADO	4630,37	4546,48	4378,70	-0,20	-0,94
CACAO	3,85	4,06	4,06	0,60	0
CAMARONERA	813,06	830,87	952,09	0,24	3,46
CHIRIMOYA	336,13	360,48	365,19	0,78	0,33
CIRUELO	8,39	8,39	8,39	0	0
COCOTERO	0,96	0,96	0,96	0	0
LAGO/LAGUNA	0,22	0,22	0,22	0	0
MAÍZ	85,19	94,17	95,08	1,12	0,24
MANGLAR MEDIANAMENTE ALTERADO	304,98	313,45	313,77	0,30	0,03
MANGLAR MUY ALTERADO	217,85	314,47	340,89	4,16	2,04
MANGO	78,19	98,16	103,49	2,56	1,33
MATORRAL SECO MEDIANAMENTE ALTERADO	1186,61	1163,34	1148,04	-0,22	-0,33
MATORRAL SECO MUY ALTERADO	440,34	456,26	456,26	0,40	0
MISCELÁNEO DE FRUTALES	2,85	2,85	2,85	0	0
MISCELÁNEO INDIFERENCIADO	37,30	37,30	37,30	0	0
PAPAYA	1,47	1,47	1,47	0	0
PASTO CULTIVADO	21,55	19,71	19,71	-0,98	0
PLAYA	1,44	1,44	1,44	0	0
RÍO DOBLE	16,11	16,11	16,11	0	0
SAMAN	7,05	7,05	7,05	0	0
SANDÍA	1,74	1,74	1,74	0	0
URBANO	21,78	21,78	21,78	0	0
VEGETACIÓN HERBÁCEA SECA MUY ALTERADA	1626,46	1645,50	1695,31	0,13	0,75

4.1.3. Resultados de la comprobación de la normalidad

De acuerdo a Pérez (2004), las variables que participan en un método de análisis multivariante o univariante deben ser normales. El contraste de normalidad de Shapiro – Wilk es un contraste específico para normalidad: se rechaza la hipótesis nula (H_0), la que establece que los datos siguen una distribución normal, cuando el p-valor es menor que el nivel de significancia α . En este proyecto se seleccionó un $\alpha = 0,05$. En la Figura 32 se muestra los resultados obtenidos aplicarse el test en el programa SPSS:

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DEGPROM	,116	17	,200 [*]	,971	17	,836
CA	,337	17	,000	,692	17	,000
NUMP	,392	17	,000	,561	17	,000
MPS	,230	17	,017	,898	17	,062
MPE	,241	17	,010	,805	17	,002
MSI	,201	17	,066	,940	17	,320
MPFD	,153	17	,200 [*]	,953	17	,514
CAPTURA	,395	17	,000	,541	17	,000

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 32 Pruebas de normalidad en SPSS

Se comprobó que el p-valor (en SPSS *Sig.*) es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0,05$ en las variables CA, NUMP, MPE y CAPTURA: con lo que se comprueba que los datos de esas variables no provienen de una distribución normal. Las variables que provienen de una distribución normal al aplicarse el test son: DEGPROM, MPS, MSI y MPFD.

Al verificar que las variables CA, NUMP y MPE no provenían de una distribución normal se decidió transformar los datos (normalizar) usando $\text{Log}_{10}(x)$, de la misma manera que Ruiz et al. (2013) lo hicieron en las variables de fragmentación ambiental que calcularon (ver Figura 33), pero al aplicar nuevamente el test de Shapiro – Wilk se comprobó que las variables no seguían una distribución normal.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CA	,337	17	,000	,692	17	,000
NUMP	,392	17	,000	,561	17	,000
MPE	,241	17	,010	,805	17	,002

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 33 Pruebas de normalidad para las variables CA, NUMP y MPE

En la variable CAPTURA se aplicaron las transformaciones de datos $\text{Log}_{10}(x)$, \sqrt{x} , $\sqrt[3]{x}$, $\sqrt[4]{x}$, $1/x$, $1/(x+1)$ para una variable que tenga un coeficientes de asimetría con signo positivo, en la Figura 34 se muestran los resultados que SPSS proporcionó:

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CAPTURA	,395	17	,000	,541	17	,000
CAPTURA_LOG10	,275	17	,001	,684	17	,000
CAPTURA_RAIZ	,340	17	,000	,608	17	,000
CAPT_RAIZ3	,319	17	,000	,633	17	,000
CAPT_RAIZ4	,308	17	,000	,646	17	,000
CAPT_INV	,238	17	,011	,816	17	,003
CAPT_INV2	,238	17	,011	,815	17	,003

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 34 Pruebas de normalidad para la variable CAPTURA

Nuevamente se observó que las variables CAPTURA, CA, NUMP y MPE no seguían una distribución normal. Por lo tanto bajo esta condición se hizo necesaria la aplicación del coeficiente de correlación no paramétrico por rangos de Spearman.

4.1.4. Coeficientes de correlación por rangos de Spearman

Con el fin de calcular el coeficiente lineal de Pearson y tras evidenciar la presencia de variables que no provenían de una distribución normal y no se normalizaban tras realizar las transformaciones de datos para datos no distribuidos normalmente se decidió optar por la estadística no paramétrica y en concreto por el coeficiente por

rangos de Spearman. A continuación, en la Figura 35, se muestran los coeficientes calculados entre las variables de degradación ambiental, fragmentación ambiental y capturas de pinchagua que SPSS calculó:

			Correlaciones							
Rho de Spearman	DEGPROM		DEGPROM	CA	NUMP	MPS	MPE	MSI	MPFD	CAPTURA
		Coefficiente de correlación	1,000	-,466	-,328	-,013	-,012	-,364	-,139	,097
		Sig. (bilateral)		,059	,199	,959	,963	,151	,596	,711
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	CA	Coefficiente de correlación	-,466	1,000	,827**	-,353	-,179	,319	,225	-,325
		Sig. (bilateral)	,059		,000	,165	,492	,213	,384	,204
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	NUMP	Coefficiente de correlación	-,328	,827**	1,000	-,758**	-,523*	,046	,335	-,298
		Sig. (bilateral)	,199	,000		,000	,031	,861	,188	,245
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	MPS	Coefficiente de correlación	-,013	-,353	-,758**	1,000	,838**	,348	-,319	,081
		Sig. (bilateral)	,959	,165	,000		,000	,171	,213	,759
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	MPE	Coefficiente de correlación	-,012	-,179	-,523*	,838**	1,000	,642**	-,159	,068
		Sig. (bilateral)	,963	,492	,031	,000		,005	,541	,796
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	MSI	Coefficiente de correlación	-,364	,319	,046	,348	,642**	1,000	,488*	-,086
		Sig. (bilateral)	,151	,213	,861	,171	,005		,047	,744
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	MPFD	Coefficiente de correlación	-,139	,225	,335	-,319	-,159	,488*	1,000	,010
		Sig. (bilateral)	,596	,384	,188	,213	,541	,047		,969
		N	17	17	17	17	17	17	17	17
	CAPTURA	Coefficiente de correlación	,097	-,325	-,298	,081	,068	-,086	,010	1,000
		Sig. (bilateral)	,711	,204	,245	,759	,796	,744	,969	
		N	17	17	17	17	17	17	17	17

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Figura 35 Correlaciones no paramétricas

De la figura anterior se puede comprobar que existen correlaciones estadísticas muy bajas entre las variables de degradación ambiental y fragmentación ambiental con las capturas de pinchagua.

De acuerdo a E. Galindo (2010) para rechazar la hipótesis nula (H_0), que establece: no existe correlación entre las variables que se analizan, el coeficiente de correlación calculado debe ser mayor que $r_{0,05}(17) = 0,485^{11}$ para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Se observa que ningún coeficiente de correlación es mayor que 0,485 y por lo tanto se establece que no existe una correlación estadística entre las variables involucradas en el análisis.

¹¹ El valor se obtiene de una tabla estadística que contenga los puntos porcentuales de la distribución del coeficiente de correlación de Spearman considerando un nivel de probabilidad (α) – bilateral.

4.2. Mapas

De la Figura 36 a la 49 se muestran los mapas de degradación ambiental y fragmentación ambiental para las cinco zonas de estudio y también los mapas de cambio en la cobertura del suelo.

Los mapas pueden solicitarse al correo dvelascovsquez@gmail.com o descargarse del siguiente enlace: https://1drv.ms/f/s!AikCplx_-2Z_inKQPWTyTE_QX2vU

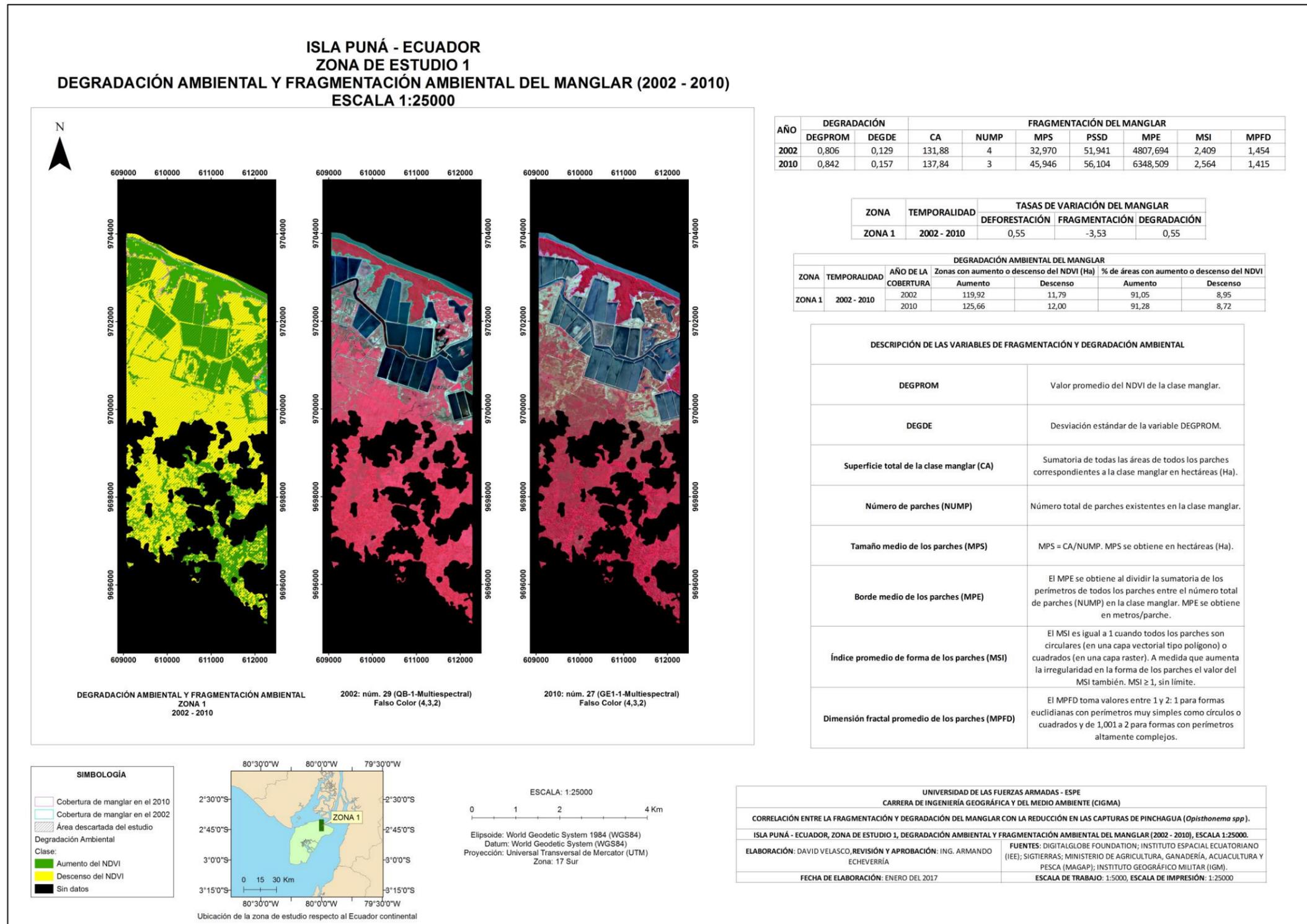


Figura 36 Mapa de degradación y fragmentación, zona 1, (2002 – 2010).

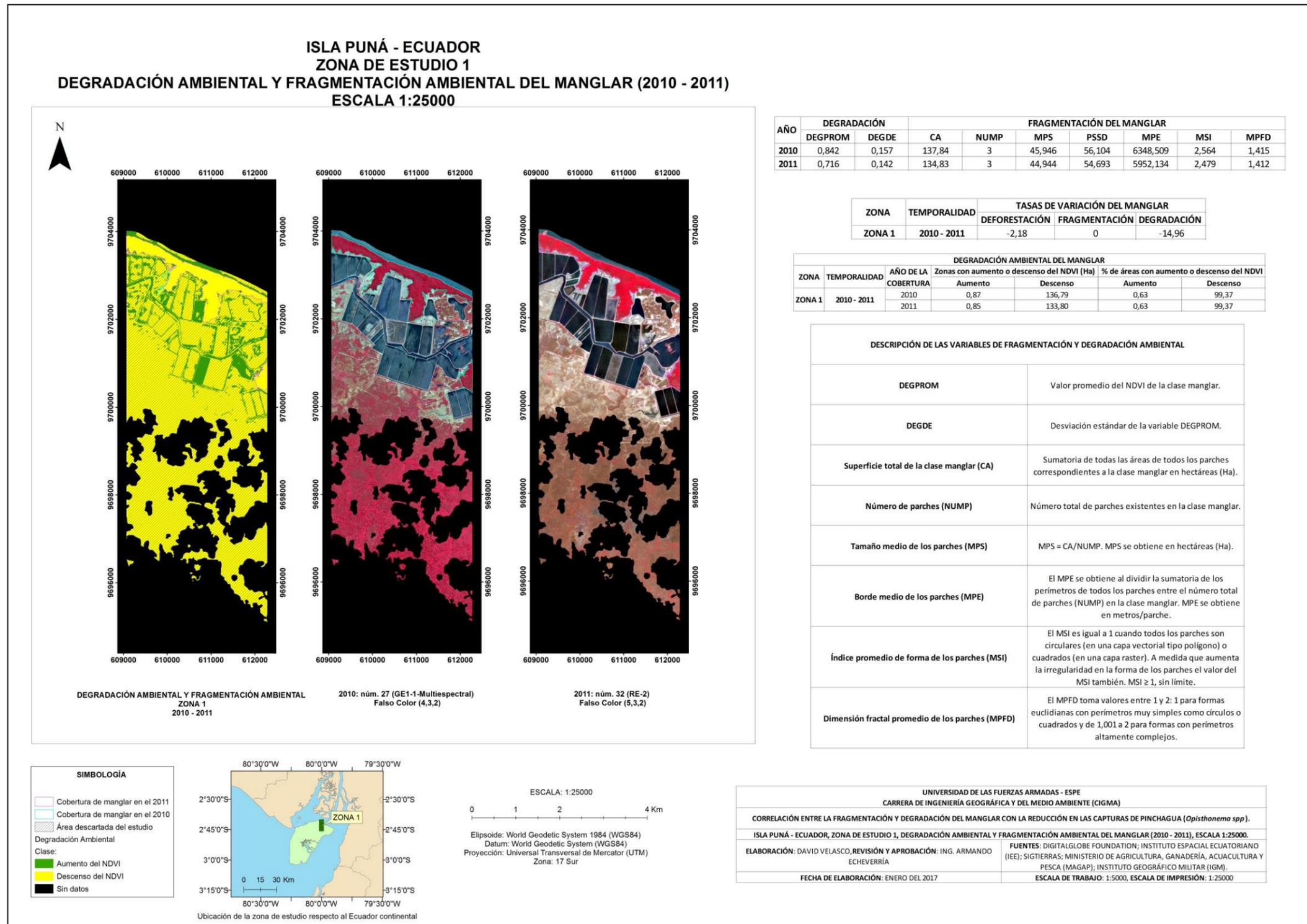


Figura 37 Mapa de degradación y fragmentación, zona 1, (2010 – 2011).

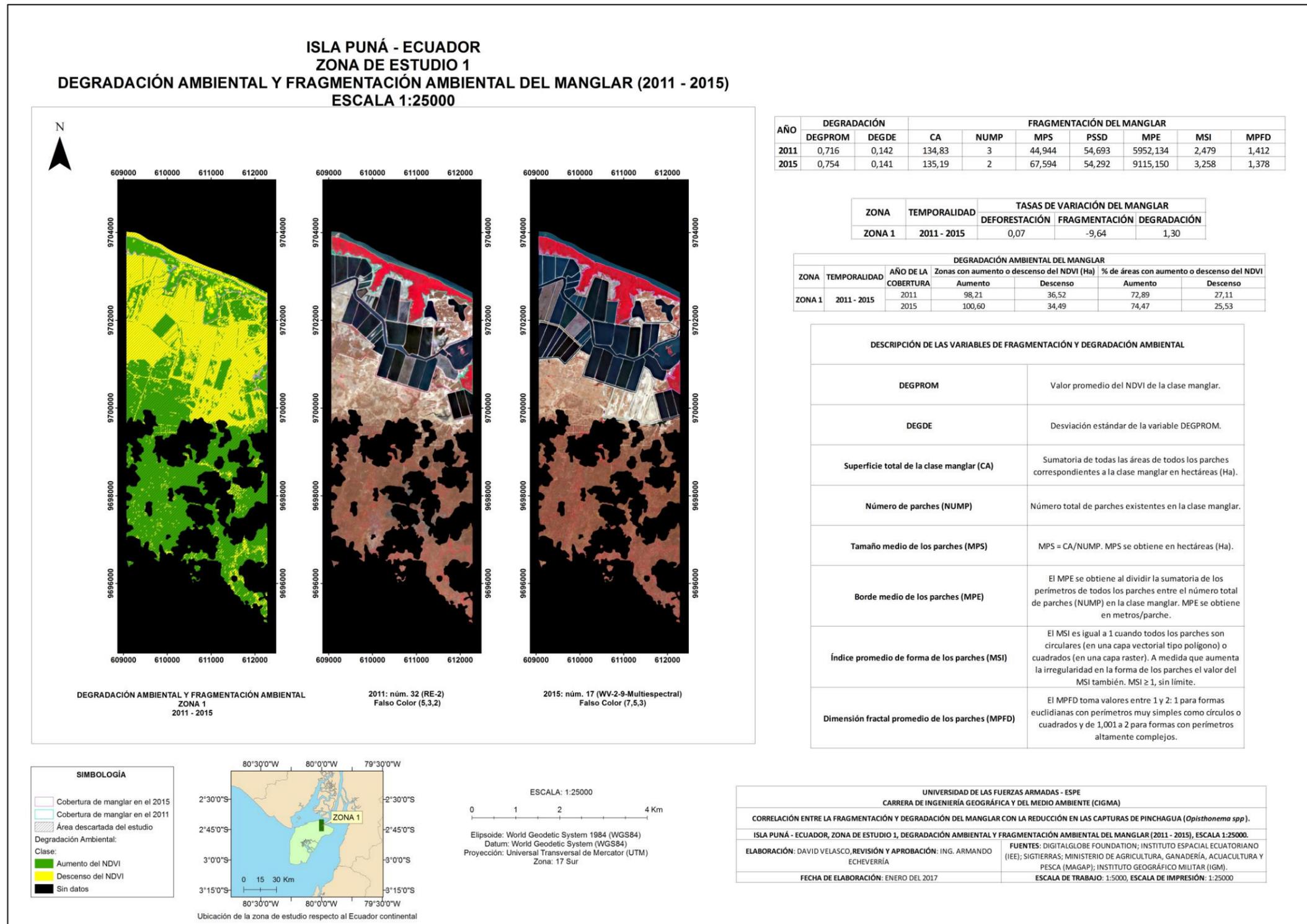


Figura 38 Mapa de degradación y fragmentación, zona 1, (2011 – 2015).

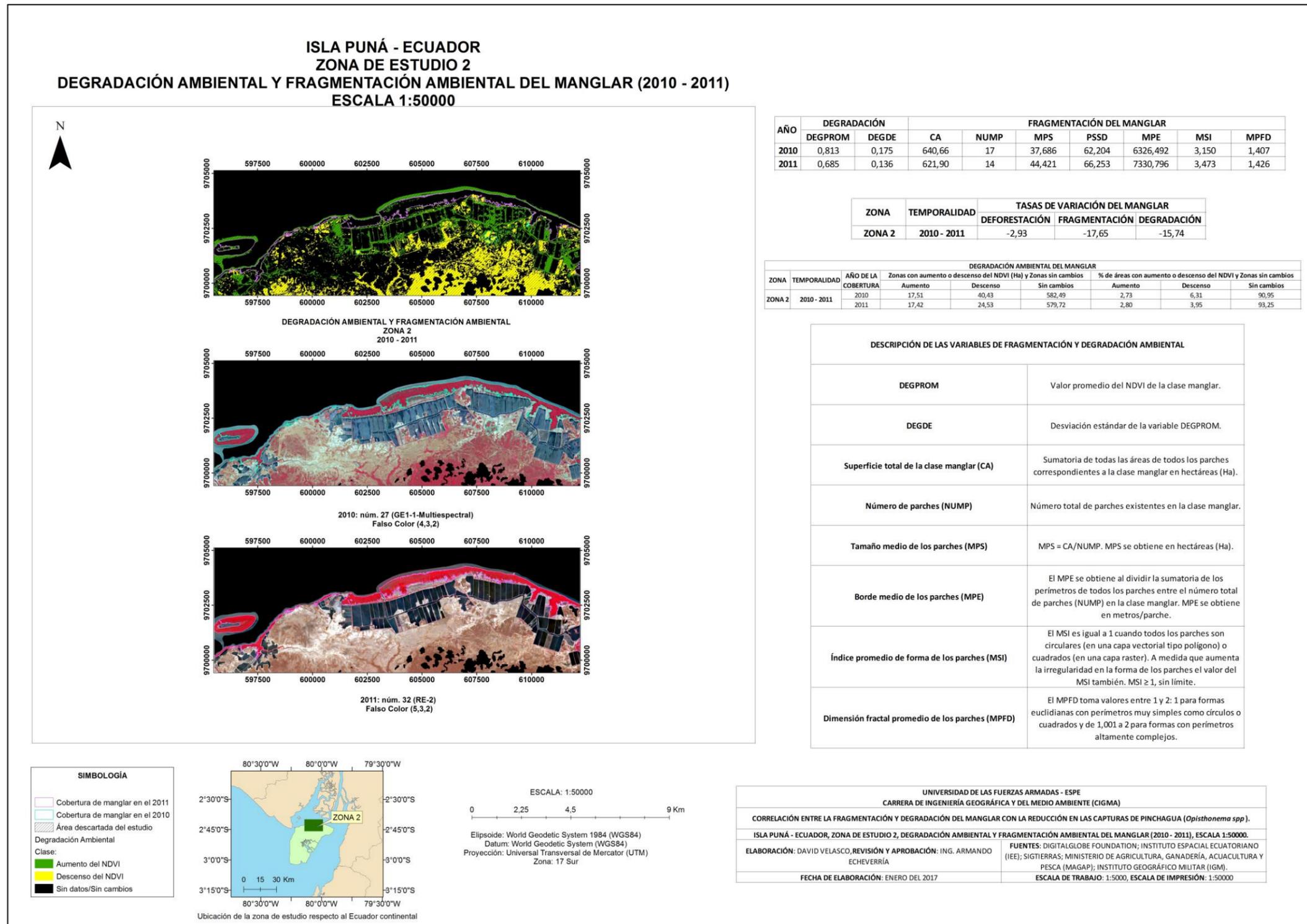


Figura 39 Mapa de degradación y fragmentación, zona 2, (2010 – 2011).

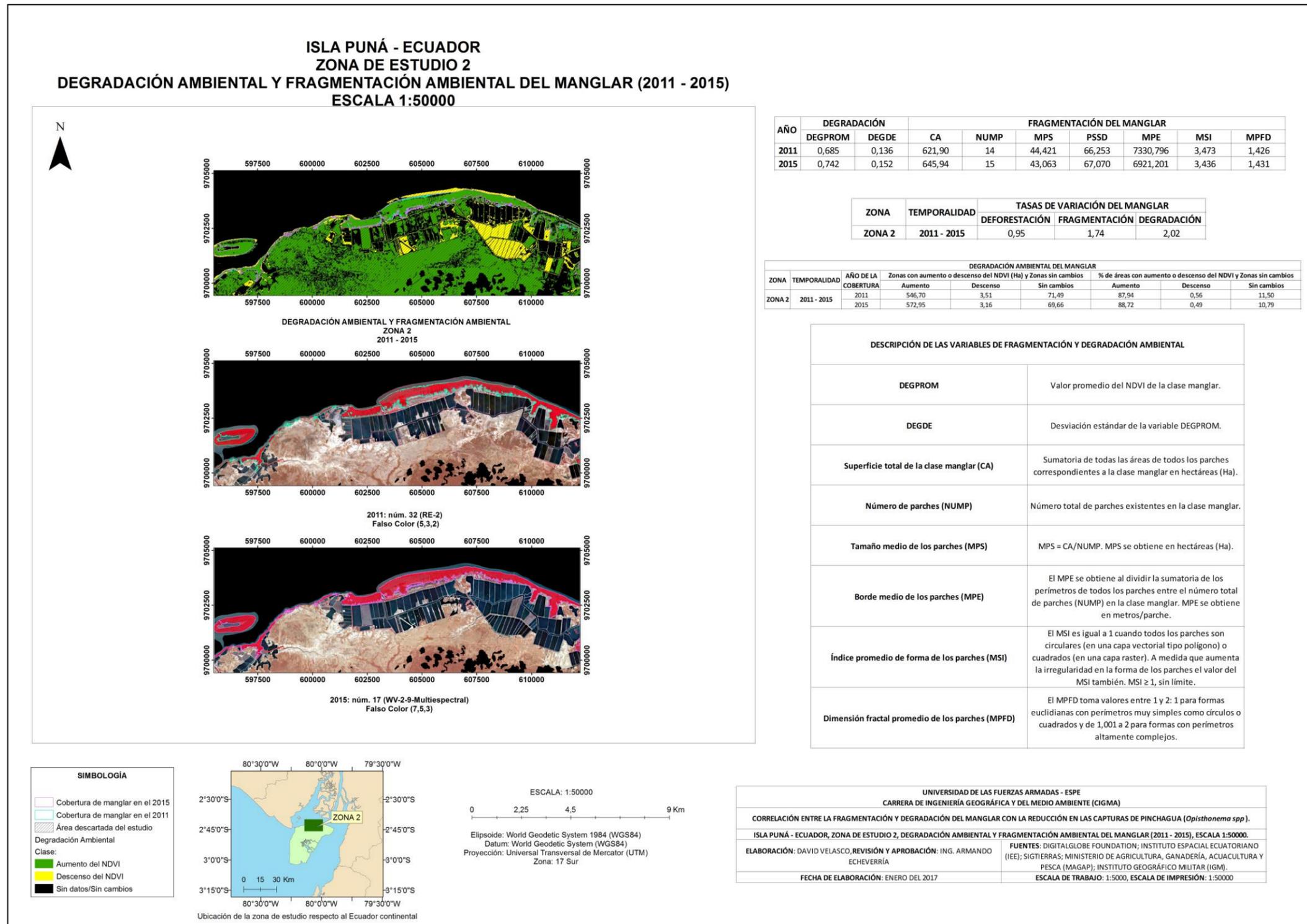


Figura 40 Mapa de degradación y fragmentación, zona 2, (2011 – 2015).

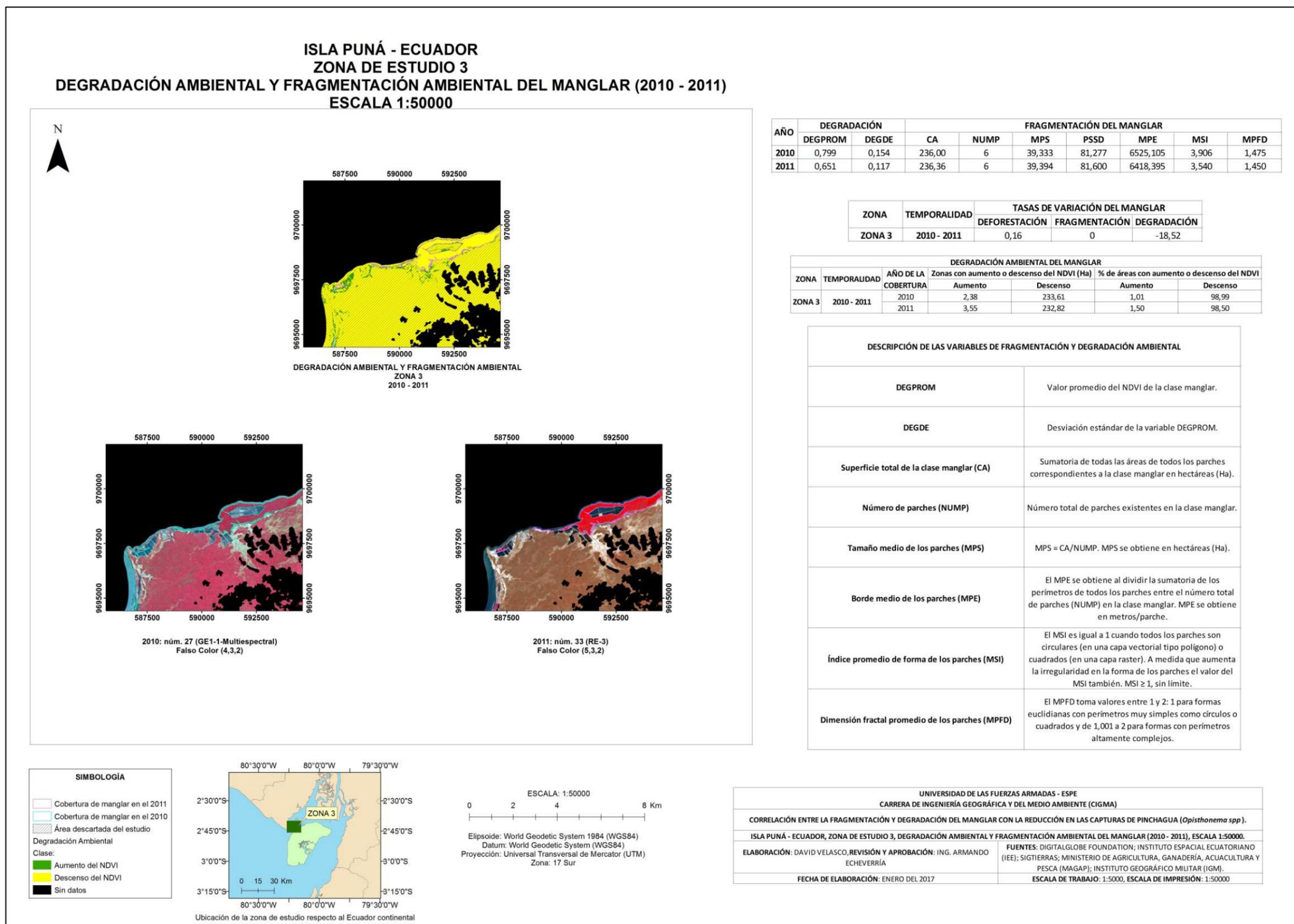


Figura 41 Mapa de degradación y fragmentación, zona 3, (2010 – 2011).

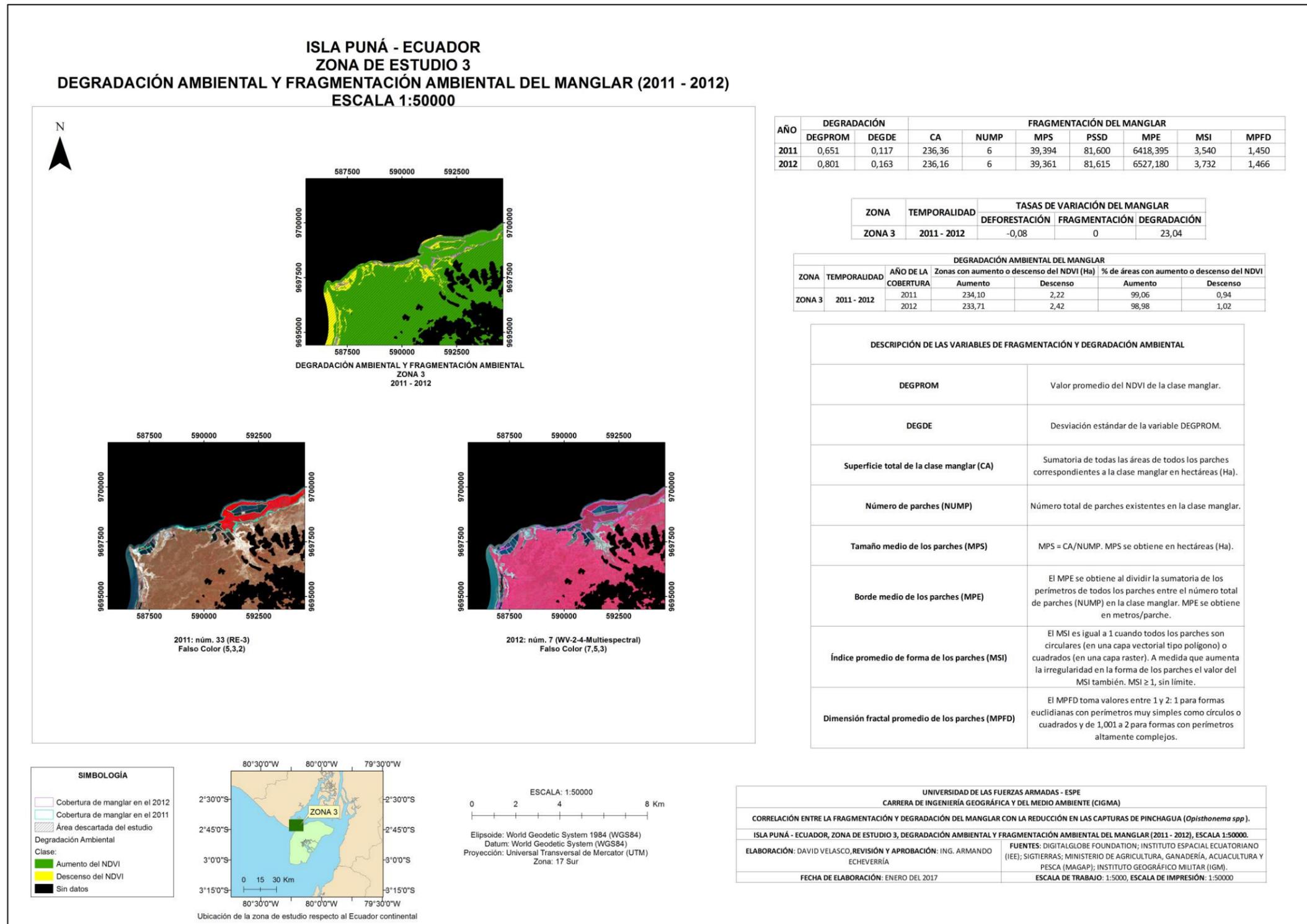


Figura 42 Mapa de degradación y fragmentación, zona 3, (2011 – 2012).

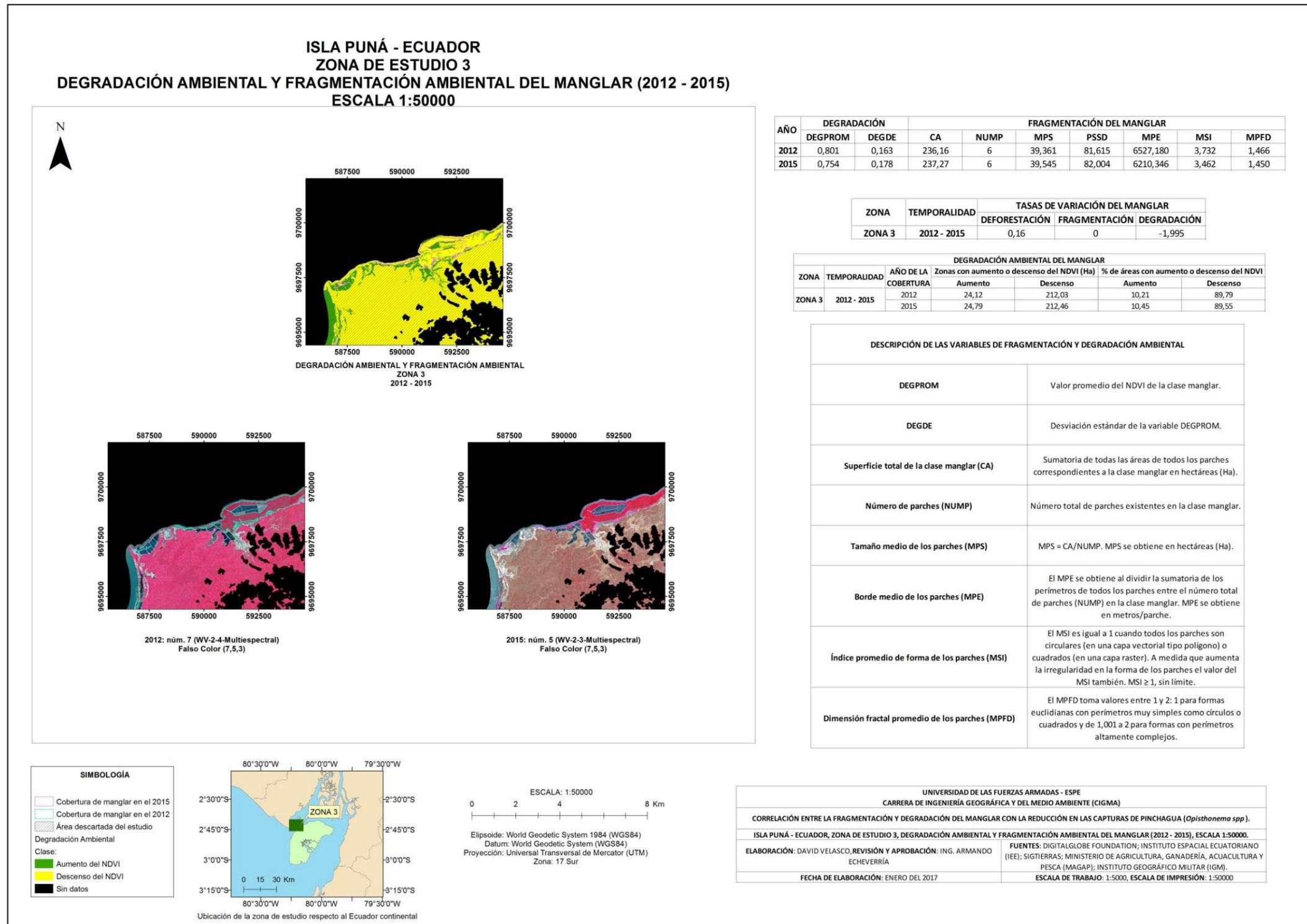


Figura 43 Mapa de degradación y fragmentación, zona 3, (2012 – 2015).

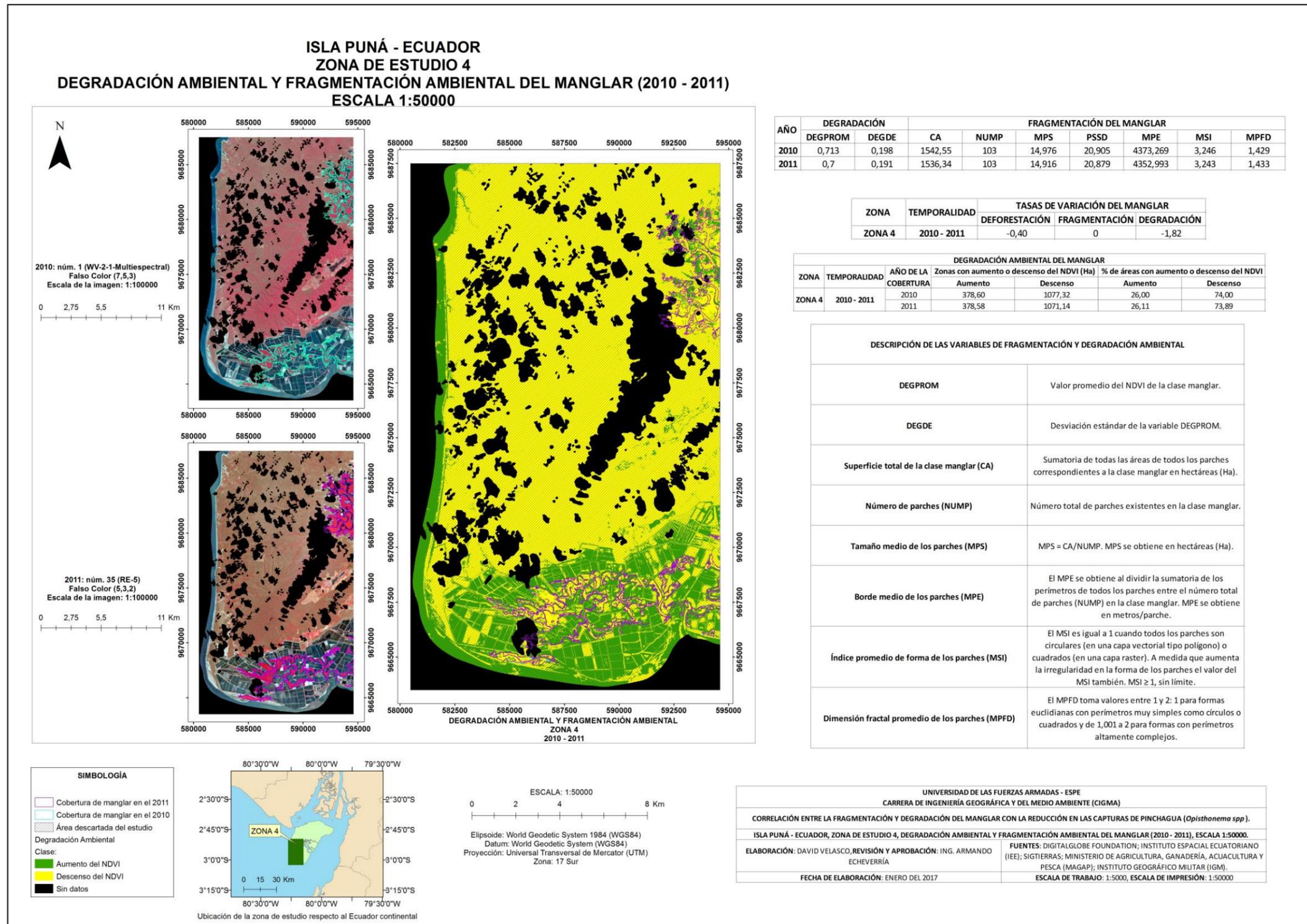


Figura 44 Mapa de degradación y fragmentación, zona 4, (2010 – 2011).

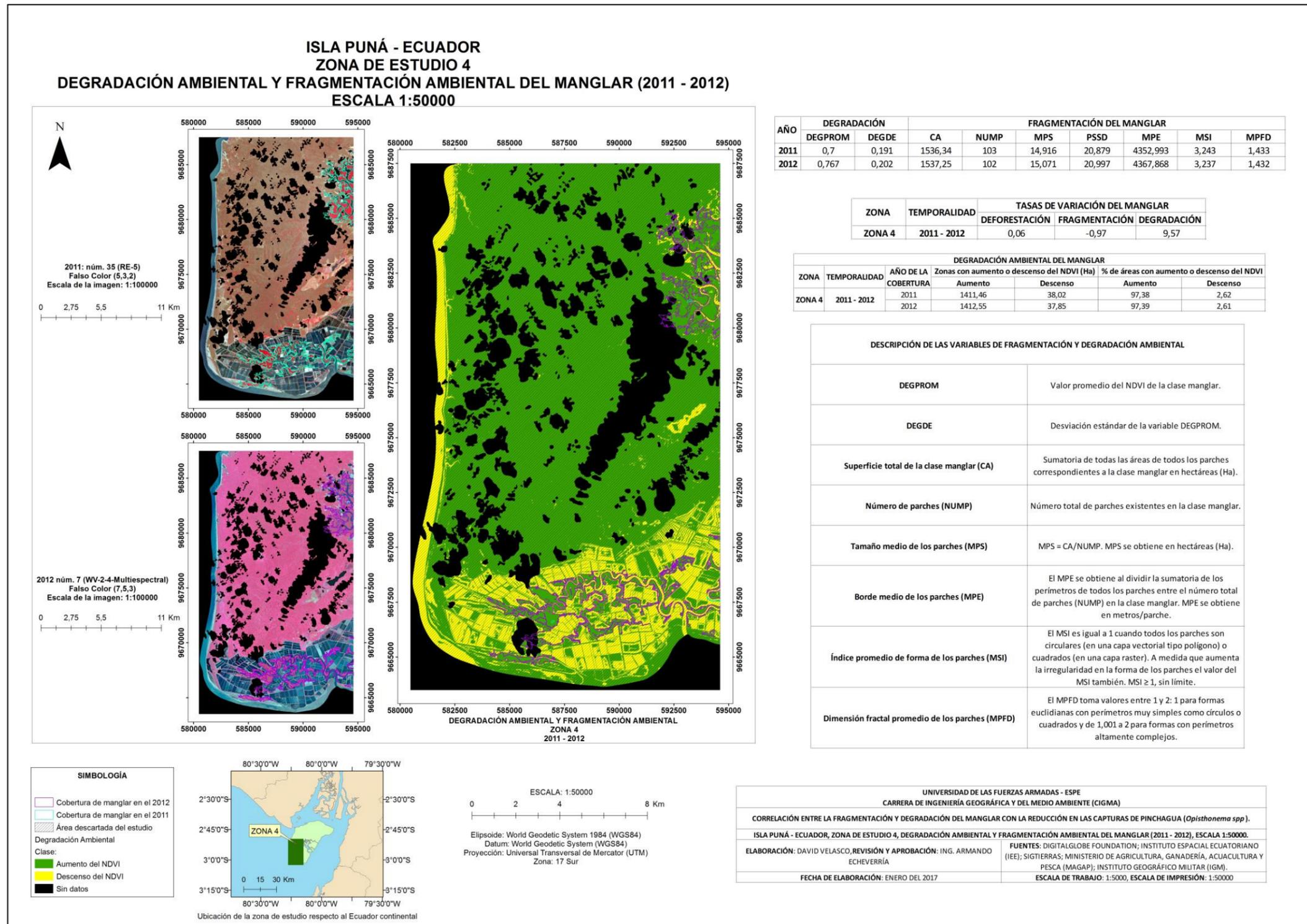


Figura 45 Mapa de degradación y fragmentación, zona 4, (2011 – 2012).

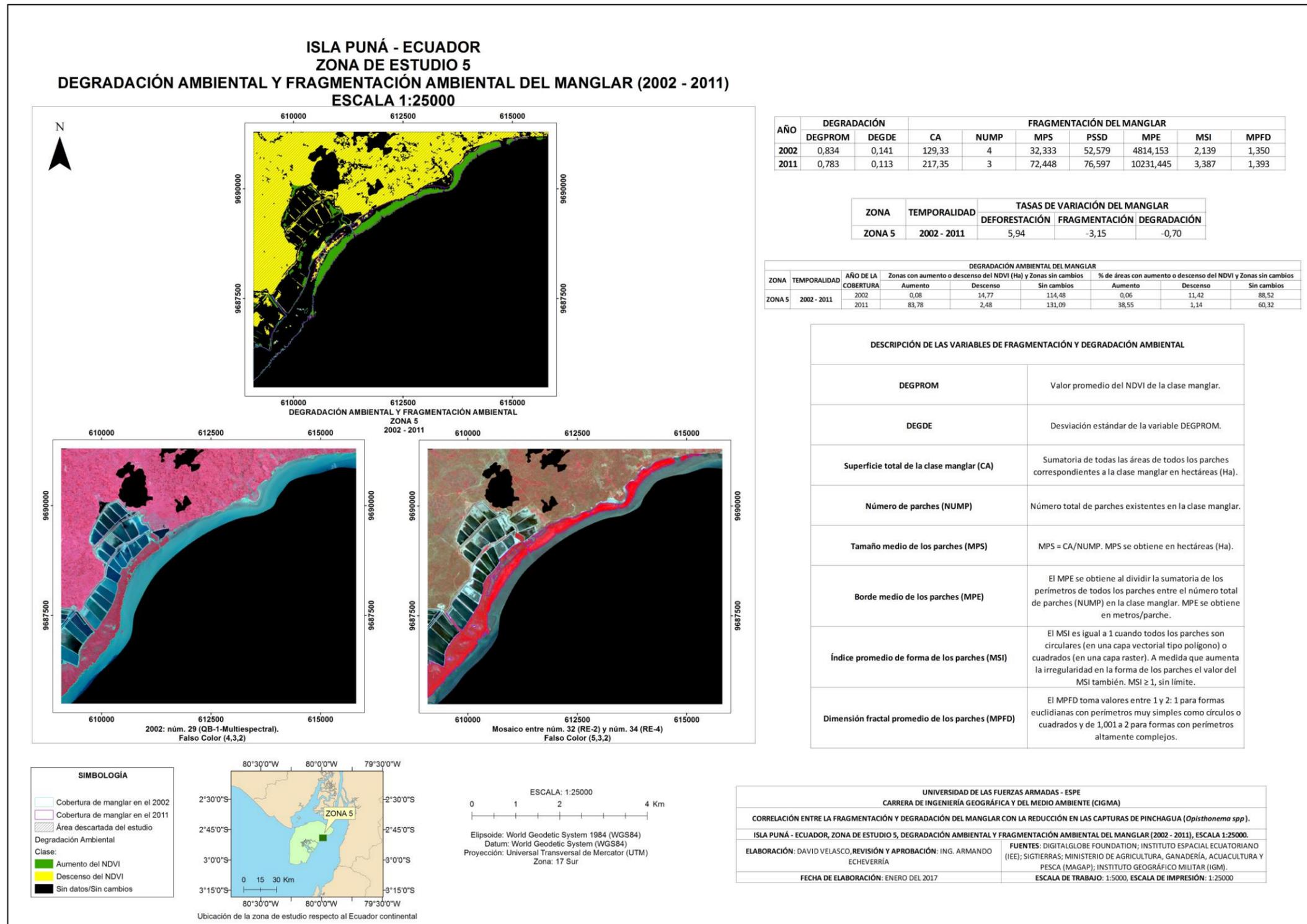


Figura 46 Mapa de degradación y fragmentación, zona 5, (2002 – 2011).

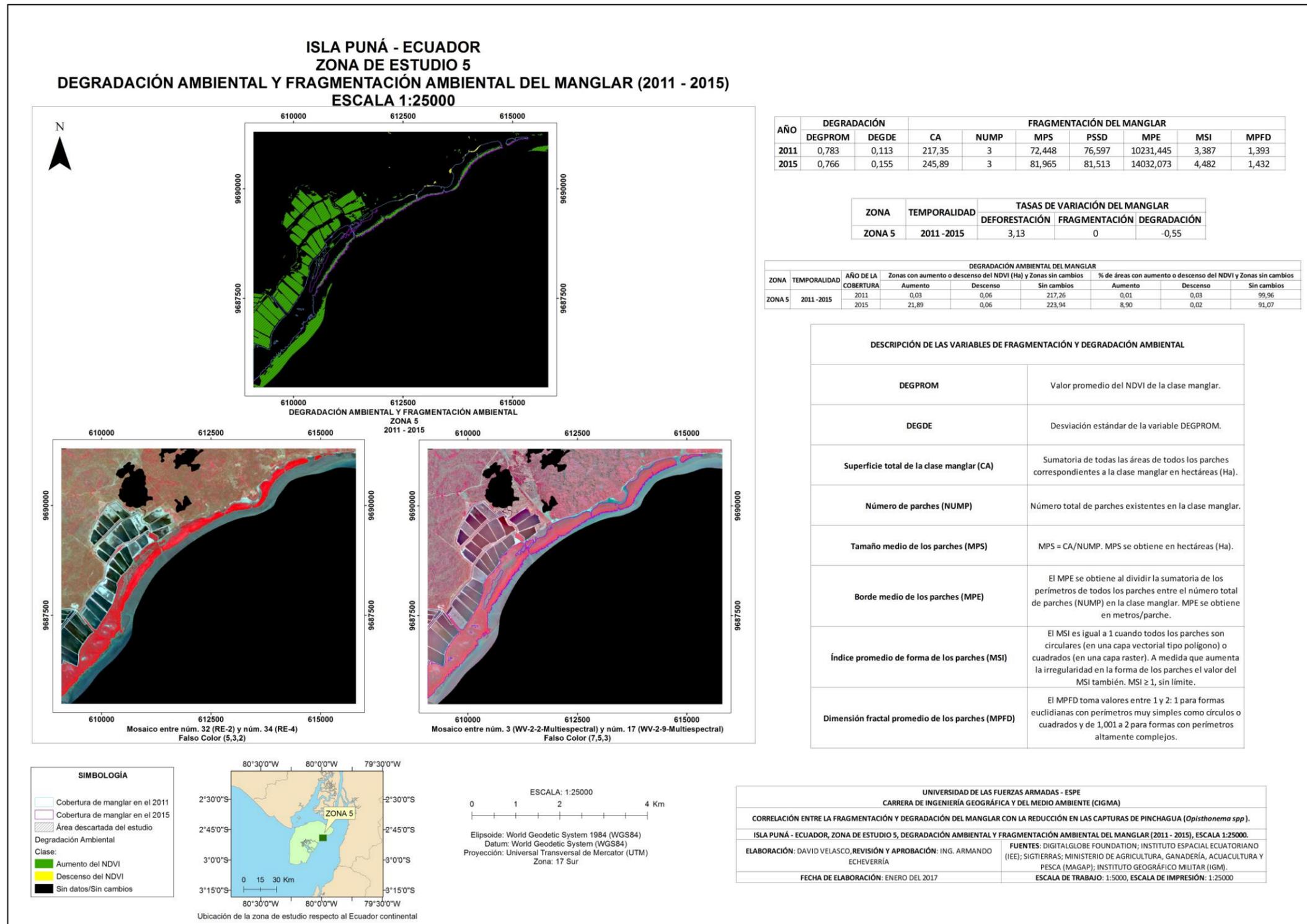


Figura 47 Mapa de degradación y fragmentación, zona 5, (2011 – 2015).

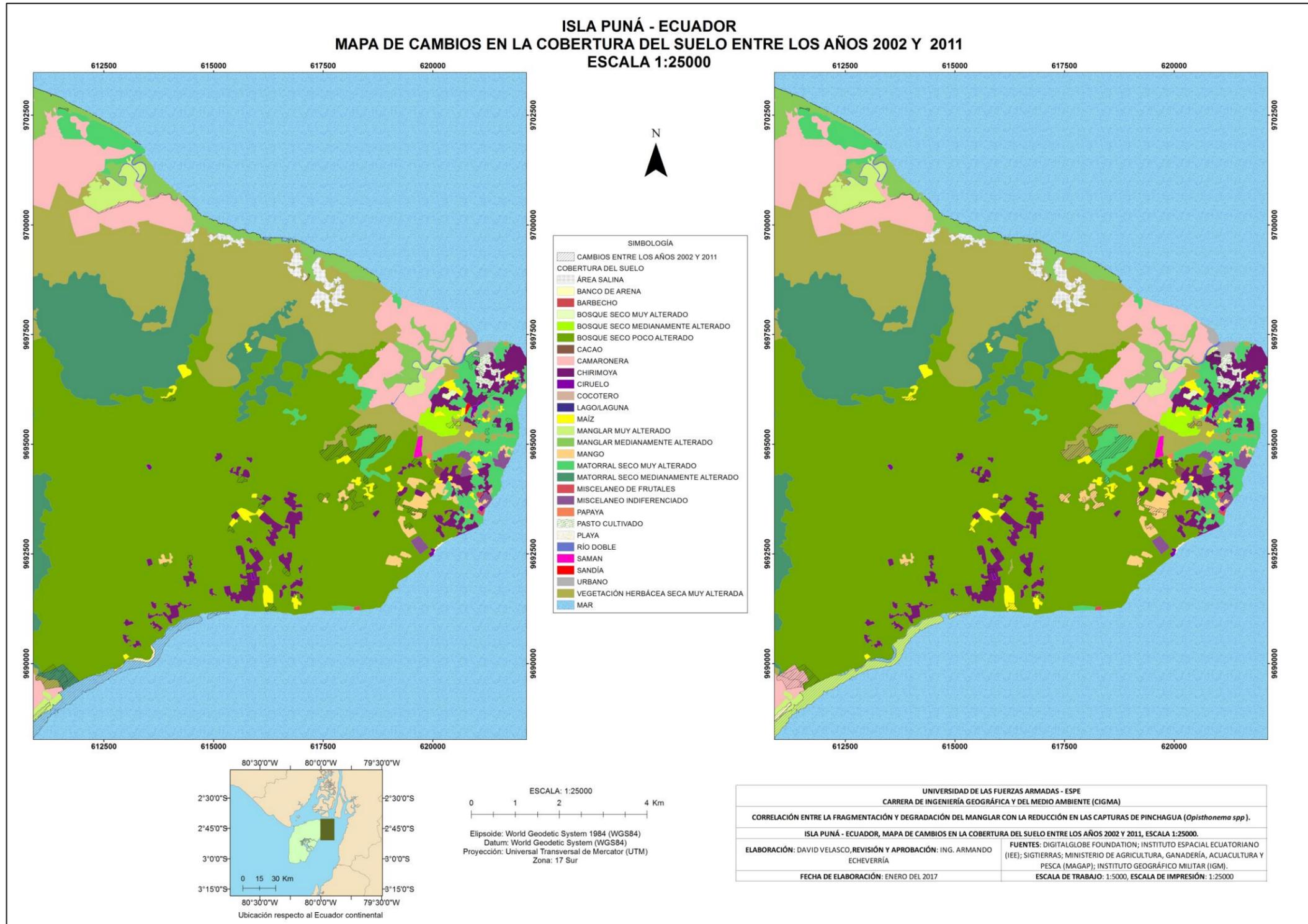


Figura 48 Mapa de cambios entre los años 2002 y 2011.

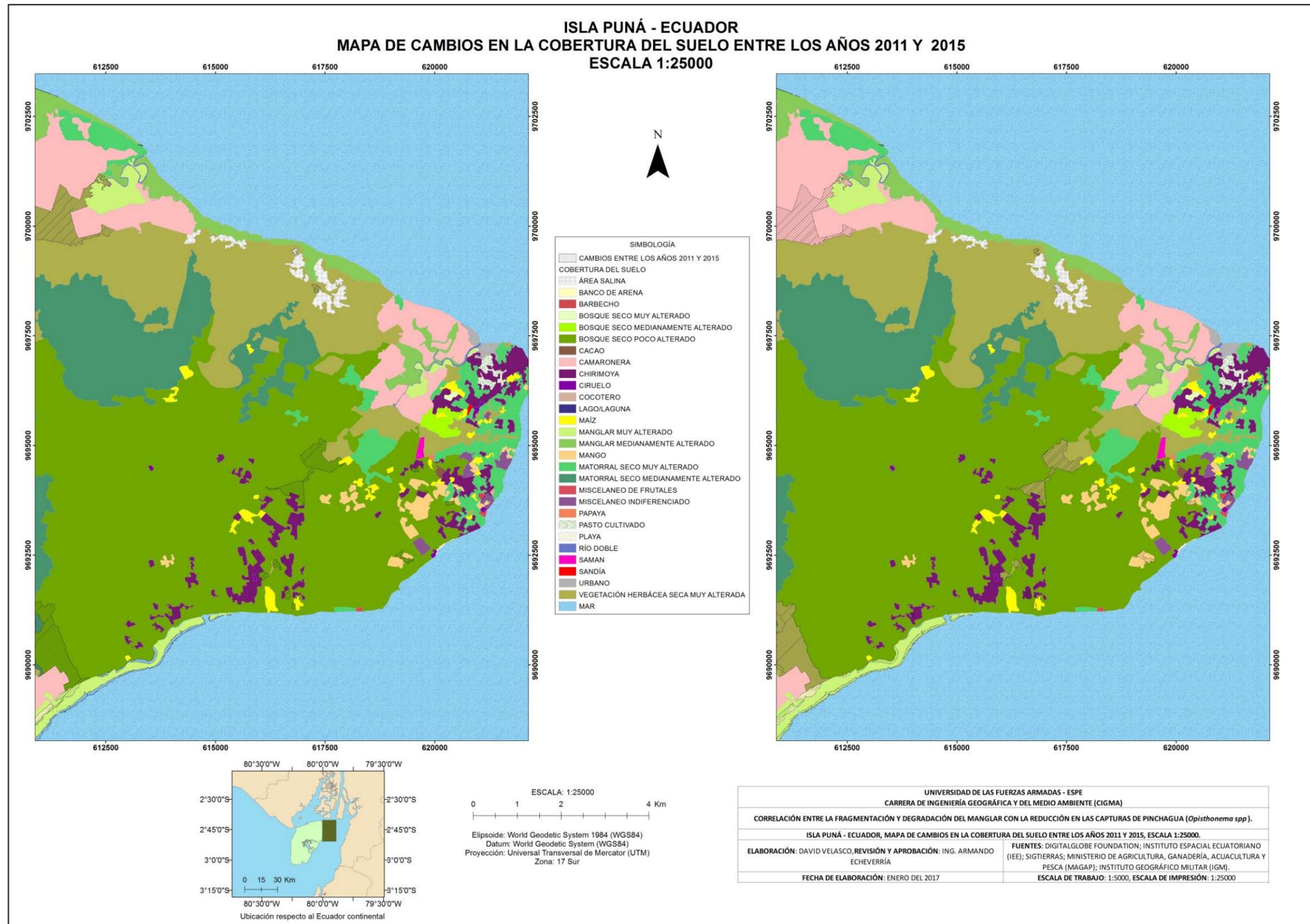


Figura 49 Mapa de cambios entre los años 2011 y 2015.

4.3. Interpretación de los resultados

4.3.1. Fragmentación ambiental

En el presente proyecto se trabajó exclusivamente con la clase *manglar*. Haciendo referencia a lo establecido por Altamirano et al. (2012), citado por Romero et al. (2015): al trabajar con una sola clase no se observa la interacción de la clase de interés con otras clases, pero el beneficio que se obtiene a cambio es clasificar potentemente y eficazmente la cobertura de interés, y de esta manera se disminuyen sesgos al momento de evaluar la fragmentación ambiental.

Las métricas se interpretaron de acuerdo a lo establecido por McGarigal & Marks, (1994), por ejemplo, la reducción en el área de los parches es un indicador clave de la fragmentación de los hábitats. También, Krummel et al. (1987) citados por (Romero et al., 2015), establecen que, la forma y la dimensión fractal, son considerados indicadores de la acción antrópica en un ecosistema, considerando el supuesto de que las formas más complejas corresponden a parches naturales mientras que las formas más simples a parches de origen antropogénico, adicionalmente, la dimensión fractal se reduce en parches con menor superficie. Benavente (2010) establece que, el aumento del número de parches (NUMP) conjuntamente con una disminución del tamaño medio de los parches (MPS) revela un incremento de la fragmentación.

4.3.1.1. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 1

- En esta zona se evidenció un aumento y descenso en el área de los parches entre los años 2002 y 2015, el valor promedio de hectáreas de manglar entre esos años es de 134,94 Ha \pm 2,44 Ha. En el año 2002 se tuvieron 4 parches y en el 2015 se tuvieron 2 parches, pero ha de considerarse que desapareció un parche de tamaño muy pequeño y que un parche se anexó a otro parche cercano.
- Se obtuvo un valor promedio de MPS de 47,86 Ha \pm 14,41 Ha, el MPS va aumentando desde 32,97 Ha en el 2002 hasta 67,59 Ha en el 2015, y

considerando el número de parches y su área, se estableció que no hay procesos de fragmentación ambiental importantes de acuerdo a esta métrica.

- Para MPE se obtuvo un valor promedio de 6555,87 m/parche \pm 1826,98 m/parche, al observar la métrica MPE, se evidencia un aumento que va desde 4807,69 m/parche en el 2002 hasta 9115,15 m/parche en el año 2015, y considerando el número de parches y su área, por lo tanto, se determinó nuevamente que no hay procesos de fragmentación ambiental importantes.
- El MSI promedio –calculado con los valores obtenidos de MSI para los años 2002, 2010, 2011 y 2015– es $2,677 \pm 0,392$ e indica que no hay una dispersión importante en los valores de forma de los parches y que son parches con formas complejas, se debe considerar que el valor máximo de MSI obtenido en este proyecto fue de 4,482 y el valor mínimo de MSI fue 2,139.
- Con respecto a la dimensión fractal (MPFD), el valor promedio para la zona 1 es de $1,415 \pm 0,031$, en consecuencia, se determinó que no hay una dispersión importante en los valores de esta métrica y que los parches poseen perímetros medianamente complejos, se consideraron los valores cercanos a 1.5 como perímetros medianamente complejos.
- Las tasas de fragmentación descendieron en un 3,53% y en un 9,64%, tasas correspondientes a las temporalidades 2002 – 2010 y 2011 – 2015 respectivamente, éstas deben interpretarse conjuntamente con las métricas e indican que se redujeron los fragmentos, pero con los resultados anteriores, se estableció que la tasa de fragmentación descendió pero por la desaparición de 2 parches.
- De acuerdo a Romero et al. (2015), una tasa de deforestación de 3,2% en un período de diez años es alta. Para ésta zona y durante el período 2010 – 2011 se obtuvo una tasa de deforestación de 2,18% correspondiente a la pérdida de 3 Ha.

4.3.1.2. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 2

- En esta zona se evidenció un aumento y descenso en el área de los parches durante los años 2010, 2011 y 2015, el valor promedio de hectáreas de manglar entre esos años es de 636,16 Ha \pm 12,64 Ha. En el año 2010 se tuvieron 17 parches, pero ha de considerarse que desaparecieron tres parches pequeños y aislados en el período 2010 - 2011 y aumentó un parche en el período 2011 - 2015.
- Se obtuvo un valor promedio de MPS de 41,72 Ha \pm 3,56 Ha, el MPS aumentó de 37,69 Ha en el año 2010 a 44,42 Ha en el año 2011 para luego descender a 43,06 en el año 2015, y considerando el número de parches y su área, 14 parches estables entre los años 2010 – 2015, se determinó que hay procesos de fragmentación ambiental y regeneración de acuerdo a esta métrica.
- Para MPE se obtuvo un valor promedio de 6859,50 m/parche \pm 504,99 m/parche, al observar la métrica MPE, ésta aumentó de 6326,49 m/parche en el año 2010 a 7330,80 m/parche en el año 2011 para luego descender a 6921,20 m/parche en el año 2015, y considerando el número de parches y su área, por lo tanto, se determinó que hay procesos de fragmentación ambiental y regeneración de acuerdo a esta métrica.
- El MSI promedio –calculado con los valores obtenidos de MSI para los años 2010, 2011 y 2015– es 3,353 \pm 0,176 e indica que no hay una dispersión importante en los valores de forma de los parches y que son parches con formas complejas, se debe considerar que el valor máximo de MSI obtenido en este proyecto fue de 4,482 y el valor mínimo de MSI fue 2,139.
- Con respecto a la dimensión fractal (MPFD), el valor promedio para la zona 2 es de 1,421 \pm 0,013, en consecuencia, se determinó que no hay una dispersión importante en los valores de esta métrica y que los parches poseen perímetros medianamente complejos, se consideraron valores cercanos a 1,5 como perímetros medianamente complejos.
- La tasa de fragmentación descendió en un 17,65%, correspondiente a la temporalidad 2010 – 2011, ésta debe interpretarse conjuntamente con las

métricas e indica que se redujeron los fragmentos, pero con los resultados anteriores, se estableció que la tasa de fragmentación descendió pero por la desaparición de 3 parches.

- De acuerdo a Romero et al. (2015), una tasa de deforestación de 3,2% en un período de diez años es alta. Para ésta zona y durante el período 2010 – 2011 se obtuvo una tasa de deforestación de 2,93% correspondiente a la pérdida de 18,77 Ha.

4.3.1.3. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 3

- En esta zona se evidenció un aumento y descenso en el área de los parches entre los años 2010 y 2015, el valor promedio de hectáreas de manglar entre esos años es de 236,45 Ha \pm 0.57 Ha. El número de parches para los años 2010, 2011, 2012 y 2015 fue 6, en consecuencia, se determinó que no existieron procesos de fragmentación ambiental.
- Se obtuvo un valor promedio de MPS de 39,41 Ha \pm 0.09 Ha. Se evidenció que no hay una dispersión importante en los valores de MPS y por lo tanto se estableció que no hubo procesos de fragmentación ambiental.
- Para MPE se obtuvo un valor promedio de 6420,26 m/parche \pm 148,88 m/parche. No hay una dispersión importante en los valores de MPE para esta zona y por lo tanto se estableció que no hubo procesos de fragmentación ambiental.
- El MSI promedio –calculado con los valores obtenidos de MSI para los años 2010, 2011, 2012 y 2015– es 3,660 \pm 0,199 e indica que no hay una dispersión importante en los valores de forma de los parches y que son parches con formas complejas, se debe considerar que el valor máximo de MSI obtenido en este proyecto fue de 4,482 y el valor mínimo de MSI fue 2,139.
- Con respecto a la dimensión fractal (MPFD), el valor promedio para la zona 3 es de 1,460 \pm 0,012, en consecuencia, se determinó que no hay una dispersión importante en los valores de esta métrica y que los parches poseen

perímetros medianamente complejos, se consideraron los valores cercanos a 1,5 como perímetros medianamente complejos.

- La tasa de fragmentación para todas las temporalidades en esta zona fue 0%.
- De acuerdo a Romero et al. (2015), una tasa de deforestación de 3,2% en un período de diez años es alta. Para ésta zona y durante el período 2011 – 2012 se obtuvo una tasa de deforestación de 0.08% correspondiente a la pérdida de 0,20 Ha.

4.3.1.4. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 4

- En esta zona se evidenció un aumento y descenso en el área de los parches durante los años 2010, 2011 y 2012, el valor promedio de hectáreas de manglar entre esos años es de 1538,71 Ha \pm 3,35 Ha. El número de parches para los años 2010 y 2011 fue 103 y para el año 2012 fue 102, en consecuencia, se determinó que no existieron procesos de fragmentación ambiental importantes.
- Se obtuvo un valor promedio de MPS de 14,99 Ha \pm 0,08 Ha. Se evidenció que no hay una dispersión importante en los valores de MPS y por lo tanto se estableció que no hubo procesos de fragmentación ambiental importantes.
- Para MPE se obtuvo un valor promedio de 4364,71 m/parche \pm 10,50 m/parche. No hay una dispersión importante en los valores de MPE para esta zona y por lo tanto se estableció que no hubo procesos de fragmentación ambiental importantes.
- El MSI promedio –calculado con los valores obtenidos de MSI para los años 2010, 2011 y 2012– es 3,242 \pm 0,005 e indica que no hay una dispersión importante en los valores de forma de los parches y que son parches con formas complejas, se debe considerar que el valor máximo de MSI obtenido en este proyecto fue de 4,482 y el valor mínimo de MSI fue 2,139.
- Con respecto a la dimensión fractal (MPFD), el valor promedio para la zona 4 es de 1,431 \pm 0,002, en consecuencia, se determinó que no hay una dispersión importante en los valores de esta métrica y que los parches poseen

perímetros medianamente complejos, se consideraron los valores cercanos a 1,5 como perímetros medianamente complejos.

- La tasa de fragmentación para todas las temporalidades en esta zona fue 0% para la temporalidad 2010 – 2011 y descendió en un 0,97% para la temporalidad 2011 – 2012, correspondiente a la pérdida de un parche.
- De acuerdo a Romero et al. (2015), una tasa de deforestación de 3,2% en un período de diez años es alta. Para ésta zona y durante el período 2010 – 2011 se obtuvo una tasa de deforestación de 0.40% correspondiente a la pérdida de 6.21 Ha.

4.3.1.5. Fragmentación ambiental en la zona de estudio 5

- En esta zona se evidenció solo aumento en el área de los parches durante los años 2002, 2011 y 2015, el valor promedio de hectáreas de manglar entre esos años es de 197,52 Ha \pm 60,76 Ha. En el año 2002 se tuvieron 4 parches y en los años 2011 y 2015 se tuvieron 3 parches, pero ha de considerarse que un parche se anexó a otro parche cercano.
- Se obtuvo un valor promedio de MPS de 62,25 Ha \pm 26,34 Ha, el MPS va aumentando desde 32,33 Ha en el 2002 hasta 81,96 Ha en el 2015, y considerando el número de parches y su área, se estableció que no hay procesos de fragmentación ambiental sino de regeneración.
- Para MPE se obtuvo un valor promedio de 9692,56 m/parche \pm 4632,53 m/parche, al observar la métrica MPE, se evidenció un aumento que va desde 4814,15 m/parche en el 2002 hasta 14032,07 m/parche en el año 2015, y considerando el número de parches y su área, por lo tanto, se determinó nuevamente que no hay procesos de fragmentación ambiental sino de regeneración.
- El MSI promedio –calculado con los valores obtenidos de MSI para los años 2002, 2011 y 2015– es 3,336 \pm 1.172 e indica que existe una dispersión importante en los valores de forma de los parches y que son parches con formas complejas, se debe considerar que en esta zona se obtuvo el valor máximo de MSI, el cual fue de 4,482 durante el año 2015.

- Con respecto a la dimensión fractal (MPFD), el valor promedio para la zona 5 es de $1,392 \pm 0,041$, en consecuencia, se determinó que no hay una dispersión importante en los valores de esta métrica y que los parches poseen perímetros medianamente complejos, se consideraron los valores cercanos a 1,5 como perímetros medianamente complejos. Se comprobó que a medida que aumenta la superficie de los parches también lo hace el valor de MPFD.
- La tasa de fragmentación para la temporalidad 2002 – 2011 descendió en un 3,15%, correspondiente a la pérdida de un parche, pero ha de considerarse que éste parche se anexó a otro parche cercano.
- En esta zona se evidenció tasas de regeneración del manglar de 5,94% correspondiente al período 2002 – 2011 y 3,13% correspondiente al período 2011 – 2015.

4.3.2. Degradación ambiental

La degradación ambiental se evaluó determinando el porcentaje de áreas con aumento del NDVI, el porcentaje de áreas con descenso del NDVI y en algunas zonas el porcentaje de áreas sin cambios en el NDVI. Cada zona de estudio posee un comportamiento diferente en cada una de las temporalidades. A continuación, a partir de la Figura 50 a la Figura 54, se mostrarán los gráficos estadísticos de los porcentajes de degradación ambiental obtenidos.

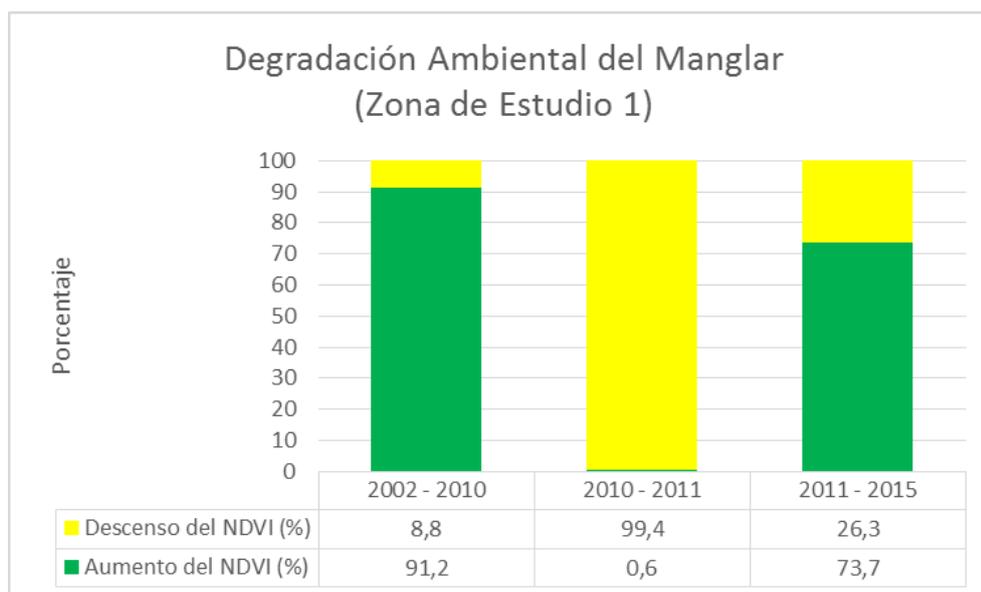


Figura 50 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 1

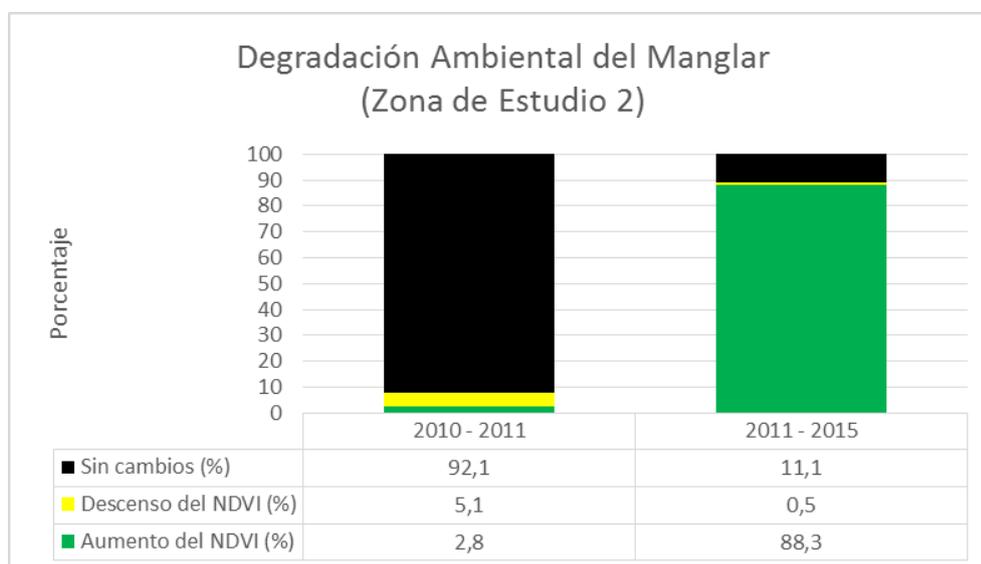


Figura 51 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 2

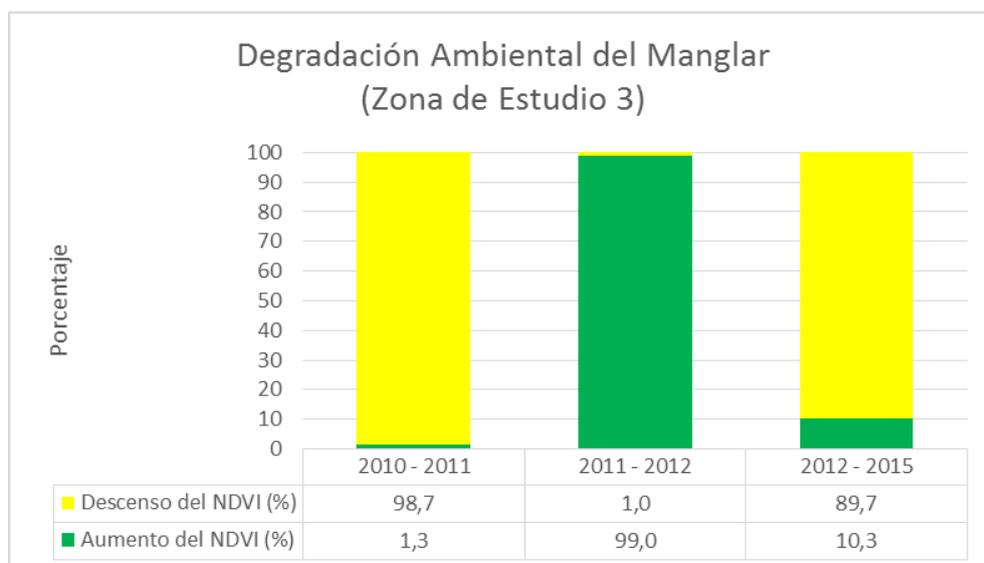


Figura 52 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 3

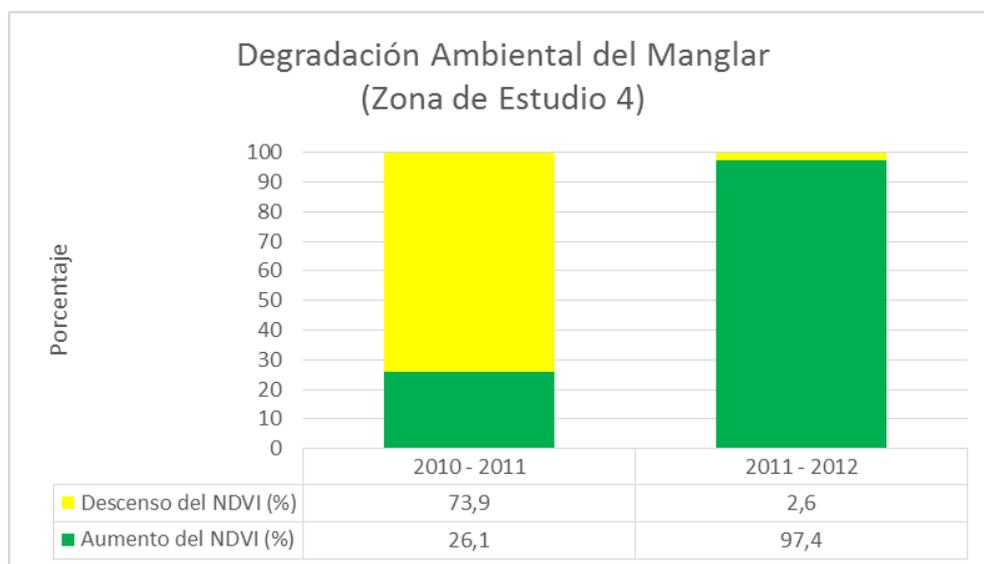


Figura 53 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 4

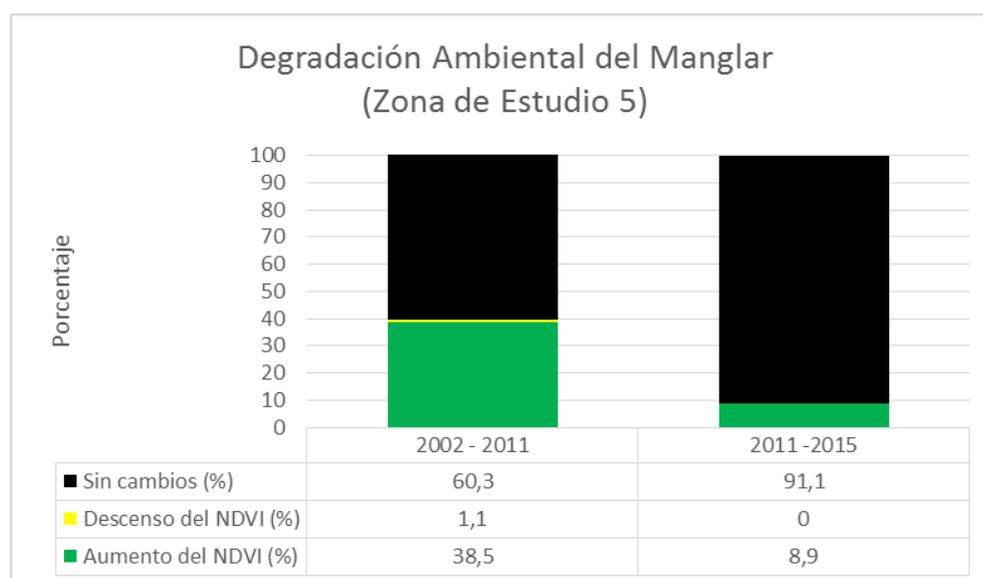


Figura 54 Cuadro sobre la degradación en la zona de estudio 5

- Al revisar las tasas de variación de la degradación ambiental se observó que durante el período 2010 – 2011 se registró el descenso del NDVI en un 14,96% (zona 1), 15, 74% (zona 2) y en un 18,52% (zona 3).
- En la zona 5 se registraron pequeños descensos del NDVI en un 0,70% (2002 – 2011) y en un 0,55% (2011 – 2015).
- Los grandes aumentos de NDVI se obtuvieron en el período 2011 – 2012 en un 23,04% (zona 3) y en un 9,57% (zona 4).

4.3.3. Análisis de correlación

Se acepta la hipótesis nula planteada en este proyecto y de acuerdo a lo obtenido en la Figura 35, se determinó que no existe una correlación alta o muy alta entre la fragmentación ambiental y la degradación ambiental con la reducción en las capturas de pinchagua, pero se debe mencionar que en el presente proyecto de investigación se obtuvieron observaciones de diferentes muestras (5 zonas de estudio) y cada muestra posee un comportamiento diferente.

4.3.4. Modelo matemático

No fue posible la elaboración del modelo matemático por las siguientes razones:

- No se evaluó la cobertura de manglar existente en toda la isla Puná.
- Lo ideal era obtener la fragmentación ambiental y la degradación ambiental en dos temporalidades y cubriendo toda la superficie de la isla.
- Las métricas de fragmentación ambiental se comportan de manera diferente en cada zona de estudio y por tanto no es adecuado reunir los resultados y trabajarlos como si hubiesen sido obtenidos al evaluar la fragmentación ambiental en toda la isla.
- Los datos de la variable independiente CAPTURA no se ajustaba a una distribución de probabilidad normal tras aplicar la prueba de Shapiro – Wilk, esto puede deberse a una falta de aleatoriedad de las unidades experimentales, o por errores derivados de un mal diseño del experimento o por una mala toma de los datos. Al tener un experimento mal ejecutado la única solución es repetir el mismo (Dicovski, 2012).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

5.1. CONCLUSIONES

- Se recopiló un total de 38 imágenes satelitales (multiespectrales y pancromáticas) de sensores de alta resolución. A las imágenes seleccionadas para realizar el estudio multitemporal de la cobertura del manglar se les aplicó los procesos de calibración radiométrica y corrección atmosférica, corrección geométrica y enmascaramiento de nubes y sombras. Además se determinaron cinco áreas de estudio dentro de la isla Puná con sus respectivas temporalidades para la evaluación de la degradación ambiental y fragmentación ambiental.
- La fragmentación ambiental se evaluó utilizando las siguientes métricas: Superficie total de la clase manglar (CA), Número de parches (NUMP), Tamaño medio de los parches (MPS), Borde medio de los parches (MPE), Índice promedio de forma de los parches (MSI) y Dimensión fractal promedio de los parches (MPFD).
- Los manglares de la isla Puná no forman parte de un área protegida y tras la evaluación de la fragmentación ambiental entre los años 2002 y 2015 en las cinco zonas de estudio, se observó: que no hubo procesos de fragmentación ambiental importantes, que en algunas zonas no hubo fragmentación ambiental y en otras zonas se encontraron procesos de regeneración de la cobertura del manglar. Debe recordarse también que los procesos de fragmentación previos al año 2002 no se consideraron en este proyecto y que en años anteriores la cobertura de manglar ya está totalmente fragmentada, por mencionar un ejemplo, en la zona de estudio 4, se identifica la importante presencia de camaroneras y 103 fragmentos de manglar.
- Los valores promedio obtenidos para las variables ambientales, valores en los que se consideró todas las zonas de estudio y temporalidades analizadas son: 0,760 (DEGPROM); 506,04 Ha (CA); 24 (NUMP); 41,53 Ha (MPS); 6744,40 m/parche (MPE); 3,244 (MSI); 1,425 (MPFD). Se interpretaría que el manglar

de la isla Puná durante los años 2002 al 2015 posee parches con formas complejas y perímetros medianamente complejos.

- El comportamiento del NDVI se evaluó entre los años 2002 y 2015 en las cinco zonas de estudio. Se observó áreas con: aumento del NDVI, descenso del NDVI y sin cambios en el NDVI. Con la metodología utilizada se puede evidenciar cuando la cobertura del manglar empieza a regenerarse o cuando se ha perdido, otra ventaja de esta metodología es la de obtener el estado fenológico de la vegetación con el criterio de si mejoró o empeoró considerablemente.
- Los resultados de la evaluación de la fragmentación ambiental y degradación ambiental se obtuvieron de diferentes muestras (zonas de estudio). Tras comprobar la normalidad de las variables de fragmentación ambiental y degradación ambiental se observó que algunas variables no se ajustaban a una distribución de probabilidad normal y por lo tanto se decidió hacer uso de la estadística no paramétrica y así obtener coeficientes de correlación por rangos de Spearman. La única opción viable fue utilizar los resultados obtenidos en las cinco zonas de estudio y utilizarlos con los datos de captura de pinchagua para al final obtener que no existe correlación entre los procesos de fragmentación ambiental y degradación ambiental con la captura de pinchagua.

5.2. RECOMENDACIONES

- No se recomienda elaborar mosaicos al evaluar la degradación ambiental, ya que en la zona de estudio 5, en la temporalidad 2011 – 2015, en las áreas de manglar se identificó la recuperación de la vegetación, pero en otras áreas donde la cobertura vegetal había pasado a suelo desnudo, la herramienta utilizada en el software ENVI identificó a ese fenómeno como una zona sin cambio en el NDVI. Es importante que el profesional realice una inspección visual detallada en los resultados otorgados por el SIG.
- En estudios multitemporales es muy importante que en el proceso de corrección geométrica se consiga una sobreposición *perfecta* entre las imágenes para así evitar la aparición de falsas alarmas.

- En cuanto a la definición de áreas de conservación de manglar, se recomienda conservar las pocas áreas existentes en la isla Puná y establecer un control en la creación de piscinas para el cultivo de camarón e implementar programas de reforestación del manglar.
- Se recomienda replicar este proyecto en otras áreas de manglar del Ecuador considerando las dificultades enfrentadas durante esta investigación con el fin de corroborar la relación planteada en el objetivo general de este proyecto.
- Se recomienda replicar este proyecto considerando otras especies como el cangrejo (*Ucides occidentalis*) y la concha prieta (*Anadara tuberculosa* y *Anadara similis*).
- Se recomienda realizar este proyecto usando la Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) en vez de las capturas registradas en tonelaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agua y SIG. (2011). Aplicar una máscara de análisis en ArcGIS. Recuperado de <http://www.aguaysig.com/2011/04/aplicar-una-mascara-de-analisis-en.html>
- Barzola, L. (2015). *Informalidad tributaria del sector pesquero en la parroquia Posorja, cantón Guayaquil: Período 2008 - 2013*. Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/7142>
- Bassanezi, R., & Biembengut, M. (1997). Modelación matemática: Una antigua forma de investigación - un nuevo método de enseñanza. *NÚMEROS Revista de Didáctica de Las Matemáticas*, 32, 13–25. Recuperado de <http://www.sinewton.org/numeros/numeros/32/Articulo02.pdf>
- Bauer, W., & Westfall, G. D. (2011). *Física para Ingeniería y Ciencias, con Física Moderna. Volumen 2*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Benavente, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía*, 30(2), 9–29. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/viewFile/AGUC1010220009A/30701>
- Bernabé, M. Á., & López, C. M. (2012). *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Bezděk, A. (2017). MATLAB script for 3D visualizing geodata on a rotating globe. Recuperado de http://www.asu.cas.cz/~bezdek/vyzkum/rotating_3d_globe/
- Blackbridge. (2016). High resolution satellite imagery. Recuperado de http://mdacorporation.com/docs/default-source/product-spec-sheets/geospatial-services/re_standard_image_products_eng.pdf?sfvrsn=4
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44, 18–36. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000100003&lng=es&nrm=iso
- Brovelli, M. A. (2011). *Introduction to Geographic Information Systems, Environment and Land Planning Applications*. Milano: Politecnico di Milano.

Recuperado de

http://geomatica.como.polimi.it/corsi/geog_info_system/12_introduction_GIS.pdf

Cabezas, A. (2010). *Lecciones de Topografía y Replanteos* (Quinta). Alicante: Editorial Club Universitario.

Caicho, A. (2013). *Diagnóstico de la biocenosis de los manglares de la comuna Palmar en la provincia de Santa Elena*. Universidad de Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/2569>

Calle, A., & Salvador, P. (2012). Revisando el concepto de resolución en teledetección. *Revista de Teledetección*, 37, 74–79. Recuperado de http://www.aet.org.es/revistas/revista37/Revista_37_Todo.pdf#page=78

Canales, C., Peralta, M., & Jurado, V. (2013). Evaluación de la población de pinchagua (*Opisthonema* spp.) en aguas ecuatorianas. *Boletín Especial Año 4 No. 3 Del Instituto Nacional de Pesca*.

Castro, D. (2013). Monitoreo de bosques utilizando NDVI RedEdge de RapidEye. *Revista Geoespacial*, 10, 58–71. Recuperado de <http://ugi.espe.edu.ec/ugi/wp-content/uploads/2013/07/Revista-Geoespacial-10.pdf>

Centro de Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe. (2007).

Diagnóstico del estado actual de los manglares, su manejo y su relación con la pesquería en Panamá, Análisis de la relación existente entre las poblaciones de fauna marina de importancia económica con las variables socioeconómicas y biofísicas del ecosist. CATHALAC. Recuperado de

<http://cpps.dyndns.info/cpps-docs->

[web/planaccion/biblioteca/pordinario/092.Analisis de la relacion existente entre las pesquerias y los manglares-panama.pdf](http://web/planaccion/biblioteca/pordinario/092.Analisis%20de%20la%20relacion%20existente%20entre%20las%20pesquerias%20y%20los%20manglares-panama.pdf)

Centro de Innovación y Desarrollo de la Educación a Distancia. (2010). Las Ondas. Centro de Innovación y Desarrollo de la Educación a Distancia. Recuperado de <http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esofisicaquimica/impresos/quincena11.pdf>

Chapa, D., Sosa, J., & de Alba, A. (2008). Multitemporal study on forest fragmentation in sierra Fría, Aguascalientes, Mexico. *Madera Bosques*, 14(1), 37–51. Recuperado de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000100004

- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Segunda). Madrid: Ediciones RIALP, S. A.
- Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de Teledetección*, 10, 39–48. Recuperado de http://age-tig.es/barcelona98/1998_003_chuvieco.pdf
- CineSat. (2015). CineSat Projections. Recuperado de <http://www.cinesat.com/cinesat:projections:start>
- CivilGeeks. (2016). La cartografía es una herramienta que apareció antiguamente y es utilizada actualmente a través de los avances tecnológicos. Recuperado de <http://civilgeeks.com/2015/07/26/la-cartografia-es-una-herramienta-que-aparecio-antiguamente-y-es-utilizada-actualmente-a-traves-de-los-avances-tecnologicos/>
- Colmenar, E. (2002). Indicadores ambientales, el mejor diagnóstico. *Ambienta*, 10, 32–38. Recuperado de http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%252FAM_2002_10_32_38.pdf
- Confederación de Empresarios de Andalucía. (2010). Tipos de SIG. Recuperado de http://sig.cea.es/tipos_SIG
- Corchete, V. (2016). Elipsoide de Revolución, Superficie de Referencia y Superficie Equipotencial. Almería: Universidad de Almería. Recuperado de <http://airy.ual.es/geodesy/ellipsoid.pdf>
- Cuadras, C. (2014). Nuevos métodos de análisis multivariante. Barcelona. Recuperado de <http://www.ub.edu/stat/personal/cuadras/metodos.pdf>
- curiosoando. (2016). ¿Qué es una onda electromagnética? Recuperado de <https://curiosoando.com/que-es-una-onda-electromagnetica>
- Cutillas, P., Erena, M., Baños, J. G., Pérez, P., Botía, J. M., & García, M. I. (2009). Estudio de la correlación entre los valores obtenidos mediante teledetección de precisión con el contenido en nitrógeno y clorofila en hoja en cítricos. *Teledetección: Agua Y Desarrollo Sostenible. XIII Congreso de La Asociación Española de Teledetección.*, 69–72. Recuperado de

<http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal18.pdf>

Díaz, J. (2012). *El mundo de la matemática, modelos matemáticos*. Hermosillo:

Universidad de Sonora. Recuperado de

<http://www.mat.uson.mx/~jldiaz/Documents/Funcion/modelos-fasciculo17.pdf>

Dicovski, L. M. (2012). *Estadística Básica para Ingenieros*. Estelí. Recuperado de

<https://luisdi.files.wordpress.com/2008/08/estadisticas-uni.pdf>

DigitalGlobe. (2016a). Orthorectifying DigitalGlobe Imagery in ERDAS Imagine

using the Rational Polynomial Coefficient (RPC) model. Recuperado de

<http://global.digitalglobe.com/>

DigitalGlobe. (2016b). Standard Imagery. Recuperado de

<http://global.digitalglobe.com/>

Discover Life. (2017). *Opisthonema libertate*. Recuperado de

<http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Opisthonema+libertate&l=spanish>

Earth Observation Research programme STEREO. (2016). Multi-temporal analysis.

Recuperado de <http://eoedu.belspo.be/en/guide/multitemp.asp?section=3.11>

Echeverría, A., & Tierra, A. (2010). Generación de un modelo de ondulaciones

geoidales del Ecuador continental a partir de datos dispersos mediante Mínimos

Cuadrados, Colocación (LSC). *Revista Geoespacial*, 7, 52–60. Recuperado de

<http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2012/08/RevistaGeoespacial7.pdf>

educarchile. (2011). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la educación.

Recuperado de <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?id=212303>

El Comercio. (2011, July 23). La captura de sardina está en apogeo. Quito.

Recuperado de <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/captura-de-sardina-apogeo.html>

El mundo forestal. (2016). Ripario. Recuperado de

<http://www.elmundoforestal.com/terminologia/ripario.html>

ERDAS. (1999). *ERDAS Field Guide*. (ERDAS, Ed.) (Quinta). Atlanta: ERDAS.

Recuperado de

<http://www.gis.usu.edu/manuals/labbook/erdas/manuals/FieldGuide.pdf>

FAO. (2005). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 - Estudio

temático sobre manglares - Ecuador - Perfil Nacional. (Departamento de

Montes, Ed.). Rome: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/9210->

0bc6c5997d6cb60b2c6ccad18f7e7f8ed.pdf

Felicísimo, A. M. (1994). *Modelos Digitales del Terreno*. Oviedo: Pentalfa.

Fernández, T. (2008a). Tema 3. La superficie topográfica. Jaén: EPS Jaén.

Recuperado de http://coello.ujaen.es/asignaturas/cartografia/cartografia_descargas_archivos/Tema3_Forma.pdf

Fernández, T. (2008b). Tema 9. Correcciones radiométricas. Jaén: EPS Jaén.

Recuperado de

http://coello.ujaen.es/Asignaturas/teledeteccion/tel/tel_tfc_archivos/Tema9.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2005). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 - Estudio temático sobre manglares. Rome: Departamento de Montes.

Galicia, L., Cuevas, M., González, L., & Couturier, S. (2014). Detección de cambio ambiental en selvas y bosques de México con percepción remota: un enfoque multiescalar de espacio y tiempo. *Interciencia*, 39(6), 368–374. Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/1546008891?accountid=34102>

Galindo, E. (2010). *Estadística, Métodos y Aplicaciones* (Tercera). Quito: ProCiencia Editores.

Galindo, G., Espejo, O. J., Rubiano, J. C., Vergara, L. K., & Cabrera, E. (2014).

Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia (Segunda). Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de

http://redd.unfccc.int/files/anexo_a_protocolo_procesamiento_digital.pdf

García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20(2), 1–10.

Recuperado de

www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/18/12

Garrido, R. (2013). *Normalización radiométrica iterativa en detección de cambios: seguimiento del tipo de cambios asociados al ecosistema mediterráneo*.

Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de

<http://eprints.ucm.es/22982/>

GeoCue Group. (2014). GeoCue Group News. Recuperado de

http://lp360.com/newsletter/December2014/December2014_2.html

- Geographic Information Systems Stack Exchange. (2015). Is Clip (Data management) or Extract By Mask (Spatial Analyst) more efficient? Recuperado de <http://gis.stackexchange.com/questions/94469/is-clip-data-management-or-extract-by-mask-spatial-analyst-more-efficient>
- Geosystems. (2009). ATCOR for ERDAS IMAGINE 2010. Recuperado de ftp://128.123.177.213/usda/Andrea/ERDAS10/imagene/atcor/Raw/documentation/ATCOR-for-ERDAS-IMAGINE-2010_Manual.pdf
- Geosystems. (2014). Sensor Meta Data! Where is the Information on Radiometry and Geometry? Germering.
- Gis&Beers. (2016). ArcScene. Recuperado de <http://www.gisandbeers.com/programa-arcscene-esri/#more-365>
- Gómez, A. (2010). Conceptos para la correcta utilización de los datos cartográficos. Extremadura: Junta de Extremadura. Recuperado de http://www.gbif.es/gbif/ficheros/Taller_Nichos_10/GBIF_ALI_10.pdf
- González, N. (2010). La pesquería de peces pelágicos pequeños en Ecuador durante 2009. *Boletín Científico Y Técnico Del Instituto Nacional de Pesca*, 20(7), 1–17. Recuperado de <http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/4791/1.PPP-ANUAL2009-Natalia.pdf?sequence=1>
- González, N., & Solís, E. (2010). Características biológico - pesqueras y proceso de elaboración de enlatados de la pinchagua (*Opisthonema* spp.) en Ecuador. *Boletín Científico Y Técnico*, 20(7), 19–46. Recuperado de <http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/4792/2.PinchaguaCodexAlimt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Govaerts, B., & Verhulst, N. (2010). The normalized difference vegetation index (NDVI) GreenSeeker™ handheld sensor: Toward the integrated evaluation of crop management, Part A: Concepts and case studies. México: CIMMYT. Recuperado de <http://plantstress.com/methods/Greenseeker.PDF>
- Grupo Magisterio Biología. (2013). La diseminación de las semillas en los vegetales. Recuperado de <http://grupomagisteriobiologia222.blogspot.com/2013/01/hidrocoria.html>
- Gutiérrez, C. P., & Nieto, Á. L. (2006). *Teledetección: Nociones y Aplicaciones*.

- Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=SfrGxbO1DT0C>
- Gutiérrez, J. (2006). *Topografía para las tropas* (Tercera). Santiago de Chile.
- Recuperado de <http://cartomap.cl/utfsm/Texto-Topograf%25eda/>
- Harris Geospatial Solutions. (2009). Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide. Recuperado de http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/flaash_module.pdf
- Harris Geospatial Solutions. (2013). Using ENVI and Geographic Information Systems (GIS). Recuperado de <http://www.harrisgeospatial.com/Learn/WhitepapersDetail/TabId/802/ArtMID/2627/ArticleID/9892/Using-ENVI-and-Geographic-Information-Systems-GIS.aspx>
- Horning, N. (2004). *Land cover change methods Version 1.0*. American Museum of Natural History, Center for Biodiversity and Conservation. Recuperado de <http://www.amnh.org/our-research/center-for-biodiversity-conservation/biodiversity-informatics/remote-sensing-guides/land-cover-change-methods/>
- I.E.S.-Al-áandalus. (2016). Tema 6. La luz y las ondas electromagnéticas. Arahál: I.E.S.-Al-áandalus. Recuperado de http://www.iesalandalus.com/joomla3/images/stories/FisicayQuimica/Fis2B/t6_optica.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de http://corponarino.gov.co/pmapper-4.3.1/sig/interfase/documentos/modelos_estructuras.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Imágenes del territorio. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/>
- Instituto Nacional de Pesca. (2016a). Acuerdo Ministerial N° 018 (Permisos de pesca industrial, especies y artes). Recuperado de <http://www.viceministerioap.gob.ec/subpesca331-acuerdo-ministerial-n-018-permisos-de-pesca-industrial-especies-y-artes.html>
- Instituto Nacional de Pesca. (2016b). *Programa Peces Pelágicos Pequeños*. Guayaquil.

- Instituto Nacional Geográfico de España. (2006). *Curso avanzado de sistemas de posicionamiento por satélite (apuntes)*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional de España.
- Introcaso, A. (2006). Geodesia Física. *Boletín Del Instituto de Fisiografía Y Geología, Volúmenes*, 1–128. Recuperado de http://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/NE1_2006/BIFG_NE1_HQ.pdf
- Landa, R., Carabias, J., & Meave, J. (1997). Deterioro ambiental, una propuesta conceptual para zonas rurales de México. *Economía, Sociedad Y Territorio*, 1(2), 203–224. Recuperado de <file:///C:/Users/david/Downloads/474-4850-1-PB.pdf>
- Leff, E. (2004). *Saber ambiental, sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder* (2004th ed.). Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores.
- Lindquist, E. J., D'Annunzio, R., Gerrand, A., MacDicken, K., Achard, F., Beuchle, R., ... Stibig, H.-J. (2012). *Global forest land-use change 1990–2005*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and European Commission Joint Research Centre. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/i3110e/i3110e.pdf>
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2003). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365–2407. Recuperado de http://perso.telecom-paristech.fr/~angelini/SI241/papers_for_project/ChangeDetectionTechniquesIJRS-04.pdf
- Luzuriaga, M., Solano, F., & Cevallos, D. (2007). Bioecología de huevos y larvas de peces *Centengraulis mysticetus* (chuhueco), *Opisthonema* sp. (pinchagua) y anchoas en la Reserva Ecológica Manglares Cayapas - Mataje - Ecuador. *Acta Oceanográfica Del Pacífico*, 14(1), 101–114. Recuperado de http://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta14/OCE1401_13.pdf
- Malacara, D. (2011). *Color Vision and Colorimetry, Theory and Applications* (Second). Bellingham: SPIE.
- Marín, J. (2014). Tema 1: Introducción al Análisis Multivariante y al Cálculo Matricial. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de

- <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/AMult/tema1am.pdf>
- Mateu, A., & Ruiz, L. A. (1999). Comparación y evaluación de métodos de normalización radiométrica relativa. *Teledetección. Avances Y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección*, 375–378. Recuperado de <http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb86.pdf>
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1994). *FRAGSTATS, Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Dolores.
- Mejía, M. (2012). Cartografía Automatizada. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de ftp://ftp.puce.edu.ec/Facultades/CienciasHumanas/Maestria_Ing_Vial/Geodesia_y_Cartograf%25C3%25ADa_2012_Ingenieria_Vial.pdf
- Meneses, C. L. (2009). Analysis of the normalized differential vegetation index (NDVI) for the detection of degradation of forest coverage in Mexico 2006-2009. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/012/k8593e/k8593e00.pdf>
- Meneses, C. L. (2012). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasyuva* 238, 62, 39–46. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i2560s/i2560s07.pdf>
- Mikhaylova, M., & Dvornikov, Y. (2015). Results of combining field and satellite optical data to investigate “thermokarst lake - catchment” system interactions as well as the activation of cryogenic processes (case study: Yamal Peninsula). DigitalGlobe Foundation. Recuperado de http://www.digitalglobefoundation.org/sites/default/files/DGF_Report_Maria_Mikhaylova.pdf
- National Geographic. (2016). GIS (geographic information system). Recuperado de <http://nationalgeographic.org/encyclopedia/geographic-information-system-gis/>
- Navarro, A., Botella, A., Muñoz, A., Olivella, R., Olmedillas, J., & Rodríguez, J. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática* (Barcelona). Primera: Editorial UOC.
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*. Sextante. Recuperado de ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf
- Oviedo, A. (2014). Ondas. Recuperado de

<http://ondasentendiendoalmaximo.blogspot.com/>

- Paz-Pellat, F., Bolaños-González, M., Palacios-Vélez, E., Palacios-Sánchez, L., Martínez-Menes, M., & Huete, A. (2008). Optimización del índice espectral de la vegetación NDVIcp. *Agrociencia*, 42(8), 925–937. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000800007
- PCI Geomatics. (2016). Calculate atmospheric and terrain correction. Recuperado de http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/references/pcifunction_r/modeler/m_atcor.html
- Pérez, C. (2004). *Técnicas de Análisis Multivariante de Datos, Aplicaciones con SPSS*. Madrid: Pearson Educación.
- Polanía, J. (1998). *Manejo de ecosistemas de manglar y arrecifes de coral*. Santa Marta: Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior. Recuperado de <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0040/MMA-0040.pdf>
- Prado, M. (2008). La pesquería de peces pelágicos pequeños en Ecuador durante 2008. *Boletín Científico Y Técnico Del Instituto Nacional de Pesca*, 20(4), 1–25. Recuperado de <http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/4784/PPPInforme2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PRO Ecuador. (2015). Análisis Sectorial de Sardina. Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/08/PROEC_AS2015_SARDINAS.pdf
- Rebollo, M. E. (2014). *Estudio multitemporal para la determinación de cambios en el uso del suelo en el complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha para el periodo 1992-2012*. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado de <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11863>
- Red de Información Ambiental de Andalucía. (2014). Teledetección, Fundamentos básicos. Recuperado de <https://comunidadrediam.wordpress.com/2014/09/18/teledeteccion-fundamentos-basicos/>
- Richter, R., & Schlapfer, D. (2016). *Atmospheric/Topographic Correction for*

- Satellite Imagery*. Langeeggweg. Recuperado de http://www.rese.ch/pdf/atcor3_manual.pdf
- Rodríguez, J., & Steegmann, C. (2003). Modelos matemáticos. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado de http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Modelos_matematicos.pdf
- Romero, E., Acosta, J., Tovilla, C., Schmook, B., & Gómez, R. (2015). Land Coverage Changes and Fragmentation of Mangroves in the Soconusco Region, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 153–169. Recuperado de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/7466>
- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Multitemporal analysis of land use change in the Terrestrial Protected Landscape Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117–123. <http://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.16>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Estándares de Información Geográfica, Tomo I*. (SENPLADES, Ed.) (Primera). Quito: Ecográficas. Recuperado de <http://portal.sni.gob.ec/documents/10156/ff60da45-e584-42db-973a-447c54f9cdd7>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades. Recuperado de <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017.pdf>
- Segado, F. (1996). *Principios de teledetección*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Sistema Nacional de Información. (2016). Sistema Nacional de Información. Recuperado de <http://sni.gob.ec/inicio>
- Sobrino, J. A., Raissouni, N., Kerr, Y., Oliosio, A., López-García, M. J., Belaid, A., ... Dempere, L. (2000). *Teledetección*. Universitat de València. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=Yb6xIldfoT0C>
- Teledet. (2016). ¿Qué es una imagen satelital? Recuperado de <http://www.teledet.com.uy/imagen-satelital.htm>
- Tippens, P. (2007). *Física, conceptos y aplicaciones* (Séptima). México: McGraw-Hill Interamericana.
- United Nations. (2016). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de

- <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>
United States Geological Survey. (2015). Land Cover Trends Project. Recuperado de <http://landcoverrends.usgs.gov/east/regionalSummary.html>
- United States Geological Survey. (2016). Landcover Modeling. Recuperado de <http://landcover-modeling.cr.usgs.gov/>
- Universidad de Murcia. (2006). Tema 7. Correcciones a las imágenes de satélites. Murcia: Universidad de Murcia. Recuperado de <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema07.pdf>
- Verdugo, H. (2016). Características de las ondas. Limache. Recuperado de http://www.hverdugo.cl/conceptos/conceptos/caracteristicas_de_las_ondas.pdf
- Villa, J., Bustamante, C., Berrio, M., Osorio, J., & Ocampo, D. (2009). Sentido de Realidad y Modelación Matemática: el caso de Alberto. *ALEXANDRIA Revista de Educação Em Ciência E Tecnologia*, 2(2), 159–180. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/files/475/12341431.pdf>
- Villalobos, R. (1996). Estudio descriptivo de la fauna terrestre asociada al ecosistema de manglar en las áreas de: Chame, Azuero y Chiriquí. Panamá: Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables y Organización Internacional de las Maderas Tropicales.
- Villamor, O. (2016). Sonido. Recuperado de <https://ondasvillamor.wikispaces.com/>
- WordPress. (2016). Espectro electromagnético. Recuperado de <https://edbar01.wordpress.com/segundo-corte/espectro-electromagnetico/>