

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**TITULO**

---

**Análisis multitemporal del comportamiento forestal en el ecosistema manglar mediante percepción remota, período 1986 a 2021, Tumbes.**

---

**Para optar el título profesional al Ingeniero Forestal y Medio Ambiente.**

**Presentado por:**

**Verina Valeria Cabrera Dioses**

**TUMBES – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**TITULO**

---

**Análisis multitemporal del comportamiento forestal en el ecosistema manglar mediante percepción remota, período 1986 a 2021, Tumbes.**

---

Tesis aprobada en forma y estilo por:

**Dr. Puestas Chully Miguel Antonio (Presidente)**

**Dr. Caucha Morales Jhony (Secretario)**

**Msc. Ing. Silva Chávez José Antonio (Vocal)**

**TUMBES – PERÚ – 2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



**TITULO**

---

**Análisis multitemporal del comportamiento forestal en el ecosistema manglar mediante percepción remota, período 1986 a 2021, Tumbes.**

---

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma:**

**Ba. Cabrera Dioses Verina Valeria (Autor)**

**Dr. Gines Tafur Eber (Asesor)**

**TUMBES – PERÚ**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO**  
**SECRETARIA ACADÉMICA**



"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Tumbes, a los veinticinco días del mes de octubre del dos mil veintidos, siendo las veinte horas, y en la modalidad virtual, a través de la plataforma zoom cuyo enlace <https://us02web.zoom.us/j/870200453122?pwd=LQVFRdkFhM0gwTXNTUjZZWTFkTXdUZz09>, se reunieron el Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, ratificado por **Resolución N° 036-2021/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D**, el Dr. PUESCAS CHULLY MIGUEL ANTONIO (Presidente), Dr. CAUCHA MORALES JHONY (Secretario) y M Sc. SILVA CHAVEZ JOSE ANTONIO (Vocal), reconociendo en la misma resolución, además, a la Dr. GINES TAFUR EBER como asesor y se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: "**Análisis multitemporal del comportamiento forestal en el ecosistema manglar mediante percepción remota, período 1986 a 2021, Tumbes**", para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, presentado por la: **Br. CABRERA DIOSES VERINA VALERIA**. Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de la sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 65 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a la: **Br. CABRERA DIOSES VERINA VALERIA** aprobado con el calificativo de **BUENO**.

Se hace conocer a la sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda APTA para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las veintiún horas y cuarenta minutos del mismo día, se dió por concluida la ceremonia académica, en forma virtual, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 25 de octubre del 2022

**Dr. MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY**  
DNI N° 02660522  
*Presidente*

**Dr. LUIS JHONY CAUCHA MORALES**  
DNI N.° 41378388  
*Secretario*

**M Sc. JOSE ANTONIO SILVA CHAVEZ**  
DNI N° 41013171  
*Vocal*

## **DEDICATORIA**

La tesis se la dedico especialmente a mis padres porque ellos nos brindan una gran herencia que es el estudio para ser profesionales

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente agradezco a Dios por darme la bendición, salud y sabiduría de cada día para realizar y terminar este trabajo de investigación y seguir cumpliendo cada meta que he propuesto.

Mi madre y hermano en apoyarme, estar presente en el proceso de investigación por su compañía que me brindaron diario y comprensión.

Mi agradecimiento infinito a Antoni Jiménez por estar siempre conmigo; aconsejarme y su comprensión en todo momento que me brindo de su conocimiento.

El Dr. Gines Tafur Eber, por haberme aceptado al asesoramiento de mi tesis, brindando de su conocimiento y dedicación.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
CAPITULO I.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	12
CAPITULO II.....	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. Análisis Multitemporal .....	18
2.2.2. Cambios de uso del suelo.....	18
2.2.3. Clasificación supervisada.....	19
2.2.4. Ecosistema.....	19
2.2.5. Ecosistema manglar .....	19
2.2.6. Máxima verosimilitud .....	20
2.2.7. Percepción remota o teledetección.....	21
2.2.8. Imágenes satelitales .....	21
2.2.9. Firmas espectrales.....	22
2.2.10. Landsat.....	23
2.2.11. Landsat 5 .....	23
2.2.12. LANDSAT 7 .....	24
Falla del corrector de línea de escaneo (SLC) Landsat 7.....	25
2.2.13. LANDSAT 8 .....	26
2.2.14. QGIS.....	27
CAPITULO III.....	28
III. METODOLOGÍA.....	28
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	28
3.2. Población, muestra y muestreo. ....	28
3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de la información (Datos). 28	
3.3.1. Ubicación del área estudio.....	28
3.3.2. Materiales y Equipos.....	30
3.3.3. Descripción metodológica:.....	31
3.3.3.1. Descargas de imágenes satelitales .....	31
3.3.3.2. Corrección atmosférica .....	32

3.3.3.3.	Reproyección .....	32
3.3.3.4.	Recortar .....	33
3.3.3.5.	Clasificación supervisada.....	34
3.3.3.6.	Filtrado .....	37
3.3.3.7.	Vectorización.....	38
3.3.3.8.	Categorización del cluster .....	39
3.3.3.9.	Eliminación de polígonos seleccionados.....	40
3.3.3.10.	Exactitud temática.....	40
3.3.3.11.	Matriz de confusión: .....	41
3.3.3.12.	Índice de kappa:.....	42
3.3.3.13.	Verificación punto de muestreo. ....	43
3.3.3.14.	Deforestación anual del bosque manglar .....	43
3.3.3.15.	Tasa anual de cambio (TAC) de la cobertura vegetal y el uso de suelo 44	
CAPITULO IV .....		45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....		45
CAPITULO V.....		57
5. CONCLUSIONES.....		57
CAPITULO VI .....		59
6. RECOMENDACIONES .....		59
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		60
8. ANEXOS.....		64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Firma espectral de la superficie terrestre. ....	22
Figura 2:	Cronología de las misiones Landsat. ....	23
Figura 3:	Falla del corrector.....	25
Figura 4:	ubicación espacial del ecosistema manglar en el departamento de Tumbes. ..	29
Figura 5:	Interfaz de EARTH EXPLORER .....	31
Figura 6:	Interfaz de corrección atmosférica en SPC - Qgis 3.24 .....	32
Figura 7:	Interfaz de reproyección .....	33
Figura 8:	Interfaz de cortar ráster por extensión en Qgis 3.24.....	34
Figura 9:	Imagen recortada al área de estudio.....	34
Figura 10:	Interfaz para la creación de juego de bandas RGB.....	35
Figura 11:	Imagen RGB (6-5-3) - Imagen Landsat 8.....	35
Figura 12:	Selección de muestra de las diferentes clases en estudio .....	36

Figura 13: Interfaz de la clasificación supervisada - máxima verosimilitud.....	36
Figura 14: Imagen clasificada por diferentes tipos de estratos.....	37
Figura 15: Interfaz de la herramienta filtrado.....	37
Figura 16: Resultado de la herramienta filtro.....	38
Figura 17: Interfaz de la herramienta r.to.vect para vectorizar imagen ráster.....	38
Figura 18: Definición de categoría de cada clase.....	39
Figura 19: Interfaz de la herramienta Eliminar los polígonos seleccionados.....	40
Figura 20: Obtención de firmas espectrales por cada tipo de estrato.....	46
Figura 21: Firma espectral de cada tipo de estrato en bandas de Landsat.....	46
Figura 22: Superficie (ha) del bosque manglar durante el periodo de estudio.....	50
Figura 23: Tendencia del comportamiento forestal del manglar durante el periodo de estudio.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resolución temporal de las imágenes satelitales de LANDSAT y SENTINEL ....	22
Tabla 2: Bandas del sensor TM - LANDSAT 5.....	24
Tabla 3: Bandas del sensor ETM+ Landsat 7.....	25
Tabla 4: Distribución de las bandas en OLI y TIRS.....	26
Tabla 5: Imágenes utilizadas en el proyecto de investigación.....	30
Tabla 6: Clases usadas en la clasificación supervisadas.....	35
Tabla 7: Ejemplo de cuadro de superficie por clúster.....	41
Tabla 8: Cuadro de Matriz de Confusión.....	42
Tabla 9: Valores de fuerza de concordancia - Kappa.....	42
Tabla 10: Ficha para la recolección de datos en campo.....	43
Tabla 11: Análisis de separabilidad Jeffries - Matusita.....	47
Tabla 12: Superficie y porcentaje de ocupación de las diferentes clases por año de estudio.....	48
Tabla 13: Valores de precisión y kappa - exactitud temática.....	49
Tabla 14: Descripción de la deforestación y recuperación en el periodo de estudio.....	53
Tabla 15: Deforestación y recuperación en el periodo de estudio.....	54
Tabla 16: Deforestación promedio anual y tasa de deforestación en el periodo de estudio.....	56

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo Analizar multitemporal mente el comportamiento forestal en el ecosistema manglar mediante percepción remota, en el período 1986 a 2021, se descargaron imágenes satelitales LANDSAT 5, 7 y 8 para los años de 1986, 1996, 2003, 2014 y 2020. En el software Qgis 3.24 se realizó la clasificación supervisada utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud, disponible en la herramienta Semi-Automatic Classification, obteniendo 5 clases como manglar, agua, suelo, agricultura y bosque seco, dicha cartografía fue validada con imágenes históricas del Google Earth, finalmente la deforestación y recuperación del ecosistema se logró determinar mediante los cambios de las clases durante el periodo de estudio.

Los resultados muestran una alta separabilidad espectral de las clases en estudio, validando la capacidad del algoritmo de máxima verosimilitud en detectar el bosque de manglar. Durante el periodo de 1986 hasta 1996, se registró una deforestación anual de 28.09 ha con una tasa de -0.55 %, donde se registra 798.09 ha deforestadas y 479.76 ha en proceso de recuperación, el periodo de 1996 hasta 2003 la deforestación anual es de 9.79 ha con una tasa de -0.20 %, se registra una pérdida de 377.23 ha y 253.12 ha en recuperación; el periodo de 2003 hasta 2014 la deforestación anual es de -32.7 ha con una tasa de 0.65%, donde registra una pérdida de 337.15 ha y una ganancia de 696.54 ha, muestra una alta capacidad de recuperación del bosque; finalmente el periodo de 2014 hasta 2020, la deforestación anual es de 10.63 ha con una tasa de -0.20 %, donde 278.55 ha se registra como perdida y una ganancia de 214.8 ha, respectivamente.

**Palabras claves:** Percepción remota, Separabilidad espectral, Máxima verosimilitud, Deforestación y Recuperación.

## ABSTRACT

The objective of this study was to analyze multi-temporally the forest behavior in the mangrove ecosystem through remote sensing, in the period 1986 to 2020, satellite images LANDSAT 5, 7 and 8 were downloaded for the years 1986, 1996, 2003, 2014 and 2021. In the Qgis 3.24 software, the supervised classification was carried out using the maximum likelihood algorithm, available in the Semi-Automatic Classification tool, obtaining 5 classes such as mangrove, water, soil, agriculture and dry forest, said cartography was validated with historical images of the Google Earth, finally the deforestation and recovery of the ecosystem was determined through the changes of the classes during the study period.

The results show a high spectral separability of the classes under study, validating the ability of the maximum likelihood algorithm to detect the mangrove forest. During the period from 1986 to 1996, an annual deforestation of 28.09 ha was recorded with a rate of -0.55%, where 798.09 ha was recorded as deforested and 479.76 ha in the process of recovery, the period from 1996 to 2003 the annual deforestation of 9.79 ha with a rate of -0.20%, a loss of 377.23 ha is recorded and 253.12 ha in recovery; the period from 2003 to 2014 the annual deforestation is -32.7 ha with a rate of 0.65%, where it registers a loss of 337.15 ha and a gain of 696.54 ha, showing a high recovery capacity of the forest; Finally, the period from 2014 to 2020, the annual deforestation is 10.63 ha with a rate of -0.20%, where 278.55 ha is recorded as lost and a gain of 214.8 ha, respectively.

**Keywords:** Remote perception, Spectral separability, Maximum likelihood, Deforestation and Recover

## CAPITULO I

### I. INTRODUCCIÓN

La ecorregión de manglares se extiende desde el golfo de Guayaquil a lo largo de las costas desde latitud 3° 24' en el departamento de Tumbes, aunque existe rodales de mangle en la desembocadura del río Piura a los 3° 32', posee una extensión de 300, 000 ha de las cuales 10 550 ha se encuentra en el Perú. Se representa por 06 especies de mangle: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora racemosa*, *Laguncularia racemosa*, *Avicenia germinas* y *Conocarpus erectus*. (CDM-UNALM, 2006).

Los manglares son una fuente muy importante de recursos hidrobiológicos, siendo la actividad principal de la población local es la extracción de la concha negra (*Anarada tuberculosa*), cangrejo de manglar (*Ucides occidentalis*) y una diversa variedad de peces, moluscos y crustáceos. (Angulo & Fernando, 2014).

El ecosistema manglar ofrece diversos servicios ecosistémicos tal como la provisión de alimentos en la extracción de recursos hidrobiológicos, provisión de materia prima de origen biológicos, actividades recreativas y ecoturismo, regulación morfosedimentaria, regulación de salinidad y de soporte de biodiversidad. (Flores, Céspedes, & Martínez, 2013).

Los manglares del Perú han disminuido drásticamente en superficie debido a la actividad de cultivo de langostino iniciado en 1978, razón que el estado peruano mediante el decreto supremo N°018-88-AG, creará del Santuario Nacional Manglares de Tumbes. (Angulo & Fernando, 2014).

Por ende, se ha realizado la evaluación de los cambios del ecosistema manglar causada por la expansión acuícola y otras actividades antrópicas desde 1986, que han conllevado a la disminución drástica del bosque manglar actualmente, permitiendo obtener mediante técnicas de percepción remota y sistema de información geográfica cartografía como insumo para la gestión de los recursos naturales del ecosistema manglar trayendo beneficio a las poblaciones aledaña.

## CAPITULO II

### II. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

Benavides Varela, Samper Villarreal, & Cortés, (2016), Analizaron la cobertura en dos manglares, ubicados en bahía Culebra y playa Pacífico Norte de Costa Rica. Utilizando imágenes satelitales para estudiar los cambios del manglar durante el periodo de 1945 – 2010 que se basaron para evaluar la extensión y variación actual de la cobertura de manglares en los últimos años, para determinar cambios. El año 1970 (28,4 ha en Iguanita y 4,8 ha en playa Panamá) pero aumento en los últimos años (38,9 ha en Iguanita y 12,0 ha en Panamá).

Carrasquilla Henao, (2011), Observó el cambio de la cobertura del manglar perteneciente al sistema lagunar San Ignacio - México, por medio de una clasificación supervisada y una verificación de campo con puntos de control en tierra del año 1993 a 2009. Se escogieron 5 pesquerías relacionadas con el manglar y decidieron una correlación entre la cobertura con respecto a los volúmenes obtenidos de captura total por año y su CPUE anual en conjunto y por separado. Se obtuvo un porcentaje precisión de 90.67% y un índice de kappa de 0.86. La cobertura de manglar no vario significativamente fluctuando entre 11,886 y 11,929 hectárea

Céspedes, (2014); Menciona que la actividad acuícola se desarrolla como rublo de producción económica importante. En tumbes se desarrolla con la presencia de empresas langostineras instaladas desde los años 70. Mediante el uso de imágenes satelitales logro determinar los impactos ocasionados por la actividad acuícola sobre los manglares de Tumbes. Los resultados muestran tres momentos de la actividad langostinera, entre los años de 1985 hasta 1991, hubo un aumento de las pozas langostineras en la zona de amortiguamiento. 1991 – 2000, existe una cierta inactividad sin aumento de infraestructura, finalmente para los años 2000 al 2010, se aprecia una reactivación de las pozas y aumento notorio de nuevas áreas langostineras.

Dwi & Erwin, (2022); En el presente estudio logro desarrollar un método rápido y fácil de identificación de bosques de manglares basado en datos de imágenes satelitales. El lugar de investigación fue los manglares en Segara Anakan, Cilacap. La imagen utilizada fue Landsat 8 el 03 de diciembre del 2017. Los métodos utilizados incluyen el método Optimum Index Facto (OIF), para seleccionar los mejores canales y método de clasificación supervisada mediante el complemento de clasificación automática (SCP), contenido en el software de código abierto y proporciona tres opciones de clasificación, la distancia mínima, mapeo de máxima verosimilitud y Angulo Espectral. Los resultados muestran que la combinación RGB (NIR+SWIR+RED), fue la mejor en la identificación de bosques de manglares y el algoritmo de clasificación de máxima verosimilitud fue el óptimo para distinguir manglares y clases tanto de macro clases como niveles de clases. El resultado de cálculo del área es de 4,541 ha.

Flores, (2017); Menciona que los principales impactos físicos de eventos del niño sobre el manglar puede resumirse en aumento de la temperatura de las aguas costeras, ocurrencia de lluvias intensas con el conseqüente crecimiento de los caudales, provocando cambios negativos en la salinidad de las aguas, aumento de concentraciones de oxígeno disuelto e incremento de la erosión en los rios, este ultimo factor provocaria la

colmatación de los esteros. Estos impactos provocaron cambios drásticos en las comunidades vegetales y por ende los recursos hidrobiológicos. Estos cambios incluyen pérdida de biomasa vegetal (manglares), reducción o pérdida de recursos hidrobiológicos.

IGP, (2014); Realizaron el análisis multitemporal del bosque manglar durante los periodos de 1977, 1982, 1984, 1991, 1996, 2000, 2003, 2008 y 2014, donde identificaron manglar, matorral, suelo desnudo y cuerpos de agua, se eligieron los años para visualizar el comportamiento de la cubierta de manglar. Se obtuvo la superficie de bosque manglar, donde en 1977 ocupa una extensión de 5,671.89 ha, en 1982 con 4,742.46 ha, 1983 con 4,479.21, 1984 con 3,829.50, 1991 con 3,531.06 ha, 1996 con 4135.5 ha, 1998 con 3512.88 ha, 2003 con 4441.50 ha, 2008 con 4395.15 ha y finalmente en el 2014 con 4,586.58 ha, respectivamente. En el periodo de 1977 – 1991, la disminución del bosque manglar es de 37.74 %, por el cambio drástico como consecuencia de la expansión acuícola y agrícola. El periodo de 1991 – 2000, se aprecia un aumento del manglar. El periodo del 2000 – 2014, se presenta un ligero incremento de cobertura manglar y un cambio en la desembocadura del río Tumbes. El periodo de 1982 – 1984, se obtuvo una disminución del manglar probablemente asociada al evento del niño extraordinario de 1982 y 1983.

ONERN, (1992); Logro cartografiar y cuantificar la superficie del manglar de Tumbes, así como los cambios entre el periodo de 1982 – 1992. Con el fin de obtener información precisa y necesaria para las acciones de control y manejo de este ecosistema. El procedimiento implicó el empleo de imágenes satelitales HRV, SPOT y MSS LANDSAT, realizadas digitalmente e interpretadas visualmente. Asimismo, incluyeron la manipulación de los mapas producidos, vía las técnicas de SIG, con el fin de obtener un mapa comparativo que refleja los cambios en la cobertura y uso de la tierra. El estudio concluye que la superficie de 1992 es de 4,541 ha, se extendía en 5,964 ha en 1982. La pérdida de manglar del periodo 1982 – 1992 es de 1,791 ha, donde 1,294 ha corresponde a pérdida por actividad langostineras y 497 ha, por otras causas. Así mismo

en manglar ha incrementado su cobertura en 368 ha, resultado de la colonización de áreas salinas y bancos de arena,

Pilco, (2021); En su investigación efectuó la evaluación y análisis multitemporal de la cobertura y uso del suelo en un área de 157,458.19 hectáreas, en el estuario Golfo de Guayaquil, mediante SIG y teledetección, utilizo el método de clasificación supervisada con imágenes Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, en las fechas de 1991, 2003, 2011 y 2019, las clasificaciones se validaron mediante matriz de confusión donde el valor de kappa oscila entre 0.9 y 1.0. Se obtuvo la tasa anual de cambio, donde existe una disminución del manglar entre los periodos de 1991 a 2003 con un valor de TAC de -0.22 %, de la cobertura del manglar anual, entre 2003 – 2011, se calculó un TAC de -0.04 %, finalmente en el periodo de 211 – 2019 se registró un incremento de 0.11 %, respectivamente.

Siciani, Rahmadi, & Islami, (2020); La presente investigación tuvo como propósito mapear la distribución espacial de bosque manglar en la ciudad de Langsa, analizar los cambios que ocurren e identificar los factores. Se seleccionaron imágenes Landsat 5 y Landsat 8 en los periodos (1996, 2006, 2016, y 2018). En el estudio utilizaron la clasificación de máxima verosimilitud, obteniendo una precisión del 62.5 % para el 2018. Los cambios de los manglares durante los 3 periodos han disminuido, 419.04 ha en 1996 – 2006, aumento a 459.76 ha en 2006 – 2016 y disminuyo 330.57 ha en 2016-2018. Los cambios fueron causados por factores antropogénicos como acumulación de basura, asentamientos, etc.

Vélez Alvarado & Álvarez Mozos, (2020), En su investigación utilizo una serie temporal de imágenes satelitales SENTINEL- 1 para discriminar los usos y cubiertas del suelo y para analizar los cambios ocurridos en el año 2015 a 2018, aplicando un algoritmo de clasificación Random Forests (RF), cuyos parámetros fueron optimizados mediante una validación cruzada con el conjunto de datos de entrenamiento (70% de la verdad campo). El 30% restante se utilizó para validar la clasificación realizada, logrando una fiabilidad global del 84%, un coeficiente Kappa de 0,8.

Vera Andrade E. A., (2018), Demostraron en su investigación mediante el método de clasificación supervisada con imágenes satelitales utilizando landsat TM 5, landsat ETM+ y landsat 8, de año 1991 a 2018 y finalizando se aplicó el análisis matemático de la Tasa Anual de Cambio (TAC). Obtuvieron un incremento anual de cobertura vegetal del manglar entre los años 1991 a 2000, según TAC arrojó 1.9% aumento de cobertura manglar anual, después el TAC para el análisis entre 2000 a 2006 arrojó -2.4% pérdida de cobertura vegetal anual, siendo este el valor más elevado siendo pérdida de manglar.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Análisis Multitemporal**

Este procedimiento metodológico de interpretación visual, que permite evaluar los cambios que sufren en la situación de la cobertura de bosque o no bosque entre diferentes periodos, deduciendo ganancia o pérdida del bosque manglar, como consecuencia de un fenómeno natural o de origen antrópico y en las imágenes satelitales identifica los cambios demostrados para comparar con los datos obtenidos del satélite.

### **2.2.2. Cambios de uso del suelo**

Definen a la cobertura como la cantidad y tipo de cubiertas vegetales, cuerpos de aguas, materiales terrestres y las infraestructuras humanas existentes sobre la superficie terrestre. Las modificaciones del suelo pueden ocurrir de manera natural, como un proceso de variación climática, erupciones volcánicas, hundimientos o deslizamientos de tierras; o pueden ser de tipo antrópico, entre los que destacan los factores demográficos, sociales, económicos y políticos. Las consecuencias generales se ven reflejadas en cambios de cobertura vegetal.

### **2.2.3. Clasificación supervisada**

Permite clasificar el ráster de cada uno de los píxeles existente en la imagen satelital, que define el área de entrenamiento. (Monterroso Tobar, 2013).

Decidir el número de clúster que van a utilizar en la investigación, se debe considerar que los objetos a diferenciar deben contar con diferentes firmas espectrales para que sus valores sean tomados como parámetros para seleccionar aquellos píxeles de la imagen con mayor probabilidad de acercarse al valor definido. (Hernández Camacho, 2018).

### **2.2.4. Ecosistema**

Los ecosistemas son un “complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional” que forman parte del patrimonio natural de la nación, y dado que proporcionan bienes y servicios a la población se constituyen en un capital natural. Sin embargo, los ecosistemas se han venido transformando de manera acelerada por la acción humana, debido a factores sociodemográficos, económicos y político institucionales. (Ministerio del Ambiente, 2019).

### **2.2.5. Ecosistema manglar**

Los bosques de mangle se encuentra distribuidos en las regiones costeras en los trópicos, subtropicos excepcionalmente en corrientes frías. Los manglares latinoamericanos se halla en trópicos occidentales, sur oeste brasileño, costa ecuatoriana y extremo norte del Perú. (Takahashi 2002, Inrena 2007, citado por Flores, Céspedes, & Martínez, 2013).

Los manglares de tumbes se desarrollan en clima semi arido con influencia del sistema ocanico, generalmente las precipitaciones son de 100 mm anuales, la temperatura media oscila entre 22 y 27°C con una humedad relativa del 72 a 86%. (Inrena,2007, citado por Flores, Céspedes & Martínez, 2013). El manglar es un ecosistema hidromorficos, ubicados en estuarios de zonas intermareables de agua salobres, su fisonomia corresponde a un bosque denso y semidenso con una altura de 8 a 10 m, con sotobosque de herbacias y arbustos desarrollandose en clima subhumedo a humedo suelos profundos con gran cantidad de materia organica. El ecosistema manglar esta constituido por bosques de mangle, bosque seco asociado a los esteros y banco de arena, los bordes de los esteros se establece una vegetacion de arboles siempre verde (con raíces zancudas) “el mangle rojo” (*Rhizophora mangle*) y “mangle colorado” (*Rhizophora harrisoni*), (sin raíces zancudas) “mangle jeli” o “mangle blanco” (*Laguncularia racemosa*) y “mangle prieto” o “mangle salado” (*Avicenia germinans*) y finalmente “mangle piña” (*Conocarpus erecta*). (Ministerio del Ambiente, 2019).

#### **2.2.6. Máxima verosimilitud**

Este algoritmo máxima verosimilitud o máxima probabilidad es ampliamente utilizada en la teledetección y es considerado como el proceso de discriminación más eficiente en imágenes satelitales, porque permite agrupar los pixeles que tienen mayor probabilidad de pertenecer a una clase asignada. Donde establece campo de entrenamiento característicos a cada categoría de cobertura vegetal y uso de suelo. (Vera Andrade E. A., 2018).

El clasificador evalúa la probabilidad de que un pixel dado, con una respuesta espectral específica, pueda permanecer a una clase y lo asigna a la clase con la mas alta probabilidad de membresía.

### **2.2.7. Percepción remota o teledetección**

La teledetección permite obtener información a través de imágenes satelitales de la superficie terrestre de sensores instalados en plataformas espaciales, detecta la señal electromagnética que les llega a la tierra y a la atmósfera. Los sensores convierten las señales electromagnéticas en formato analógico o digital. Los datos de los sensores proporcionan información para monitorear los parámetros de interés. (Cárdenas, 2013).

La palabra percepción proviene del latín “perceptio” que significa capturar por completo las cosas; remota viene del latín “remotus o removere” que hace referencia. Por lo tanto, percepción remota es capturar cosas por completo a una distancia de separación entre el dispositivo que adquiere datos y los objetos. Dado que no se tiene contacto directo con el objeto de interés, se debe confiar en las señales propagadas por dichos dispositivos, las mismas que pueden ser: ópticas, acústicas, microondas, etc. (Andrade Santamaría & Molina Bustamante, 2016)

### **2.2.8. Imágenes satelitales**

Es una representación visual de los datos reflejados de la energía que es emitida por los objetos que se encuentran en la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite. Los datos son enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imagen, dando conocimiento de las características de la tierra en diferentes escalas espaciales. (Salas, Castro, & Cuthbert, 2019).

Tabla 1: Resolución temporal de las imágenes satelitales de LANDSAT y SENTINEL

Imágenes satelitales gratuitas		
Satélite	Landsat	Sentinel
Tiempo de revisita	16 días	5 días

### 2.2.9. Firmas espectrales

Los diferentes tipos de superficie como el agua, la tierra, reflejan la radiación en diferentes canales. La radiación se refleja en función a la longitud de onda se le denomina firma espectral de la superficie. La vegetación presenta una reflexión considerablemente elevada en el canal infrarrojo cercano y una baja reflexión en el canal visible del rojo. La reflexión del suelo desnudo aumenta ligeramente en las bandas visibles e infrarrojas del espectro, existen diferencias entre los distintos tipos de suelo, tierra seca y húmeda o las distintas composiciones de minerales en la superficie. El agua solo refleja luz visible y casi no refleja en la gama cercana del infrarrojo. (ver Figura 1) (ESA, 2022).

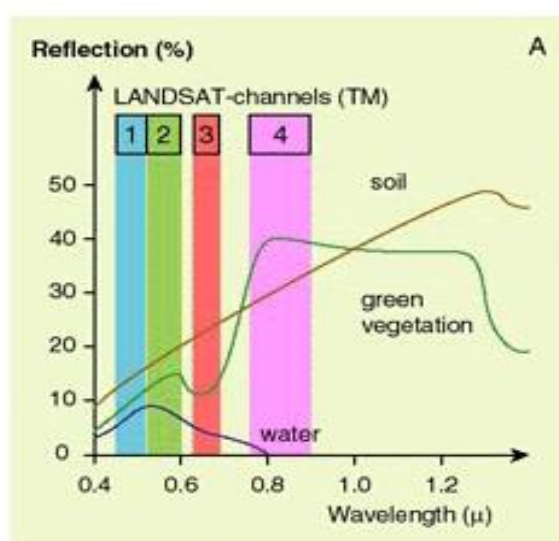


Figura 1: Firma espectral de la superficie terrestre.

Fuente: (ESA, 2022)

## 2.2.10. Landsat

Satélites de observación de la Tierra desde 1972, una serie de satélites Landsat han adquirido continuamente imágenes espaciales de la superficie terrestre de la Tierra, que brindan información esencial que sirven como recursos valiosos para la investigación del uso de la tierra / cambio de la tierra. Landsat es un esfuerzo conjunto del Servicio Geológico de EE. UU (USGS) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). (Servicio Geológico de EE.UU., 2016).

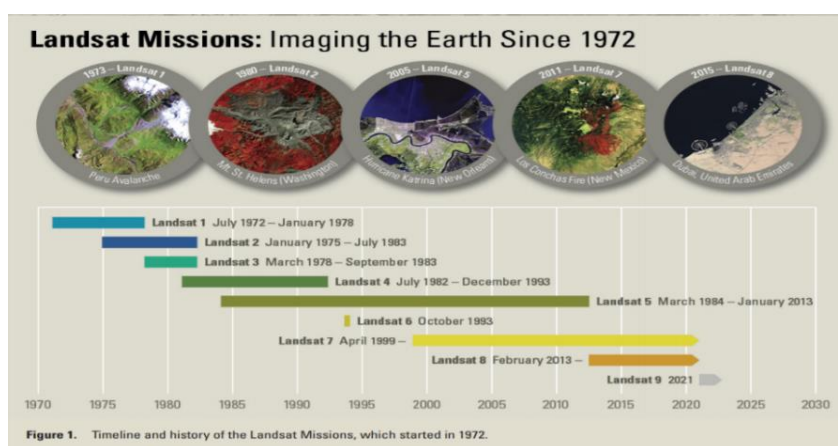


Figura 2: Cronología de las misiones Landsat.

Fuente: (Servicio Geológico de EE.UU., 2016)

## 2.2.11. Landsat 5

Lanzado el 1 de marzo de 1984, el que duró más tiempo monitoreando la tierra hasta la fecha 5 de junio del año 2013, que obtuvo dos sensores y distancia terrestre de muestreo (GSD) (el escáner multiespectral (MSS) distancia de 60m y mapeo temático (MT) distancia de 30m), 120m para la banda térmica, al contar con un conjunto amplio de bandas espectrales lo hace esencial para el análisis del espectro electromagnético (USGS, 2022).

Tabla 2: Bandas del sensor TM - LANDSAT 5

TM			
Bandas	Bandas espectrales, incluida la banda térmica	$\mu\text{m}$	GSD (m)
1	Visible (azul)	0,45 – 0,52	30
2	Visible (verde)	0,52 – 0,60	30
3	Visible (roja)	0,63 – 0,69	30
4	Infrarrojo cercano	0,76 – 0,90	30
5	Infrarrojo cercano	1,55 – 1,75	30
6	Infrarrojo térmico	10,40 – 12,50	120
7	Infrarrojo medio	2,08 – 2,35	30

Fuente: (USGS, 2022).

### 2.2.12. Landsat 7

Lanzado desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California el 15 de abril de 1999 en un cohete Delta II. El satélite lleva el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Las características principales, incluyen una banda pancromática con una resolución espacial de 15 metros, imágenes de 8 bits con 256 niveles de gris, un calibrador solar de apertura completa integrado, una calibración radiométrica absoluta del 5% y un canal infrarrojo térmico con una mejora de cuatro veces en la resolución espacial sobre Thematic Mapper (TM). Desde junio de 2003, el sensor ha adquirido y entregado datos con brechas de datos causadas por la falla del corrector de línea de exploración (SLC). (USGS, 2022).

Tabla 3: Bandas del sensor ETM+ Landsat 7

	Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolucion (metros)
Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Banda 1 - Azul	0.45 – 0.52	30
	Banda 2 - Verde	0.52 – 0.60	30
	Banda 3 - Rojo	0.63 – 0.69	30
	Banda 4 - Infrarrojo cercano	0.77 – 0.90	30
	Banda 5 - Infrarrojo de onda corta	1.55 – 1.75	30
	Banda 6 - Térmica	10.40 – 12.50	60
	Banda 7 - Infrarrojo medio	2.08 – 2.35	30
	Banda 8 - Pancromático	0.52 – 0.90	15

Fuente: (USGS, 2022)

### Falla del corrector de línea de escaneo (SLC) Landsat 7

El 31 de mayo de 2003, el Scan Line Corrector (SLC), que compensa el movimiento de avance del satélite, falló. Sin un SLC en funcionamiento, la línea de visión del sensor traza un patrón en zig-zag a lo largo de la trayectoria terrestre del satélite. (USGS, 2022).

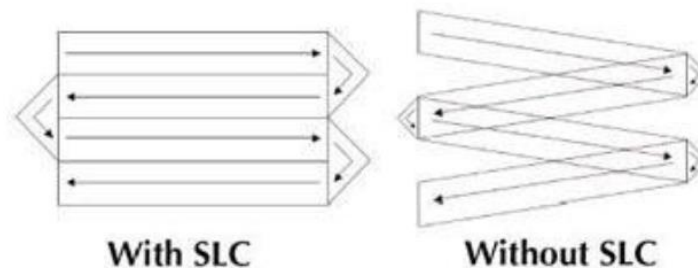


Figura 3: Falla del corrector.

Fuente: (USGS, 2022)

### 2.2.13. LANDSAT 8

Lanzado desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California el 11 de febrero de 2013, construida por Orbital Sciences Corporation. La pieza central del observatorio es Operational Land Imager (OLI), que fue diseñado y construido por Ball Aerospace and Technologies Corporación. elaborado con dos sensores de la escoba de empuje, mayor rendimiento de señal a ruido y cuantificación de 12 bits; resolución espacial de 30m (infrarrojo cercano (NIR) e infrarroja de onda corta (SWIR)), 15m para la banda pancromática y 100m a la banda térmica. La banda también se incluye para indicar la presencia de sombras del terreno, artefactos de datos y nubes. El Sensor Térmico Infrarrojo (TIRS). (Servicio Geológico de EE.UU, 2013).

Tabla 4: Distribución de las bandas en OLI y TIRS.

	Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolucion (metros)
Landsat 8 operational land imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Banda 1 – Aerosol costero	0.43 – 0	30
	Banda 2 – Azul	0.45 – 0.51	30
	Banda 3 – Verde	0.53 – 0.59	30
	Banda 4 – Rojo	0.64 – 0.67	30
	Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 – 0.88	30
	Banda 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
	Banda 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
	Banda 8 – Pancromático	0.50 – 0.68	15
	Banda 9 –Cirus	1.36 – 1.38	30
	Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
	Banda 11 – Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Fuente: (USGS, 2022)

#### **2.2.14. QGIS**

Es una aplicación profesional de SIG (Sistema de Información Geográfica) que esta construida de ser Software Libre y de Código Abierto (FOSS).

Proporciona una creciente gama de capacidades a través de sus funciones básicas y complementos. Puede visualizar, gestionar, editar y analizar datos, y diseñar mapas imprimible

## **CAPITULO III**

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

La investigación fue aplicada y descriptiva, los resultados y conocimientos que se obtuvieron nos permite analizar el comportamiento forestal del ecosistema manglar en la región de Tumbes desde 1986 al 2020, siendo una herramienta para gestionar la recuperación de dicho ecosistema

#### **3.2. Población, muestra y muestreo.**

La población objetivo estuvo comprendida por el ecosistema manglar y lo diferentes ecosistemas aledaños, la muestra representa los bosques de mangle y el muestreo comprende los puntos de verificación en campo. Para delimitar y detectar la firma espectral del manglar es necesario establecer un área de estudio que incluya los diferentes ecosistemas aledaños.

#### **3.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de la información (Datos).**

##### **3.3.1. Ubicación del área estudio.**

El área de estudio estuvo comprendida por el ecosistema manglar y ecosistema aledaños en el departamento de Tumbes, como se muestra en la Figura 4, del cual se ha realizado el análisis multitemporal detectando su recuperación y deforestación en el periodo 1986 a 2021.

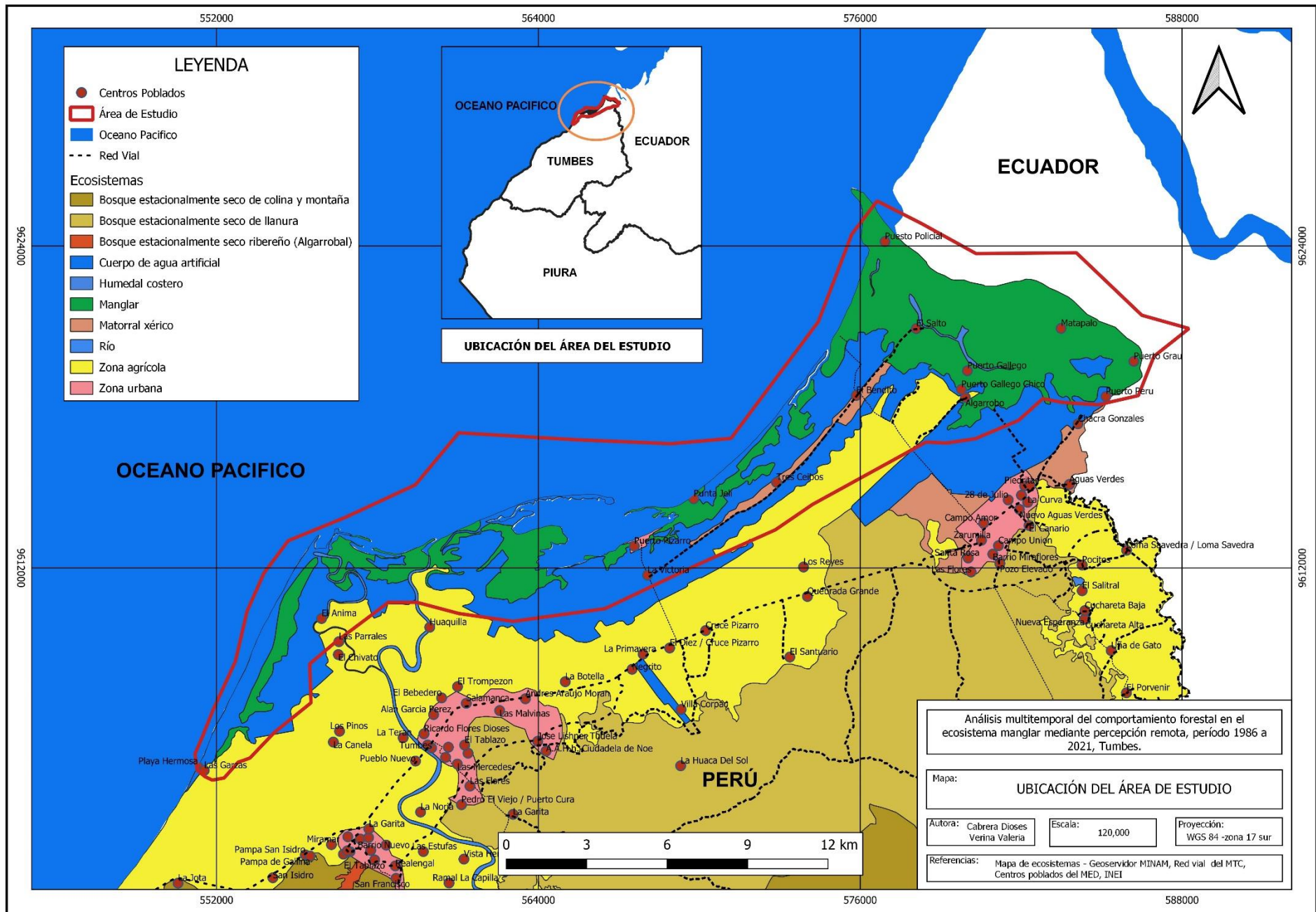


Figura 4: ubicación espacial del ecosistema manglar en el departamento de Tumbes.

### 3.3.2. Materiales y Equipos.

#### Imágenes Satelitales:

Tabla 5: Imágenes utilizadas en el proyecto de investigación.

Landsat	Sensor	Fecha	Imagen
Landsat 5	Mapeo Temático (MT)	14 /03 /1986	LT05_L1TP_011062_19860314_20170218_01_T1.tar.gz
Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	31 /07/1996	LT05_L1TP_011062_19960731_20170103_01_T2.tar.gz
Landsat 7	Operational	08/ 05/2003	LE07_L1TP_011062_20030508_20170125_01_T1.tar
Landsat 8	Land Imager (OLI)	02/08/2014	LC08_L1TP_011062_20140802_20200911_02_T1
Landsat 8		02/08/2020	LC08_L1TP_011062_20200802_20200914_02_T1.tar

La selección de imágenes depende de la temporalidad y disponibilidad de imágenes sin nubosidad, para ello es recomendable seleccionar imágenes en época seca sin precipitaciones, debido a que los bosques aledaños en época húmeda tienen la misma reflectancia que el bosque manglar, generando confusiones. Aquellas imágenes con nubosidad fueron descartadas por ende para el año 2021, toda la colección de Landsat 8 presenta alto porcentaje de nubosidad en el área de estudio, para ello se realizó el análisis para el año 2020.

#### Equipos

GPS marca garmin 64S

Celular : cámara de motorola 9g plus

Laptop Acer: DESKTOP-P6TQM7K

- Procesador: Intel (R) Core (TM) i5-8300H CPU@ 2.30GHz.
- RAM : 4.00 GB (3.85 GB usable)
- Versión : 21H2

**Software:**

QGIS 3.24 (Semic Automatic Pluglin)

Microsoft office Word, Excel, Power Point.

Google Earth

**3.3.3. Descripción metodológica:**

**3.3.3.1. Descargas de imágenes satelitales**

En el estudio se descargaron imágenes satelitales LANDSAT 5, LANDSAT 7 y LANDSAT 8 del periodo de 1986 hasta 2020, para ello se procedió a realizar la descarga de imágenes satelitales en la página web de Earth Explorer <https://earthexplorer.usgs.gov/>, como indica en la Figura 5.

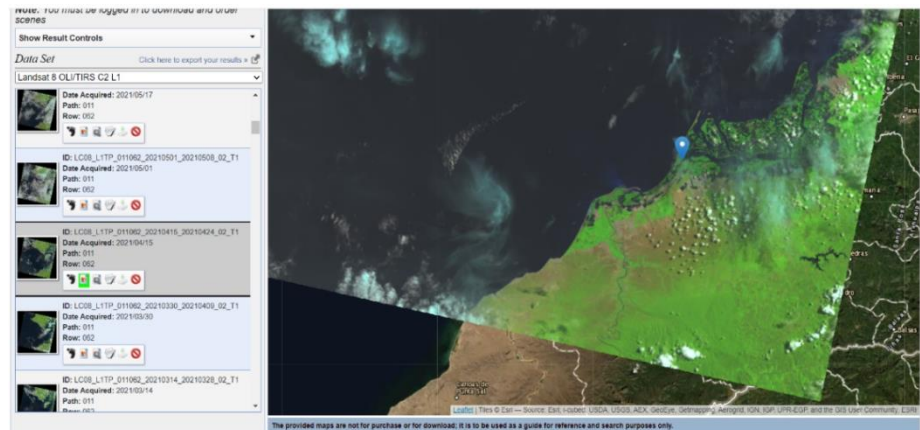


Figura 5: Interfaz de EARTH EXPLORER

### 3.3.3.2. Corrección atmosférica

Las imágenes satelitales tienden a tener falsos datos debido a la presencia de gases como el vapor de agua, para reducir esta interferencia se realizó la corrección atmosférica DOS1. A través del programa QGIS 3.24 mediante la herramienta **SCP > preprocesamiento > LANDSAT > indicar directorio del contenido > seleccionar MTL file > aplicar la corrección DOS1 > RUN**. Como muestra la Figura 6.

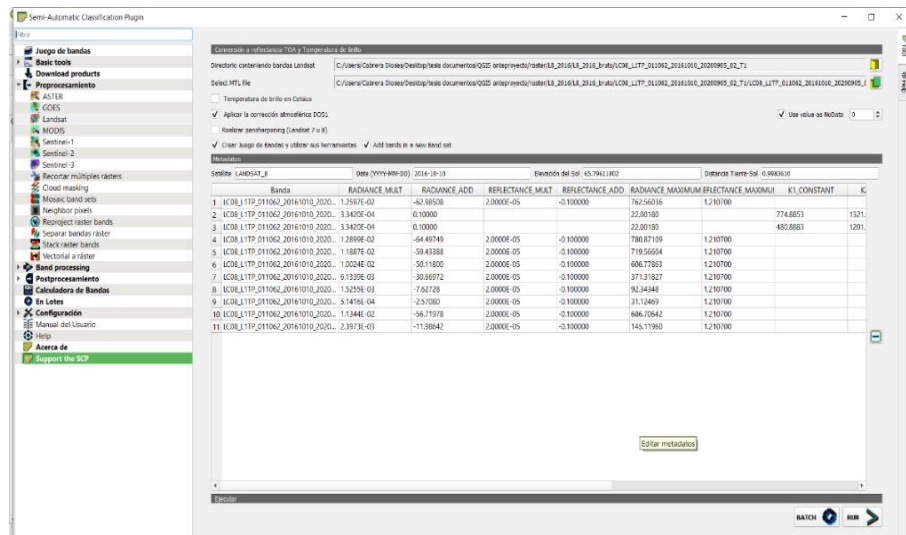


Figura 6: Interfaz de corrección atmosférica en SPC - Qgis 3.24

### 3.3.3.3. Reproyección

El ámbito del estudio corresponde al ecosistema manglares de Tumbes por ende las imágenes satelitales se re proyectará a UTM - DATUM WGS84 - HUSO 17S, en el software se aplicaron en siguiente proceso: **Ráster > reproyecciones > combar (reproyectar) > ejecutar como proceso de lotes > el signo (+) se añade las capas dependiendo la cantidad de bandas que tiene el sensor**

> SRC de origen > 17N > SRC objetivo > 17S > Reproyectada >... > agregar las bandas en carpeta > L8\_2014\_reproyec > L8\_2014\_reproyec\_B2 > rellenar con números > ejecutar. Eliminar capas (corregir) > agregar las capas de (reproyectar). Como muestra en la Figura 7.

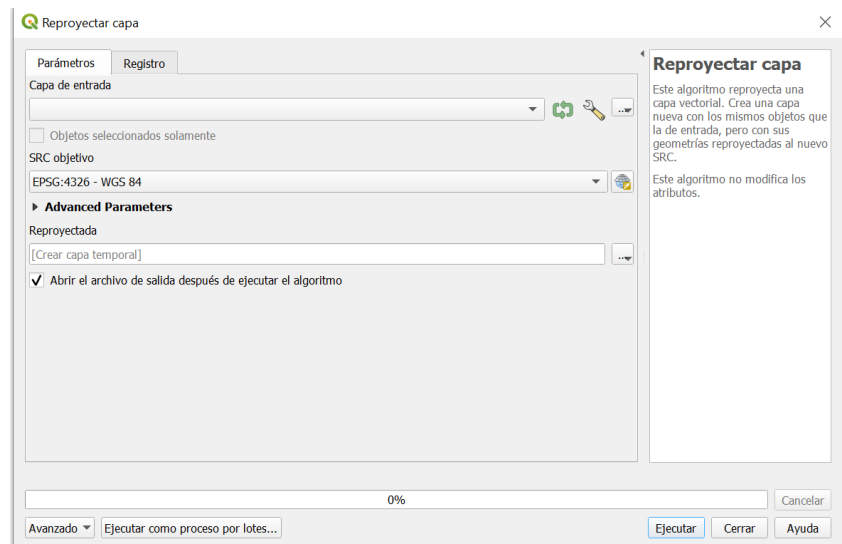


Figura 7: Interfaz de reproyección

#### 3.3.3.4. Recortar

Las imágenes que han sido reproyectadas se recortaron a la extensión al área de estudio, se aplicaron el siguiente proceso: **Ráster > extracción > cortar ráster por extensión > ejecutar como proceso por lotes > en signo (+) se añade las capas dependiendo la cantidad de bandas que tiene el sensor > extensión de corte > calcular a partir de capa > área de estudio > recortado (extensión) > agregar carpeta de L8\_2014\_recorte > L8\_2014\_recor\_B2 > rellenar con números > ejecutar. > eliminarlas capas de (reproyectar) > agregar las capas de (recorte).** Como se muestra en las Figuras 8 y 9.

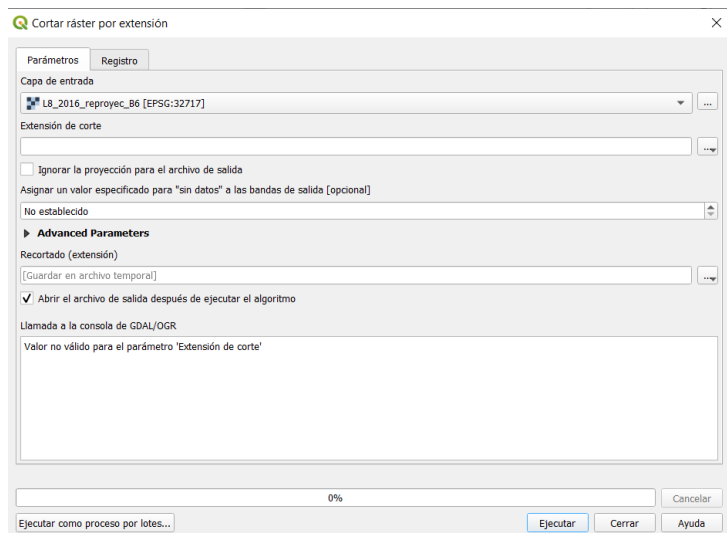


Figura 8: Interfaz de cortar ráster por extensión en Qgis 3.24

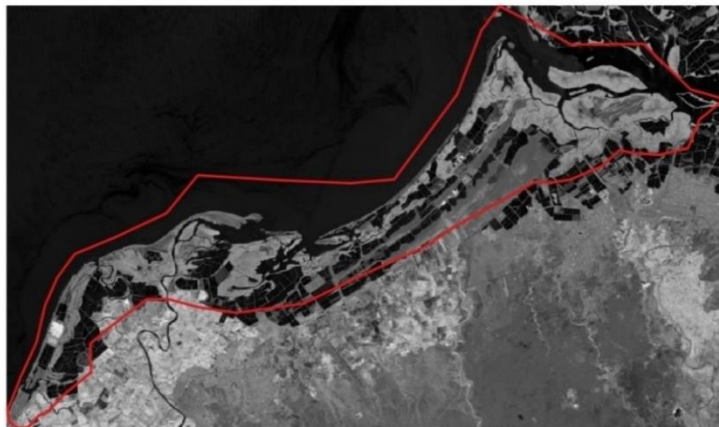


Figura 9: Imagen recortada al área de estudio.

### 3.3.3.5. Clasificación supervisada

Para clasificar la cobertura del ecosistema manglar se aplicó el algoritmo de máxima verosimilitud (maximum likelihood) que calcula la distribución de probabilidad para cada clúster, es decir que permite definir sobre la imagen unas zonas o áreas representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar. Para clasificar las imágenes satelitales, se necesita realizar una combinación de bandas para este caso hemos utilizado el RGB (6-5-3). **Añadir panel SCP Dock > juego de bandas > wavelength quick**

**settings > crear ráster virtual de bandas > RUN > L8\_2020\_RGB.** Como se muestra en las Figuras 10 y 11.

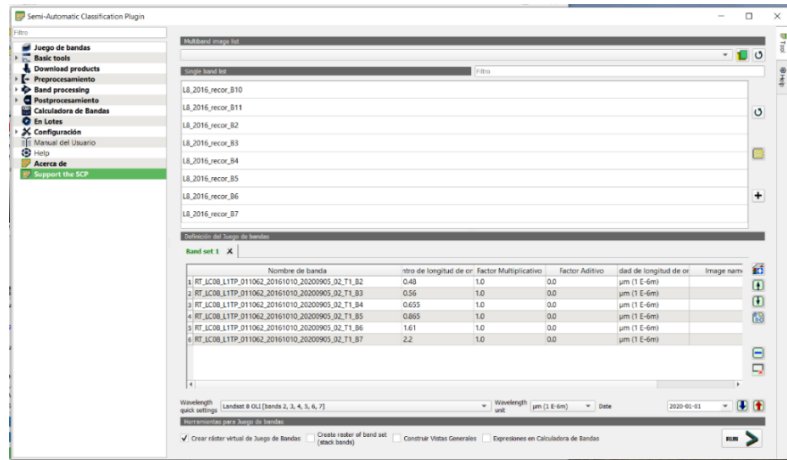


Figura 10: Interfaz para la creación de juego de bandas RGB

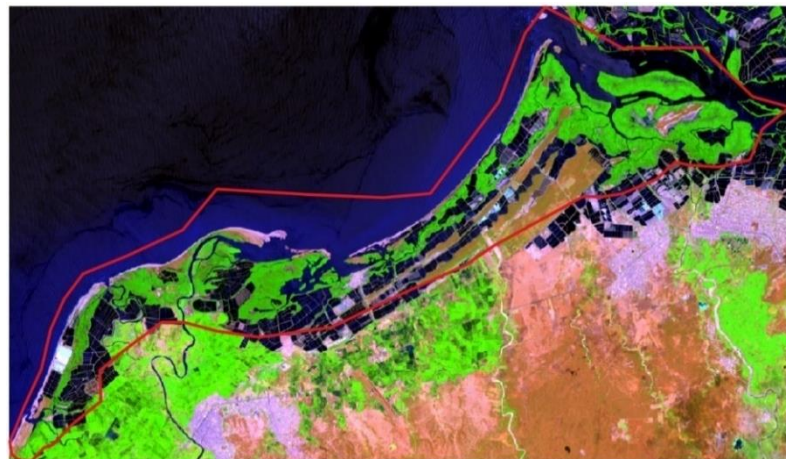


Figura 11: Imagen RGB (6-5-3) - Imagen Landsat 8

Para determinar las clases se procedió a realizar la discriminación mediante fotointerpretación de la imagen RGB, las clases definidas son:

Tabla 6: Clases usadas en la clasificación supervisadas.

N°	Clúster
1	Manglar
2	Agua
3	Suelo
4	Bosque seco
5	Agricultura

En la fotointerpretación de la imagen RGB y obtuvimos las diferentes clases mediante el siguiente proceso: **Training input > crea un nuevo entrenamiento de entrada en carpeta de RGB**, donde obtenemos las diferentes firmas espectrales de cada clase, como se muestra en la figura 12.

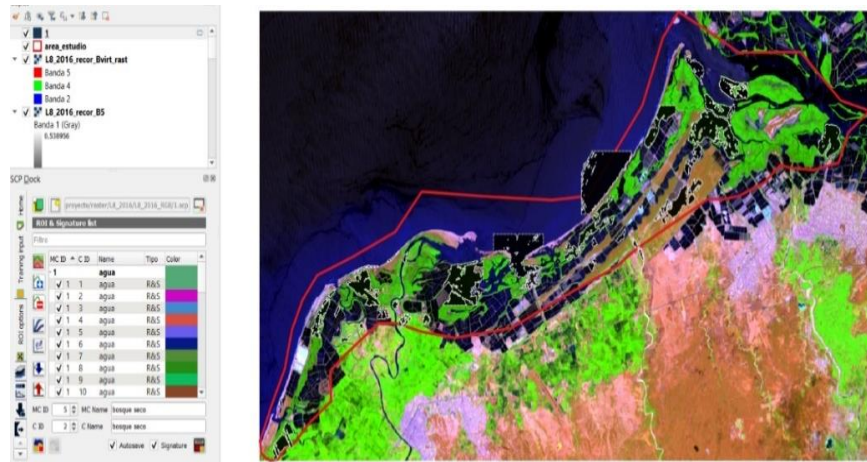


Figura 12: Selección de muestra de las diferentes clases en estudio

Una vez clasificada la imagen satelital como muestra la Figura 13 y 14, mediante clúster procedemos a realizar lo siguiente: **SCP > Band processing > clasificación > usar MC IID > Máxima Probabilidad > usar: (LCS) (Algoritmo) > RUN.**

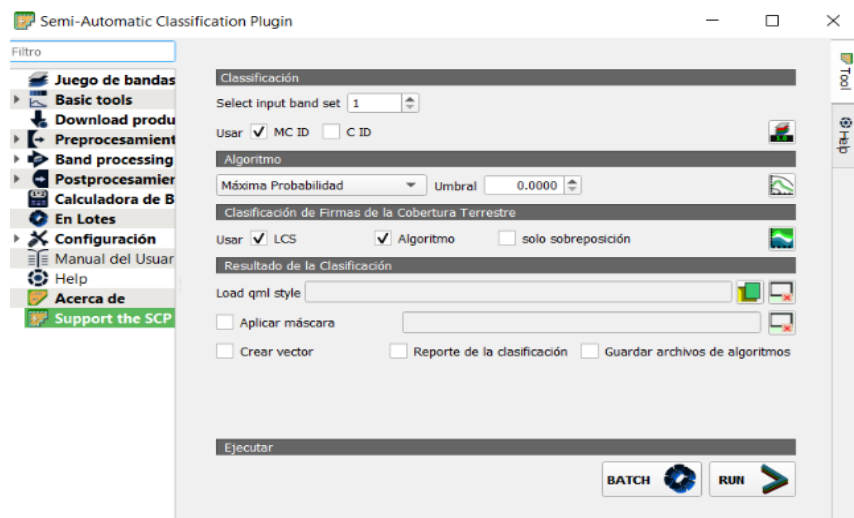


Figura 13: Interfaz de la clasificación supervisada - máxima verosimilitud

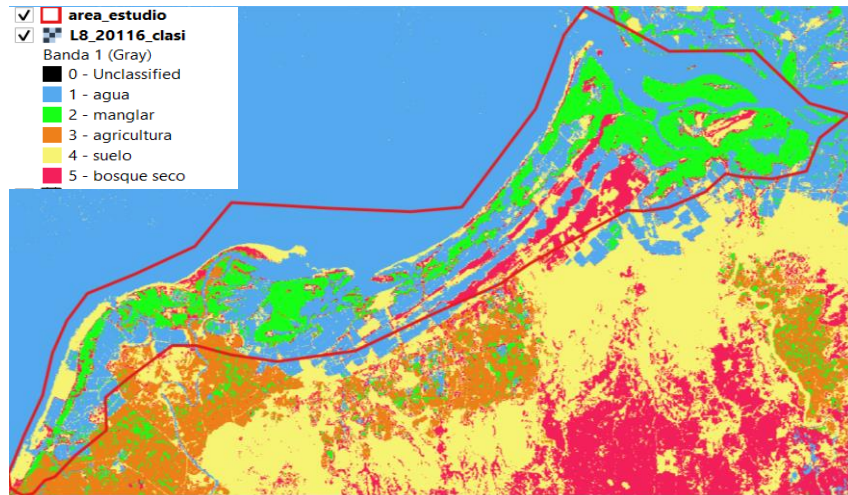


Figura 14: Imagen clasificada por diferentes tipos de estratos

### 3.3.3.6. Filtrado

Después de la clasificación se debe rehacer un filtro simple de 10x10 para que los pixeles aislados sean absorbidos por los vecinos cercanos para ello se deberá aplicar la opción: **Ráster > análisis > filtrado**, como se muestra en las Figuras 15 y 16.

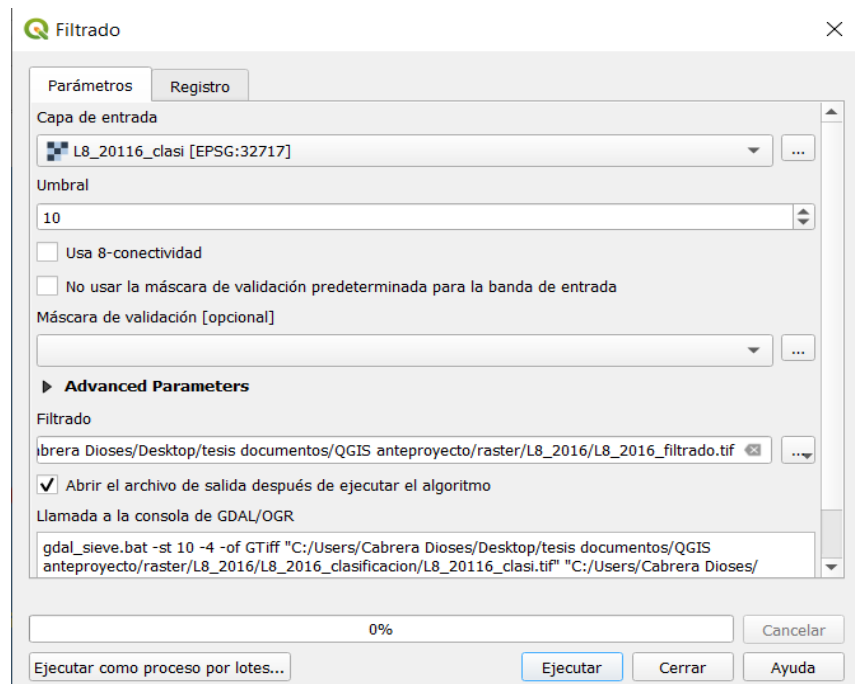


Figura 15: Interfaz de la herramienta filtrado.

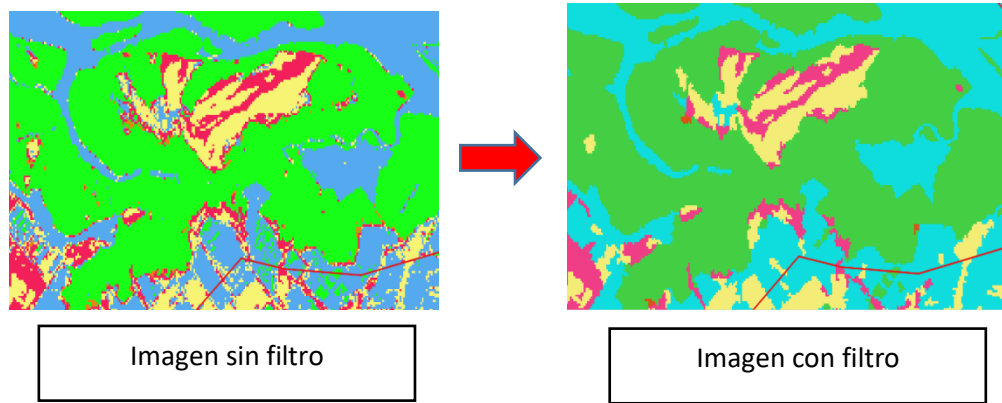


Figura 16: Resultado de la herramienta filtro

### 3.3.3.7. Vectorización.

El ráster filtrado se vectorizó mediante la opción: **proceso > caja de herramientas > gras > ráster > r.to. vect**, como se presenta en la Figura 17.

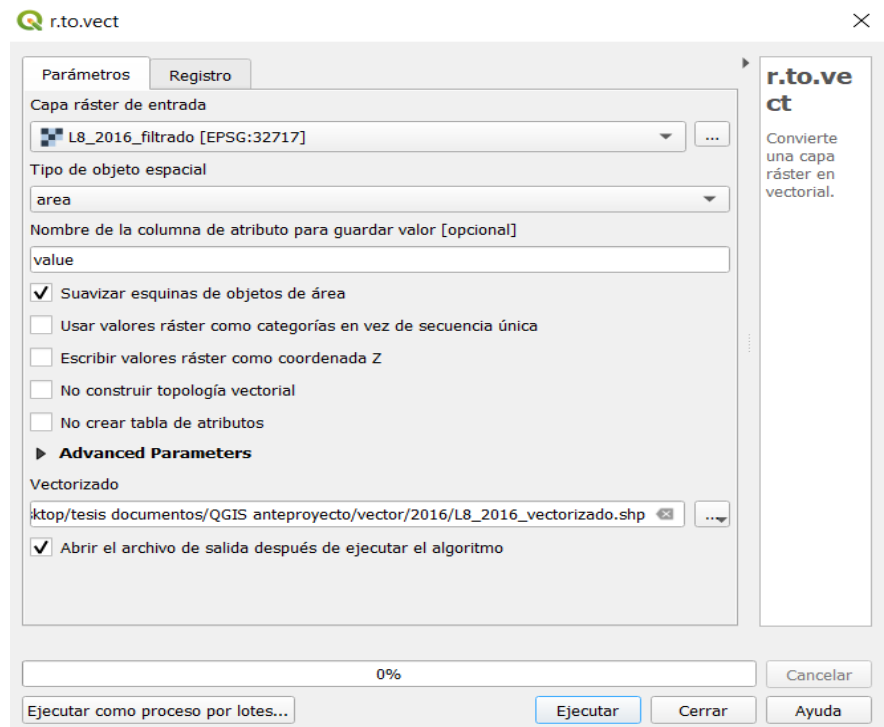


Figura 17: Interfaz de la herramienta r.to.vect para vectorizar imagen ráster

### 3.3.3.8. Categorización del cluster

Una vez obtenido el vector se realizó la caracterización correspondiente según las clases de estudio: 1) Manglar, 2) Suelo, 3) Agricultura, 4) Bosque Seco y 5) Agua, procedemos a realizar lo siguiente: **abrir tabla de atributos > activar edición > añadir campo nuevo (clasi\_2014) > tipo: texto > seleccionar objetos espaciales usando una expresión > campos y valores > value > selección de la clase > abrir calculadora de campo > seleccionar actualizar campo existente > elegir clasi\_año > colocar nombre según clasificación numérica > guardar edición**, como se presenta en la Figura 18.

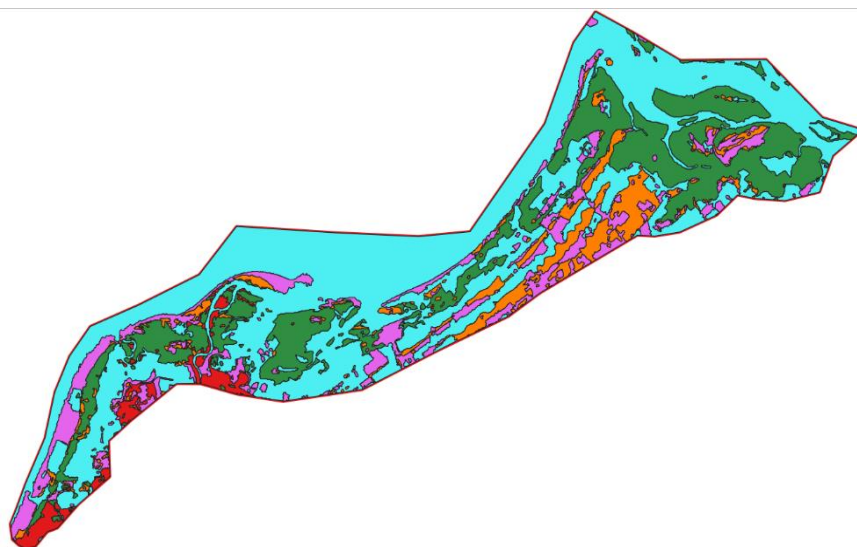


Figura 18: Definición de categoría de cada clase

### 3.3.3.9. Eliminación de polígonos seleccionados

Este algoritmo combina polígonos seleccionados con polígonos adyacentes grandes más cercano, se seleccionaron polígonos menores o igual a 1 ha, en la Figura 19 se presenta el interfaz de la herramienta eliminar polígonos seleccionados.

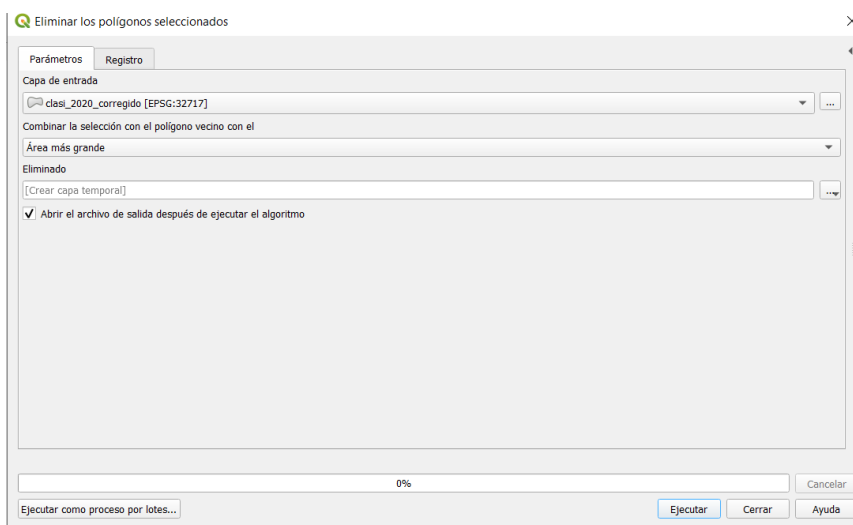


Figura 19: Interfaz de la herramienta Eliminar los polígonos seleccionados

### 3.3.3.10. Exactitud temática

Para determinar la confiabilidad de la clasificación supervisada, se dispersó puntos aleatorios siguiendo los criterios propuestos por, el Protocolo Evaluación de la exactitud temática del Mapa de Deforestación (Ministerio del Ambiente , 2014):

Rango de confianza de 95%.

Punto de muestreo aleatoriamente distribuido.

$$N = \frac{S^2 * P * Q}{E^2}$$

**S:** constante que depende el nivel de confianza que asignemos.

**P:** indica el porcentaje de aciertos estimados, establecido por el área de la clase.

**Q:** el porcentaje de errores estimados.

**E:** el nivel permitido de error.

La cantidad de puntos se calculará mediante los clústeres establecido con la finalidad de obtener puntos distribuidos en forma heterogénea.

Tabla 7: Ejemplo de cuadro de superficie por clúster.

Clúster	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Manglar	A	A%
Bosque seco	B	B%
Agua	C	C%
Langostera	D	D%
agricultura	E	E%

### 3.3.3.11. Matriz de confusión:

Las filas se determinaron generalmente los clústeres de referencia y las columnas del clúster del mapa clasificado. La diagonal de la matriz expresa el número de sitios de comprobación, por lo cual tiene concordancia entre el mapa y los datos de referencia, mientras los marginales indican errores de asignación. (Ministerio del Ambiente , 2014). (Tabla 8).

Tabla 8: Cuadro de Matriz de Confusión.

		Referencia de resultado							
		clases	Manglar	Agua	Bosque seco	Agricultura	Suelo	Total	Exactitud de usuario
Resultados de clasificación	Manglar								
	Agua								
	Bosque seco								
	Agricultura								
	Suelo								
	Total								
	Exactitud de usuario								
	Error de comisión								

### 3.3.3.12. Índice de kappa:

Es la proporción de coincidencias obtenidas de un resultado cartográfico sustrayendo aquellos generados de forma fortuita.

Donde:

$$K = \frac{(Po - Pe)}{(1 - Pe)}$$

Po: Número de aciertos.

Pe: Calculo generado en la matriz de confusión.

Tabla 9: Valores de fuerza de concordancia - Kappa.

Valor de kappa (k)	Fuerza de concordancia
< 0,20	Pobre
0,21 – 0,40	Débil
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Buena
0,81 – 1,00	Muy Buena

### 3.3.3.13. Verificación punto de muestreo.

La verificación de puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente se realizó mediante el RGB (6-5-3) de las imágenes satelitales LANDSAT TM y OLI así mismo la verificación de los resultados más actuales se realizó mediante mapas de visualización Google Earth y aquellos puntos en los cuales tengamos problemas para clasificar se realizarán la verificación en campo con la ficha de la tabla 10. Como se muestra en los anexos.

Tabla 10: Ficha para la recolección de datos en campo.

Ficha de recolección de datos campo		
Código:	Clúster:	Numero:
Coordenadas: X: Y:	Ubicación:	Especialista:
Fecha:	Hora:	
Descripción		
Registro fotográfico		

### 3.3.3.14. Deforestación anual del bosque manglar

Calculamos la deforestación anual desde 1986 al 2020 con la fórmula propuesta por (SENPLADES, 2013, citado por (Rendón Ángel, 2020).

$$R = \frac{A1 - A2}{t2 - t1}$$

R: Deforestación total anual promedio para un periodo determinado.

A1: Área de bosque inicial (ha)

A2: Área de bosque final (ha)

t1: Año inicial

t2: año final

### **3.3.3.15. Tasa anual de cambio (TAC) de la cobertura vegetal y el uso de suelo**

La tasa anual de cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo se obtuvo mediante la fórmula propuesta por (FAO, citado por (Vera Andrade E. A., 2018)).

$$TAC = \left[ \frac{S_2}{S_1} \right]^{\frac{1}{n}} - 1$$

TAC: *tasa anual de cambio*

$S_2$ : *superficie de fecha 2 o fecha final*

$S_1$ : *superficie de fecha 1 o fecha base*

n : *numero de años entre las las fechas*

El resultado se expresa en porcentaje

## CAPITULO IV

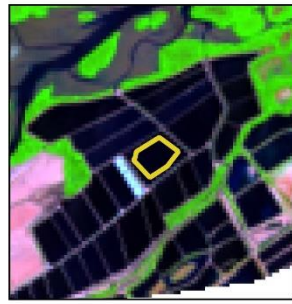
### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Aplicación del algoritmo de máxima verosimilitud en el análisis multitemporal del ecosistema manglar.

Se obtuvo las firmas espectrales de reflectividad promedio de cada clase de cobertura identificada en la clasificación supervisada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud en la imagen Landsat 8, como se aprecia en la Figura 20 y 21. El mayor porcentaje de reflectancia se encontró en el NIR - infrarrojo cercano (Banda 5), en la cobertura de "Manglar" y "Agricultura" con valores de 26.91 % y 39.16 % respectivamente, siendo la banda de mayor contraste para identificar bosques de manglares, así mismo en la cobertura de "Bosque Seco" y "Suelo desnudo" tiene una reflectancia alta en la banda del NIR con valores de 17.43% y 20.69 %. La banda SWIR – infrarrojo de onda corta (Banda 6), se encuentra en mayor reflectancia en la cobertura de "Suelo desnudo" y "Bosque seco" con valores de 30 % y 20 %, siendo la banda de mayor contraste para determinar áreas áridas sin cobertura vegetal. Por otra parte, los cuerpos de agua presentan mayores porcentajes en reflectancia en la banda verde (Banda 3) y azul (Banda 2), con valores de 4.42 % y 3.44 %, siendo la banda de mayor contraste para delimitar cuerpos de agua. Esto concuerda con lo definido por la Agencia Espacial Europea, donde la cobertura verde su mayor reflexión se muestra en la gama cercana al infrarrojo, debido a que las plantas no le sirven en sus procesos fisiológicos, evitando innecesariamente calentarse y perder jugos a través de la evaporación. En el caso del suelo desnudo aumenta ligeramente de la gama visible a la infrarroja y finalmente el agua solo se muestra en la gama visible. (ESA, 2022).



1). MANGLAR



2). AGUA



3). SUELO DESNUDO



4). BOSQUE SECO



5). AGRICULTURA

Figura 20: Obtención de firmas espectrales por cada tipo de estrato

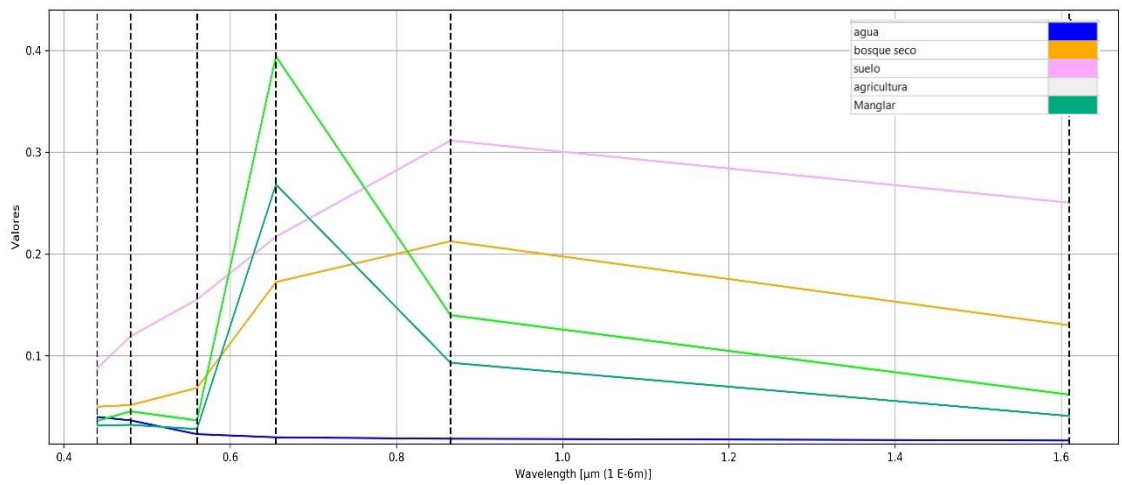


Figura 21: Firma espectral de cada tipo de estrato en bandas de Landsat

El análisis de separabilidad de Jeffries-Matusita, de los estratos de ‘Agua’, ‘Bosque seco’, ‘Suelo desnudo’, ‘Agricultura’ y ‘Manglar’, muestra un valor muy cercano a 2, como se aprecia en la Tabla 11, según Cogedo, (2016); La distancia espectral de Jeffries-Matusita es asintótica a 2 cuando las firmas son completamente diferentes, y tienden a 0 cuando las firmas son idénticas, lo cual muestra una buena separabilidad espectral entre las coberturas en estudio.

Tabla 11: Análisis de separabilidad Jeffries - Matusita

Cobertura	Agua	Bosque seco	Suelo desnudo	Agricultura	Manglar
Agua					
Bosque seco	2				
Suelo desnudo	2	2			
Agricultura	2	2	2		
Manglar	2	1.99	2	1.99	

La clasificación supervisada por máxima verosimilitud presenta buenos resultados, donde se calcularon la extensión y porcentaje de cada clase de la cobertura terrestre, en el área de estudio los cuerpos de agua donde incluye el mar, pozas langostineras y pozas de arroz inundadas en los periodos de 1986, 1996, 2003, 2014 y 2020 con porcentajes de 49.88%, 46.08%, 55.83%, 53.23% y 47.60% respectivamente. La cobertura de los bosques de mangle tiene un porcentaje en extensión de 27.04%, 25.59%, 25.23%, 27.09% y 26.76%, el suelo desnudo el porcentaje en extensión es de 12.93%, 16.59%, 8.14%, 8.59% y 14.47%. La clase de bosque seco el porcentaje en extensión es de 8.23 %, 9.55%, 8.88%, 10.41% y 8.82%, finalmente la agricultura los valores porcentuales de su extensión es de 1.92%, 2.20%, 1.92%, 0.67% y 2.35%, como muestra en la Tabla 12.

Tabla 12: Superficie y porcentaje de ocupación de las diferentes clases por año de estudio.

Categoría	1986		1996		2003		2014		2020	
	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agua	9,629.90	49.88%	8,895.93	46.08%	10,779.09	55.83%	10,277.05	53.23%	9,189.24	47.60%
Suelo	2,496.50	12.93%	3,203.56	16.59%	1,570.70	8.14%	1,658.67	8.59%	2,794.21	14.47%
Agricultura	370.90	1.92%	424.20	2.20%	370.98	1.92%	130.26	0.67%	453.13	2.35%
Manglar	5,220.89	27.04%	4,939.97	25.59%	4,871.43	25.23%	5,231.16	27.09%	5,167.41	26.76%
Bosque seco	1,588.62	8.23%	1,843.15	9.55%	1,714.61	8.88%	2,009.67	10.41%	1,702.82	8.82%
Total	19,306.81	100.00%	19,306.81	100.00%	19,306.81	100.00%	19,306.81	100.00%	19,306.81	100.00%

La evaluación de calidad de la clasificación supervisada mediante la aplicación del algoritmo de máxima verosimilitud, como se muestra en la Tabla 13, para el año 1986 se obtuvo una exactitud global del 90.21 % y valor de Kappa es 0.86, para el año 1996 se obtuvo una exactitud global de 76.62 % y valor de Kappa es 0.72, el año 2003 la exactitud global es de 93.34 % y valor de Kappa de 0.91, el año 2014 un valor de la exactitud global de 95.60 % y Kappa de 0.94 y finalmente para el año 2020 se obtuvo un valor de exactitud global del 98.71 % y valor de kappa de 0.98; indicando una fuerza de concordancia entre buena y muy buena. Los resultados obtenidos concuerdan con la investigación de (Pilco, 2021), donde realizaron un análisis multitemporal de los manglares en Golfo de Guayaquil utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud donde en sus resultados de exactitud temática el valor de kappa oscila entre 0.9 a 1.00, respectivamente. Así mismo los resultados (Siciani, Rahmadi, & Islami, 2020); obtuvo en su estudio realizado en los manglares de la ciudad de Langsa una precisión del 62.5 %, utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud, esto demuestra los buenos resultados en la obtención de la cartografía del manglar, esto lo resalta Dwi & Erwin, (2022), donde menciona que la clasificación de máxima verosimilitud es el más óptimo para distinguir manglares, clases y macro clases como niveles de clases.

Tabla 13: Valores de precisión y kappa - exactitud temática.

Año	% Precisión	Kappa
1986	90.21 %	0.86
1996	76.62%	0.72
2003	93.34 %	0.91
2014	95.60%	0.94
2020	98.71 %	0.98

#### 4.2. Análisis de cambios de la cobertura forestal del ecosistema manglar.

Los bosques de manglar durante el tiempo han presentado diferentes cambios tanto de deforestación y recuperación del ecosistema. Por ende, Mediante la detección remota utilizando imágenes de la colección LANDSAT 5, 7 y 8, estratificamos los bosques de manglar en los periodos de 1986, 1996, 2003, 2014 y 2020, obteniendo una extensión de 5,220.89 ha; 4,939.97 ha; 4,871.43, 5,231.16 ha y 5,167.41 ha, respectivamente, como se muestra en la Figura 22.

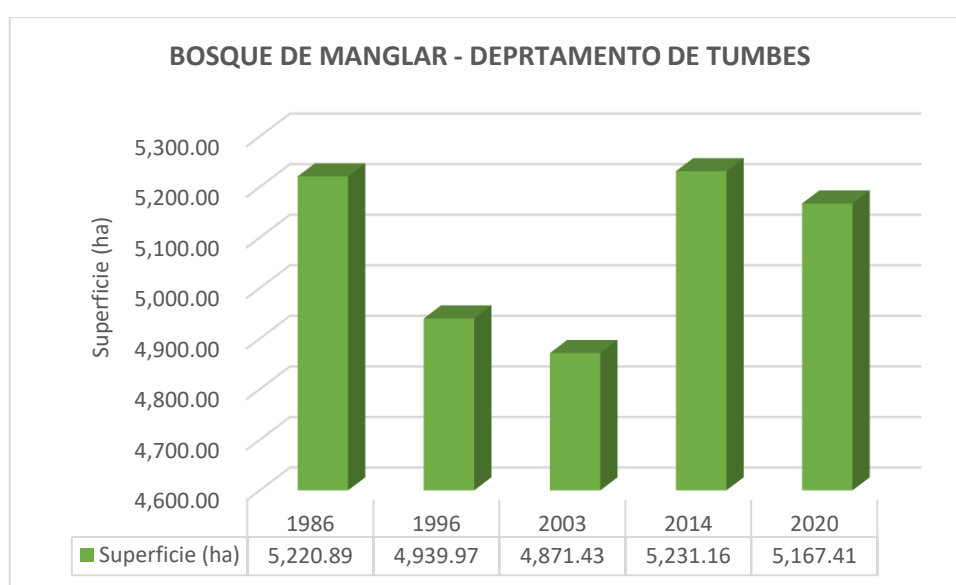


Figura 22: Superficie (ha) del bosque manglar durante el periodo de estudio

Según (Ministerio de agricultura, 1996), menciona que el ecosistema manglar ha perdido grandes extensiones por ocupación de langostineras durante el periodo de 1982 hasta 1989, posteriormente dichas actividades han reducido y el ecosistema ha venido recuperándose. En la Figura 23, se puede apreciar que la tendencia del bosque manglar es de incremento, durante las últimas dos décadas.

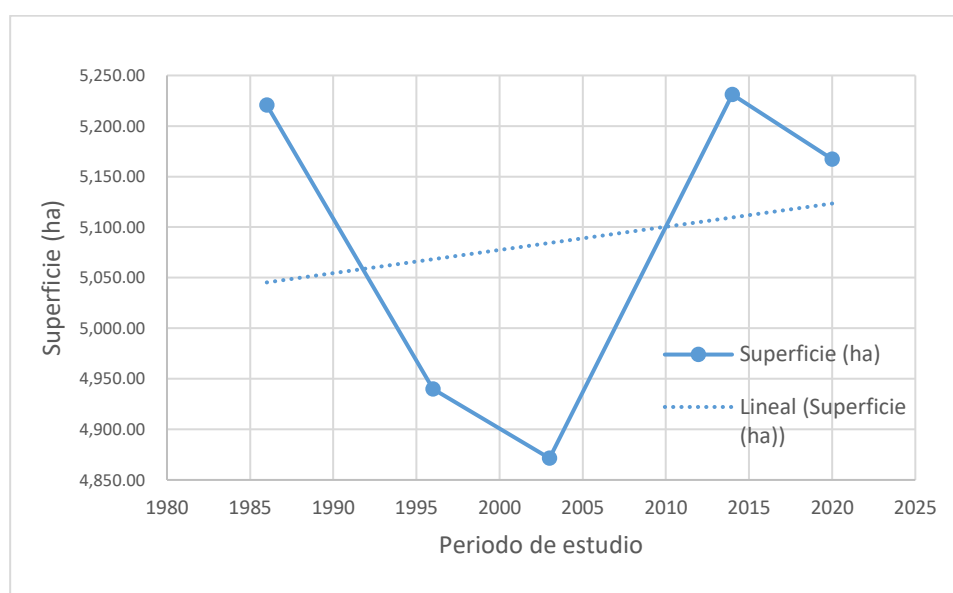


Figura 23: Tendencia del comportamiento forestal del manglar durante el periodo de estudio

La deforestación en el ecosistema manglar ha ocurrido principalmente por la expansión acuícola, observándose mayor incidencia entre el periodo de estudio de 1986 hasta 1996, con una extensión de 798.09 ha, los bancos de arena y fangos que se encuentran en la desembocadura de río Tumbes se ha repoblado por bosque de mangle con una extensión de 479.76 ha. Dichos resultados se relacionan con el estudio de (ONERN, 1992); que se realizó en el periodo de 1982 – 1992, donde logro determinar una deforestación de 1,791 ha y una recuperación 368 ha, respectivamente. En el periodo 1996 – 2003 , la deforestación se presenta principalmente en la desembocadura del río Tumbes y expansión de la acuicultura con una superficie de 377.23 ha, dicha reducción se relaciona con los efectos del fenómeno del niño entre 1997 - 1998, las intensa lluvias provoca la erosión del suelo en las partes altas de la cuenca provocando la colmatación de la desembocadura del río, así como lo menciona (Flores, 2017) que los principales impactos físicos del evento del niño es el aumento de la temperatura de las aguas costeras, incremento del caudal del río debido a las intensas lluvias, provocando cambios negativos en la salinidad de las aguas, aumento de









las concentraciones de oxígeno disuelto e incremento de la erosión, este último provoca la colmatación de los esteros, estos impactos influyen en los cambios drásticos de las comunidades vegetales. La recuperación se presenta principalmente en la desembocadura del río, donde arenas y fangos son repoblados por el mangle y en el sector el Bendito con una extensión de 253.12 ha, el periodo del 2003 – 2014, la deforestación se presenta por ampliación acuícola de las empresas langostineras ya establecidas con una superficie de 337.15 ha, la recuperación se presenta en la mayor parte en la desembocadura del río Tumbes, isla de los pájaros y cerca del sector campo tablazo con una superficie de 696.54 ha, los resultados de recuperación se relaciona con la investigación de (IGP, 2014) donde describe que el periodo 2000 - 2014 se observa, un ligero incremento de cobertura manglar y un cambio notable en la desembocadura del río Tumbes y la zona central, y finalmente el periodo 2014 - 2020 la deforestación se presenta principalmente por ampliación acuícola con una extensión de 278.55 ha y la recuperación se presenta en la desembocadura el río Tumbes y canales de desecho de aguas residuales agrícolas con una extensión de 214.8 ha, como se muestra en la Tabla 14.




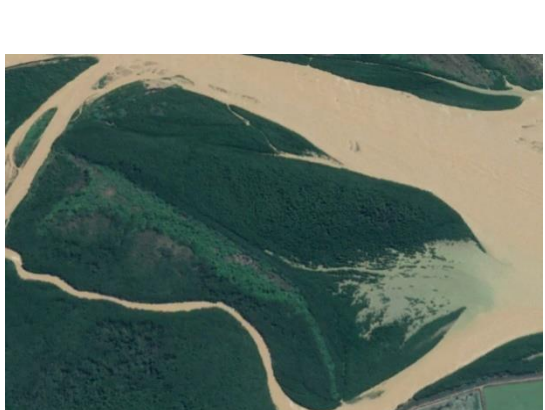
Tabla 14: Descripción de la deforestación y recuperación en el periodo de estudio.

Periodo	Descripción	Perdida (ha)	Ganancia (ha)	Balance (ha)
1986	En el año 1986, es la base para el análisis de los cambios en el ecosistema manglar, obteniendo una superficie forestal de 5218.35 ha, aproximadamente.	0	0	0
1986 – 1996	<b>La deforestación</b> se detecta en: la margen derecha del río Tumbes cerca a la desembocadura, donde áreas boscosas son convertidos en arenas y fangos, en el estero Río Chico por motivo de ampliación de langostineras, en el estero la Matanza cerca del Puesto Policial Grau; en el brazo de la margen izquierda del río Tumbes, se observa cerca de campo mar norte por motivo de ampliación de langostineras. <b>La recuperación</b> forestal se observa: en la margen izquierda del río Tumbes (delta) anteriormente eran bancos de arena.	- 798.09	+ 479.76	- 318.33
1996 - 2003	<b>La deforestación</b> se aprecia en la margen derecha del río Tumbes por extensión acuícola por empresas langostineras y colmatación en la desembocadura del río. <b>La recuperación</b> detecta en la margen derecha del río Tumbes, en el borde de los canales de regadío y cerca de la desembocadura del río Tumbes.	-377.23	+253.12	-124.11
2003 - 2014	<b>La deforestación</b> en: la margen derecha del río Tumbes cerca del estero la Stanina donde áreas boscosas son convertidos en arenas y fangos posiblemente por efectos del fenómeno del niño; en el brazo de la margen izquierda del río deforestadas por ampliación de langostineras. <b>La recuperación</b> forestal se observa: en la desembocadura del margen derecha del río, donde arenas y fangos son convertidos en áreas boscosas, en la isla de los Pájaros la vegetación rala aumento su densidad boscosa, cerca de las langostineras campo el tablazo (campo sol) la vegetación rala aumento su densidad boscosa, cerca de la playa el Bendito se muestra posas de langostineras abandonas que se han restaurado naturalmente y finalmente en el interior del Santuario Nacional Manglares de Tumbes mediante acciones de reforestación.	-337.15	+696.54	362.39
2014 - 2020	<b>La deforestación</b> se detecta en zonas cercanas al santuario nacional los manglares de tumbes; en la margen izquierda del río Tumbes por ampliación acuícola. <b>La recuperación</b> se presenta en la desembocadura del río Tumbes, y en los canales de desecho de aguas residuales de las langostineras.	-278.55	+214.8	-63.75

Los cambios más importantes en el ecosistema manglar, durante el periodo de estudio se puede observar en el software Google Earth Pro, ver Tabla 15.

Tabla 15: Deforestación y recuperación en el periodo de estudio.

<b>Deforestación</b>	
	
<b>Vista de bosque manglar 1985</b>	<b>Vista de manglar deforestado 2003</b>
	
<b>Vista de bosque manglar ralo 2007</b>	<b>Vista de manglar deforestado 2014</b>
	
<b>Vista de bosque manglar 2014</b>	<b>Vista de manglar deforestado 2020</b>
<b>Recuperación forestal</b>	
	

<b>Vista de área de arena y fangos - 1986</b>	<b>Vista de manglar recuperado - 2007</b>
	
<b>Mangle ralo y agua - 2005</b>	<b>Vista de manglar joven - 2014</b>
	
<b>Vista de bosque mangle ralo - 2014</b>	<b>Bosque mangle denso – recuperación 2020</b>

#### **4.3. Determinación mediante análisis multitemporal la deforestación del ecosistema manglar.**

En el periodo de 1986 a 1996 la deforestación promedio anual es de 28.09 ha con una tasa anual de -0.55%, esto indica que durante este periodo de estudio la deforestación fue intensa debido a la ocupación de la actividad acuícola, relacionándose con el estudio de Céspedes, 2014, menciona que durante los años de 1985 – 1991, hubo un aumento de las pozas langostineras en las zonas de amortiguamiento (ZA) del Santuario Nacional Manglares de Tumbes , mientras que fuera de la ZA hacia el sur las pozas se encuentran en deshuso. En el periodo de 1996 a 2003 la deforestación promedio anual es de 9.79 ha con una tasa de deforestación de -0.20% , relacionándose con los efectos del fenómeno

del niño, según (IGP, 2014), en el estudio de análisis de territorio de la cobertura manglar, menciona que durante el periodo de 1996 al 1998 la disminución de la cobertura de manglar se relaciona por consecuencia de la actividad acuícola y se podría asociar con los efectos del fenómeno del niño, durante el periodo del 2003 – 2014 la deforestación promedio anual es de -32.7 ha y una tasa de deforestación de 0.65 %, dichos valores indican que durante el periodo de estudio la recuperación del bosque fue mayor a la deforestación, las actividades de reforestación en este periodo influye en la recuperación del ecosistema, tal como el proyecto liderado por el Gobierno Regional de Tumbes en el 2010 denominado “Reforestación de mangle en el ecosistema manglar”, donde lograron reforestar 300 ha, descrito por SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre); Bioversity - Perú; ICRAF, 2018. En el periodo de 2014 a 2020 la deforestación promedio anual es de 10.63 ha con una tasa anual de -0.20%, esto indica durante el periodo de estudio la intensidad de la deforestación ha disminuido significativamente. Finalmente, el periodo de 1986 a 2020 la deforestación promedio anual es de 1.57 ha con una tasa anual -0.03%, esto indica que durante el periodo de estudio la deforestación del manglar no es significativa debido a la capacidad de recuperación del bosque, en comparación al análisis de la deforestación del periodo de 1986 a 1996.

Tabla 16: Deforestación promedio anual y tasa de deforestación en el periodo de estudio.

Años	Superficie (ha)	Periodo	Deforestación Anual (ha)	Tasa de Deforestación (%)
1986	5220.89	1986 - 1996	28.09	-0.55%
1996	4939.97	1996 - 2003	9.79	-0.20%
2003	4871.43	2003 - 2014	-32.7	0.65%
2014	5231.16	2014 - 2020	10.63	-0.20%
2020	5167.41	1986 - 2020	1.57	-0.03%

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

El algoritmo de máxima verosimilitud ha permitido determinar la firma espectral de los estratos de manglar, agua, suelo, bosque seco y agricultura, obteniendo una alta separabilidad espectral entre cada categoría, Con estos indicadores logramos obtener resultados óptimos en la exactitud temática de la cartografía en los años de estudio de 1986, 1996, 2003, 2014 y 2020.

Se concluye que durante el periodo de 1986 a 1996, fue el periodo de mayor deforestación por la ocupación acuícola con una extensión de 798.09 ha y una recuperación en fangos y arenas de 479.76 ha, durante el periodo de 1996 a 2003 la deforestación registra una extensión de 377.23 ha y una recuperación de 253.12 ha en zonas de arenas y fangos, el periodo de 2003 a 2014, la deforestación es de 337.15 ha y una recuperación de 696.54 ha, finalmente, en el periodo de 2014 al 2020 la deforestación es de 278.55 ha por ampliación acuícola y la recuperación se centra en la desembocadura del rio Tumbes con una extensión de 214 ha. Esto indica que durante el periodo de estudio el ecosistema manglar ha tenido la capacidad de recuperarse y ocupar áreas de arenas y fangos, siendo un ecosistema resiliente a los impactos generados por la ocupación acuícola.

La deforestación promedio anual en el periodo de 1986 hasta 1996 es de 28.09 ha y una tasa de deforestación de -0.55 % , en el periodo de 1996 hasta 2003 la deforestación promedio anual es de 9.79 ha y una tasa de deforestación de -0.20 %, donde la expansión acuícola es la principal causa de la deforestación, el periodo de 2003 al 2014 la tasa de deforestación es de -32.7 ha, el valor negativo indica que la capacidad de recuperación del bosque es mayor a la deforestación con una tasa de deforestación de 0.65 %, la deforestación promedio anual en el periodo de 2014 hasta 2020, ha reducido considerablemente con un valor de 10.63 ha y una tasa de deforestación de -

0.20 %. En el periodo de 1986 hasta 2020 la deforestación promedio anual es de 1.57 ha y una tasa de deforestación de -0.03%, concluyendo que la deforestación por la actividad acuícola no es muy significativa, la reducción de la tasa de la deforestación actualmente es debido a los compromisos del estado y sociedad civil en la protección y conservación del ecosistema manglar.

## **CAPITULO VI**

### **6. RECOMENDACIONES**

Se recomienda utilizar el algoritmo de máxima verosimilitud debido a su capacidad en la separabilidad espectral, logrando detectar el ecosistema manglar aplicando la herramienta Semic Automatic Pluglin.

Se recomienda realizar lineamientos y/o políticas que establezcan medidas de restauración paisajística en el ecosistema manglar, incentivando a los gobiernos locales a invertir en le recuperación del ecosistema con la participación de la población local y sociedad civil.

Incentivar a los gobiernos locales en la protección y/o conservación de ecosistema manglar mediante modelos de gestión que establece el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), en la creación de área de conservación ambiental y área de conservación regional e implementando un sistema de control y vigilancia, reduciendo la afectación en el ecosistema.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrade Santamaría, A. A., & Molina Bustamante, C. S. (2016). *Estudio del estado del arte de las tecnologías de percepción remota en el Ecuador*. Quito : Universidad de las Américas.
- Angulo, & Fernando. (2014). Los Manglares del Perú. *Xilema*, 27(1), 5-9.
- Berlang Roles, C., & Ruiz Luna, A. (Junio de 2007). Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán - Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite landsat . *Universidad y Ciencia*, 29-46. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/154/15423104.pdf>
- Borrás, J., Delegido, J., Pezzola, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imagenes Sentinel 2. *Revista de Teledetección*, 48, 55-56. doi:<https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Cárdenas, P. S. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para la teledetección en el Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 3(2).
- Carrasquilla Henao, M. (2011). *Análisis de la cobertura del Bosque de Manglar y su correlación con la pesca ribereña entre 1993 y 2009 en el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa, México*. Obtenido de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/15777>
- CDM-UNALM. (2006). *Análisis de Recubrimiento Ecológico del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado*. Lima: CDM-UNALM/TNC.
- Céspedes, L. (2014). *Imágenes satelitales para medir la incidencia de la actividad acuícola de langostinos en el departamento de Tumbes*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, UNALM.
- Cogedo, L. (2016). *Semi - Automatic Classification Plugin Documentation*. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

- Dwi, A., & Erwin, R. (2022). Development of A Simple Method for Detecting Mangrove Using Free Open Source Software. *Jurnal Segara*, 16(2), 71 - 82. doi:<http://dx.doi.org/10.15578/segara.v16i2.7512>
- ESA. (11 de mayo de 2022). *Eduspace*. Obtenido de Firmas espectrales: [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_ES/SEM6DYD3GXF\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_0.html)
- Flores, D. (2017). *Impactos de El Niño en el ecosistema del manglar de Tumbes - Perú* (Vol. 4). Instituto Geofísico del Perú. doi:<https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/5106>
- Flores, D., Céspedes, I., & Martínez, A. (2013). *Identificación de servicios ecosistémicos en el Santuario Nacional los Manglares de Tumbes*. Lima: Instituto Geofísico del Perú.
- Hernández Camacho, M. A. (2018). *Análisis de la demanda hídrica de los cultivos de caña de azúcar, arroz, sandía y melón en la cuenca media y baja de Río Tempisque, mediante el tratamiento e imágenes satelitales en el periodo 1990-2017*. Tecnología de Costa Rica . Obtenido de <https://hdl.handle.net/2238/9887>
- IGP. (2014). Gestión Sostenible de recursos naturales en el ecosistema de manglares de Tumbes: Análisis del territorio y diagnóstico socioeconómico. En E. Principe, L. Céspedes, A. Martínez, F. Daniel, L. Céspedes, P. Aguirre, & R. Erick (Edits.), *Análisis del territorio de la cobertura manglar*. Lima, Perú: Instituto Geofísico del Perú. Obtenido de <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/476>
- Ministerio de agricultura. (1996). *Ficha Técnica Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, propuesta para su designación como Sitio Ramsar*. Lima.
- Ministerio del Ambiente . (2014). *Protocolo evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación*. protocolo, Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Mapa nacional de ecosistema del Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente.

- Monterroso Tobar, M. F. (2013). *Guía practica: Clasificación de imagenes satelites*. Guía. Obtenido de Recuperado de: <http://arcgeek.com/descargas/ClasImMF.pdf>
- ONERN. (1992). *MONITOREO DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA Y USO DE LA TIERRA EN EL ECOSISTEMA MANGLAR DE TUMBES (1982 - 1992)*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1042>
- Pilco, J. (2021). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA Y USO DEL SUELO EN LA CONCESIÓN DE LA ASOCIACIÓN DE USUARIOS DEL MANGLAR CERRITO DE LOS MORREÑOS, GOLFO DE GUAYAQUIL*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/56809/1/TesisAnexosBryanPilco.pdf>
- QGIS. (2022). *Descubre QGIS*. Obtenido de QGIS - El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio: <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- Rendón Ángel, M. G. (2020). *Detección de cambios en la cobertura vegetal, mediate Teledección*. Tesis de pregado, Guayaquil.
- Salas, R. A., Castro, W. J., & Cuthbert, M. W. (2019). Análisis multitemporal de la cobertura de manglar en la Reserva Cayos Miskitos, 2006-2017. *Revista Universitaria Del Caribe*, 22(1), 61-68.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre);Bioersity - Perú; ICRAF. (2018). *Experiencias de restauración en el Perú. Lecciones aprendidas*. Lima, Perú.
- Servicio Geológico de EE.UU. (2013). *Landsat 8: Hoja de datos del servicio geológico de EE.UU.*
- Servicio Geológico de EE.UU. (2016). *Landsat: satélites de observación de la Tierra*. Obtenido de [https://pubs.usgs.gov/fs/2015/3081/fs20153081\\_ver1.2.pdf](https://pubs.usgs.gov/fs/2015/3081/fs20153081_ver1.2.pdf)
- Siciani, A., Rahmadi, M., & Islami, Z. (2020). Analyzing mangrove forest area changes in coastal zone of Langsa City using landsat imagery. *IOP Conf.*

Series: *Earth and Environmental Science*, 500(2). doi:10.1088/1755-1315/500/1/012084

USGS. (2022). *Landsat 5*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>

USGS. (2022). *Landsat 7*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>

USGS. (2022). *Landsat 8*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>

Vélez Alvarado, D., & Álvarez Mozos, J. (2020). Clasificación de usos y cubiertas del suelo y análisis de cambios en los alrededores de la Reserva Ecológica Manglares Churute (Ecuador) mediante una serie de imágenes Sentinel-1. *Revista de Teledetección*(56), 131-146. doi:10.4995/raet.2020.14099

Vera Andrade, E. A. (2018). *Evaluación y análisis de los cambios de cobertura vegetal del manglar del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas*. Ecuador - PUCESE - Escuela de Gestión Ambiental. Obtenido de <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/1737>

Vera Andrade, E. A. (2018). *Evaluación y análisis de los cambios de cobertura vegetal del manglar del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas*. Obtenido de <https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/1737/1/VERA%20ANDRADE%20%20EDUARDO%20ALFREDO.pdf>

## 8. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de separabilidad espectral en el programa Qgis.

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 2 C_name = agua
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 3 C_name = bosque seco
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	45.30257435420639
Euclidean distance	0.2757582703194828
Bray-Curtis similarity [%]	36.856603963846815

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 2 C_name = agua
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 4 C_name = suelo
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	40.140599921628876
Euclidean distance	0.45353522916112354
Bray-Curtis similarity [%]	23.88351639632286

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 2 C_name = agua
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 5 C_name = agricultura
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	57.485743219920046
Euclidean distance	0.3963181954010851
Bray-Curtis similarity [%]	34.730426305787674

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 2 C_name = agua
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 1 C_name = Manglar
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	56.34556191624684
Euclidean distance	0.2606313473913831
Bray-Curtis similarity [%]	43.72988766033511

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 3 C_name = bosque seco
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 4 C_name = suelo
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	11.067965026379113
Euclidean distance	0.19948635059519382
Bray-Curtis similarity [%]	75.02171700006664

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 3 C_name = bosque seco
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 5 C_name = agricultura
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	34.619056436152476
Euclidean distance	0.24562638736287204
Bray-Curtis similarity [%]	70.35908290221063

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 3 C_name = bosque seco
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 1 C_name = Manglar
Jeffries-Matusita distance	1.999999999982179
Spectral angle	34.652464834746986
Euclidean distance	0.18360268030009347
Bray-Curtis similarity [%]	67.52717454528954

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 4 C_name = suelo
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 5 C_name = agricultura
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	42.48915114753685
Euclidean distance	0.3443636880275498
Bray-Curtis similarity [%]	57.85898070554706

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 4 C_name = suelo
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 1 C_name = Manglar
Jeffries-Matusita distance	2.0
Spectral angle	42.36662001053375
Euclidean distance	0.3479640073972686
Bray-Curtis similarity [%]	54.134782225331605

	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 5 C_name = agricultura
	MC_ID = 1 MC_name = uso suelo C_ID = 1 C_name = Manglar
Jeffries-Matusita distance	1.9999999842256113
Spectral angle	1.5759800741955012
Euclidean distance	0.13690138838381966
Bray-Curtis similarity [%]	81.78213692296049

Anexo 2. Número de muestras para estratificación del año 1986

1986_sv	area_ha	p	q	muestra
agricultura	370.90	0.0192	0.9808	80
suelo	2496.50	0.1293	0.8707	481
agua	9629.90	0.4990	0.5010	1067
manglar	5220.89	0.2702	0.7298	842
bosque seco	1588.62	0.0823	0.9177	322
	19311.81	1.0000		

error	0.03	
NC	1.96	95%

Anexo 3. Número de muestras para estratificación del año 1996

1996_sv	area_ha	p	q	muestra
agricultura	424.20	0.0220	0.9780	92
suelo	3203.56	0.1659	0.8341	591
agua	8895.93	0.4608	0.5392	1061
manglar	4939.97	0.2559	0.7441	813
bosque seco	1843.15	0.0955	0.9045	369
	19306.81	1.0000		2924

error	0.03	
NC	1.96	95%

Anexo 4. Número de muestras para estratificación 2003

2003_sv	area_ha	p	q	muestra
agricultura	370.98	0.0235	0.9765	98
suelo	1570.70	0.1447	0.8553	528
agua	10779.09	0.4760	0.5240	1065
manglar	4871.43	0.2676	0.7324	837
bosque seco	1714.61	0.0882	0.9118	343
	19306.81	1.0000		2871

error	0.03	
NC	1.96	95%

Anexo 5. Número de muestras para estratificación 2014

2014_sv	area_ha	p	q	muestra
agricultura	130.26	0.0067	0.9933	29
suelo	1658.67	0.0859	0.9141	335
agua	10277.05	0.5323	0.4677	1063
manglar	5231.160	0.2709	0.7291	843
bosque seco	2009.67	0.1041	0.8959	398
	19306.81	1.0000		2668

error	0.03	
NC	1.96	95%

Anexo 6. Número de muestras para estratificación 2020.

2020_sv	area_ha	p	q	muestra
agricultura	453.13	0.0235	0.9765	98
suelo	2794.21	0.1447	0.8553	528
agua	9195.97	0.4760	0.5240	1065
manglar	5167.41	0.2676	0.7324	837
bosque seco	1702.82	0.0882	0.9118	343
	19306.81	1.0000		2871

error	0.03	
NC	1.96	95%

Anexo 7. Matriz de confusión para la estratificación del año 1986

Referencia de resultado								
clases	Manglar	Agua	Bosque seco	Agricultura	Suelo	Total	Exactitud usuario	Error Comisión
Manglar	809	9	18	5	0	841	96%	4%
Agua	2	1056	5	4	0	1067	99%	1%
Bosque seco	5	41	237	33	6	322	74%	26%
Agricultura	12	10	9	48	1	80	60%	40%
Suelo	1	66	33	13	368	481	77%	23%
Total	829	1182	302	103	375	2791		
Exactitud de usuario	98%	89%	78%	47%	98%	po	0.902185597	
Error omisión	2%	11%	22%	53%	2%	pe	0.288104481	

Kappa 0.86

Anexo 8. Matriz de confusión para la estratificación del año 1996

Referencia de resultado								
clases	Manglar	Agua	Bosque seco	Agricultura	Suelo	Total	Exactitud usuario	Error Comisión
Manglar	756	16	0	11	1	784	96%	4%
Agua	3	1045	0		0	1048	100%	0%
Bosque seco	1	32	323	6	122	484	67%	33%
Agricultura	0	0	0	0	138	138	0%	100%
Suelo	17	216	5	50	290	578	50%	50%
Total	777	1309	328	67	551	3032		
Exactitud de usuario	97%	80%	98%	0%	53%	po	0.796174142	
Error omisión	3%	20%	2%	100%	47%	pe	0.268407436	
							Kappa	0.72

Anexo 9. Matriz de confusión para la estratificación del año 2003

Referencia de resultado								
clases	Manglar	Agua	Bosque seco	Agricultura	Suelo	Total	Exactitud usuario	Error Comisión
Manglar	774	60	3	0	0	837	92%	8%
Agua	13	1052	0	0	0	1065	99%	1%
Bosque seco	67	0	264	0	12	343	77%	23%
Agricultura	29	0	0	69	0	98	70%	30%
Suelo	7	0	0	0	521	528	99%	1%
Total	890	1112	267	69	533	2871		
Exactitud de usuario	87%	95%	99%	100%	98%	po	0.933472658	
Error omisión	13%	5%	1%	0%	2%	pe	0.280125872	
							Kappa	0.91


Anexo 10. Matriz de confusión para la estratificación 2014


Referencia de resultado								
clases	Manglar	Agua	Bosque seco	Agricultura	Suelo	Total	Exactitud usuario	Error Comisión
Manglar	800	5	0	4	0	809	99%	1%
Agua	0	1055	1	0	0	1056	100%	0%
Bosque seco	36	8	370	5	29	448	83%	17%
Agricultura	0	0	0	18	0	18	100%	0%
Suelo	1	23	3	0	254	281	90%	10%
Total	837	1091	374	27	283	2612		
Exactitud de usuario	96%	97%	99%	67%	90%	po	0.955972435	
Error omisión	4%	3%	1%	33%	10%	pe	0.304401115	
						Kappa	0.94	


Anexo 11. Matriz de confusión para la estratificación 2020.

Referencia de resultado								
clases	Manglar	Agua	Bosque seco	Agricultura	Suelo	Total	Exactitud usuario	Error Comisión
Manglar	834	0	1	1	0	836	100%	0%
Agua	2	1059	2	1	1	1065	99%	1%
Bosque seco	7	0	338	1	1	347	97%	3%
Agricultura	0	1	0	96	1	98	98%	2%
Suelo	5	1	2	10	510	528	97%	3%
Total	848	1061	343	109	513	2874		
Exactitud de usuario	98%	100%	99%	88%	99%	po	0.987125957	
Error omisión	2%	0%	1%	12%	1%	pe	0.271125136	
						Kappa	0.98	


Anexo 12. Fichas de verificación de la existencia de los estratos


Ficha de recolección de datos campo		
Código: AGRI	Clúster: Agricultura	Numero: 01
Coordenadas: X:552926 Y:9605681	Ubicación: Sector playa hermosa – parcelas agrícolas	Especialista: Cabrera Dioses Verina Valeria
Fecha: 11/06/2022	Hora: 9:45 am	
Descripción		
<p>En el punto de ubicación se observa en los alrededores parcelas agrícolas de arroz, cosechadas y por cosecha, cercanas al ecosistema manglar.</p>		
Registro fotográfico		
 <p>The registration section contains three photographs. The top-left photo shows a wide view of a harvested rice field with a few trees in the distance under a grey, overcast sky. The top-right photo shows a similar view but with a person visible in the upper part of the frame, possibly working in the field. The bottom-center photo is a closer view of the harvested rice field, showing the texture of the dry stalks and the horizon line with trees and a cloudy sky.</p>		

Ficha de recolección de datos campo		
Código: M	Clúster: Manglar	Numero: 02
Coordenadas: X:553078 Y:9605649	Ubicación: Sector playa hermosa – ecosistema manglar	Especialista: Cabrera Dioses, Verina Valeria
Fecha: 11/06/2022	Hora: 9:55 am	
Descripción		
<p>Límite del manglar y parcelas agrícolas, donde se aprecia abundancia de mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>)</p>		
Registro fotográfico		
 <p>The photograph section contains three images. The top-left image is a close-up of mangrove trees, showing their characteristic prop roots and green leaves. The top-right image shows a narrow path or canal between a dense mangrove forest on the right and a large, flat agricultural field of yellow crops on the left. The bottom image is a wide-angle shot of the agricultural field, showing rows of yellow crops under a cloudy sky, with a mangrove tree branch visible in the foreground.</p>		

Ficha de recolección de datos campo		
Código: BS	Clúster: Bosque Seco	Numero: 03
Coordenadas: X:567733 Y:9613696	Ubicación: Isla del amor – Puerto Pizarro.	Especialista: Cabrera Dioses Verina Valeria
Fecha: 11/06/2022	Hora: 12:35 pm	
Descripción		
<p>En el interior de la isla del amor se observa el estrato de bosque seco, cuya característica muestra arboles de algarrobos (<i>Prosopis pallida</i>) en estado de latizales y brinzales y arbustos como el overal (<i>Cordia lutea</i>)</p>		
Registro fotográfico		
 <p>The photographs show a dry forest landscape. The top-left photo shows a dense thicket of green trees and shrubs under a cloudy sky. The top-right photo shows a similar scene with a mix of green and brown vegetation. The bottom-center photo shows a large, dense tree with a thick trunk and sparse foliage, typical of a dry forest.</p>		

Ficha de recolección de datos campo		
Código: SD	Clúster: Suelo desnudo	Numero: 04
Coordenadas: X:567122 Y:9613639	Ubicación: Isla del amor – Puerto Pizarro	Especialista: Cabrera Dioses Verina Valeria
Fecha: 11/06/2022	Hora: 13.00 pm	
Descripción		
<p>En la isla del amor se presenta áreas arenosas, representativas de la playa con presencia de herbáceas. Así mismo limita con el bosque seco y agua del océano pacifico.</p>		
Registro fotográfico		
 <p>The photographs show a sandy landscape with scattered green and brownish plants. In the background, there are some trees and a body of water under a cloudy sky.</p>		

Ficha de recolección de datos campo		
Código: A	Clúster: Agua	Numero: 05
Coordenadas: X:567432 Y:9613097	Ubicación: Puerto Pizarro	Especialista: Cabrera Dioses Verina Valeria
Fecha: 11/06/2022	Hora: 13. 30 pm	
Descripción		
<p>Cerca al puerto de la localidad Puerto Pizarro, donde alrededor se observa agua del estuario y botes.</p>		
Registro fotográfico		
		

Ficha de recolección de datos campo		
Código:	Clúster:	Numero:
Coordenadas: X:566339 Y:9612532	Ubicación: Manglares Puerto Pizarro	Especialista: Cabrera Dioses, Verina Valeria
Fecha: 11/06/2022	Hora: 12.00 pm	
Descripción		
<p>Visita al estuario manglares de Puerto Pizarro, donde se observa el bosque de manglares</p>		
Registro fotográfico		
		

Anexo 13: Verificación en campo del estrato Manglar



Anexo 14: Verificación en campo del estrato agricultura



Anexo 15. Verificación en campo del estrato suelo desnudo



Anexo 16. Verificación en campo del estrato agua



Anexo 17. Verificación en campo del estrato bosque seco



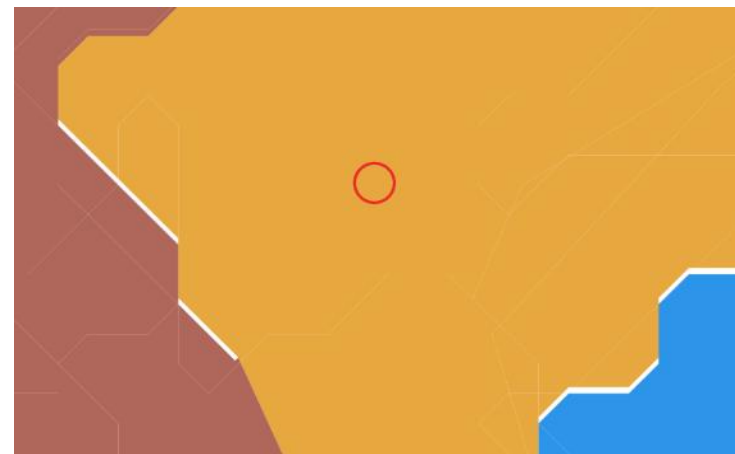
Anexo 18. Verificación de puntos de campo con imágenes de Google Earth y cartografía

Clase	Coordenadas	Visualización Google EARTH	Visualización cartográfica
<p>Agua (color celeste representa el agua)</p>	<p>X: 567091 Y: 9613018</p>	 <p>A satellite image from Google Earth showing a field with a red circle marking a specific point. The field is mostly brown and dark, with some green vegetation visible in the bottom left corner. A small white building is visible in the bottom right corner. The text 'Image © 2022 Google' is visible at the bottom of the image.</p>	 <p>A cartographic map showing a blue area representing water and a green area representing land. A red circle marks the same point as in the satellite image. The map is a simplified representation of the terrain, with white lines indicating boundaries or features. The blue area is on the left and top, and the green area is on the right and bottom.</p>

<p>Manglar (parcelas agrícolas inundadas, el algoritmo lo clasifica como agua), color verde representa el manglar.</p>	<p>X:553078 Y: 9605649</p>		
<p>Agricultura (parcelas agrícolas inundadas, el algoritmo lo clasifica como agua) color amarillo representa a agricultura.</p>	<p>X: 552926 Y:9605681</p>		

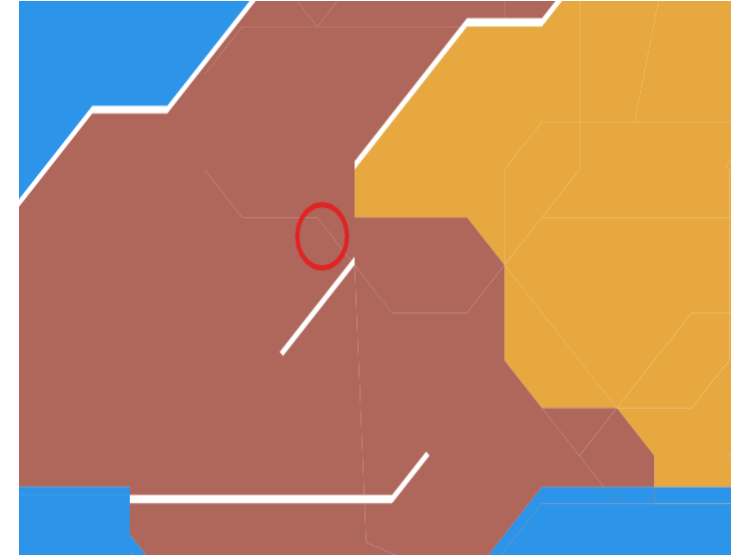
Bosque seco,  
color naranja  
representa  
bosque seco.

X: 568283  
Y: 9611801

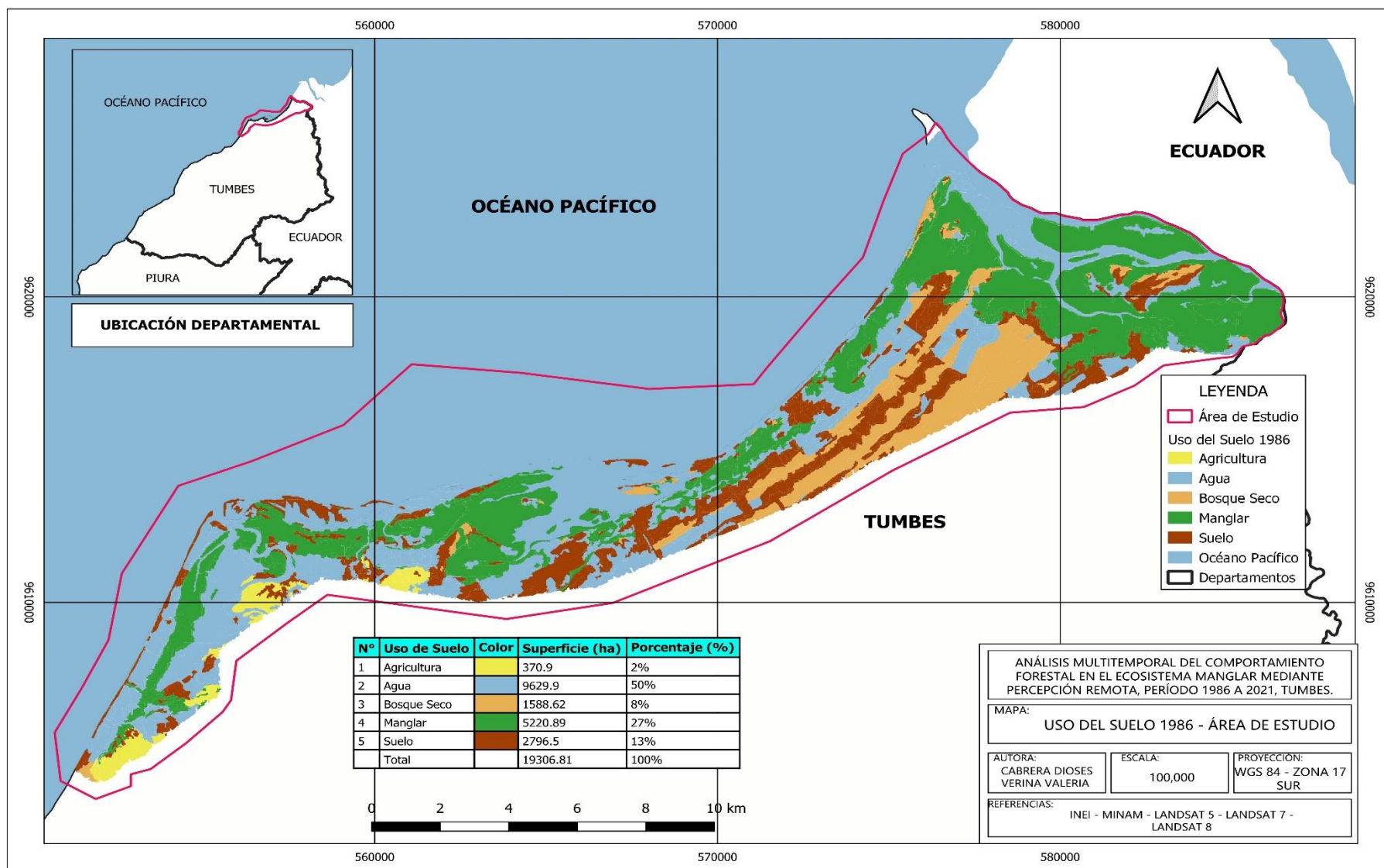


Suelo desnudo  
(color  
marrón,  
representa a  
suelo  
desnudo)

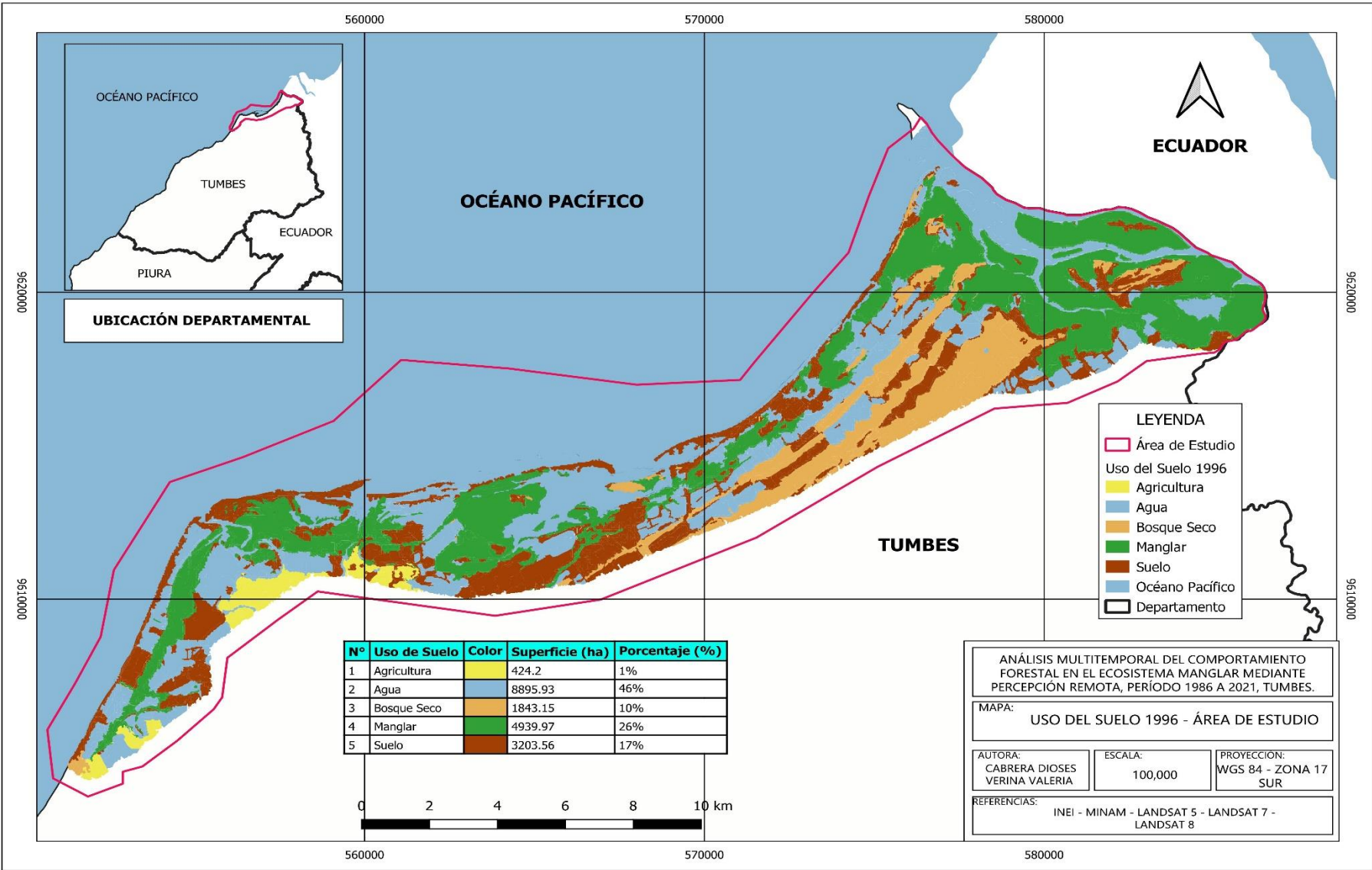
X: 567122  
Y: 9613639



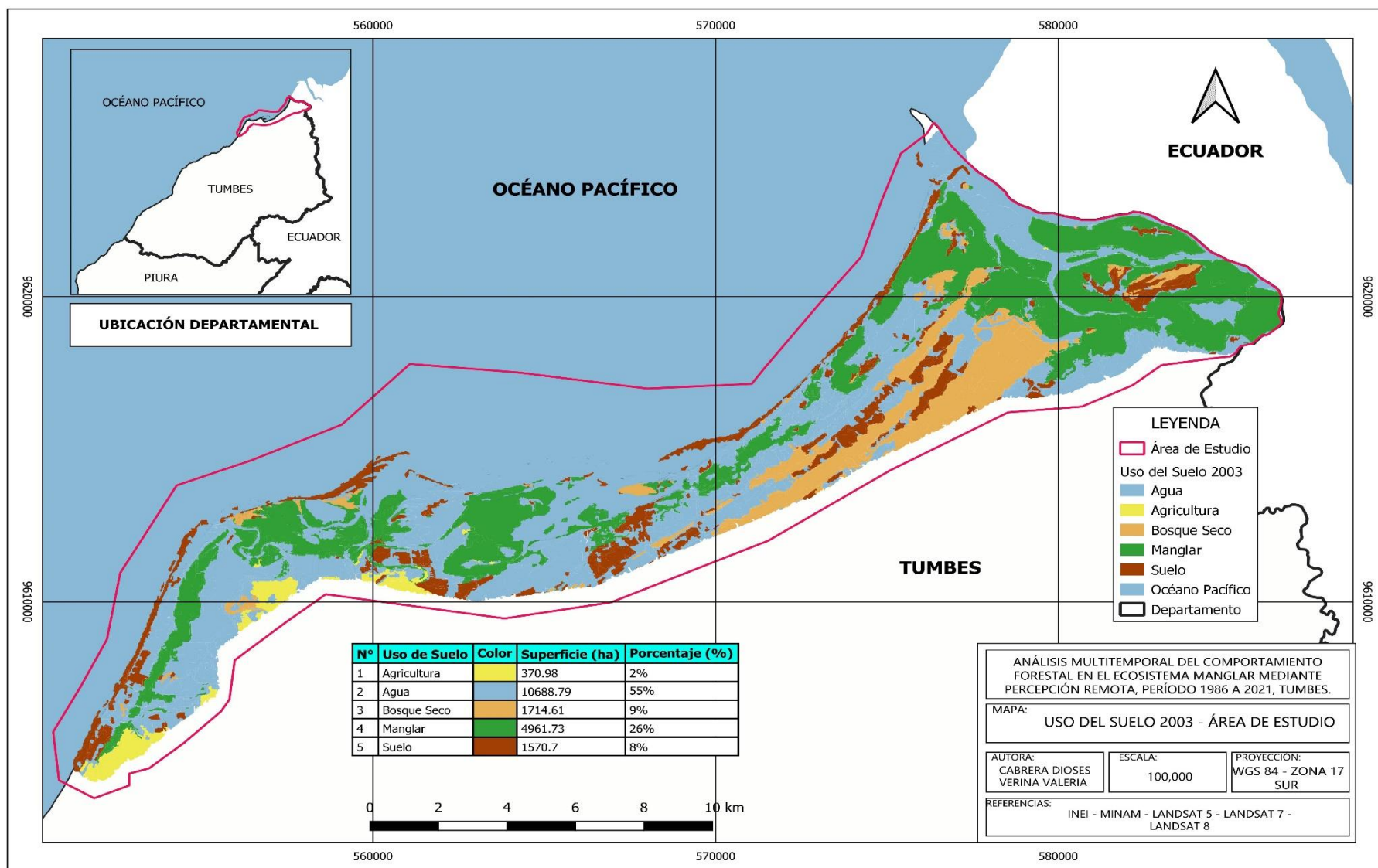
Anexo 19. Mapa de usos del suelo 1986



Anexo 20. Mapa de uso del suelo 1996

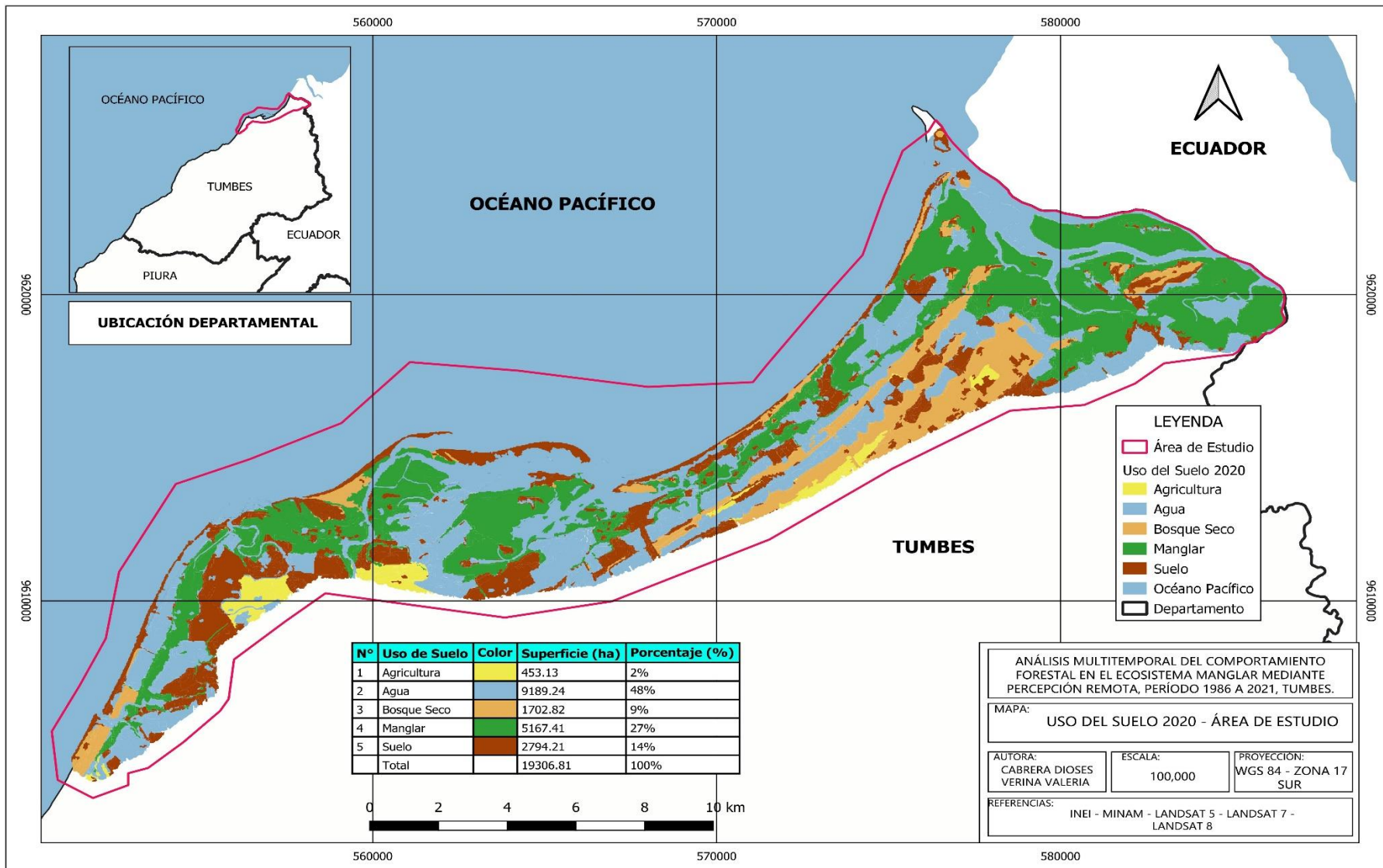


Anexo 21. Mapa de uso del suelo 2003

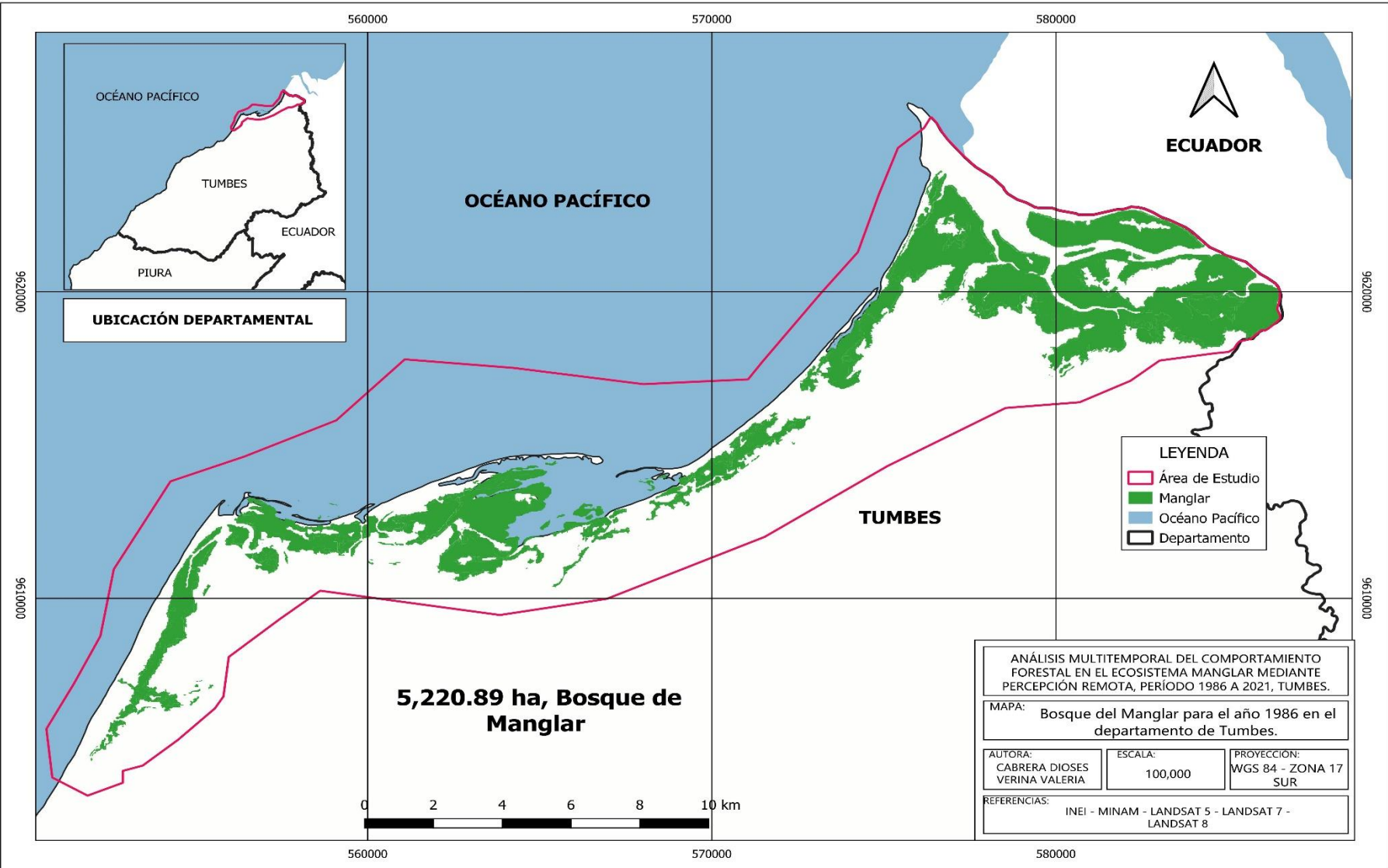




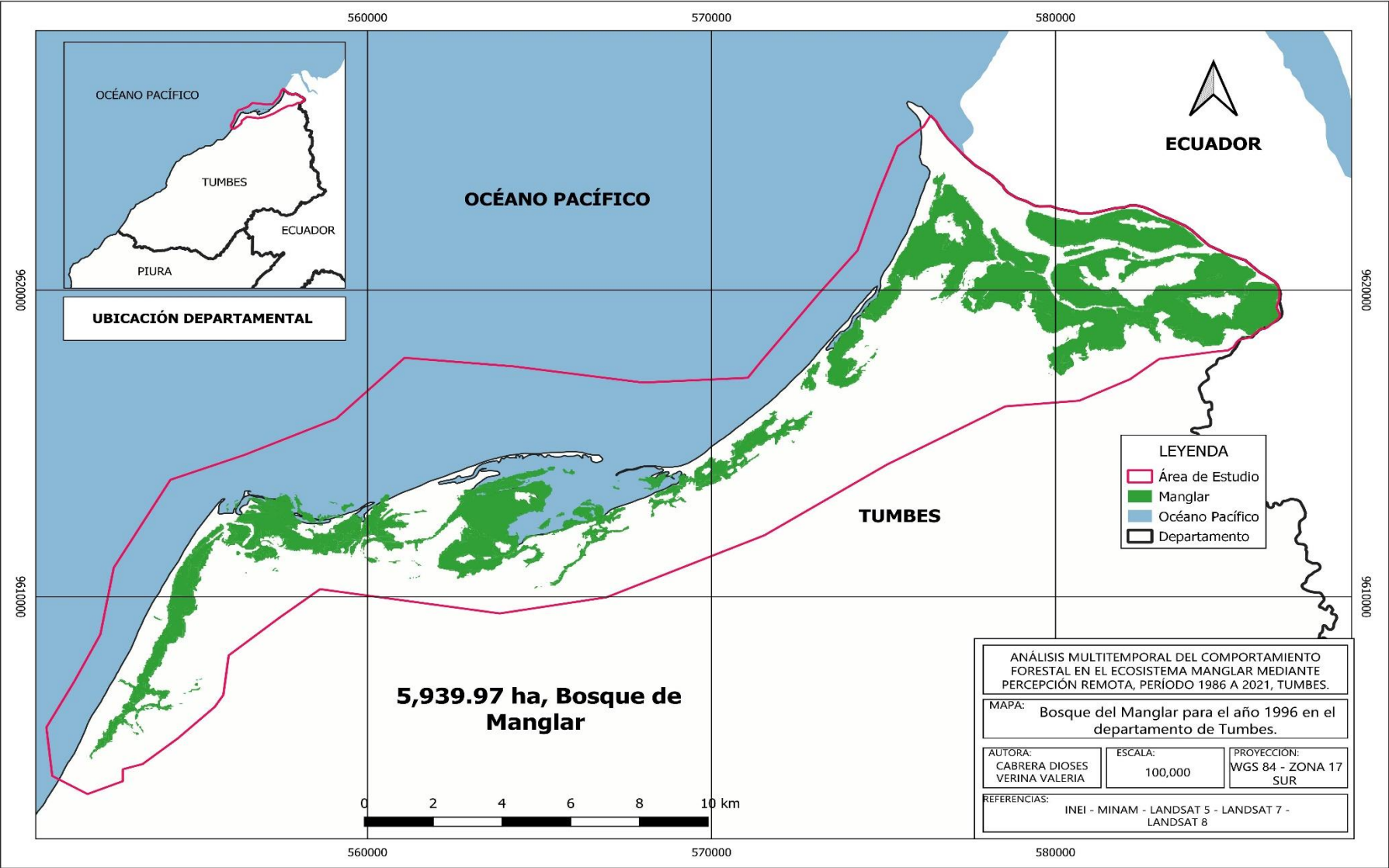
Anexo 23. Mapa de uso del suelo 2020



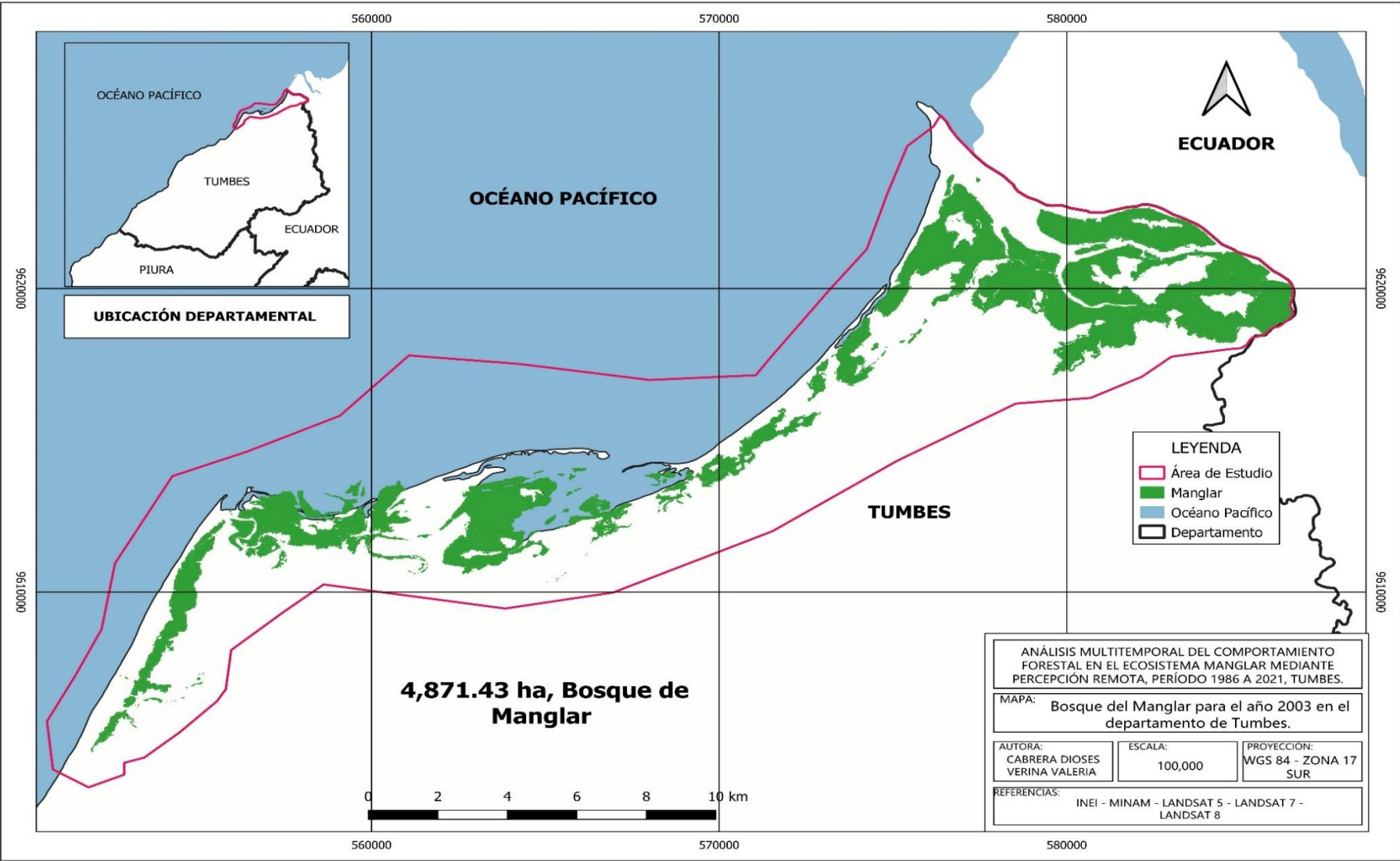
Anexo 24. Mapa de bosque manglar del año 1986



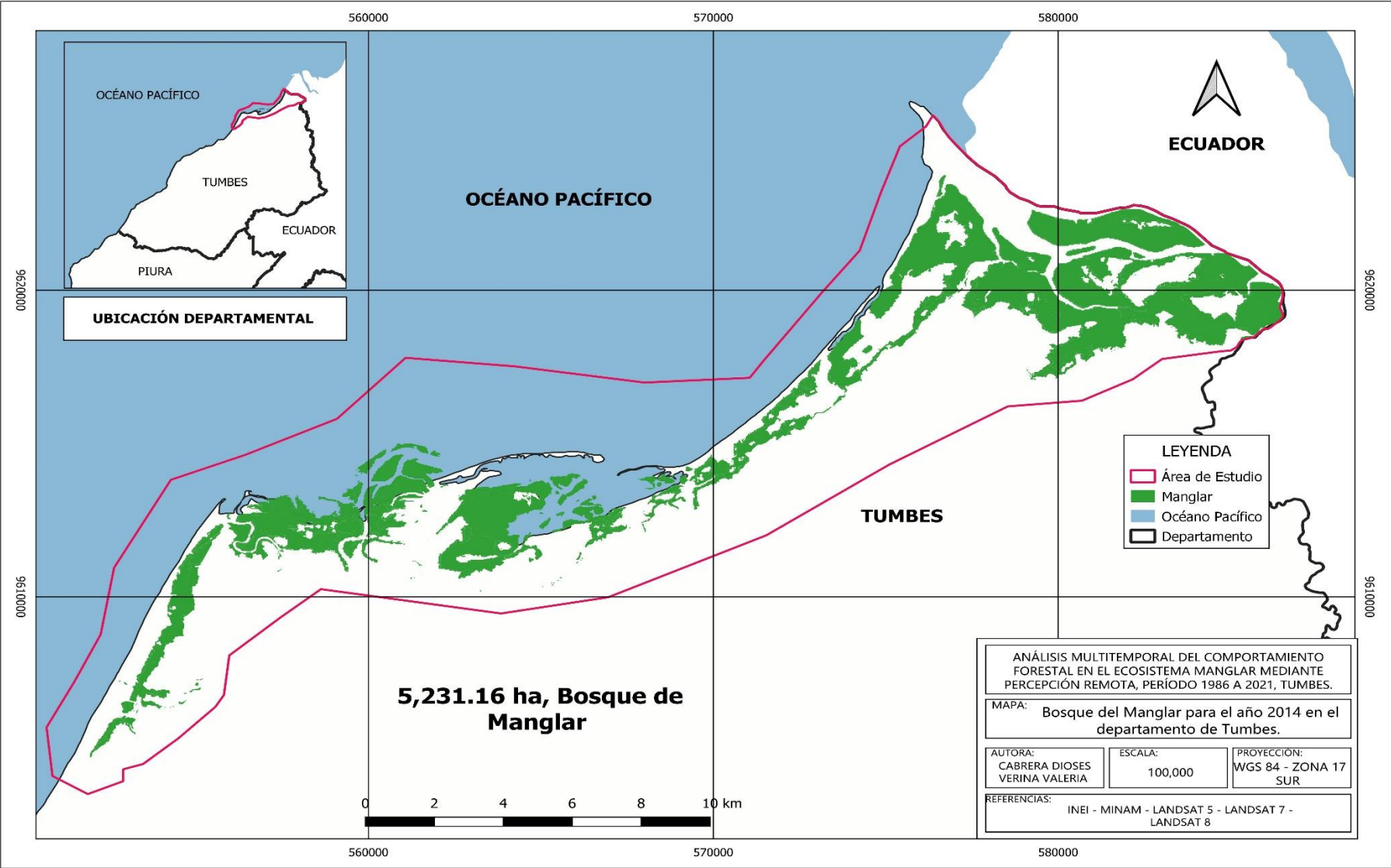
Anexo 25. Mapa de bosque manglar para el año 1996



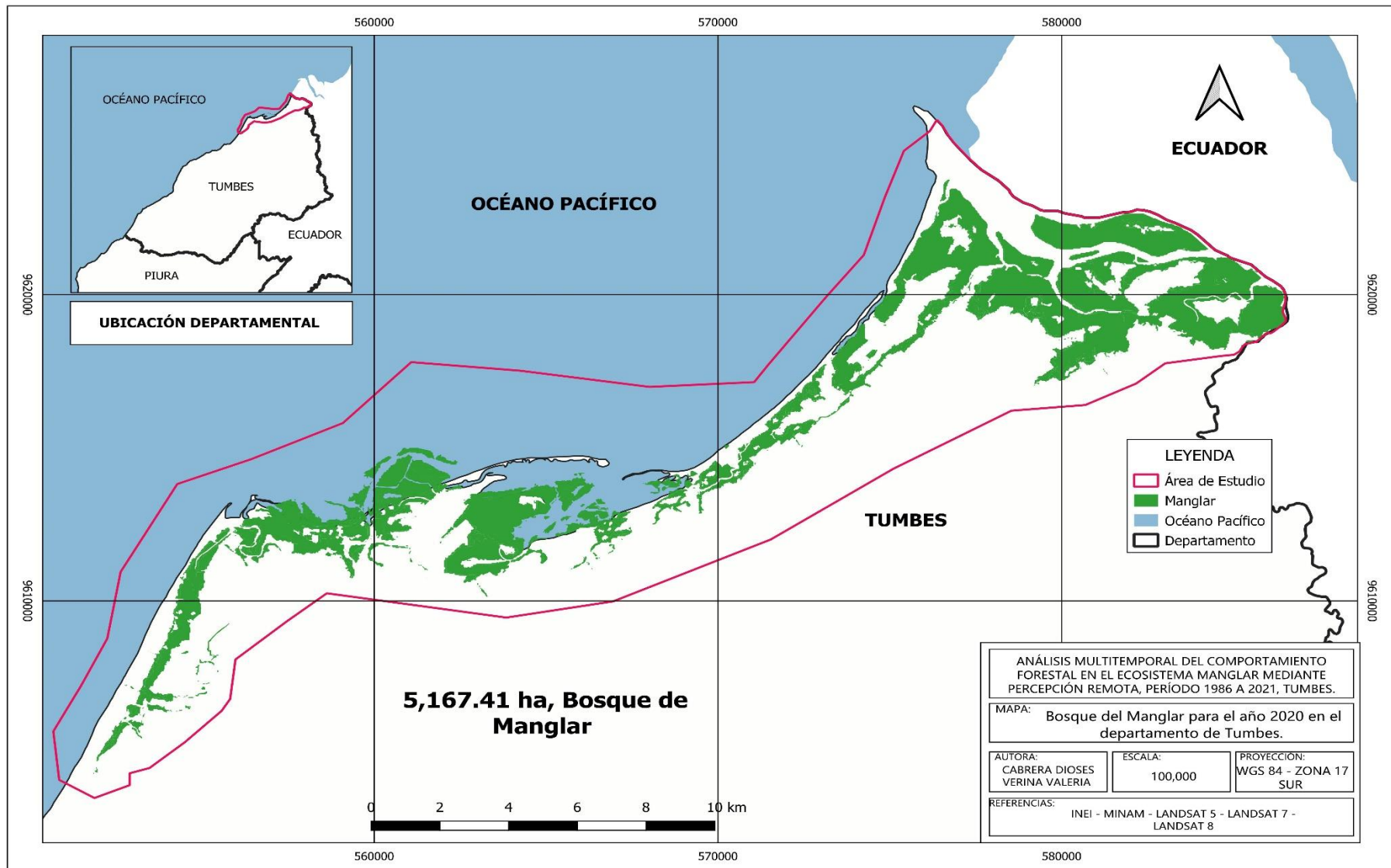
Anexo 25. Mapa de bosque manglar del año 2003



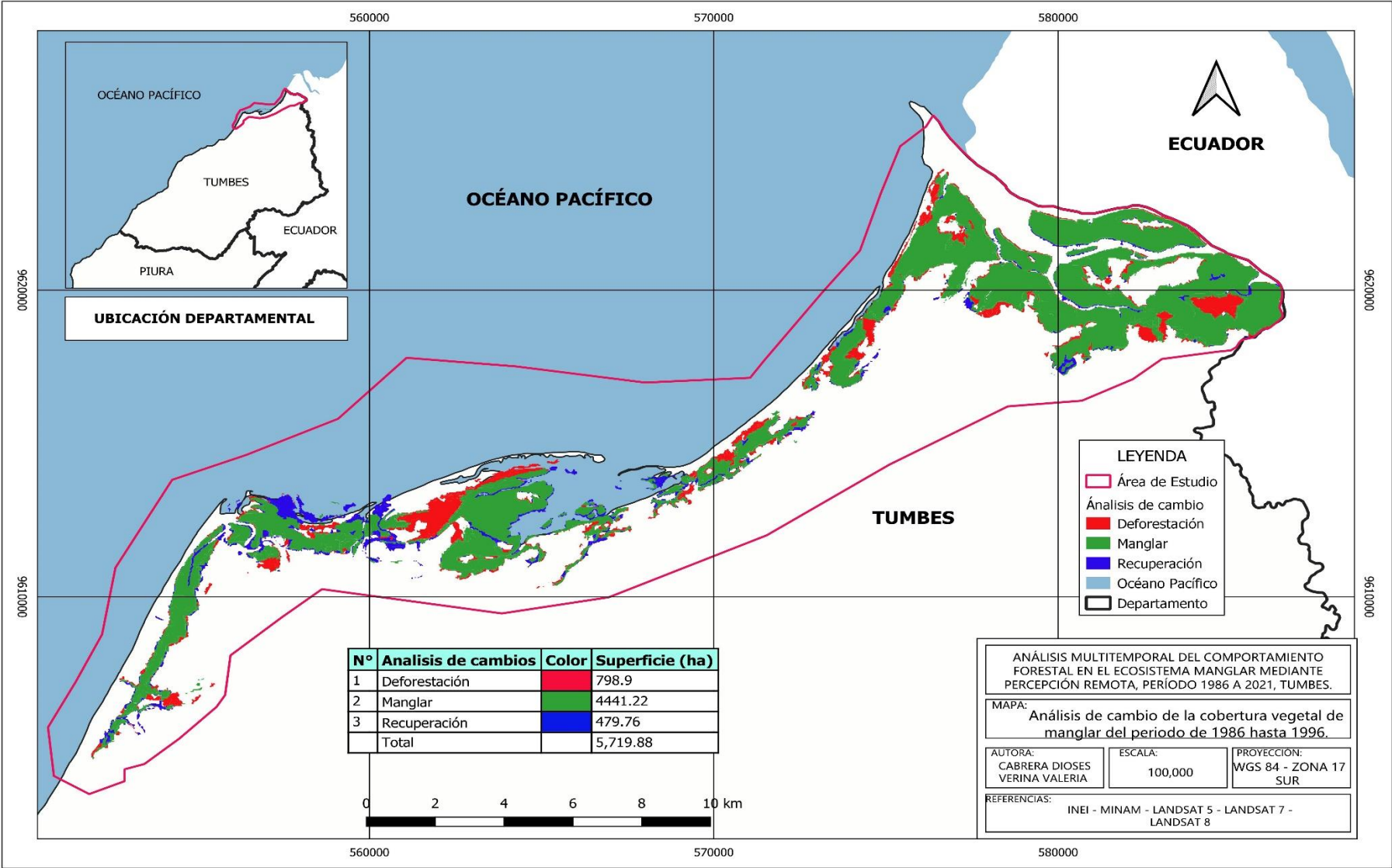
Anexo 26. Mapa de bosque manglar del año 2014



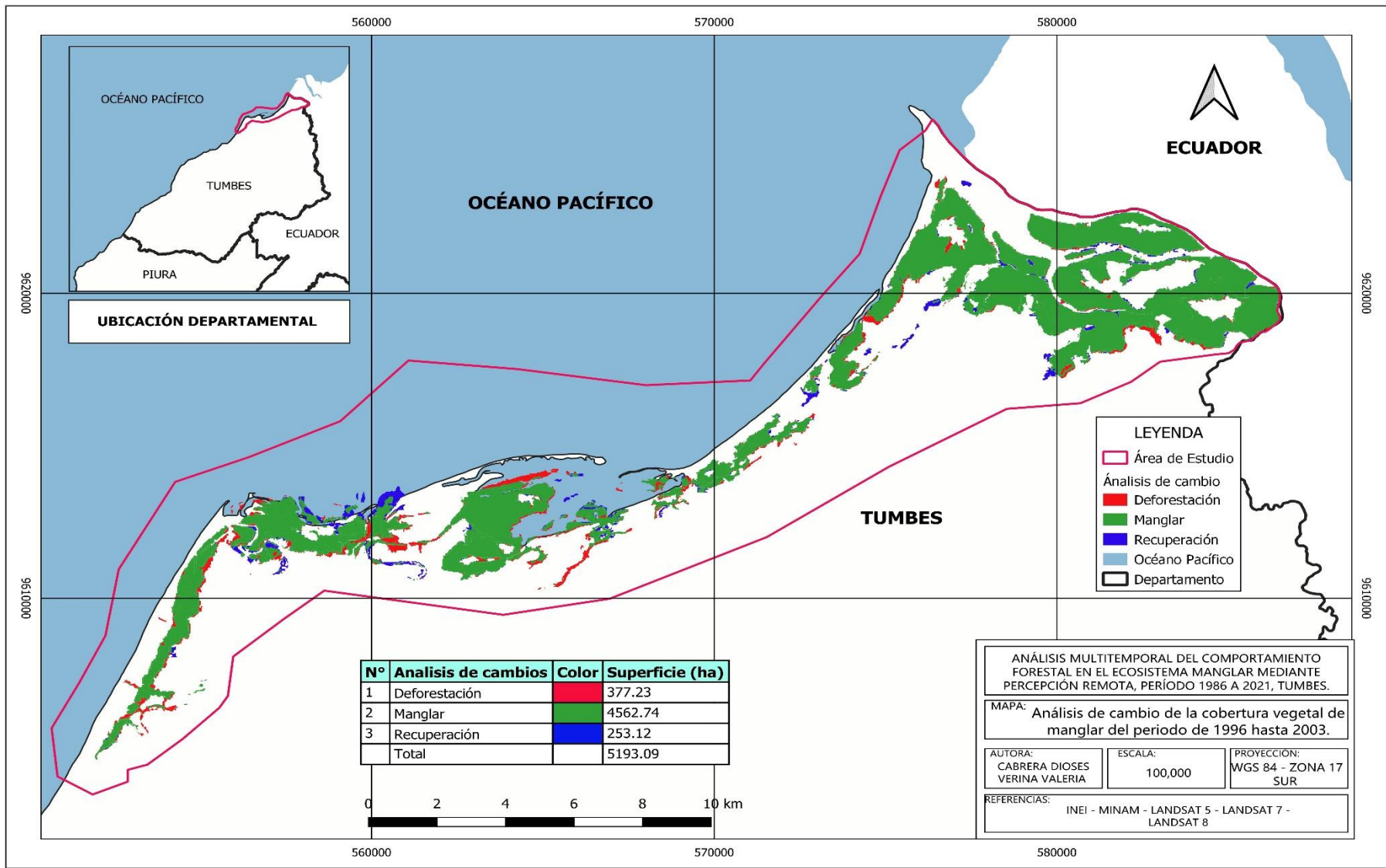
Anexo 27. Mapa de bosque manglar del año 2020



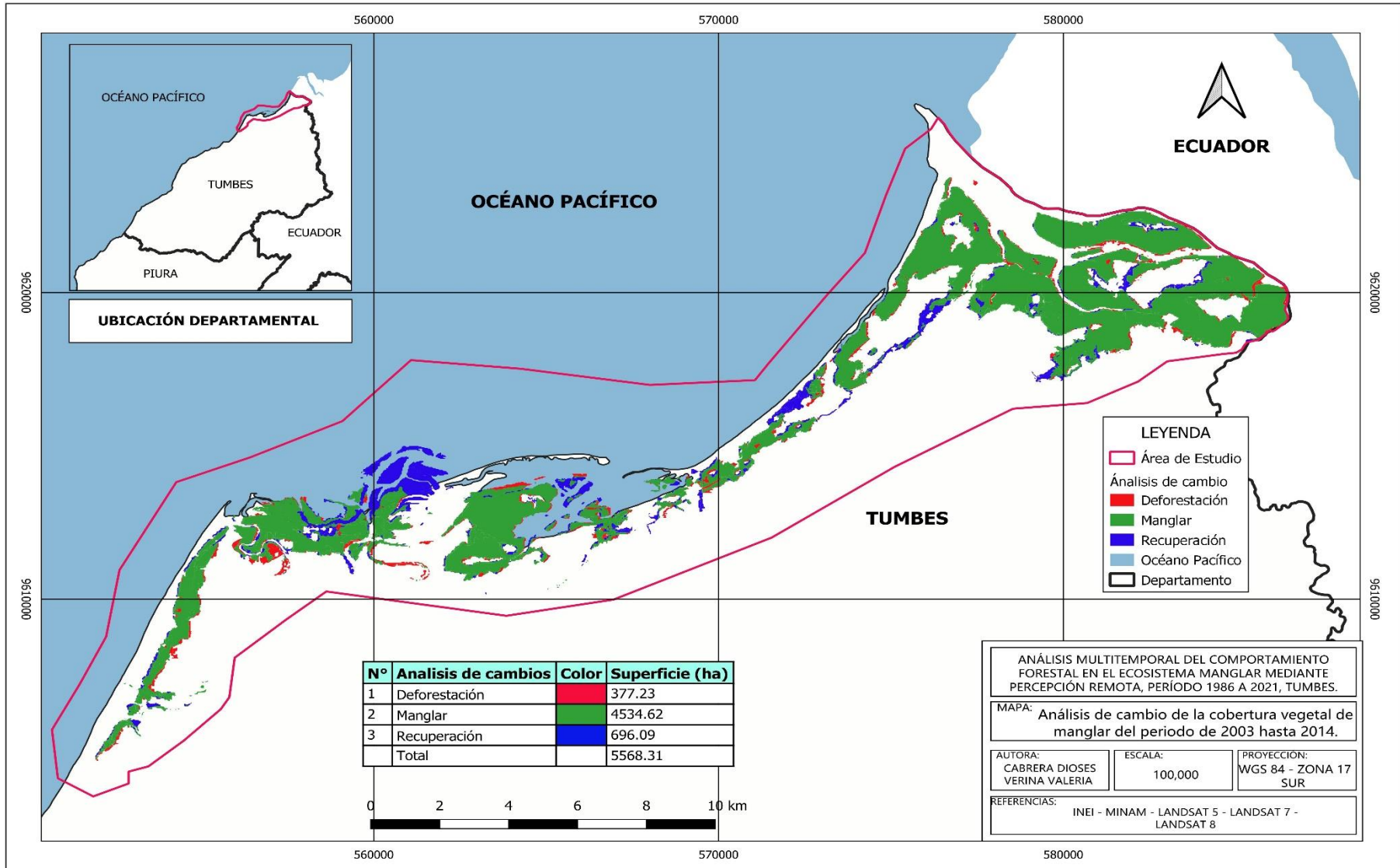
Anexo 28. Análisis de cambios de la cobertura vegetal del manglar en el periodo de 1986 hasta 1996



Anexo 29. Análisis de cambios de la cobertura vegetal del manglar en el periodo 1996 hasta 2003



Anexo 30. Análisis de cambios de la cobertura vegetal del manglar en el periodo 2003 hasta 2014



Anexo 31. Análisis de cambios de la cobertura vegetal del manglar en el periodo 2014 hasta 2020

