

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**Análisis multitemporal de la sequía y la deforestación y su
influencia en la degradación de la Reserva Nacional de
Tumbes - Perú**

TESIS

Para optar el grado académico de doctor en Ciencias Ambientales

Autor: Mg. Jalmer Fidel Campaña Olaya

Tumbes, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



Análisis multitemporal de la sequía y la deforestación y su influencia en la degradación de la Reserva Nacional de Tumbes - Perú

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete (Presidente) _____

Dr. Leocadio Malca Acuña (Secretario) _____

Dr. Gerardo Juan F. Cruz Cerro (Miembro) _____

Dr. Miguel Antonio Puestas Chully (Miembro) _____

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Miembro) _____

Tumbes, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**Análisis multitemporal de la sequía y la deforestación y su
influencia en la degradación de la Reserva Nacional de
Tumbes - Perú**

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

Mg. Jalmer Fidel Campaña Olaya (Ejecutor)

Dr. Eber Gines Tafur (Asesor)
Código ORCID [0000-0003-0366-4438](https://orcid.org/0000-0003-0366-4438)

Tumbes, 2023

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

Licenciada

Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD

ESCUELA DE POSGRADO

Tumbes - Perú

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En Tumbes, siendo las dieciséis horas del día dieciséis de noviembre del dos mil veintiuno, se reunieron mediante la modalidad virtual por la plataforma Zoom, Link: <https://us02web.zoom.us/j/6063115712>, los miembros del jurado conformado con la Resolución Directoral N° 063-2020/UNTUMBES-EPG-D, del 03 de abril del 2019, Dr. **CARLOS ALBERTO DEZA NAVARRETE** (presidente), Dr. **LEOCADIO MALCA ACUÑA** (secretario), Dr. **MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY** (miembro) y Dr. **JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO** (miembro); para proceder al acto de sustentación y defensa de la tesis titulada: **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA SEQUÍA Y LA DEFORESTACIÓN Y SU INFLUENCIA EN LA DEGRADACIÓN DE LA RESERVA NACIONAL DE TUMBES - PERÚ**, presentado por el Mg **JALMER FIDEL CAMPAÑA OLAYA**, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales. Actuó en la condición de asesor, el Dr. **EBER GINES TAFUR**. Concluido el acto de sustentación y defensa, absueltas las preguntas formuladas y efectuadas las correspondientes observaciones, el jurado calificador decidió declarar: **APROBADA** la tesis, por mayoría con el calificativo de **SOBRESALIENTE**, en conformidad con lo normado en el artículo 91 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las diecisiete horas con diez minutos, se dio por concluido el indicado acto académico y en expresión de conformidad se procedió a la suscripción de la presente acta.

Tumbes, 16 de noviembre del 2021

Dr. CARLOS ALBERTO DEZA NAVARRETE
DNI N° 16532820
ORCID N° 0000-0002-3324-3741
(PRESIDENTE)

Dr. LEOCADIO MALCA ACUÑA
DNI N° 00250560
ORCID N° 0000-0002-4428-6114
(SECRETARIO)

Dr. MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY
DNI N° 02660522
ORCID N° 0000-0003-1979-9572
(MIEMBRO)

Dr. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO
DNI N° 00223850
ORCID N° 0000-0003-0841-3064
(MIEMBRO)

Dr. EBER GINES TAFUR
DNI N° 17542075
ORCID N° 0000-0003-0366-4438
(ASESOR)

C.c. Jurado de Tesis (3), Asesor (1), sustentante (1), UI (2)

Resumen de Informe de originalidad Turnitin

Análisis multitemporal de la sequía y la deforestación y su influencia en la degradación de la Reserva Nacional de Tumbes - Perú

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

5%


TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	masd.unbosque.edu.co Fuente de Internet	1 %
2	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	1 %
3	www.redalyc.org Fuente de Internet	1 %
4	1library.co Fuente de Internet	1 %
5	pirineos.revistas.csic.es Fuente de Internet	1 %
6	revistasaludbosque.unbosque.edu.co Fuente de Internet	1 %
7	www.scribd.com Fuente de Internet	1 %
8	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	1 %




9	blogtumbesreservasdetumbes.blogspot.com Fuente de Internet	1 %
10	ri.agro.uba.ar Fuente de Internet	<1 %
11	brayanemersonescobaryarleque.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
12	Gerardo Juan Francisco Cruz, Minna Pirilä, Lenka Matějová, Kaisu Ainassaari et al. " Two Unconventional Precursors to Produce ZnCl - Based Activated Carbon for Water Treatment Applications ", Chemical Engineering & Technology, 2018 Publicación	<1 %
13	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	<1 %
14	revistas.udenar.edu.co Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
16	investigacion.unirioja.es Fuente de Internet	<1 %
17	repositorium.sdum.uminho.pt Fuente de Internet	 <1 %


18	Soufiane Abdelaziz Azzouzi. "Técnicas de detección de cambios mediante teledetección para el desarrollo sostenible y la desertificación", Universitat Politecnica de Valencia, 2019 Publicación	<1 %
19	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	erp.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	library.itc.utwente.nl Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Escuela De Ingenieria De Antiquia - Columbia Trabajo del estudiante	<1 %
24	www.revista.ueg.br Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unesp.br Fuente de Internet	<1 %
26	www.sciendo.com Fuente de Internet	 <1 %
27	Mayra Martinez, Maria Estibaliz Martinez, Elvira Martinez, Diego Renza. "Detection of	<1 %

Changes in Natural Aquifer Reservoirs based on the Index of Drought", IEEE Latin America Transactions, 2017

Publicación

28	Soumen Bramha, Gouri Sankar Bhunia, S.R. Kamlesh, Pravat Kumar Shit. "An appraisal of forest degradation and future scenario in the Bilaspur district of Chhattisgarh state (India)", Elsevier BV, 2021	<1 %
Publicación		
29	Yani Scatolin Mendes, Vinícius De Oliveira Ribeiro, Antonio Conceição Paranhos Filho, Taís Arriero Shinma Galbetti. "Álgebra de Mapas na Elaboração de Carta de Risco à Inundação", Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, 2020	<1 %
Publicación		
30	ciencia.lasalle.edu.co	<1 %
Fuente de Internet		
31	www.scielo.org.co	<1 %
Fuente de Internet		
32	Guadalupe Martinez Mena, Elvira Martinez de Icaya Gomez, Estibaliz Martinez Izquierdo. "New Proposals for the monitoring of Water Resources (Smartwater)", 2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2018	<1 %
Publicación		



33	Tien Le Thuy Du, Duong Du Bui, Minh Duc Nguyen, Hyongki Lee. "Satellite-Based, Multi-Indices for Evaluation of Agricultural Droughts in a Highly Dynamic Tropical Catchment, Central Vietnam", Water, 2018 Publicación	<1 %
34	aes.ucf.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
35	mrp.ase.ro Fuente de Internet	<1 %
36	revistas.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
37	rus.ucf.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
38	M. T. Paniagua, J. Villalba, M. Pasten. "SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF DROUGHT IN THE WESTERN REGION OF PARAGUAY (2005-2017)", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2020 Publicación	<1 %
39	aquichan.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	 <1 %

41	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %
42	www.cwejournal.org Fuente de Internet	<1 %
43	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1 %
44	www.ppegeo.igc.usp.br Fuente de Internet	<1 %
45	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
46	Carlos Alvarado, Alexander Leandro, Douglas Sarango. "Comparación de Índices de Vegetación con imágenes Landsat usando la computación en la nube: zona Pampa de Majes-Siguas, Arequipa Perú (Periodo: Jun 1984 a Nov 2018)", Revista de Investigación de Física, 2021 Publicación	<1 %
47	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
48	www.ciget.pinar.cu Fuente de Internet	<1 %
49	Submitted to Universidad de Burgos UBUCEV Trabajo del estudiante	<1 %



50	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	www.escavador.com Fuente de Internet	<1 %
54	Submitted to University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest Trabajo del estudiante	<1 %
55	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
56	repositorio.unibague.edu.co Fuente de Internet	<1 %
57	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %



Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Dedicatoria

*“A aquel que creo los cielos
sabiamente y que su amor perdure
para siempre”*

A mis padres Fidel y Falconery, por su gran esfuerzo realizado cada día y que supieron formar una familia con valores y que gracias a su valioso apoyo hicieron posible que logre mis metas, especialmente lograr una profesión la herencia más valiosa para todo ser humano.

A mi esposa Jessica del Pilar y a mí hijo Josué Jalmer Fidel, por ser mi gran estímulo en todo momento, mis grandes soportes en todo desde el inicio hasta hoy ante esta adversidad que tuvimos que atravesar toda la población a nivel mundial.

A mis hermanos: Magaly, Jessica y Waldir por su valioso apoyo en todos los momentos difíciles que tuvimos que vivir, especialmente en aquellos sucesos familiares que, sin ellos, no los podría haber superado.

A mis sobrinos Leonel Stiven, Edgar del Piero, Ariana Suleidy, Jair Alexander y Fransua Alexander para que siempre mantengan esa gran unidad familiar y que siempre sean solidarios entre ellos y con todos en todo momento.

Agradecimiento

A mi asesor el Dr. Eber Gines Tafur, por sus importantes enseñanzas y aportes para la realización y el logro de investigación y su publicación.

A los miembros del jurado de tesis por sus valiosos aportes, conocimientos y sugerencias realizadas para la mejora de este trabajo de investigación.

A todas las personas y amigos que de una u otra forma aportaron con algún tipo de apoyo para la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
RESUMO	xxii
CAPITULO I.....	¡Error! Marcador no definido.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II.....	¡Error! Marcador no definido.
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
CAPITULO III.....	¡Error! Marcador no definido.
3. MATERIAL Y MÉTODOS 1	
3.1. Tipo de estudio.....	1
3.2. Población, muestra y muestreo.....	1
3.3. Ubicación geodésica y geopolítica de la reserva nacional de Tumbes .2	
3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	2
CAPITULO IV	¡Error! Marcador no definido.
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
CAPITULO V	¡Error! Marcador no definido.
5. CONCLUSIONES.....	21
CAPITULO VI	¡Error! Marcador no definido.
6. RECOMENDACIONES.....	23
CAPITULO VII	¡Error! Marcador no definido.
7. REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS.....	24
CAPITULO VII	¡Error! Marcador no definido.
8. ANEXOS	30

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Imágenes utilizadas para el análisis multitemporal	1
Tabla 2. Clasificación de los valores de NDVI	8
Tabla 3. Clasificación de los valores de NDWI	9
Tabla 4. Clasificación de los valores de NDDI	11

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Ubicación geográfica de la reserva nacional de Tumbes.....	1
Figura 2: RNTumbes con presencia de bandas o líneas por errores de escaneo..	3
Figura 3: Corrección de imágenes de la RNTumbes haciendo uso de la herramienta denominada Fix Landsat 7 Scanline Error del toolbox.	4
Figura 4: Utilización de la calculadora raster para determinación del NDVI de la RNTumbes del año 2004.....	4
Figura 5: Utilización de la calculadora raster para la obtención de los valores del NDVI de la RNTumbes del año 2004.....	5
Figura 6: Valores obtenidos del NDVI para la RNTumbes del año 2004.	5
Figura 7: Reclasificación de los Valores del NDVI de las cuatro clases de la RNTumbes del año 2004.....	6
Figura 8. Creación de la tabla de atributos para determinación de las áreas en cada una de las cuatro clases del NDVI.....	7
Figura 9. Tabla de atributos con sus respectivas áreas para cada una de las cuatro clases del NDVI de la RNTumbes del año 2004.	7
Figura 10: Mapa base de la reserva nacional de Tumbes, tomado de SERNANP (2019).....	12
Figura 11: Mapas del NDVI de la serie multitemporal correspondiente a los años 1999, 2005, 2012 y 2019.	13
Figura 12: Área (ha) por año de bosque en la reserva nacional de Tumbes.	14
Figura 13: Área (ha) degradada por año en la reserva nacional de Tumbes.....	15
Figura 14. Área (ha) para dos valores de NDWI por año en la reserva nacional de Tumbes.	17

Figura 15. Valores mínimos y máximos de NDDI por año en la reserva nacional de Tumbes.....18

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1: Área (ha) por año de bosque en la reserva nacional de Tumbes.	30
Anexo 2: Área (ha) degradada por año en la reserva nacional de Tumbes	31
Anexo 3: Área (ha) para dos valores de NDWI por año en la reserva nacional de Tumbes.....	31
Anexo 4: Valores mínimos y máximos de NDDI por año en la reserva nacional de Tumbes.....	32
Anexo 5: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 1986.	33
Anexo 6: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 1999.	34
Anexo 7: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2001	35
Anexo 8: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2002.	36
Anexo 9: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2003.	37
Anexo 10: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2004.	38
Anexo 11: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2005.	39
Anexo 12: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2006.	40
Anexo 13: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2008.	41
Anexo 14: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2009.	42
Anexo 15: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2010.	43
Anexo 16: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2012.	44
Anexo 17: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2016.	45
Anexo 18: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2019.	46
Anexo 19: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 1986.	47
Anexo 20: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 1999.	48
Anexo 21: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2001.	49
Anexo 22: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2002.	50
Anexo 23: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2004.	51
Anexo 24: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2005.	52
Anexo 25: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2006.	53
Anexo 26: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2007.	54
Anexo 27: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2008.	55

Anexo 28: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2009.	56
Anexo 29: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2010.	57
Anexo 30: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2012.	58
Anexo 31: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2016.	59
Anexo 32: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2019.	60
Anexo 33: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 1986.	61
Anexo 34: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 1999.	62
Anexo 35: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2001.	63
Anexo 36: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2002.	64
Anexo 37: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2004.	65
Anexo 38: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2005.	66
Anexo 39: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2006.	67
Anexo 40: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2007.	68
Anexo 41: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2008.	69
Anexo 42: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2009.	70
Anexo 43: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2010.	71
Anexo 44: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2012.	72
Anexo 45: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2016.	73
Anexo 46: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2019.	74

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la reserva nacional de Tumbes (RNTumbes), con la finalidad de observar la sequía, degradación, el grado de deforestación en esta reserva, se emplearon imágenes de diferentes años desde el año 1986 al año 2019, las imágenes fueron seleccionadas, algunas imágenes obtenidas de Landsat 7, fueron corregidas mediante la herramienta gap fill, para determinar la sequía se utilizó el NDDI (Índice de sequía diferencial normalizado), para determinar la vegetación forestal y la degradación se utilizó el NDVI (Índice de vegetación diferencial normalizado), se determinó las áreas para poder analizar la deforestación, se logró concluir que: a) Con respecto a la sequía el NDWI, la mayor área de la RNTumbes, tuvo valores entre 0.2-0.4 y >0.4, clasificándose el área con poca sequía y bajo contenido de humedad, respectivamente; valores de humedad que están dentro de los rangos establecidos para este índice b) que la Vegetación alta (VA), fue mayor el año 1986 alcanzando 19 142,28 ha, y los valores más bajos fueron en el año 2005 y 2010, donde el área fue de 15 401,25 y 15 094,53 ha, respectivamente; el año 2019 el área fue de 18 219,51 ha, la cual se recuperó en los últimos diez (10) años y c) El NDDI en la reserva nacional de Tumbes alcanzó valores entre -1189.04 y 1 312,02, siendo estos valores clasificados como suelos húmedos aunque no están a su máxima capacidad de almacenaje de agua, lo cual nos permite decir que en la reserva no se presentó una situación de sequía durante los años del presente análisis multitemporal como se observa en ambos índices como el NDWI y el NDDI.

Palabras claves: deforestación; índices de sequía; NDDI; NDWI; reserva nacional.

ABSTRACT

This research was carried out in the Tumbes National Reserve (RNTumbes), in order to observe the drought, degradation, the degree of deforestation in this reserve, images from different years were used from 1986 to 2019, the images were selected, some images obtained from Landsat 7, were corrected using the gap fill tool, to determine the drought the NDDI (Normalized Differential Drought Index) was used, to determine forest vegetation and degradation, the NDVI (Normalized Differential Vegetation Index), the areas were determined to be able to analyze deforestation, it was possible to conclude that: a) With respect to drought, the NDWI, the largest area of the RNTumbes, had values between 0.2-0.4 and > 0.4, classifying the area with little drought and low moisture content, respectively; humidity values that are within the ranges established for this index b) than High Vegetation (VA), the year 1986 was higher, reaching 19 142.28 ha, and the lowest values were in 2005 and 2010, where the area was 15 401.25 and 15 094.53 ha, respectively; In 2019 the area was 18 219.51 ha, which was recovered in the last ten (10) years and c) The NDDI in the Tumbes National Reserve reached values between -1189.04 and 1 312.02, these values being classified as humid soils although they are not at their maximum water storage capacity, which allows us to say that in the reserve there was no drought situation during the years of this multitemporal analysis, as observed in both indices such as the NDWI and the NDDI.

Keywords: deforestation; drought indices; NDDI; NDWI; national reserve.

RESUMO

A presente investigação foi realizada na reserva nacional de Tumbes (RNTumbes), com o objetivo de observar a seca, a degradação, o grau de desmatamento nesta reserva, foram utilizadas imagens de diferentes anos de 1986 a 2019, as imagens foram selecionadas, algumas as imagens obtidas do Landsat 7 foram corrigidas utilizando a ferramenta gap fill, para determinar a seca foi utilizado o NDDI (Normalized Differential Drought Index), para determinar a vegetação florestal e a degradação foi utilizado o NDVI (Differential Vegetation Index) normalizado), as áreas foram determinadas para conseguir analisar o desmatamento, foi possível concluir que: a) Com relação à seca, o NDWI, maior área da RNTumbes, teve valores entre 0,2-0,4 e >0,4, classificando a área com pouca seca e baixo teor de umidade, respectivamente; valores de umidade que estão dentro das faixas estabelecidas para este índice b) que a Vegetação Alta (VA) foi maior em 1986, atingindo 19.142,28 ha, e os menores valores foram em 2005 e 2010, onde a área foi de 15.401,25 e 15.094,53 ha , respectivamente; Em 2019, a área era de 18.219,51 ha, que foi recuperada nos últimos 10 (dez) anos e c) O IDND na reserva nacional de Tumbes atingiu valores entre -1.189,04 e 1.312,02, sendo esses valores classificados como solos úmidos embora não estão em sua capacidade máxima de armazenamento de água, o que nos permite afirmar que não ocorreu situação de seca na reserva durante os anos desta análise multitemporal conforme observado em ambos os índices como o NDWI e o NDDI.

Palavras-chave: desflorestação; índices de seca; NDDI; NDWI; reserva nacional.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las sequías están muy ligadas a la ausencia, retraso o déficit de lluvias, por lo que se pueden definir como la precipitación pluvial significativamente más baja que el promedio o que un valor específico durante un período de tiempo, según la frecuencia y la intensidad con el que suceden las sequías, podríamos decir que son situaciones relativamente normales dentro de las oscilaciones climáticas propias de la zona, que se detectan fácilmente en lapsos de una o dos décadas (Cerano *et al.*, 2011)

El departamento de Tumbes ha sufrido sequias que afectan las diferentes zonas tanto agrícolas, ganaderas, forestales y por ende la reserva nacional de Tumbes; la realización del análisis meteorológico e hidrológico que permitió detectar años secos y húmedos en Tumbes para el periodo comprendido de 1964-2011; de los 48 eventos analizados, 15 corresponden a periodos húmedos, 15 a periodos normales y 18 a periodos secos y de los periodos secos, se observa 3 eventos extremadamente secos (1968, 1978 y 1979), 2 eventos severamente secos (1974 y 1982) y 13 eventos moderadamente secos, para los años extremadamente secos, los mayores déficits de precipitación ocurrieron el Rica Playa y El Tigre (Martínez & Céspedes, 2017).

La actividad del hombre o antropomórfica viene causando serios daños en las diversas áreas como los son las áreas naturales protegidas y los parques nacionales, principalmente por el cambio de uso del suelo para la agricultura, para lo cual los pobladores cercanos a esta área causan deforestación e igualmente lo hacen las personas que se dedican a la tala ilegal de árboles para la comercialización de su madera. En el caso de la en la Reserva natural de Tumbes (RTN), lo que corresponde a la cobertura de bosques ha disminuido, existiendo un

incremento de pastizales en 3314 ha, asimismo en la porción de 2421,97 ha analizadas del Parque nacional cerros de Amotape (PNCA) los pastizales han tenido un aumento de 65,01 ha desplazando a la cobertura boscosa(Martínez & Céspedes, 2017).

En los tiempos primitivos en que había poca población humana y bajo nivel de actividad económica, la deforestación no era un problema porque la regeneración natural del bosque era adecuada para cubrir cualquier pérdida de bosque por parte de los seres humanos. Sin embargo, con el advenimiento de la civilización y la industrialización modernas y el aumento de la población, la pérdida de bosques para satisfacer las crecientes necesidades de la población humana se hizo tan grande que representó un problema para el medio ambiente mundial; la FAO identificó el papel de la dinámica de la población en la deforestación y declaró que la deforestación puede resultar de "una combinación de la presión de la población y el estancamiento de las condiciones económicas, sociales y tecnológicas (Maurya *et al.*, 2013).

Por lo tanto, las áreas naturales protegidas y los parques nacionales tienen la intervención del hombre como de la naturaleza, lo que afecta también la erosión de estas áreas comprendidas, no contándose con análisis y proyección de como viene sucediendo esto en las áreas antes mencionadas.

Por lo tanto la realización del presente proyecto de investigación permitió el análisis multitemporal de la sequía y la deforestación en la degradación de la reserva nacional de Tumbes, mediante el uso de sistemas de información geográfica que podríamos proyectarlo a otros años para que se implementen planes de manejo y gestión adecuados para la reserva nacional de Tumbes en los siguientes años y poder tener un área de reserva ecológica en nuestro departamento para las generaciones actuales y futuras; Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron:

- a. Demostrar si existe deforestación en la reserva nacional de Tumbes – Perú
- b. Determinar el área con degradación en la reserva nacional de Tumbes – Perú.
- c. Demostrar si la sequía influye en la degradación de la reserva nacional de Tumbes – Perú
- d. Elaborar mapas del área con degradación en la reserva nacional de Tumbes – Perú.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes.

En el documento denominado monitoreo de la sequía usando datos satelitales, se concluyó que el principal objetivo fue reconocer las relaciones entre la lluvia y el índice de Diferencia de vegetación Normalizado (NDVI) y para observar adecuadamente como las zonas de riesgo de sequía pueden ser delimitadas mediante la integración satelital, meteorológica y otros datos. Se pudo concluir que a partir del estudio que las variaciones temporales de NDVI, estas están convincentemente asociadas con la precipitación y que existe una fuerte relación lineal entre NDVI y la precipitación (Himanshu *et al.*, 2015).

En el estudio denominado: Una investigación de la predicción de la sequía utilizando varios índices de vegetación mediante teledetección para diferentes intervalos de tiempo, los Índices de vegetación para diferentes intervalos de tiempo y el uso de índices de vegetación derivados de AVHRR tiene una serie de ventajas sobre los índices de sequía meteorológica: (1) la densidad espacial de la recolección de datos es muy alta (2) el sensor cubre áreas muy grandes; (3) los datos están disponibles en terrenos con una baja densidad de estaciones meteorológicas y (4) el NDVI indica la gravedad del estrés de la vegetación resultante de un déficit hídrico. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es determinar la respuesta del vigor de la vegetación a la disponibilidad de humedad a través de los análisis de NDVI, WSVI y VCI derivados de AVHRR en el área de estudio. Se estudió también la relación entre estos índices y SPI para monitorear la sequía (Heydari *et al.*, 2018)

Un nuevo estudio, realizado en el marco de Evaluación de los recursos forestales mundiales (FRA) 2010, ha sido más exhaustivo, con imágenes de satélite recopiladas de todo el mundo, y tiene por finalidad mejorar sustancialmente el conocimiento de la dinámica de los cambios en la cubierta forestal y el uso de los terrenos forestales en el tiempo (Gerrand, Lindquist, D'Annunzio, & Obstler, 2012)

En el trabajo denominado: Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, municipio de pasto, departamento de Nariño, el análisis fue de 19 años, entre 1989 y 2008, donde se implementó diferentes herramientas y procesos cartográficos como la fotointerpretación, el tratamiento y análisis imágenes satelitales; el estudio mostró una pérdida del bosque natural secundario equivalente a 58,51has, con una deforestación por año de 3,08 has, hubo un aumento de pastos en la microcuenca en promedio de 2,54has/año, el aumento más considerable se observó en el año 2008 con un área sembrada de pasto de 141,64 has. En cuanto a cultivos existió un aumento considerable en el año 2008, puesto que aumentó a 28,13 ha (Muñoz *et al.*, 2009).

En el estudio de monitoreo de sequía en la vegetación mediante el uso imágenes de MODIS y datos de humedad del suelo en Oklahoma Mesonet, se pudo observar que la cobertura de área e intensidad de las sequías tenían grandes variaciones espaciales y temporales, haciendo que el monitoreo de sequías se convierta en una tarea difícil. Usando datos atmosféricos y de suelos de la Oklahoma Mesonet, y datos de reflectancia de la superficie terrestre del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS), por sus siglas en inglés a bordo de los satélites Terra y Aqua, este estudio examinó la hipótesis de que el índice de agua de la superficie del terreno (LSWI), por sus siglas en inglés) es sensible a condiciones de sequía y potencialmente puede utilizarse como un indicador o herramienta para la monitoreo de sequías (Vanegas *et al.*, 2014).

De hecho, el NDVI extraído de la detección remota es una excelente herramienta para monitorear el estado de la vegetación y su dinámica temporal. Sin embargo,

la creación de series temporales de NDVI es problemática debido a problemas relacionados con desuniformidad de las series temporales de satélites que pueden restringir el uso de satélites para el análisis temporal de la cobertura vegetal (Vicente-Serrano *et al.*, 2004)

También se hizo un estudio para evaluar los cambios de uso de la cubierta y degradación del suelo, se utilizó SIG y aplicaciones de teledetección mediante el análisis NDVI, de las imágenes entre 1985 y 2011 (Gashaw *et al.*, 2014)

Las estimaciones de precipitación satelital y caudal simulado se compararon con registros de 175 estaciones hidrometeorológicas IDEAM; dado que esta entidad según se encontró utiliza principalmente el índice de precipitación estandarizado (SPI) se construyó la línea base con respecto a este índice. El resultado de esta construcción mostró que la búsqueda de eventos bajo condiciones muy extremas, intensidades inferiores a -1,5 y persistencias de la intensidad por más de 12 meses, lograron eliminar el ruido generado por eventos pequeños al usar otros criterios de búsqueda y para esta zona logró mostrar los eventos de mayor relevancia para nuestros datos, para el caso del LSWI (Índice de agua de superficie del terreno) con una fuente de datos de la misión MODIS brindó un complemento adicional a la visión del fenómeno. En conclusión se encontró que si bien los diferentes índices mostraron una alta coincidencia en la mayoría de eventos detectados, se logra aprobar la hipótesis que sugiere que la habilidad de detección al utilizar múltiples índices mejora en comparación con la detección individual; esto afirmado gracias a que al hacer la comparación de los principales eventos detectados se logró comprobar que cada índice aporta un elemento diferente y particular al tipo de sequía al cual se le asocia, fortaleciendo la visión del fenómeno mejorando su detección a nivel temporal y espacial (Rodríguez *et al.*, 2016).

2.2. Bases teórico-científicas

2.2.1. Teledetección

La teledetección brinda la posibilidad de ir de lo estructural y describir aspectos funcionales de los sistemas ecológicos, particularmente desde el nivel de ecosistemas. En este nivel el funcionamiento involucra los intercambios de materia y energía de la biota con el medio físico, para cuya caracterización han demostrado ser muy efectivos los índices espectrales, particularmente los relacionados con las ganancias de C y las pérdidas de agua (Cabello & Paruelo, 2008).

Se dice que cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés (acame, plagas, sequía, etc.), su reflectancia será inferior en el infrarrojo cercano y rojo, con lo que el contraste entre ambas bandas será mucho menor en relación con una vegetación sana de gran vigor. En síntesis, puede señalarse que a mayor contraste entre las reflectancias de las bandas del infrarrojo y rojo, mayor vigor vegetal presentará una cobertura observada; por su parte, los bajos valores de esta relación indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a coberturas sin vegetación como el suelo desnudo que reporta índices cercanos al cero; El término cárcavas es usado para describir áreas de depósitos o rocas pobremente consolidadas e intensamente afectadas por procesos de erosión superficial, donde la vegetación es escasa o ausente (Chuvienco, 1991).

La representación cartográfica permite la representación a través de la descomposición por las componentes de sus variables. La utilización de las técnicas del geoprocesamiento en el estudio de las transformaciones del uso y cobertura de la tierra promueve la representación y el análisis del espacio geográfico de forma dinámica, permitiendo operaciones entre mapas, generando resultados que posibilitan acompañar temporalmente las transformaciones ocurridas en el área de estudio (Silva *et al.*, 2011).

2.2.2. Índice de diferencia de agua normalizado (NDWI)

El Índice de diferencia de agua normalizado (NDWI), es una relación normalizada calculada a partir de dos canales de infrarrojo cercano (NIR) centrado aproximadamente en 0,86 μm y 1,24 μm , se ha utilizado para monitorear la sequía, ya que es sensible a los cambios en el contenido de agua líquida de las cubiertas de vegetales. La banda espectral infrarroja de onda corta (SWIR) también es sensible al contenido de agua en la cubierta y superficie del suelo (Heydari *et al.*, 2018)

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Verde} - \text{NIR}}{\text{Verde} + \text{NIR}}$$

Dónde:

NIR= infrarrojo cercano

(de Carvalho, 2018; Herrera, 2017; Machado & Michelazzo, 2019)

2.2.3. Monitoreo de la sequía

Los métodos tradicionales de monitoreo de la sequía se basaban en datos de lluvia, los cuales tenían muchas limitaciones como red de estaciones, los datos climáticos limitados que eran incompletos e inexactos, Además del error humano y lo más importante, fue la dificultad de obtener datos casi en tiempo real, tanto espacial como temporalmente. Para hacer frente a esas deficiencias la tecnología de teledetección ha sido revolucionaria para mejorar enormemente la capacidad de monitorear y gestionar los recursos naturales, particularmente en las herramientas de teledetección y la tecnología ofrece excelentes posibilidades para recoger estos datos indispensables; la razón de ser de esta tecnología que tiene la capacidad de

recopilar datos a escala mundial y regional en muy poco tiempo y proporciona una ventaja de repetitividad en forma digital (Himanshu *et al.*, 2015).

2.2.4. Monitoreo de la deforestación

En un estudio anterior, se probaron varias técnicas de detección de cambios, como la diferenciación de imágenes, el análisis selectivo de componentes principales, la clasificación directa no supervisada y la comparación de imágenes post-clasificación, para determinar el procedimiento óptimo para evaluar la deforestación en esta área. Por lo tanto, las imágenes se clasificaron de forma independiente utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud en las siguientes clases de cobertura terrestre: bosque tropical “no perturbado”, bosque tropical secundario, manglares y vegetación no forestal. La precisión de la clasificación se evaluó calculando la precisión global y el coeficiente de Kappa utilizando una muestra independiente de 106 puntos de referencia obtenidos de la interpretación de fotografías aéreas a escala 1: 50,000. Se calcularon las áreas de bosque para las tres fechas y se estimaron las tasas anuales de desmonte (Mas *et al.*, 2004).

Se hizo un trabajo para el análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el pirineo central; para esta investigación se utilizó el mapa de coberturas de suelo que comprende los principales tipos de vegetación en el área de estudio, así como el mapa de zonas con erosión activa (cárcavas) y áreas de riesgo de erosión, este estudio demostró que en una zona montañosa representativa del Pirineo central español, se hizo un análisis de los últimos 24 años con un significativo incremento en la actividad vegetal, esto se explica por el incremento de la temperatura mínima. Los bosques de coníferas y frondosa han registrado el mayor aumento en la actividad vegetal, mientras que en los pastizales y matorrales ha sido moderado; Sin embargo, las condiciones extremas que existen en las áreas con erosión activa y zonas de riesgo de erosión no han permitido la recuperación de la vegetación en el periodo de estudio (Alatorre *et al.*, 2010).

2.3. Definición de términos básicos.

2.3.1. El índice normalizado diferencial de la vegetación (NDVI)

El índice normalizado diferencial de la vegetación (NDVI, por su sigla en inglés). Este índice arroja valores estimados del “verdor del bosque que resultan de datos obtenidos mediante satélite. Se parte de una premisa que el NDVI representa un indicador de la salud vegetal porque la degradación de la vegetación del ecosistema, es decir la mengua de su verdor quedaría reflejada en el valor más reducido, del NDVI (Meneses-Tovar, 2011)

2.3.2. Deforestación

Es la destrucción de los bosques por la acción humana, Millones de hectáreas se degradan o destruyen anualmente. Éstas áreas son taladas o quemadas, y equivalen a la superficie de un campo de futbol cada dos segundos, la deforestación avanza muy rápido a un ritmo de unas 17 millones de hectáreas al año el equivalente a una superficie que supera a la de Inglaterra, Gales e Irlanda del Norte juntas; cada día se pierde bosques tropicales frondosos (Garciglia, 2014).

2.3.3. Sequía

La sequía se considera una amenaza natural que puede llegar a convertirse en un desastre si se prolonga durante largos períodos de tiempo, como resultado de un déficit en la precipitación. Conlleva a generar pérdidas económicas, a no satisfacer las necesidades humanas y del mismo entorno natural (Wilhite, 2005)

La sequía es un fenómeno complejo, viene a ser más bien una particularidad del clima y del medio ambiente, que a su vez tiene múltiples facetas, lo cual le confiere un carácter altamente relativo y elusivo, por la dificultad de acotar el inicio y fin del fenómeno, se le considerara como un no evento, en el sentido clásico del término;

a la fecha no existe una definición completa y del todo aceptada, pues lo complejo del fenómeno no lo permite (Velasco *et al.*, 2005).

CAPITULO III

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Tipo de estudio.

La presente investigación se realizó con la finalidad de analizar multitemporalmente la reserva nacional de Tumbes para conocer qué es lo que está pasando, con respecto a la deforestación y la sequía de la RNTumbes y de esta forma pueda servir esta información al servicio nacional de áreas protegidas para posteriormente implementar planes de manejo y gestión adecuados para la reserva nacional de Tumbes en el transcurso del tiempo.

3.2. Población, muestra y muestreo.

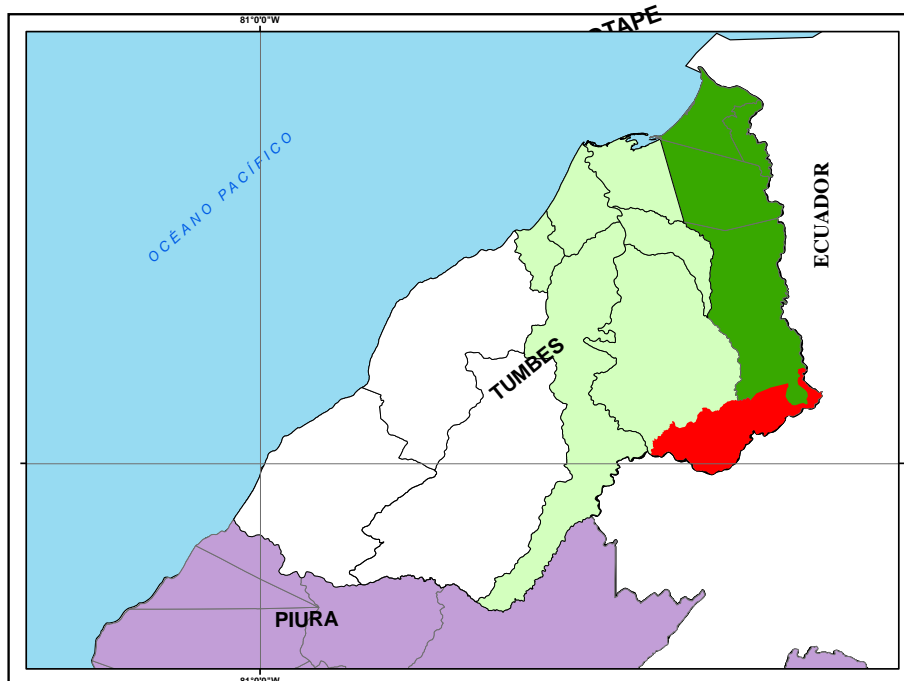


Figura 1: Ubicación geográfica de la reserva nacional de Tumbes

3.2.1. Población.

La población estará constituida por la cobertura vegetal del ecosistema presente en el área comprendida de la Reserva nacional de Tumbes.

3.2.2. Muestra

Se colectó imágenes del periodo correspondiente a los meses de marzo, abril y mayo, de los años que contaban con información y cuyas imágenes correspondían a Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, que eran claras y libres de nubosidad, de las imágenes obtenidas de estos satélites; se utilizaron aquellas que cumplían con estos requisitos de los años que se detallan a continuación:

Tabla 1: Imágenes utilizadas para el análisis multitemporal.

Año	Fuente	fecha	bandas
1986	Landsat 5 LT05_L1TP_011063_19860314	20170218	Banda 3
1999	Landsat 5 LT05_L1TP_011063_19990521	20161217	Banda 3
2001	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20010331	20170205	Banda 3
2002	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20020505	20170130	Banda 3
2003	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20030406	20170125	Banda 3
2004	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20040408	20170121	Banda 3
2005	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20050529	20170114	Banda 3
2006	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20060516	20170109	Banda 3
2007	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20070503	20170103	Banda 3
2008	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20080318	20161230	Banda 3
2009	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20090508	20161222	Banda 3
2010	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20100511	20161214	Banda 3
2011	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20110311	20161209	Banda 3
2012	Landsat 7 LE07_L1TP_011063_20120414	20161202	Banda 3
2016	Landsat 8 LC08_L1TP_011063_20160519	20170324	Banda 3
2019	Landsat 8 LC08_L1TP_011063_20190426	20190426	Banda 3

Las imágenes fueron obtenidas mediante el uso de los sistemas de información geográfica, desde el servidor EarthExplorer, consultado en USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>), Datum 17S, del Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, respectivamente; del área de la reserva nacional de Tumbes, se analizó la sequía, deforestación y degradación de la reserva antes mencionada.

3.3. Ubicación geodésica y geopolítica de la reserva nacional de Tumbes

La reserva Nacional de Tumbes se encuentra ubicada en el Departamento de Tumbes, Coordenadas UTM, DATUM: WGS84, ZONA: 17S, Centroides 581062.368505E, 9563925.11758S, extendido entre las latitudes por el norte 9574334.00S, por el sur 9555940.00S y longitudes 567321.00E al oeste y 596897.00E al este y sus coordenadas geográficas son: 3°53'49"S 80°18'04"O.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Metodología:

Mediante el uso de la teledetección y el uso de imágenes Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, según correspondía se generó la información necesaria para el análisis de la sequía, deforestación y sus efectos en la degradación en la reserva natural de Tumbes; se realizó la obtención de imágenes de Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 desde el Servidor EarthExplorer - USGS, se tomaron solo las imágenes que estaban libres de nubosidad y que reunían las características y estaban libres de defectos de captura y transmisión; es decir que no presentaban líneas de bandeo o de errores de escaneo, de las imágenes obtenidas se extrajo el área de estudio para proceder luego a realizar el análisis multitemporal y poder observar los cambios en la cobertura vegetal de la RNTumbes, para poder realizar los análisis correspondientes para cada una de las variables NDVI, NDWI y NDDI; para lo cual se procedió de la siguiente manera:

a. Determinación del Índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI)

Se procedió a determinar el NDVI para lo cual primeramente se delimitó y se georreferenció el área en estudio de la reserva natural de Tumbes, de las imágenes satelitales se extrajo las áreas correspondientes al ámbito de estudio de la reserva nacional de Tumbes.

1. Para el cálculo del Índice de vegetación Diferencia Normalizada(NDVI), se utilizó las bandas : banda 3 y banda 4, correspondientes a la porción del rojo (IR, 620-670 nm) y del infrarrojo cercano (IRc, 841-876 nm) del espectro electromagnético, Según la relación que está a continuación: $NDVI = (IR - IRc) / (IR + IRc)$ (Gaitán, Donaldo Bran, & Azcona, 2015)
2. Se utilizaron imágenes satelitales de Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS : consultado en <https://earthexplorer.usgs.gov/>) de los años 1986 a 2019, las imágenes fueron seleccionadas eligiendo aquellas con el menor porcentaje de nubosidad, ya que estas serían las que nos brinden la mayor información, para el presente trabajo se utilizó el software ArcGIS el cual nos permitió proceder al procesamiento de las imágenes, se extrajo solo el área en estudio de la reserva nacional de Tumbes de cada imagen, haciendo uso de la herramienta extracción de mascara del área en mención , la cual se georreferenció, algunas imágenes que tenían bandas o líneas por errores de escaneo como en la figura 2 debían ser corregidas.

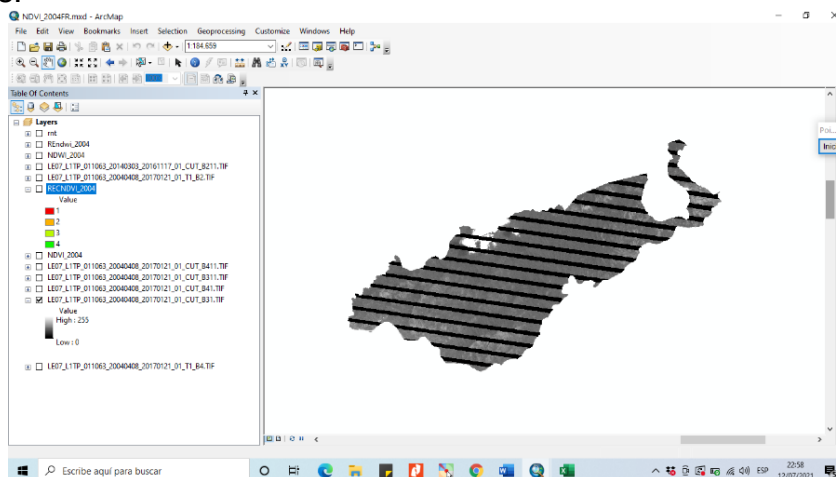


Figura 2: RNTumbes con presencia de bandas o líneas por errores de escaneo.

La imagen anterior de la figura 2, fue corregida haciendo uso de la herramienta denominada Fix Landsat 7 Scanline Error del toolbox como se logra observar en la figura 3.

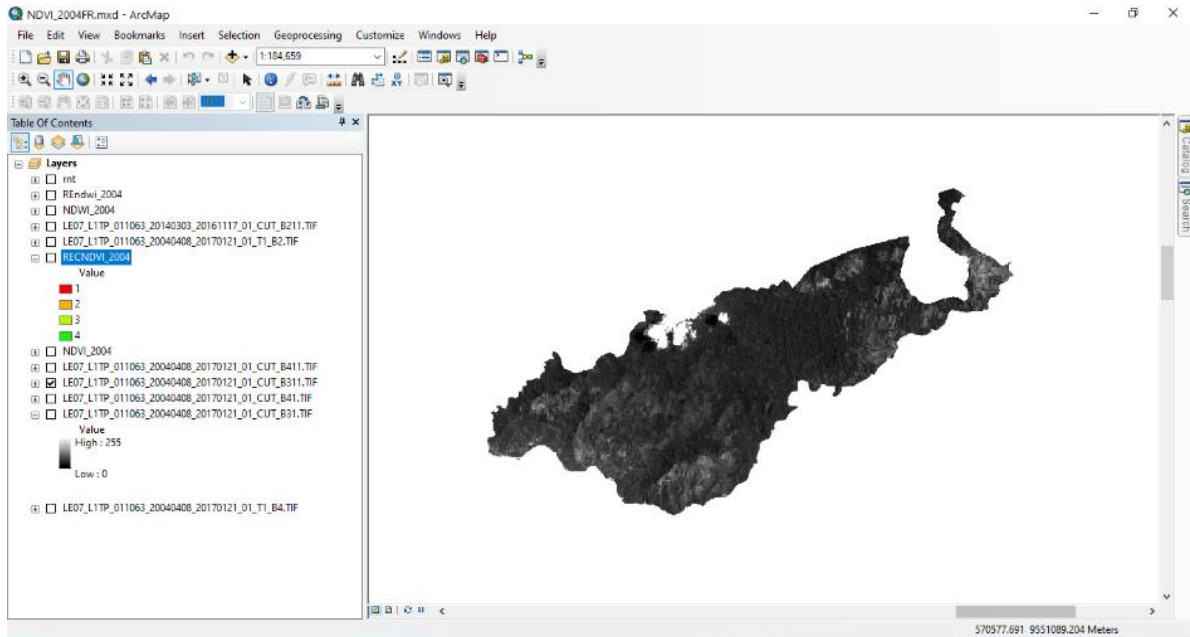


Figura 3: Corrección de imágenes de la RNTumbes haciendo uso de la herramienta denominada Fix Landsat 7 Scanline Error del toolbox.

Según la figura 4; se puede observar que una vez corregidas las imágenes de cada una de las bandas a utilizar se procedió al cálculo del NDVI, haciendo uso de las herramientas del toolbox, para el análisis espacial se usó la calculadora raster.

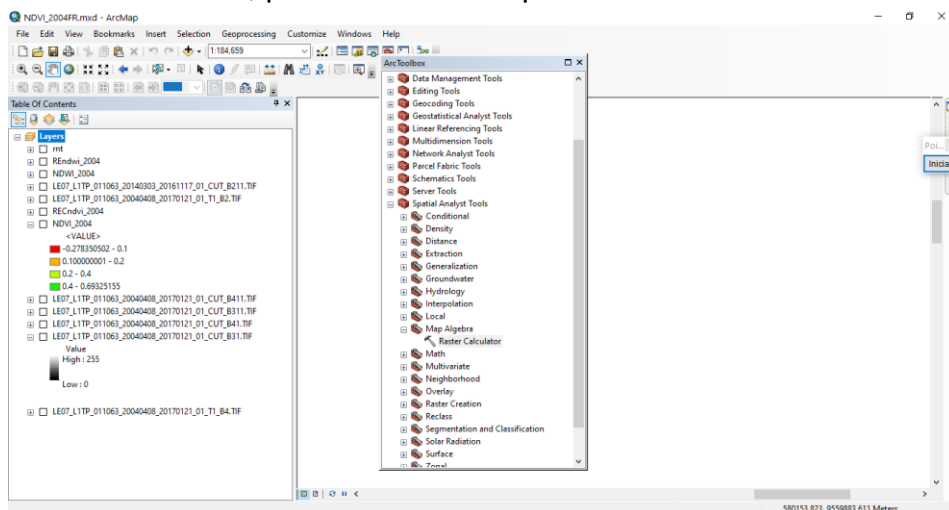


Figura 4: Utilización de la calculadora raster para determinación del NDVI de la RNTumbes del año 2004.

Se introdujo la fórmula de la siguiente manera como se muestra en la figura 5, para poder obtener los valores del NDVI, como se visualiza en la figura 6.

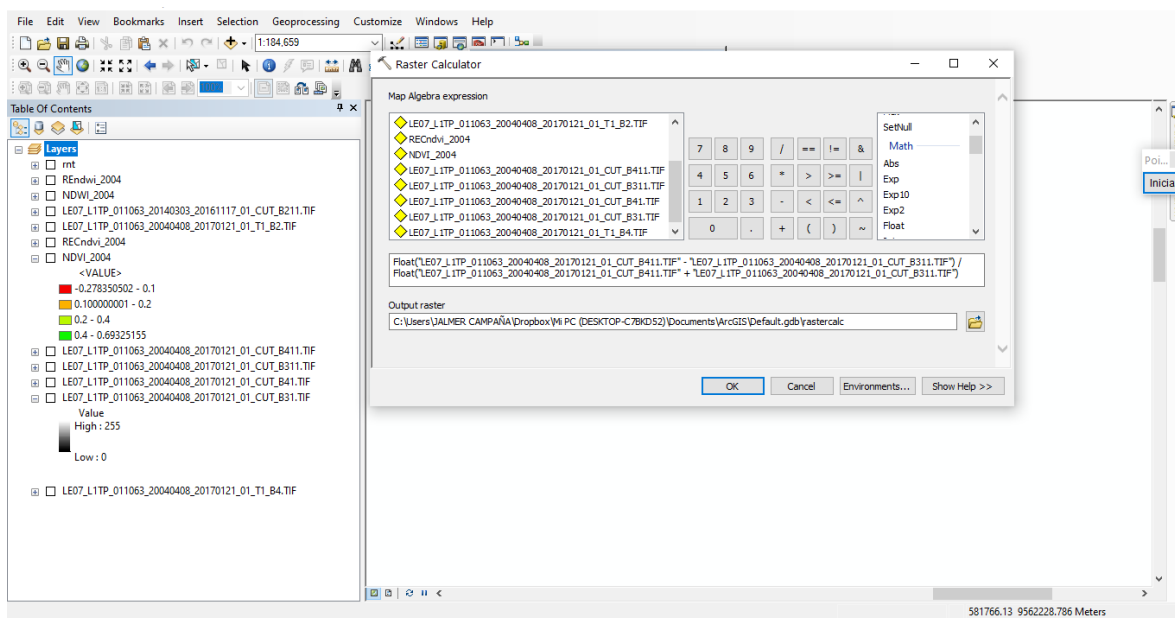


Figura 5: Utilización de la calculadora raster para la obtención de los valores del NDVI de la RNTumbes del año 2004.

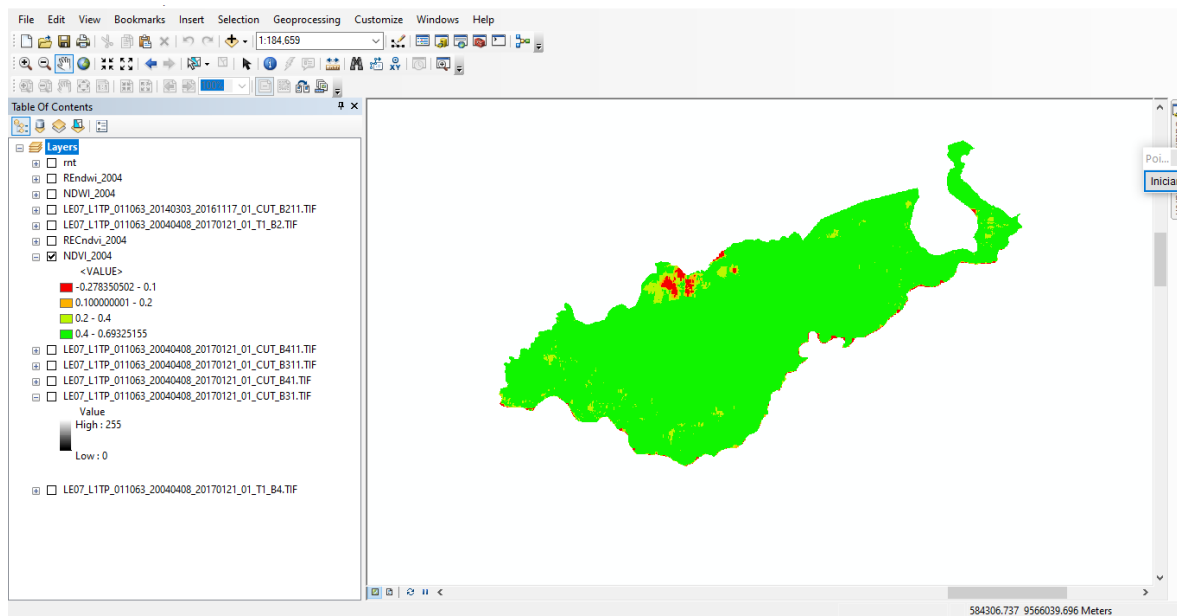


Figura 6: Valores obtenidos del NDVI para la RNTumbes del año 2004.

En la figura 7; se observa que los valores obtenidos anteriormente fueron reclasificados haciendo uso de una nueva herramienta del toolbox llamada reclasificar

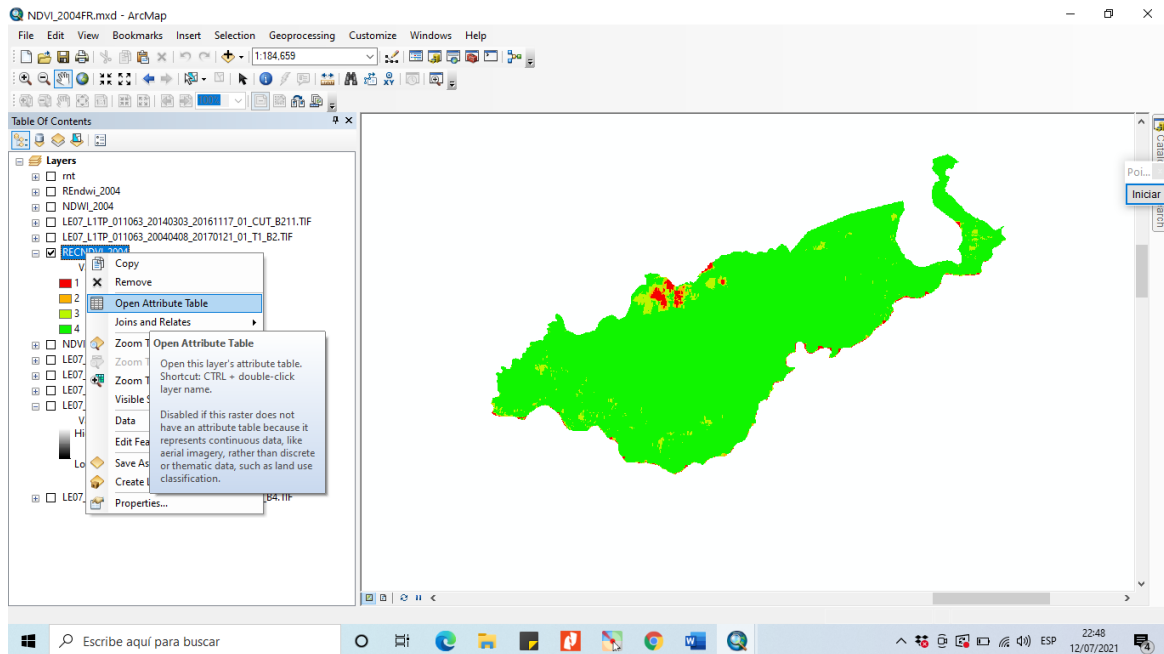


Figura 7: Reclasificación de los Valores del NDVI de las cuatro clases de la RNTumbes del año 2004.

Después se abrió la tabla de atributos para poder determinar las áreas para cada una de las cuatro clases existentes del NDVI, como lo muestra la figura 8 y 9.

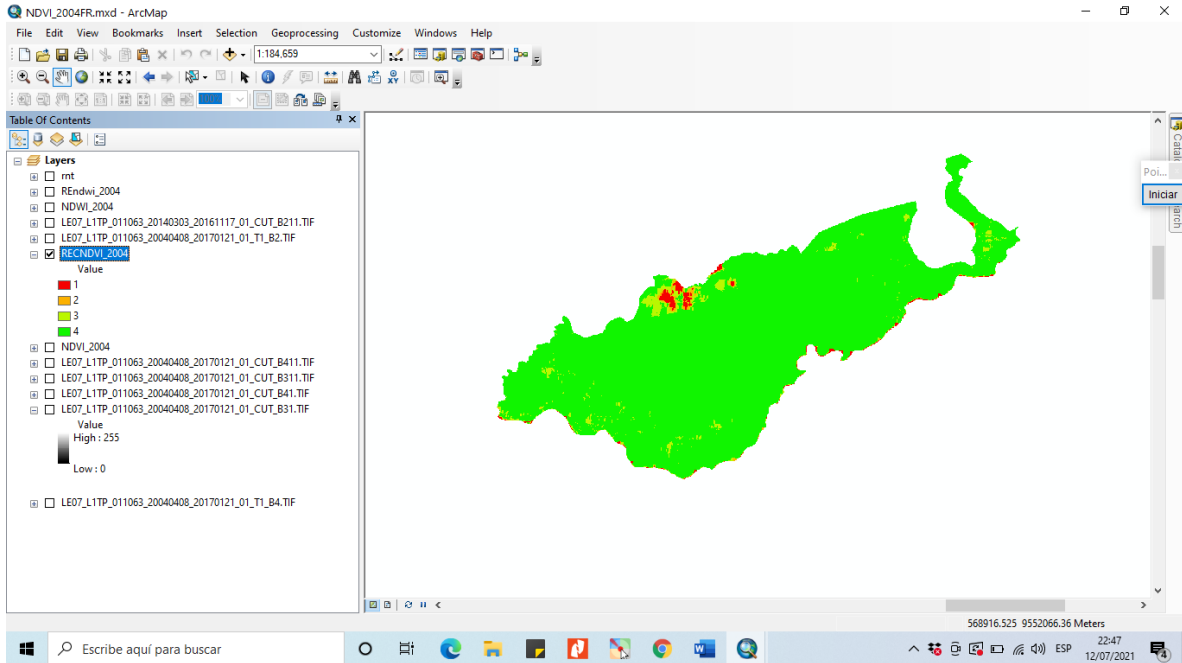


Figura 8. Creación de la tabla de atributos para determinación de las áreas en cada una de las cuatro clases del NDVI.

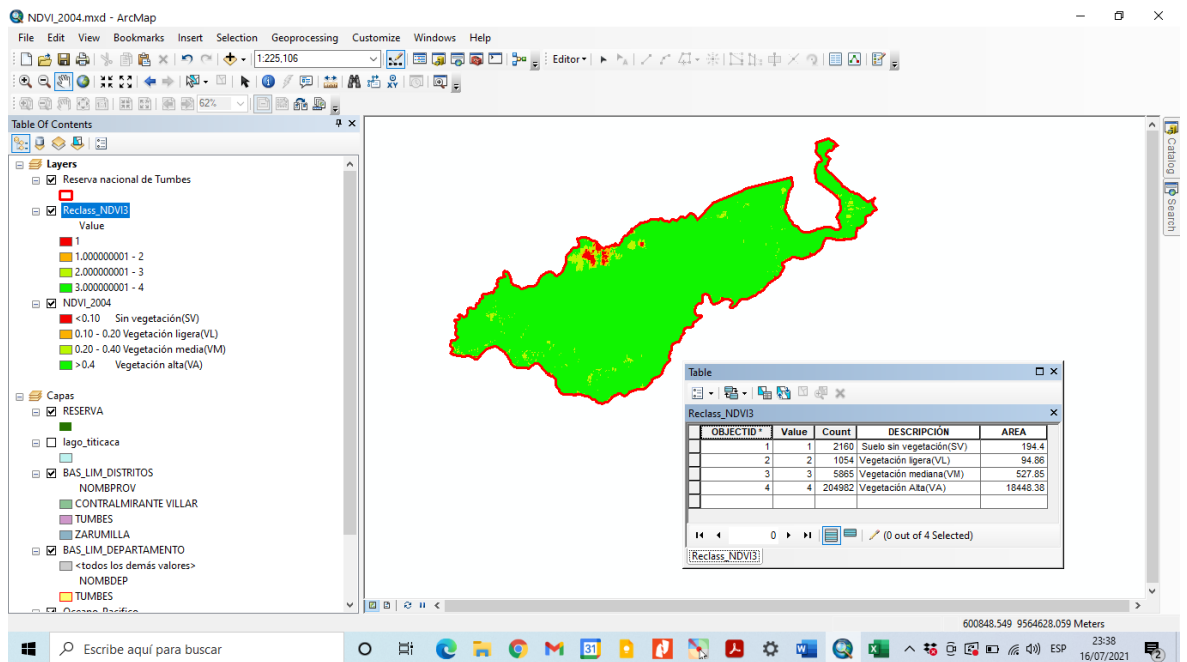


Figura 9. Tabla de atributos con sus respectivas áreas para cada una de las cuatro clases del NDVI de la RNTumbes del año 2004.

3. El cálculo del NDVI nos permitió ver si existe deforestación en la reserva nacional de Tumbes; también, se puede observar el Suelo sin vegetación (SV); es decir si el área en estudio presentaba degradación o si en dicha área el manejo del ecosistema era inadecuado (Alcaraz-Segura *et al.*, 2008); el Índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI), sirvió para realizar una clasificación de imágenes del bosque tropical en una sola clase de "bosque" y todas las demás clases de cobertura de la tierra en otra clase de "no bosque".
4. Para poder clasificar el área de la reserva nacional de Tumbes se utilizó la siguiente tabla 2, con sus respectivos valores para el NDVI.

Tabla 2: Clasificación de los valores de NDVI

Clasificación	Valor
Nubes y agua (NA)	<0,01
Suelo sin vegetación (SV)	0,01-0,1
Vegetación ligera (VL)	0,1-0,2
Vegetación mediana (VM)	0,2-0,4
Vegetación Alta (VA)	>0,4

(López-Pérez, Martínez-Menes, & Fernández-Reynoso, 2015)

El NDVI fue útil para proporcionar una estimación del factor de gestión de la cobertura vegetal, proporcionando así una dimensión temporal confiable en la evaluación del riesgo de erosión del suelo, que es de gran importancia en las varias regiones (Alkharabsheh *et al.*, 2013)

b. Determinación del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).

Para el cálculo del NDWI, se utilizó las siguientes bandas: banda 2 y banda 4, correspondientes a la porción del verde y del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, Según la relación que está a continuación:

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

(Machado & Mozo 2019)

También se determinó el índice de agua de diferencia Normalizada (NDWI), siendo este índice imprescindible para poder determinar el NDDI, ya que el NDWI es utilizado para monitorear la sequía, y es sensible a los cambios en el contenido de agua líquida de las cubiertas de vegetales (Heydari *et al.*, 2018); luego se hizo la clasificación del área de la reserva nacional de Tumbes utilizando la tabla 3.

Tabla 3: Clasificación de los valores de NDWI

Clasificación	Valor
Sequia muy fuerte	< 0,01
Sequia fuerte	0,01-0,1
Extremadamente seco	0,1-0,2
Sequia débil	0,2-0,4
Contenido de humedad bajo	>0,4

Adaptado de :(Gulácsi & Kovács, 2015)

c. Determinación del índice de sequía de diferencia normalizado (NDDI)

Para el cálculo del índice diferenciado normalizado de la sequía (NDDI), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{NDDI} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDWI}}{\text{NDVI} + \text{NDWI}}$$

(Tavazohi & Ahmadi, 2018)

Se usó el índice de sequía de diferencia normalizado (NDDI) que tiene una respuesta más fuerte a condiciones de sequía y no es una simple diferencia entre NDVI y NDWI, y por lo que es un indicador más sensible de sequía que el NDVI o NDWI (Cheng-lin & Jian-jun, 2008)

El índice de diferencia normalizada de sequía (NDDI) permitió establecer los mapas de sequía que permiten ayudar a analizar los cambios, Los mapas de sequía se obtendrán para los meses de mayor sequía de los años en análisis multitemporal; de acuerdo al algoritmo siguiente:

$$\text{NDDI} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDWI}}{\text{NDVI} + \text{NDWI}}$$

(Martinez *et al.*, 2017; Pisón & Michelazzo, 2014)

Para poder clasificar el NDDI, se empleó la tabla 4 que se detalla a continuación utilizada por Fonnegra.

Tabla 4: Clasificación de los valores de NDDI

Clasificación	Categoría	Valor
Corresponde a diferentes áreas, que pueden estar cubiertas por nieve, agua líquida, salinas, o suelos saturados y/o con una lámina de agua	H5 a H1	<-200
Asignado para áreas sin sequía, vegetación sin estrés hídrico	H0	_200 hasta 600
Establecido para suelos húmedos, aunque no están a máxima capacidad de almacenaje de agua	H0 a H00	600 hasta 2200
Pertencen las áreas con menor humedad en suelo o una mayor relación suelo/cultivo (no corresponde a situación de sequía)	H0S1	2200 hasta 5000
Situación de sequía incipiente	S1	5000 hasta 9000
Condición de sequía media. Asignado a áreas de vegetación que están con estrés hídrico	S2	9000 hasta 18 000
Estado de sequía extrema. Corresponde a áreas con estrés hídrico alto en la vegetación	S3	(>18 000

(Fonnegra, 2017)

Se usó en la presente investigación el Software GIS para el procesamiento de las imágenes y de esta manera se pudo determinar las variables en estudio del presente trabajo como son: la sequía y la deforestación en la reserva nacional de Tumbes – Perú, posteriormente se generó un mapa para el análisis de sequía, la tasa de deforestación y degradación con precisión temporal; lo que nos permitió generar los mapas temáticos como resultado de los análisis(Echeverry & Harper, 2009)

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.

4.1.1. Ubicación de la zona de estudio

La reserva Nacional de Tumbes (RNTumbes) está ubicada en las provincias de Zarumilla y Tumbes y cuenta con una extensión de 19 266,72 hectáreas, esta reserva alberga una gran diversidad biológica única y en este lugar se aprecia el Bosque Tropical del Pacífico, el cual es un ecosistema que solo se encuentra en la RNTumbes y que representa una especie de continuación de la selva tropical en la vertiente occidental de los Andes. Esta zona difiere en gran medida del bosque seco ecuatorial y se ha desarrollado evolutivamente casi sin perturbación lo que asegura que su diversidad biológica sea única(SERNANP, 2019).

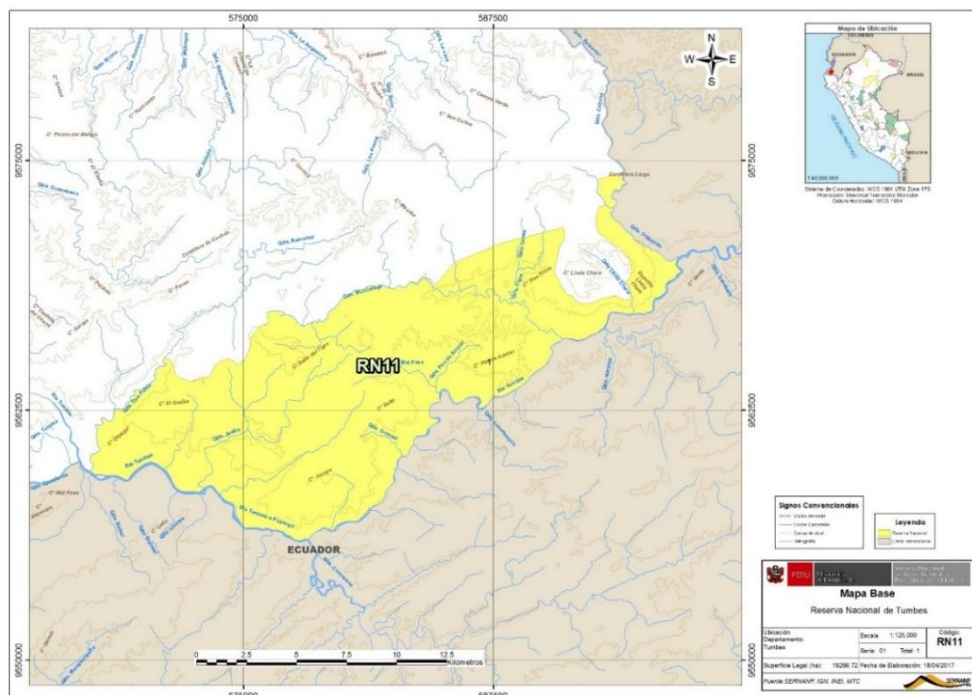


Figura 10: Mapa base de la reserva nacional de Tumbes, tomado de SERNANP (2019)

4.1.2. Determinación de la deforestación en la RNTUMBES.

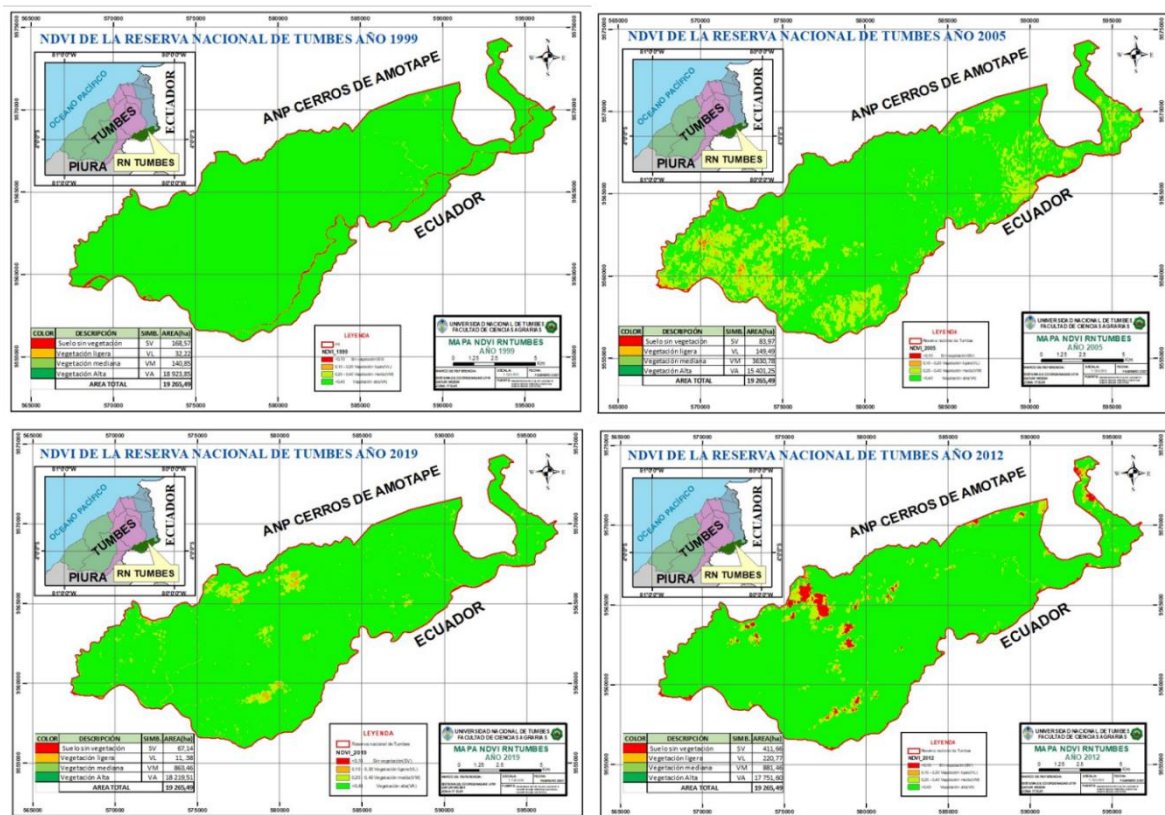


Figura 11: Mapas del NDVI de la serie multitemporal correspondiente a los años 1999, 2005, 2012 y 2019.

En la figura 12, se puede observar como el área con vegetación alta (VA) ha disminuido en el transcurrir del tiempo como sucedió desde el año 1999, en los años 2005 y 2010 fue mayor esta disminución, para posteriormente tener una ligera recuperación en el año 2019, pero siendo aún esta menor al área observada en el año 1986, donde el área con vegetación fue de aproximadamente el 99% del área total de la RNTumbes.

Haciendo uso del del índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI), oscilo entre -0,3 a 0,9, lo cual está dentro de los rangos establecidos para este índice, ya que puede ir desde -1 a 1, haciendo uso de este índice y del software ArcGIS, vemos el área con Vegetación Alta(VA) según la clasificación realizada por López-Pérez et al. (2015); Área que existía al inicio del análisis y que de acuerdo a esto si presentaba en los años siguientes disminución y que permite visualizar que el área

en estudio presentó deforestación, lo cual era un objetivo del presente trabajo, se determinó el área con forestación para los años de este análisis y se observó como en el transcurrir de los años se ha venido dando la deforestación en la reserva Nacional de Tumbes (RNTumbes).

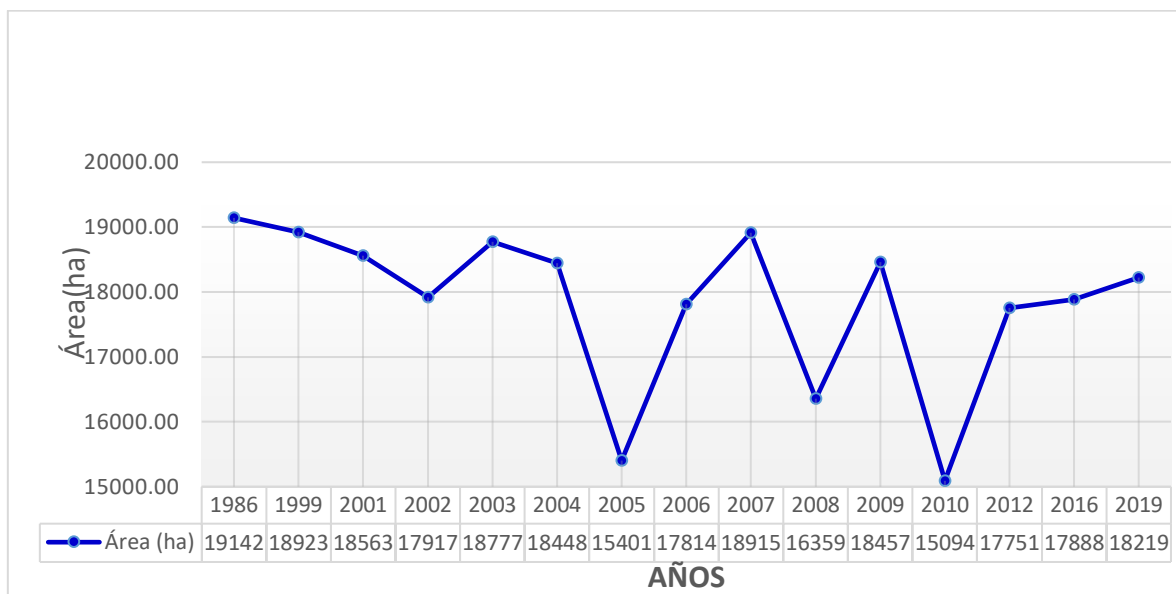


Figura 12: Área (ha) por año de bosque en la reserva nacional de Tumbes.

Se puede ver en el Anexo 1, que la vegetación alta (VA) o de “bosque”, la mayor área fue en el año 1986 con un área de 19 142,28 ha, después de haberse dado el fenómeno del niño, alcanzando a cubrir este tipo de vegetación aproximadamente el 99% del área total de la RNTUM, pero se puede también observar que el área de la reserva alcanzó valores muy bajos en comparación con los demás años del análisis en el año 2005 y 2010, donde el área fue de 15 401,25 y 15 094,53 ha, respectivamente; estas áreas correspondían aproximadamente al 79 y 78%, del área total de dicha reserva; el año pasado el área fue de 18 219,51 ha, donde la vegetación alta se recuperó en estos últimos diez (10) años, lo cual fue aproximadamente el 94% del área total de la reserva nacional de Tumbes; lo cual se asemeja a lo manifestado por Tiedemann (2011) y Tiedemann *et al.*, (2012); quien usando la serie temporal de NDVI VEGETATION SPOT, sobre la vegetación estacionalmente de tres coberturas determinó que estas no fueron afectadas entre

periodos; Mas et al. (2004)); para realizar este análisis solo simplificó al agrupar el bosque tropical (no perturbado y secundario) en una sola clase de "bosque" y todas las demás clases de cobertura de la tierra en otra clase de "no bosque".

4.1.3. Determinación de la degradación del área en estudio

Se utilizó también el índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI), según la clasificación utilizada para el presente trabajo hecha por López-Pérez et al. (2015), Donde clasifican como suelo sin vegetación (SV), cuando su valor estaba entre 0,01- 0,1, ya que valores mayores a este presentaban vegetación en el área en estudio, determinando las áreas las cuales se pueden observar en el anexo 2, donde la máxima área degradada fue en el año 2008 con un área de 880,65ha y la mínima área alcanzada fue en el año 2012 con 0,09 ha, esta información se obtuvo del análisis del NDVI y se muestra en la figura 13.

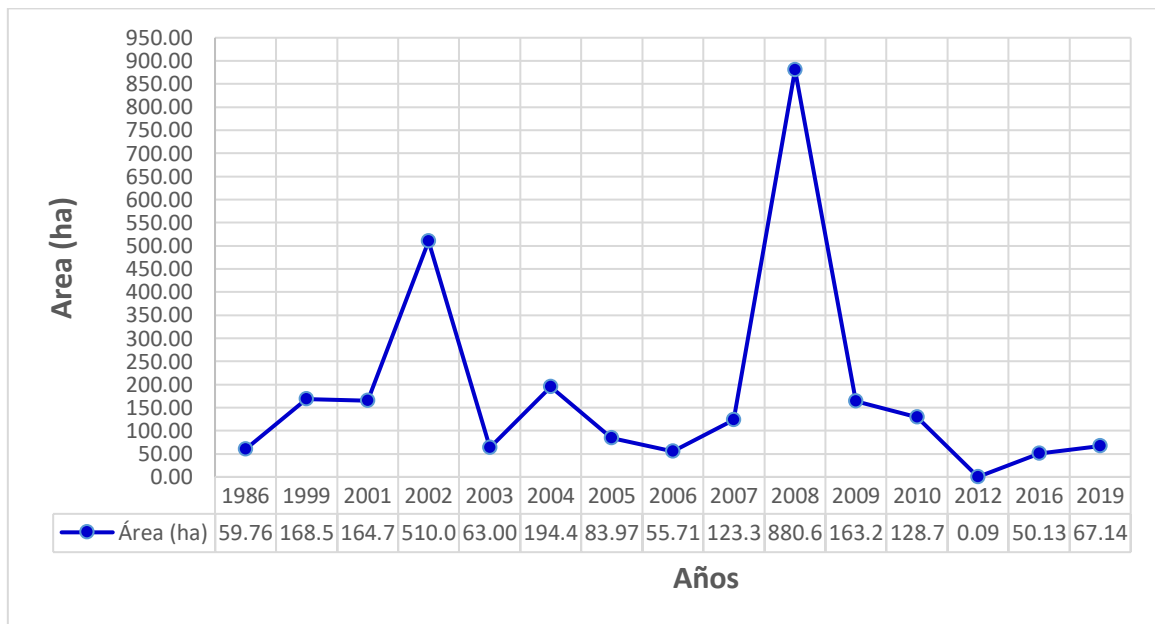


Figura 13: Área (ha) degradada por año en la reserva nacional de Tumbes.

4.1.4. Determinación del NDWI para la determinación del índice diferenciado normalizado de sequía (NDDI)

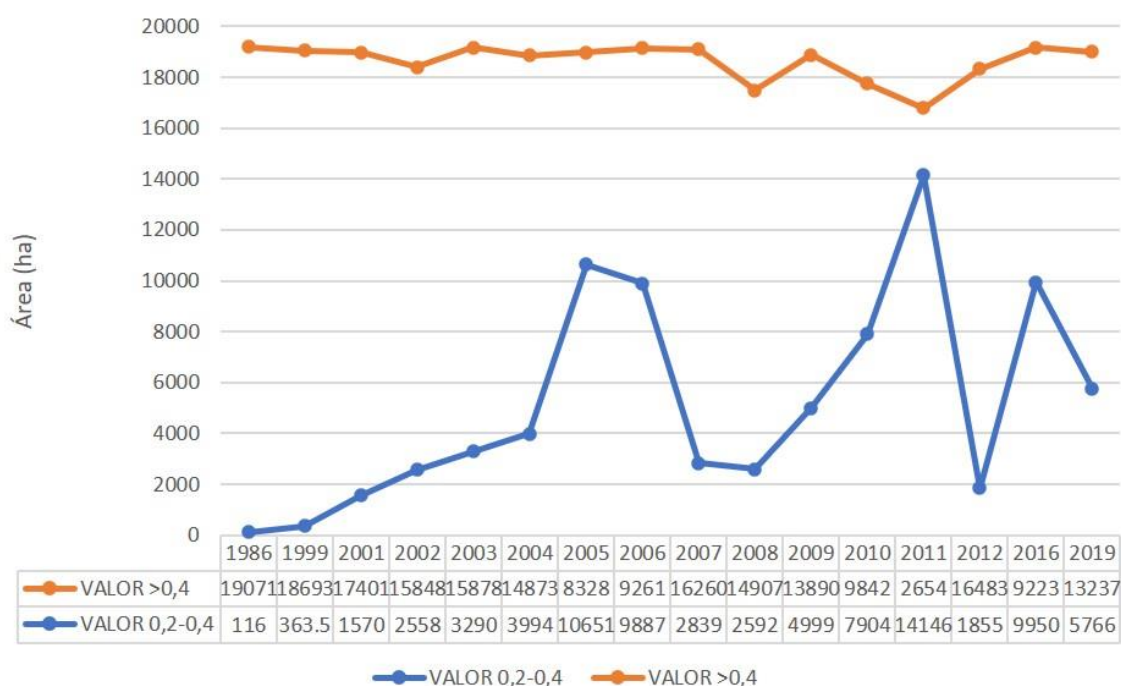
Se determinó el Índice de Diferencia de Agua Normalizado (NDWI), este índice puede ir desde -1 a 1, encontrándose los valores obtenidos en este análisis dentro de los rangos establecidos para este índice, según la clasificación de Gulácsi and Kovács (2015), quien manifiesta que se considera una sequía débil entre los valores de 0,2-0,4 y un contenido de humedad bajo cuando el valor era $>0,4$, en el anexo 3, se observa el índice de NDWI, los valores de NDWI de la reserva nacional oscilaron entre -0,5 a 0,7 en donde la mayor área de la reserva nacional de Tumbes, tuvo valores entre 0,2-0,4 y $>0,4$, siendo el porcentaje promedio de 96,78 del área en estudio, lo que corresponde a 18 645,68ha en promedio del área, lo que nos da una clasificación como área con poca sequía y bajo contenido de humedad, respectivamente; este máximo valor fue poco frecuente, que se clasifica como áreas con contenido de humedad muy alto, en la RNTumbes el área con valores entre 0,2 y $< 0,01$, que corresponden a suelos extremadamente secos y con sequia muy fuerte fue en promedio 3,22% del área de la reserva en mención, lo cual se puede observar en la figura 14, se empleó este índice de diferencia de agua normalizado (NDWI), por ser considerado el más sensible a los cambios en el contenido de agua líquida de las cubiertas de vegetales según Heydari *et al.* (2018), Santos, Amaral, and Souza (2019), dicen que el NDWI muestra una satisfactoria estimación de la humedad para la vegetación, permitiendo la cuantificación de las pérdidas de contenido de agua en el follaje esto respalda el análisis de la libre disponibilidad de imágenes del sensor Landsat 8, que contribuyen a los estudios regionales, al haber sido reportado como un índice para la estimación de humedad

en la vegetación será usado para comparar nuestros resultados con el NDDI que es uno de los objetivos del presente trabajo.

Figura 14. Área (ha) para dos valores de NDWI por año en la reserva nacional de Tumbes.

4.1.5. Determinación de la sequía

Para la determinación de la sequía en RNTumbes, se determinó el índice diferenciado normalizado de sequía(NDDI) según Martínez *et al.*, (2017); se puede visualizar en el anexo 4, donde se observa que no existía sequía en la reserva nacional de Tumbes, ya que los valores obtenidos estuvieron entre -1189,04 como valor mínimo y 1312,02 como valor máximo, clasificación del NDDI de la tabla reportada por Fonnegra (2017), estando clasificado los suelos con valores menores a -200 y 2000, respectivamente; como suelos húmedos, aunque no estaban a máxima capacidad de almacenaje de agua, por lo tanto, se puede comprobar que estos resultados se relacionan con los obtenidos en el NDWI, que también nos da valores que nos indican que para la reserva nacional de Tumbes la mayor área en estudio no presentó sequía, durante los años del análisis multitemporal de la



reserva.

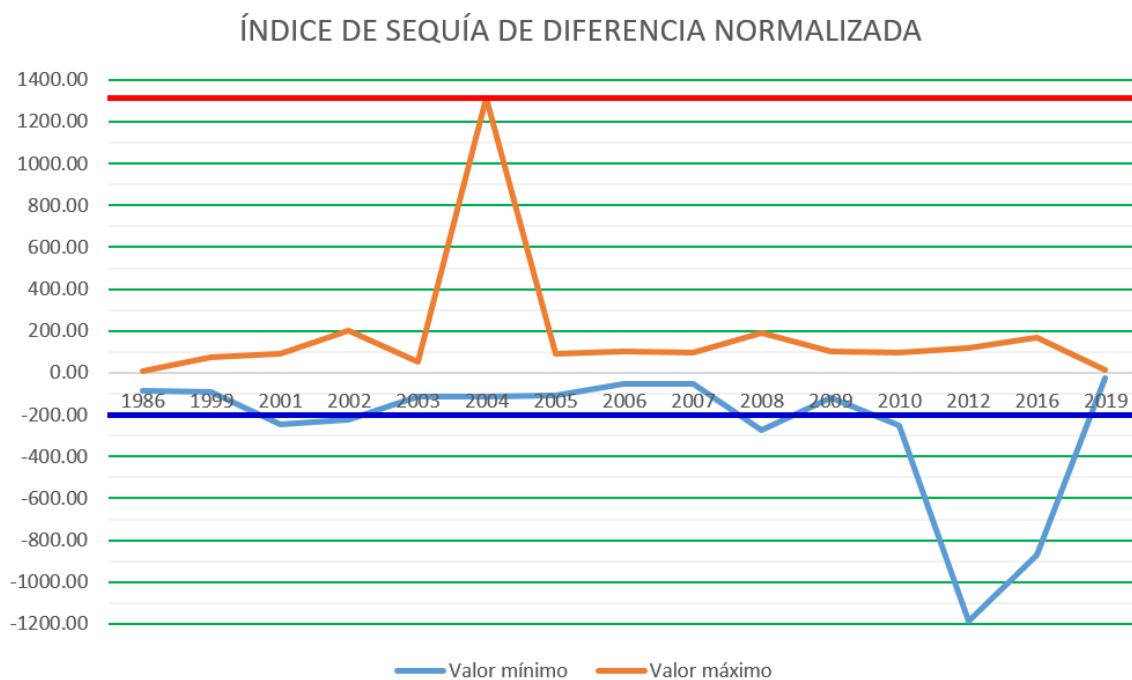


Figura 15. Valores mínimos y máximos de NDDI por año en la reserva nacional de Tumbes.

4.2. DISCUSIÓN

La vegetación alta (VA) o de “bosque”, en la reserva nacional en los años 2005 y 2010 se observa que el área de la reserva alcanzó valores muy bajos en los demás años del análisis, donde el área fue de 15 401,25 y 15 094,53 ha, respectivamente; estas áreas correspondían aproximadamente el 79 y 78%, existiendo en los años en mención una deforestación de 20 y 19%, respectivamente, del área total de dicha reserva; el año 2019 el área fue de 18 219,51 ha, donde la vegetación alta se fue recuperando en estos últimos diez (10) años, lo cual fue aproximadamente el 94% del área total de la reserva nacional de Tumbes, existiendo aun una deforestación del 5% en comparación con el año 1986, la escala del NDVI es importante ya que se puede observar los posibles cambios en la vegetación, la presencia de déficit hídrico e incluso la ocurrencia de deforestación como lo enuncia

Tagliarini *et al.*, (2017), así mismo, Arias, *et al.*, (2019), manifiestan que si los valores de índices de vegetación son altos nos indica que el área está cubierta por proporciones importantes de vegetación, Piscoya (2019), en su trabajo realizado manifestó que es importante conocer la cobertura vegetal para alcanzar la gestión sustentable de los recursos, además para la conservación de la biodiversidad y poder mitigar los impactos ambientales y el cambio climático, él recomienda seguir haciendo análisis anuales del NDVI lo que permitirá una adecuada gestión de la cobertura vegetal y de esta forma evitar que los diferentes tipos de vegetación se pierdan, también Uvidia (2020), reporta que la dinámica de la cobertura vegetal mediante la recopilación e interpretación bibliográfica desde series temporales del NDVI permiten ver el comportamiento y la conducción de los ecosistemas para eventos como son las inundaciones, sequías e incendios forestales o deforestación.

En lo que corresponde a la degradación, la máxima área degradada se alcanzó en el año 2008 con un área de 880,65ha y la mínima área se presentó en el año 2012 con 0,09 ha, según el análisis del NDVI, el índice de vegetación normalizado diferenciado permite tener un registro de los lugares que presentan problemas de sequías y erosiones de suelos y bajos niveles de rendimiento de los diferentes cultivos, este índice puede permitir cambios a favor de las áreas en análisis del NDVI tal como lo manifiesta Gavilanes Jaen (2020).

El índice diferenciado normalizado de agua (NDWI) en la RNTumbes, osciló entre -0,5 a 0,7, por lo tanto se considera una sequía débil y un contenido de humedad bajo para la RNTumbes; según Rodrigues *et al.*, (2017), dice que el NDWI se presenta como una de herramienta eficaces en el mapeo de áreas húmedas y que pueden ser propicias para inundaciones; el NDWI de Gao permite obtener la mejor respuesta en cuanto a lo que respecta a la relación de humedad y la vegetación, presentando una variación en el contenido de humedad de las zonas más secas a las más húmedas, en esta relación, se muestra una mayor coherencia en los objetos de la superficie, además de diferenciar la presencia de la vegetación y del suelo expuesto; según lo expresado por Azzouzi (2019); Mihai *et al.*, (2016) en un trabajo realizado concluyeron que se obtiene una buena correlación del NDWI

(determinados de los datos de satélite) y la humedad medida in situ en el suelo; así mismo también lo manifiestan Pereira *et al.*, (2019), quienes dicen que el NDWI de Gao, es un método capaz de medir el contenido de agua líquida que presenta la vegetación.

En el área de la reserva nacional de Tumbes, el índice diferenciado normalizado de sequía(NDDI) tuvo valores menores a -200 y 2000; dándonos una clasificación de suelos húmedos, aunque no estaban a máxima capacidad de almacenaje de agua, por lo tanto, el área en promedio fue de 18 645,68ha clasificándose la mayor área del terreno de la RNTumbes como área con poca sequía y bajo contenido de humedad; por lo tanto Batista and Dámaso (2016), expresan que el empleo de sistemas de información geográfica es una de las herramientas que permiten la evaluación y el análisis espacio temporal de la sequía por medio de imágenes satelitales y que queda mucho por recorrer en este aspecto y que se necesita potenciar su empleo, Mihai *et al.* (2016) los diferentes índices de vegetación los cuales derivan de los satélites como el NDDI y variables biofísicas (LAI) demuestran ser buenos indicadores de la condición de la vegetación; Lee et al. (2016), manifiestan que el índice diferenciado normalizado de sequía (NDDI) es un indicador útil para la determinación de la sequía, porque puede explicar tanto la información sobre la vitalidad y el contenido de agua de la vegetación, también Tavazohi and Ahmadi (2018) dicen que el NDDI se caracteriza por su facilidad de cálculo, porque se basa en la suma y la resta de diferencias normalizadas de vegetación y agua y no depende de series de datos de tiempo, es importante tener en cuenta que este índice puede ser un óptimo complemento a los indicadores basados en in situ o para otros indicadores basados en datos de teledetección, además el uso de NDDI como índice en la predicción de la sequía ha sido muy eficiente y aceptable

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- 5.1.** La deforestación se determinó de acuerdo a la presencia de vegetación alta (VA) o de “bosque”, en la reserva nacional de Tumbes, siendo el área mayor en el año 1986 con un área de 19 142,28 ha, en los años 2005 y 2010 se observa que el área de la reserva alcanzo valores muy bajos de vegetación alta en comparación con los demás años del análisis, donde el área fue de 15 401,25 y 15 094,53 ha, respectivamente; estas áreas correspondían aproximadamente el 79 y 78%, existiendo en los años en mención una deforestación de 20 y 19%, respectivamente, del área total de dicha reserva; el año 2019 el área fue de 18 219,51 ha, donde la vegetación alta se fue recuperando en estos últimos diez (10) años, lo cual fue aproximadamente el 94% del área total de la reserva nacional de Tumbes, existiendo aun una deforestación del 5% en comparación con el año 1986.
- 5.2.** En lo que corresponde a degradación de la RNTumbes, se observa que la mayor degradación se presentó en el año 2008, con 880.05 ha y la menor área degradada fue en el año 2012 con un área de 0,09 ha, los demás años presentaron áreas cercanas al promedio del presente análisis que fue de 180,90 ha y también se observa que en el año 2002 tiene un área de 510 ha, valor que es casi tres veces superior al promedio de los otros años del presente estudio.
- 5.3.** En el área de la reserva nacional de Tumbes, según el índice de sequía diferenciado normalizado (NDDI) tuvo valores comprendidos entre -1189,04 y 1312,02; dándonos una clasificación de suelos húmedos, aunque no estaban

a la máxima capacidad de almacenaje de agua, por lo tanto, la reserva nacional de Tumbes se clasifica según los resultados como un área con poca sequía y bajo contenido de humedad, en esta área en estudio la degradación no estuvo influenciada por la sequía, ya que aquí no existió sequía como también se puede corroborar mediante el NDWI que es un índice para determinar el contenido de humedad del área, el área con presencia de degradación puede deberse a otros factores y no a la sequía.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

Utilizar el índice de vegetación diferenciado normalizado (NDVI) y el índice de sequía diferenciado normalizado (NDDI), para realizar predicciones de las condiciones de la vegetación y de la sequía en áreas determinadas tanto para la vegetación agrícola y forestal.

Realizar estudios de determinación del tipo de vegetación presente en áreas específicas y establecer el grado de confiabilidad de la información obtenida mediante SIG, con la vegetación presente en el área de trabajo.

Emplear otros índices para la determinación de la deforestación y de la sequía mediante SIG y compararlos para poder conocer si alguno de ellos resulta ser más eficiente para este tipo de análisis.

Realizar comparaciones del análisis multitemporal mediante SIG de la sequía y la deforestación en la reserva nacional de Tumbes-Perú u otras áreas naturales, con trabajos realizados en campo para determinar la eficiencia de esta herramienta y su posterior uso en evaluaciones en tiempo real.

CAPITULO VII

7. REFERENCIAS BIBLOGRAFICAS

- Alatorre, L. C., Beguería, S., & Vicente-Serrano, S. M. (2010). Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Pirineos*, 165(0), 7-27. doi:10.3989/Pirineos.2010.165001
- Alcaraz-Segura, D., Baldi, G., Durante, P., & Garbulsky, M. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Revista Ecosistemas*, 17(3).
- Alkharabsheh, M. M., Alexandridis, T. K., Bilas, G., Misopolinos, N., & Silleos, N. (2013). Impact of Land Cover Change on Soil Erosion Hazard in Northern Jordan Using Remote Sensing and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 912-921. doi:10.1016/j.proenv.2013.06.101
- Azzouzi, S. A. (2019). *Técnicas de detección de cambios mediante teledetección para el desarrollo sostenible y la desertificación*.
- Batista, P.-D., & Dámaso, R. J. C. T. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. 37(3), 22-41.
- Cabello, J., & Paruelo, J. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Revista Ecosistemas*, 17(3), 1-3.
- Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Valdez Cepeda, R. D., Méndez González, J., & Constante García, V. (2011). Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2, 235-249.

- Cheng-lin, L., & Jian-jun, W. (2008). *Crop drought monitoring using MODIS NDDI over mid-territory of China*. Paper presented at the IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Chuvienco, E. (1991). Fundamentos de teledetección espacial. *Estudios Geográficos*, 52(203), 371.
- de Carvalho, J. O. A. (2018). Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. *Revista de Geografia (Recife)*, 35(4).
- Echeverry, M. A., & Harper, G. J. (2009). Fragmentación y deforestación como indicadores del estado de los ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador). *Recursos Naturales y Ambiente*(58).
- Fonnegra, M. D. (2017). *Desarrollo de un sistema operativo para el cálculo de índices de sequía basados en información espacial*.
- Gaitán, J. J., Donaldo Bran, D., & Azcona, C. (2015). Tendencia del NDVI en el período 2000-2014 como indicador de la degradación de tierras en Argentina: ventajas y limitaciones. *Agriscientia*, 32(2), 83-93.
- Garciglia, S. R. (2014). Deforestación. *Saber Más: Revista de divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 14(3), 31-32.
- Gashaw, T., Bantider, A., & Mahari, A. (2014). Evaluations of Land Use/Land Cover Changes and Land Degradation in Dera District, Ethiopia: GIS and Remote Sensing Based Analysis. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2, 199-208. doi:10.12983/ijres-2014-p0199-0208
- Gavilanes Jaen, S. E. (2020). *Índice de vegetación normalizada (NDVI) y su influencia en la agricultura de precisión*. BABAHOYO: UTB, 2020,
- Gerrand, A., Lindquist, E., D'Annunzio, R., & Obstler, R. (2012). Un estudio por teledetección permite actualizar los cálculos de pérdidas de superficies forestales. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 238, 14-15.

- Gulácsi, A., & Kovács, F. (2015). Drought Monitoring With Spectral Indices Calculated From Modis Satellite Images In Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 8(3-4), 11-20. doi:10.1515/jengeo-2015-0008
- Herrera, V. N. (2017). Implementación de biomodelos estimativos de la calidad ecosistémica en el nevado de Cocuy al año 2030 producto del retroceso glaciar. Tesis de para optar por el título en especialista en sistemas de información geográfica. Bogota- Colombia.
- Heydari, H., Valadan Zoej, M., Maghsoudi, Y., & Dehnavi, S. (2018). An investigation of drought prediction using various remote-sensing vegetation indices for different time spans. *International Journal of Remote Sensing*, 39(6), 1871-1889. doi:10.1080/01431161.2017.1416696
- Himanshu, S., Singh, G., & Kharola, N. (2015). Monitoring of drought using satellite data. *International Research Journal of Earth Sciences*, 3(1), 66-72.
- Lee, S.-J., Cho, J., Hong, S., Ha, K.-J., Lee, H., & Lee, Y.-W. J. R. S. L. (2016). On the relationships between satellite-based drought index and gross primary production in the North Korean croplands, 2000–2012. 7(8), 790-799.
- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández-Reynoso, D. S. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(1), 121-137.
- Machado, C., & Michelazzo, E. (2019). Trabajo de grado NDWI. Monografía para optar el título de Ingeniero Civil.
- Machado , C., & Mozo , E. (2019). *Distribución espacial de la contaminación por fuentes fijas y su relación con parámetros hidrológicos en la zona centro del departamento del Tolima*. Universidad de Ibagué,
- Martínez, A., & Céspedes, L. (2017). *Estudio de la vulnerabilidad presente y futura ante el cambio climático en la región Tumbes Informe Técnico Especial*. (6124685981). Perú Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1277>

- Martinez, M., Martinez, E., Martínez de Icaya, M., & Renza, D. (2017). Detection of Changes in Natural Aquifer Reservoirs based on the Index of Drought. *IEEE Latin America Transactions*, 15, 2059-2063. doi:10.1109/TLA.2017.8070408
- Martinez, M., Martinez, M. E., Martinez, E., & Renza, D. (2017). Detection of changes in natural aquifer reservoirs based on the index of drought. *IEEE Latin America Transactions*, 15(11), 2059-2063.
- Mas, J.-F., Puig, H., Palacio, J. L., & Sosa-Lopez, A. (2004). Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. *Environmental Modelling & Software*, 19(5), 461-471.
- Maurya, P. S., Singh, D., & Agrwal, R. (2013). Deforestation monitoring of forest and its predictive modeling: case study of bilaspur forest area, himachal pradesh. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, 2(3), 288-299.
- Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. . 62(2), 39-46.
- Mihai, L., Stancalie, A., Sporea, A., Sporea, D., Nertan, A., & Mihailescu, D. J. R. R. i. P. (2016). Drought vegetation monitoring using in situ and satellite data, in the caracal plain of Romania. 68(2), 799-812.
- Muñoz, D. A., Montenegro, M. R., & Hernández, M. R. (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1), 11-24.
- Pereira, L. E., Amorim, G., Grigio, A. M., & Paranhos, A. C. (2019). *Análise comparativa entre métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em área úmida continental*. Anuário do Instituto de Geociências
- Piscoya, L. R. (2019). Índice de vegetación de diferencia normalizada (Ndvi) en el distrito de Puquina, Moquegua.
- Pisón, A., & Michelazzo, M. (2014). Aplicación de índice de sequia (NDDI) para monitoreo y alerta con imagenes modis. Programa regional de empleo de información satelital para la productividad agrícola . Uruguay.

- Rodrigues, W. B., de Moraes, F., & Paschoal, L. G. J. O. D. d. G. F. n. F. d. C. (2017). Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) calculado para estações chuvosas e secas na bacia do Córrego Barreiro, Lagoa da Confusão–TO. *1*, 254-263.
- Rodríguez, J. A. C., Vergara, H., & Vanegas, D. X. (2016). Evaluación del nivel de mejora en el monitoreo de sequías a escala regional en Colombia, a partir de indicadores ecohidrológicos basados en teledetección. *Revista de Tecnología*, *15*(2), 15-42.
- Santos, M., Amaral, M., & Souza, J. (2019). Avaliação sazonal da cobertura vegetal da microrregião da Chapada dos Veadeiros por meio de índices SAVI e NDWI. *Élisée - Revista De Geografia Da UEG*, *8*(1).
- SERNANP. (2019). La Reserva Nacional de Tumbes. Retrieved from <https://www.sernanp.gob.pe/de-tumbes>
- Silva, J. R., Moura, A. C. M., Gleriani, J. M., de Souza, W. P., & Magalhães, L. S. (2011). Detecção de mudanças da cobertura e uso da terra no município de Ouro Preto–MG, no período de 1989 a 2010.
- Tagliarini, F. d. S. N., Rodrigues, M. T., Rodrigues, B. T., & Campos, S. (2017). Índices NDVI e NDWI como ferramentas ao mapeamento do uso e ocupação em bacia hidrográfica. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto
- Tavazohi, E., & Ahmadi, M. (2018). Assessment of drought in the Zayandehroud basin during 2000-2015 using NDDI and SPI indices. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(4), 2332-2340.
- Tiedemann, J. L. (2011). Fenología del bosque de las subregiones naturales: Chaco Semiárido y Chaco Serrano, de Santiago del Estero, Argentina. *Ecología Aplicada*, *10*(2), 51-59.
- Tiedemann, J. L., Zerda, H. R., Grilli, M., & Ravelo, A. C. J. A. (2012). Variabilidad fenológica del bosque y del pastizal nativo en el Chaco Semiárido de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina Phenological variability of forest and native pastures in the Semiarid Chaco of the Santiago del Estero Province. *Ambiência*, *8*(1), 47-60.
- Uvidia, K. Y. (2020). Análisis de la dinámica espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (ndvi) y su relación con patrones

climáticos globales en el páramo ecuatorial entre el año 2001 y 2018. Quito, 2020.,

Vanegas, D. X., Xiao, X., & Basara, J. B. (2014). Vegetation drought monitoring from MODIS imagery and soil moisture data in Oklahoma Mesonet sites. *Revista de Tecnología*, 13(2), 10-27.

Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y sociedad*, 17(34).

Vicente-Serrano, S. M., Lasanta, T., & Romo, A. (2004). Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish Central Pyrenees: role of human management. *Environ Manage*, 34(6), 802-818. doi:10.1007/s00267-003-0022-5

Wilhite, D. A. (2005). *Drought and water crises: science, technology, and management issues*: Crc Press.

CAPITULO VIII

8. ANEXOS

Anexo 1: Área (ha) por año de bosque en la reserva nacional de Tumbes.

NDVI	
AÑO	AREA_HA_
1986	19 142,28
1999	18 923,85
2001	18 563,04
2002	17 917,00
2003	18 777,00
2004	18 448,38
2005	15 401,25
2006	17 814,96
2007	18 915,93
2008	16 359,12
2009	18 457,47
2010	15 094,53
2012	17 751,60
2016	17 888,85
2019	18 219,51

Anexo 2: Área (ha) degradada por año en la reserva nacional de Tumbes

Suelo sin vegetación (SV)

DEFORESTACIÓN	
AÑO	AREA HA
1986	59,76
1999	168,57
2001	164,70
2002	510,00
2003	63,00
2004	194,40
2005	83,97
2006	55,71
2007	123,30
2008	880,65
2009	163,26
2010	128,79
2012	0,09
2016	50,13
2019	67,14

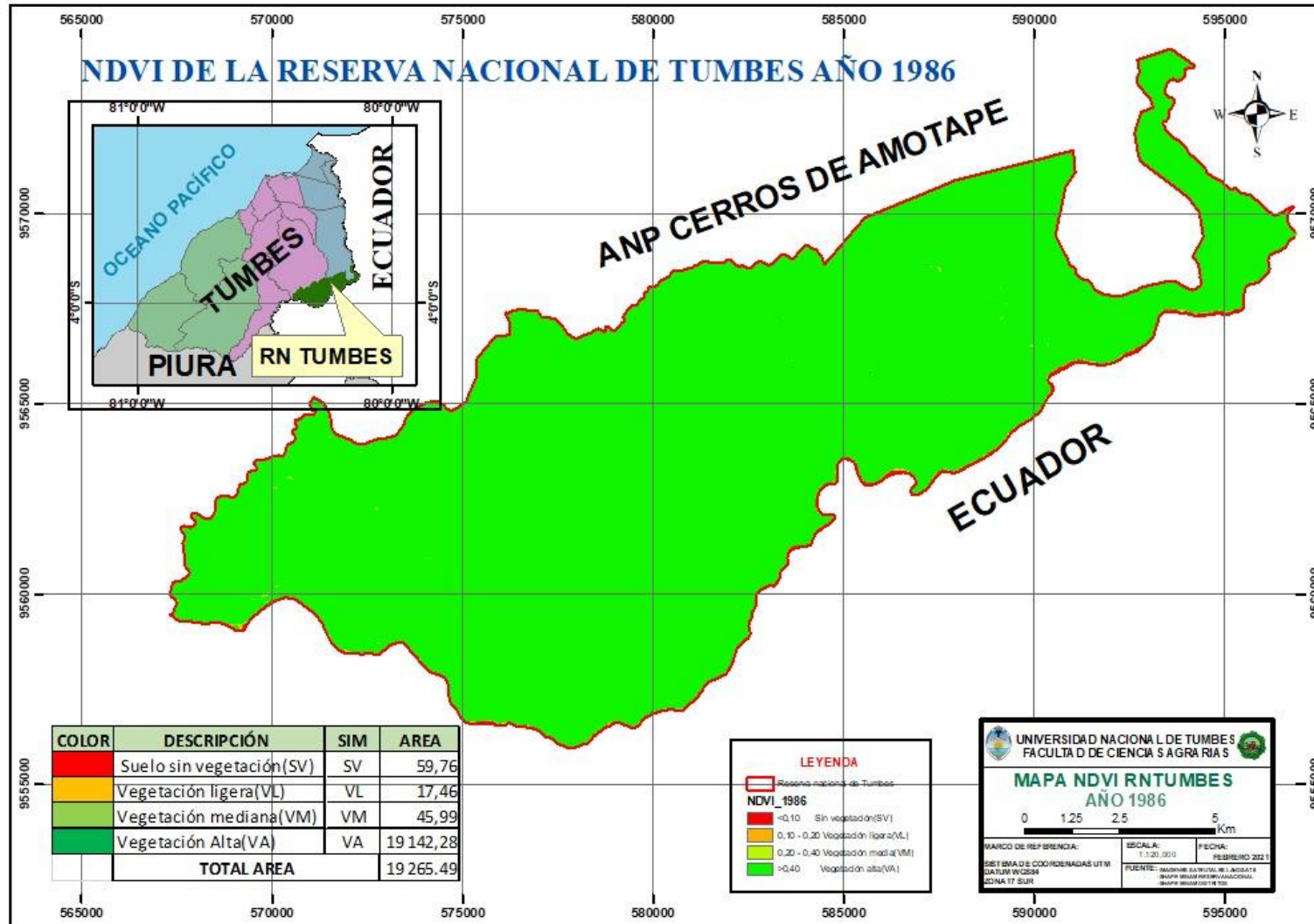
Anexo 3: Área (ha) para dos valores de NDWI por año en la reserva nacional de Tumbes

AÑO	VALOR	
	0,2-0,4	>0,4
1986	116,01	19 071,45
1999	363,51	18 693,00
2001	1570,05	17 401,23
2002	2558,43	15 847,65
2003	3289,68	15 878,34
2004	3994,47	14 872,77
2005	10 650,69	8327,88
2006	9887,22	9260,91
2007	2838,60	16 260,12
2008	2591,73	14 907,33
2009	4999,05	13 889,88
2010	7904,34	9842,49
2011	14 145,57	2654,1
2012	1854,72	16 483,05
2016	9949,77	9223,47
2019	5765,94	13 237,38

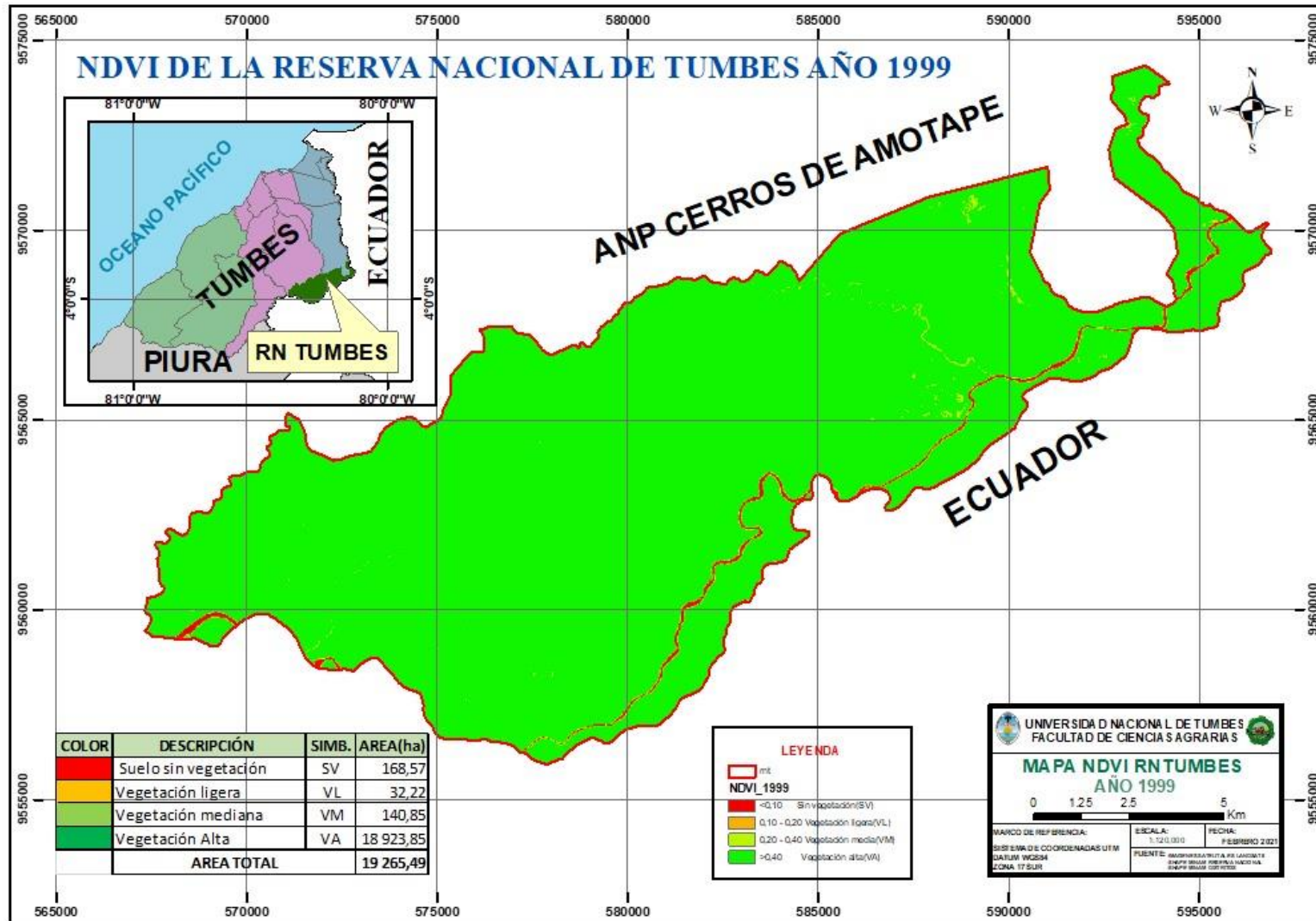
Anexo 4: Valores mínimos y máximos de NDDI por año en la reserva nacional de Tumbes

AÑO	VALOR	
	MÍNIMO	MÁXIMO
1986	-88,00	9,15
1999	-90,00	74,00
2001	-244,00	91,36
2002	-224,00	204,00
2003	-116,00	50,35
2004	-114,00	1312,02
2005	-106,00	92,00
2006	-52,00	99,40
2007	-55,00	94,00
2008	-276,00	191,86
2009	-119,00	102,00
2010	-254,00	98,00
2012	-1189,04	116,00
2016	-873,04	169,46
2019	-27,00	15,61

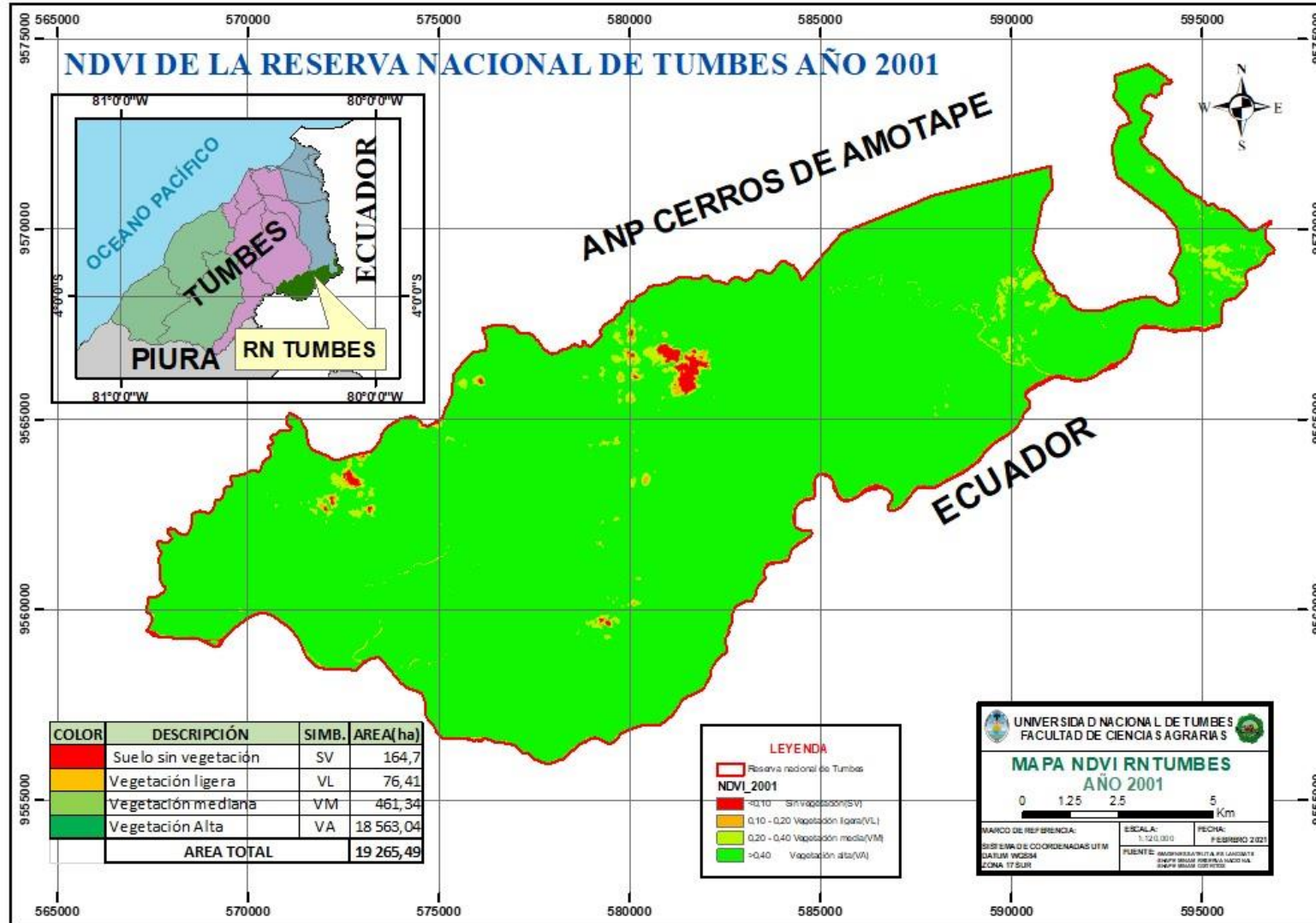
Anexo 5: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 1986.



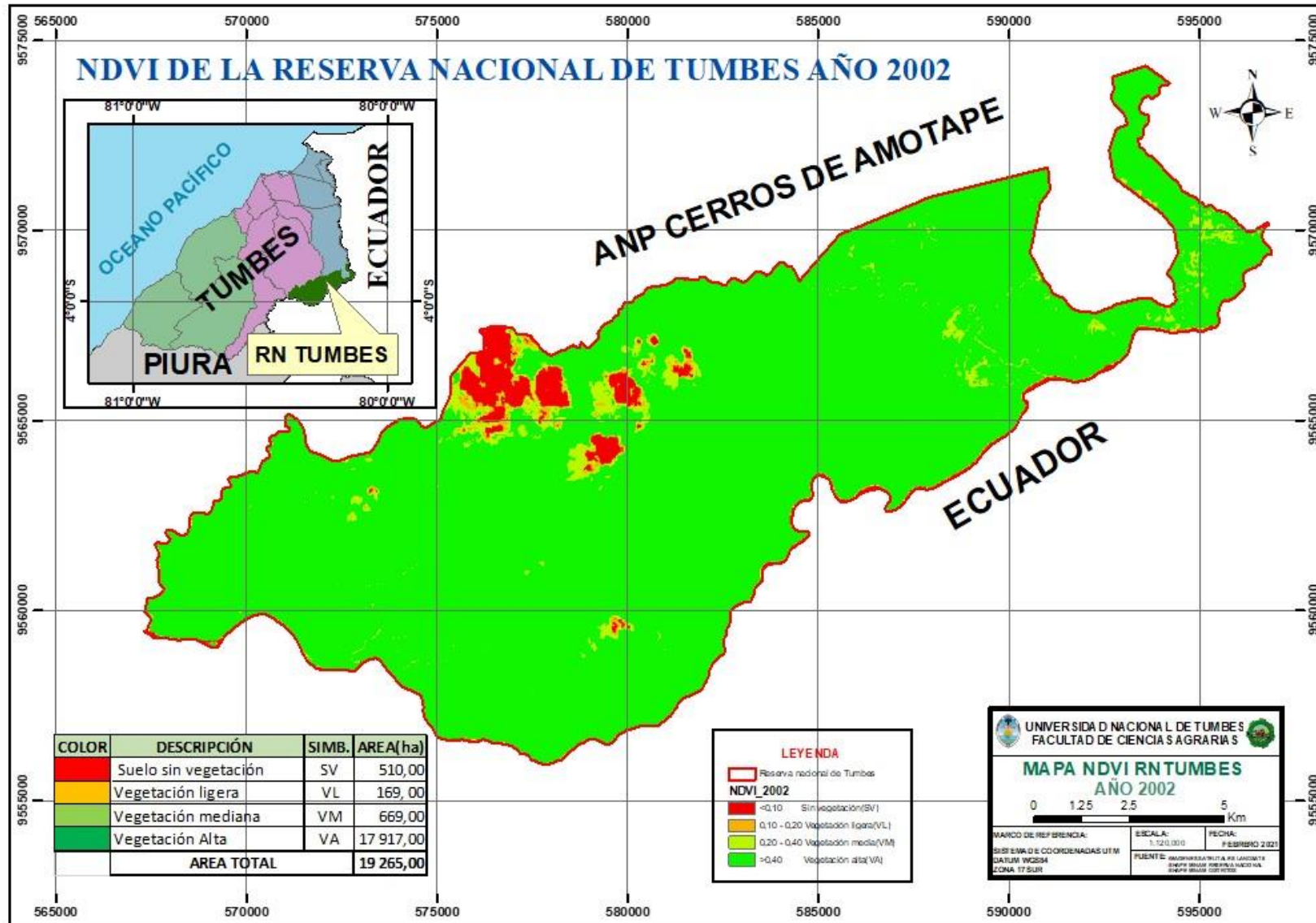
Anexo 6: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 1999.



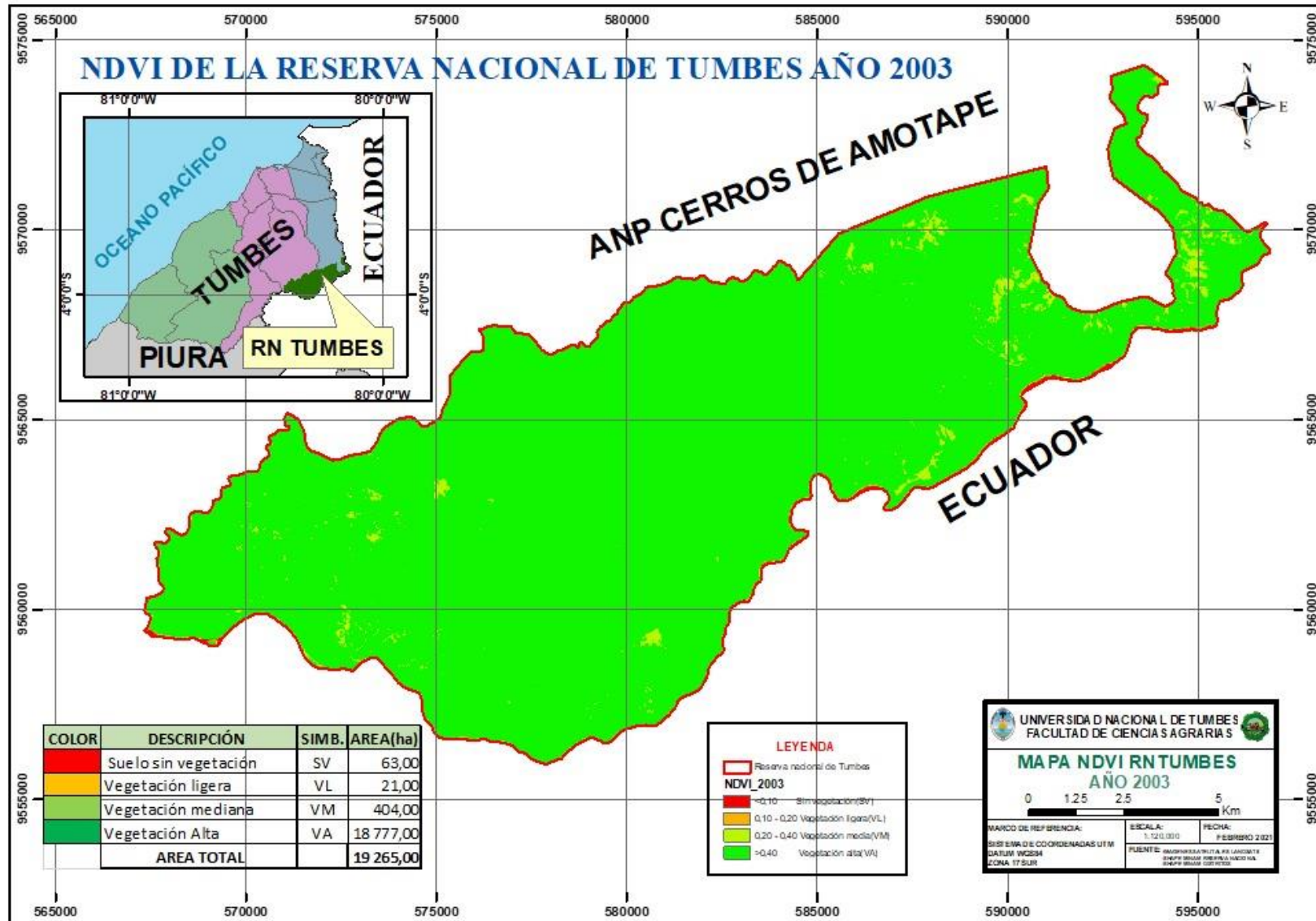
Anexo 7: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2001



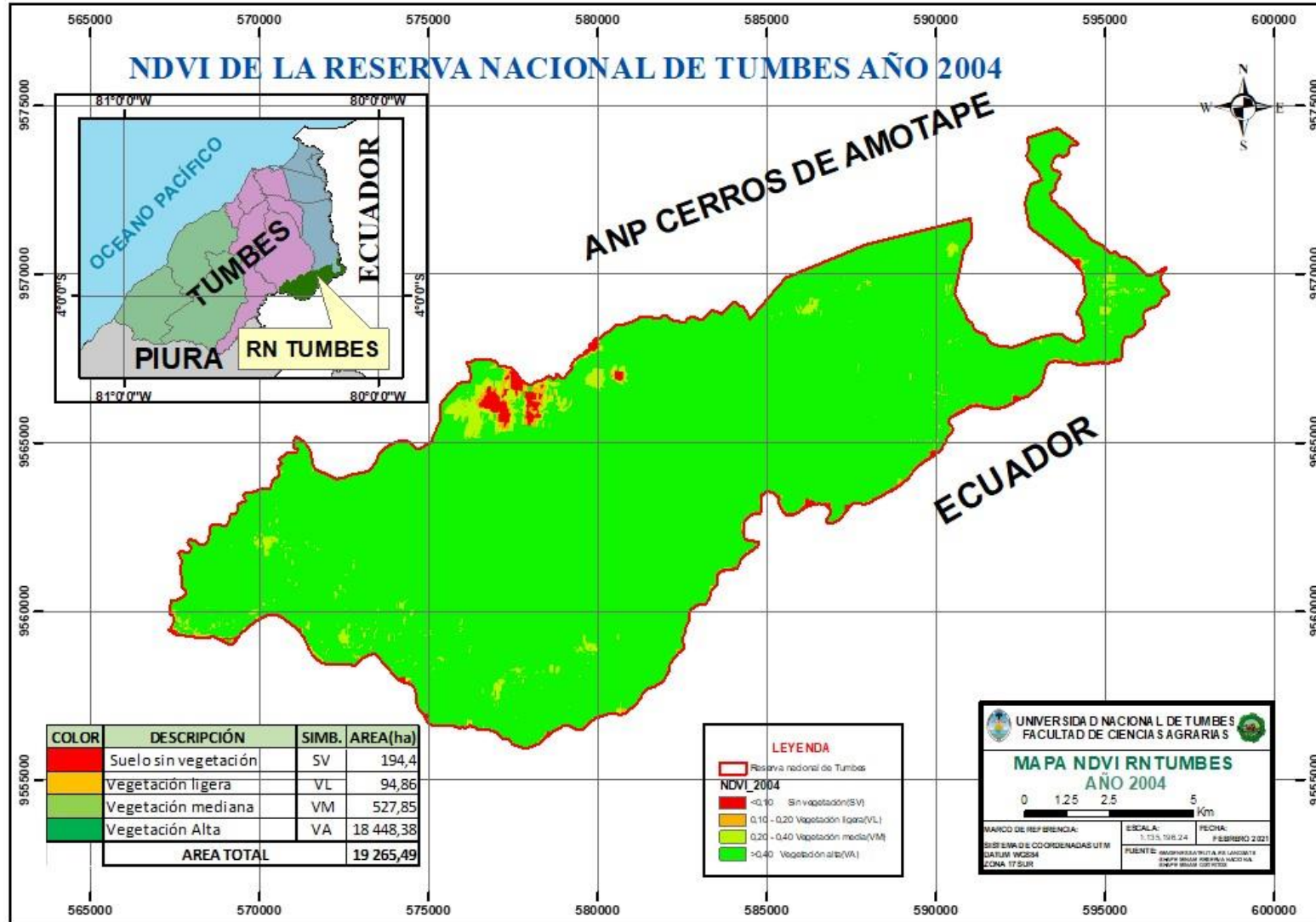
Anexo 8: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2002.



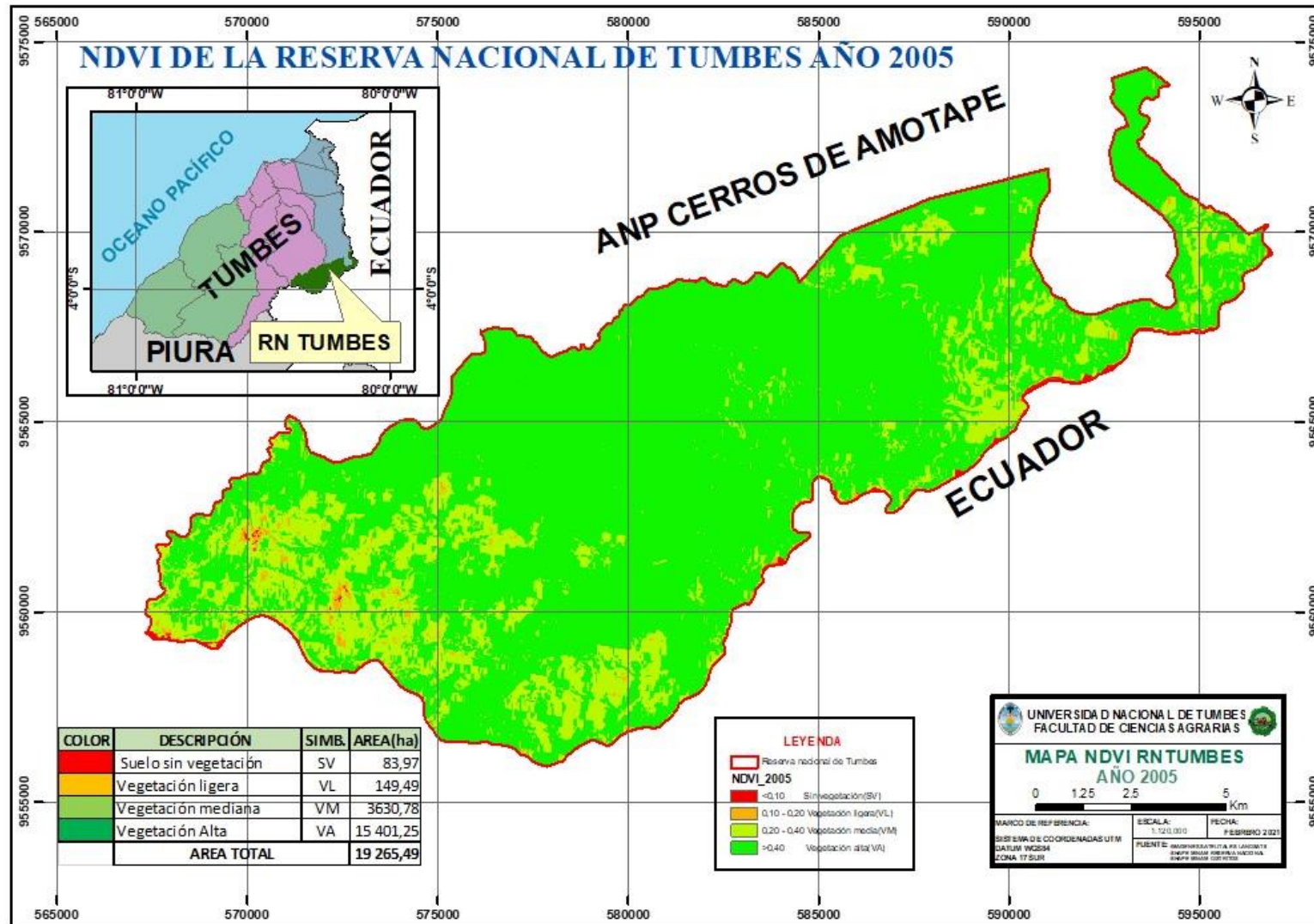
Anexo 9: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2003.



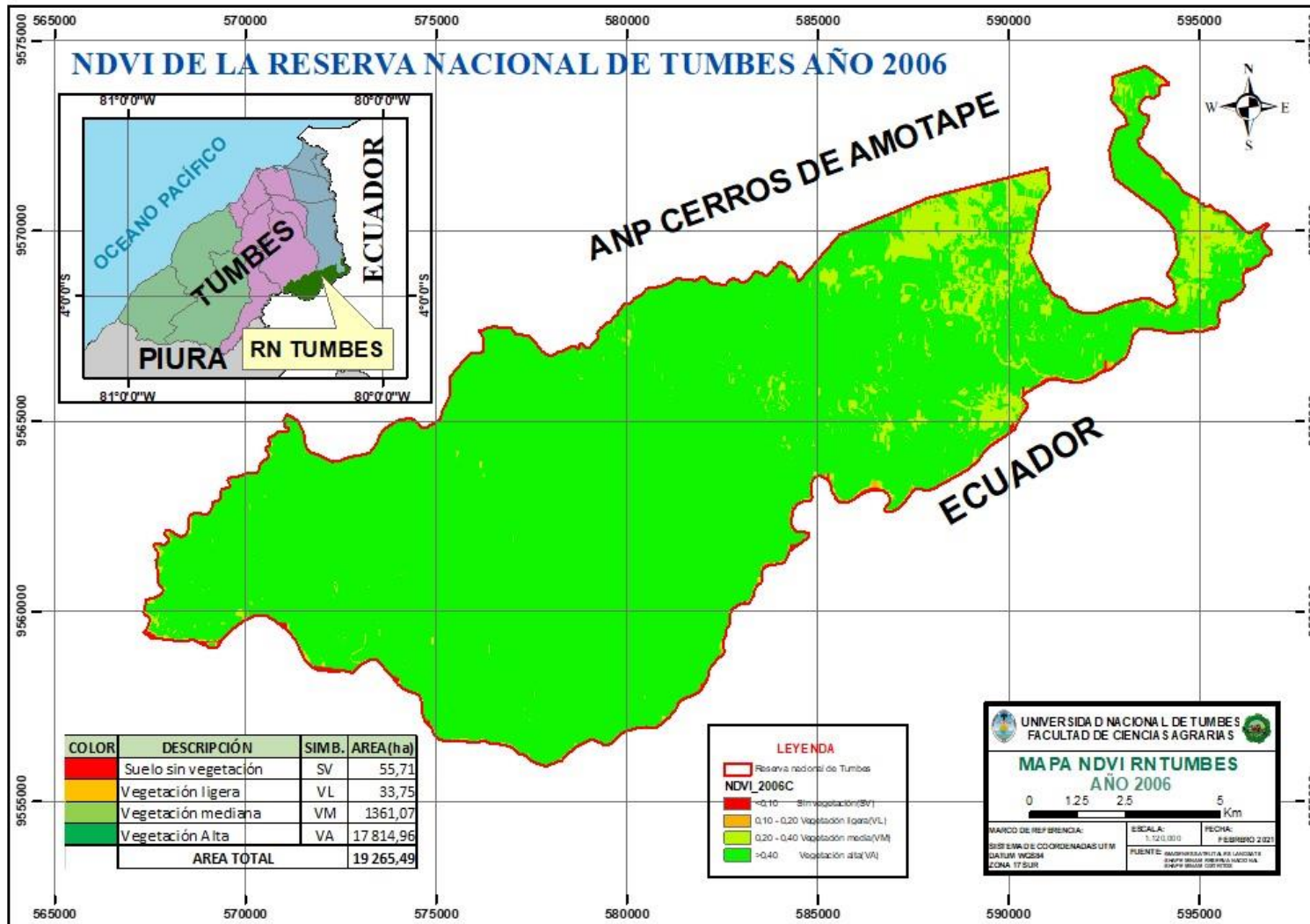
Anexo 10: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2004.



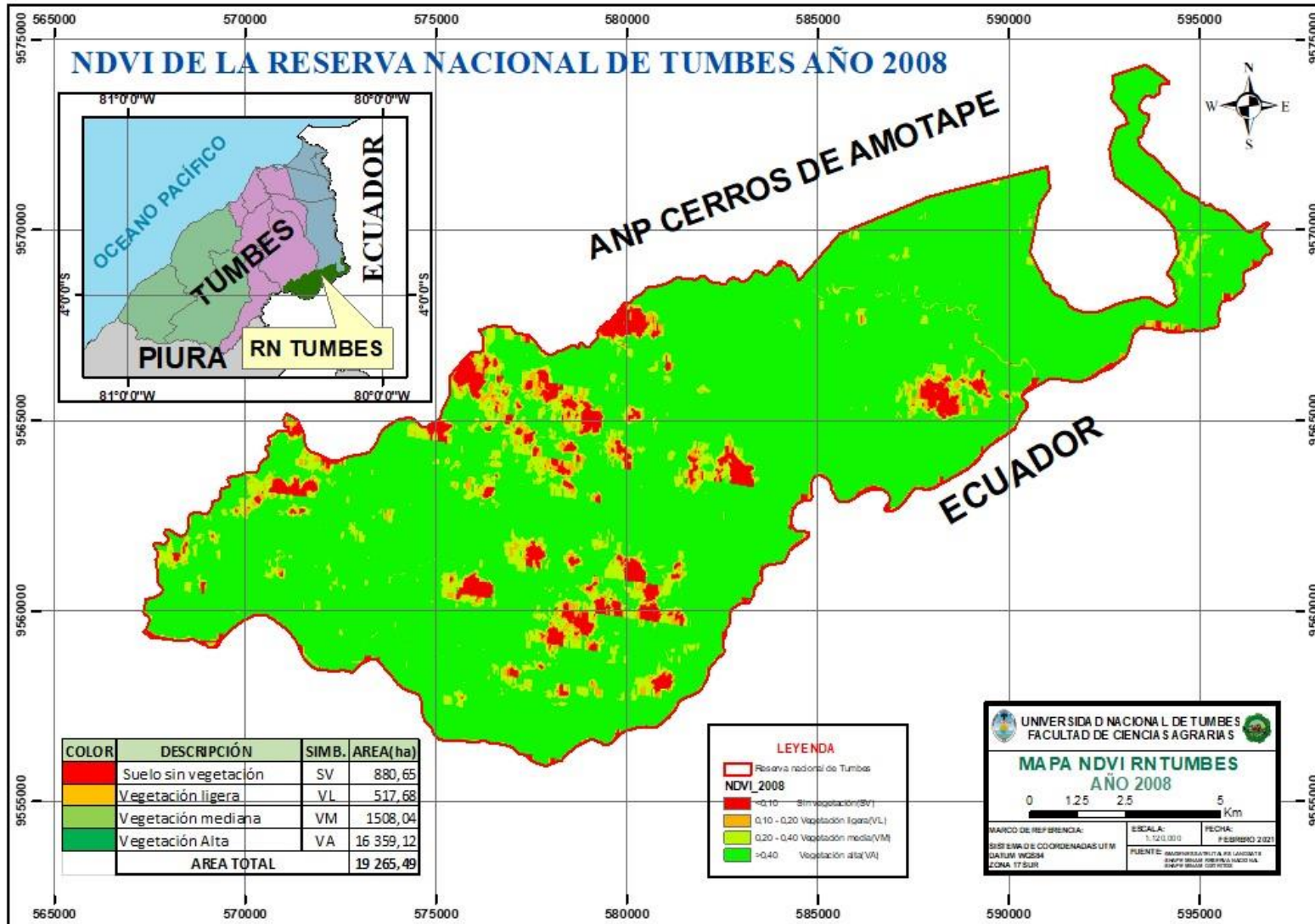
Anexo 11: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2005.



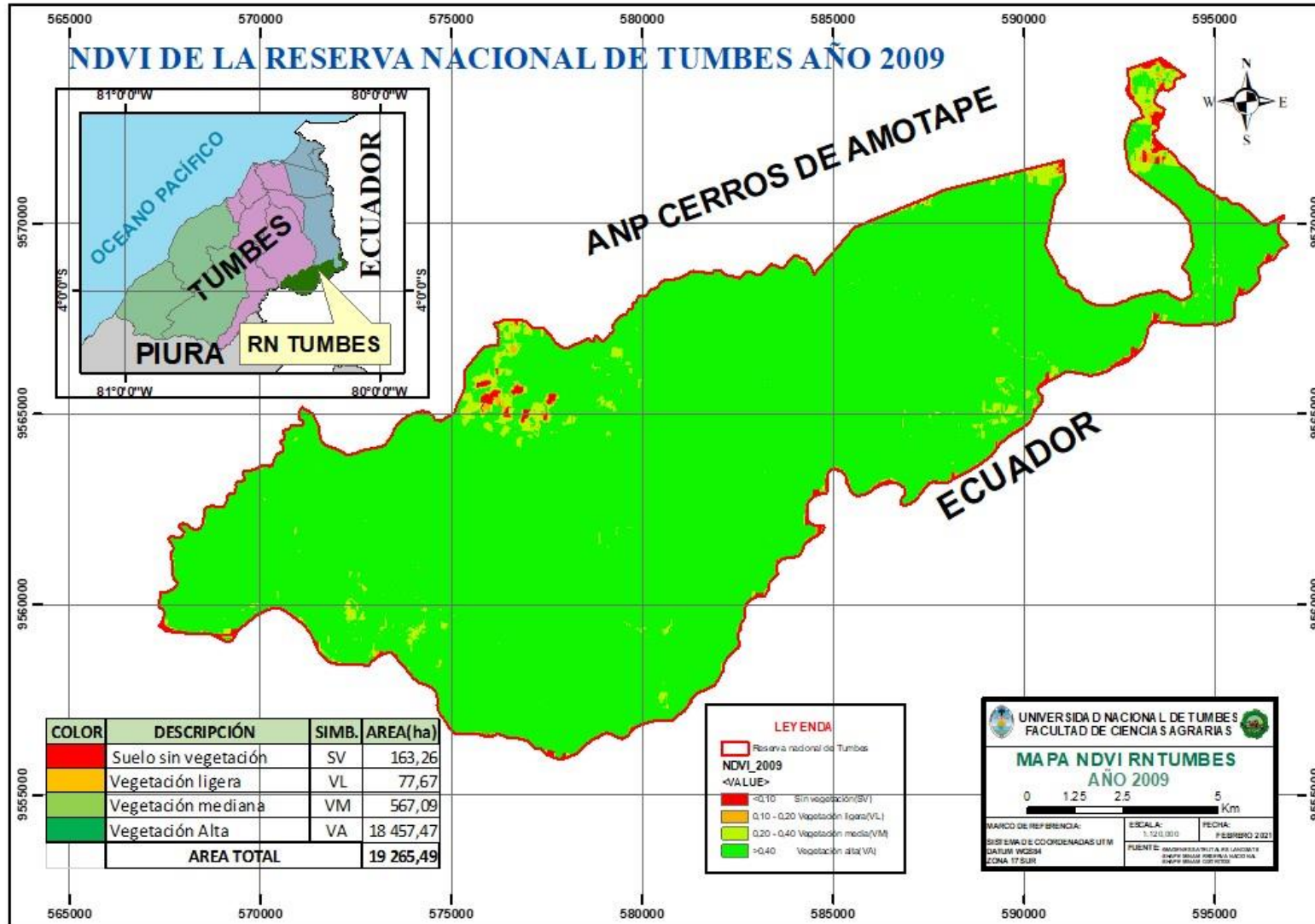
Anexo 12: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2006.



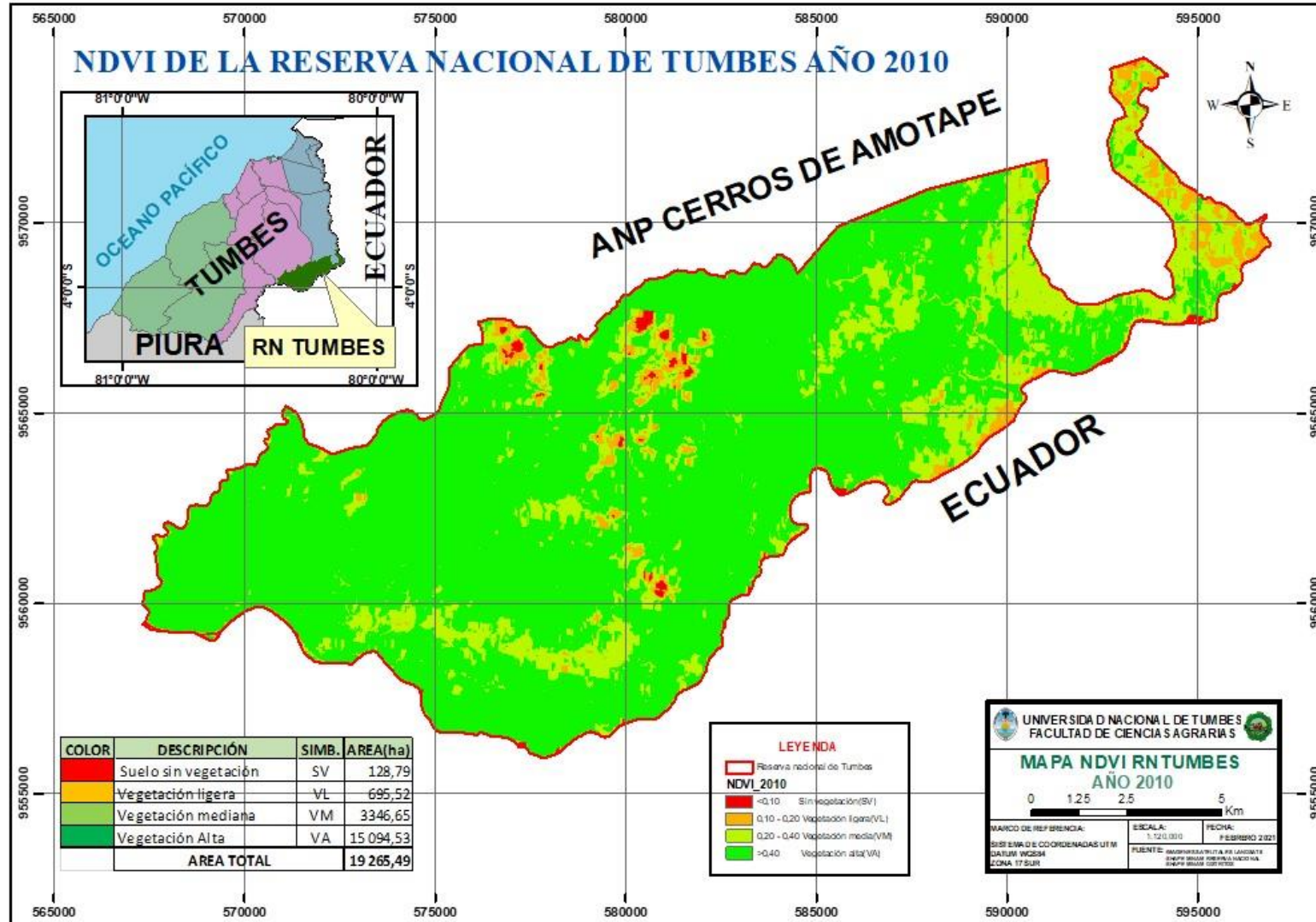
Anexo 13: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2008.



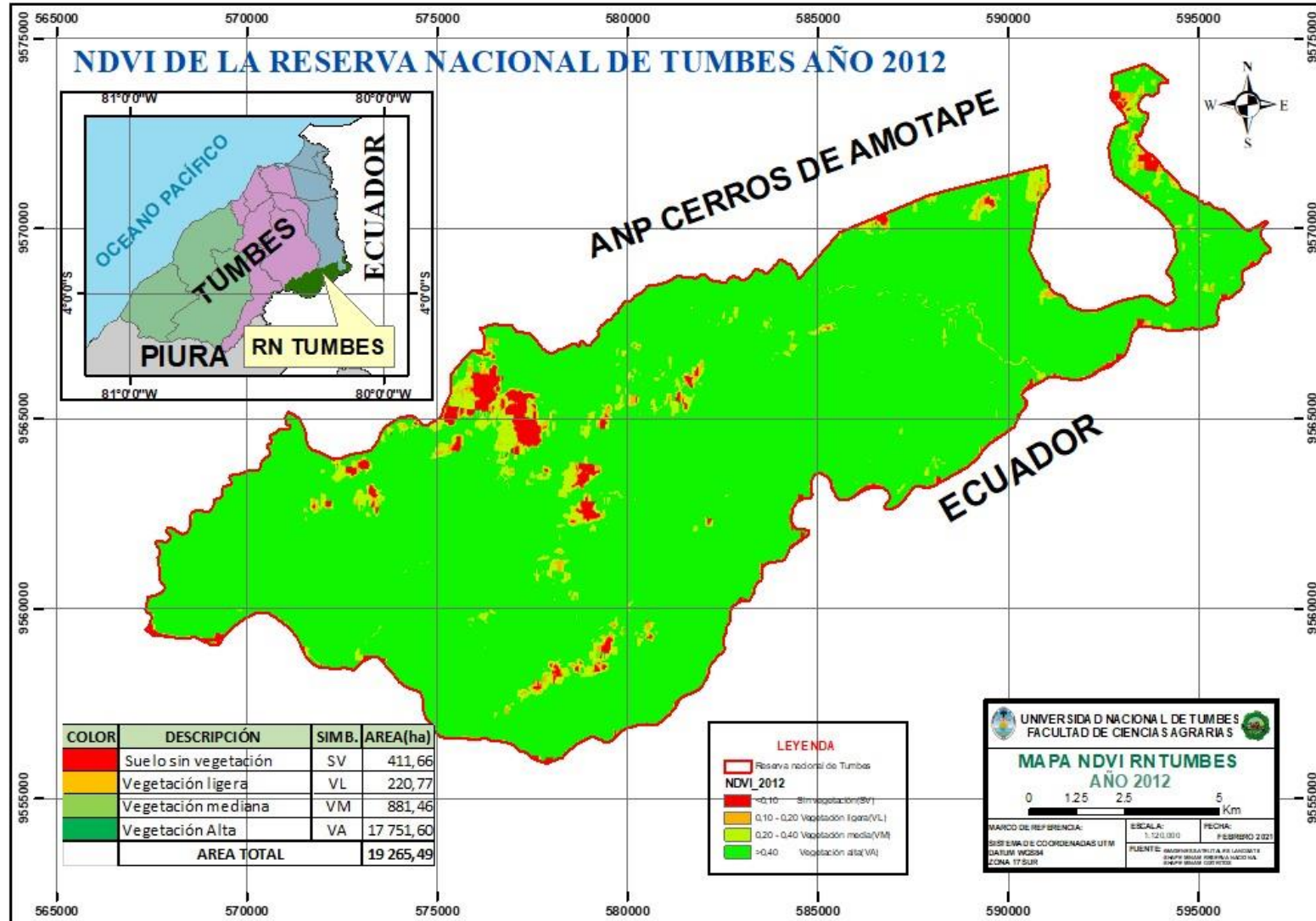
Anexo 14: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2009.



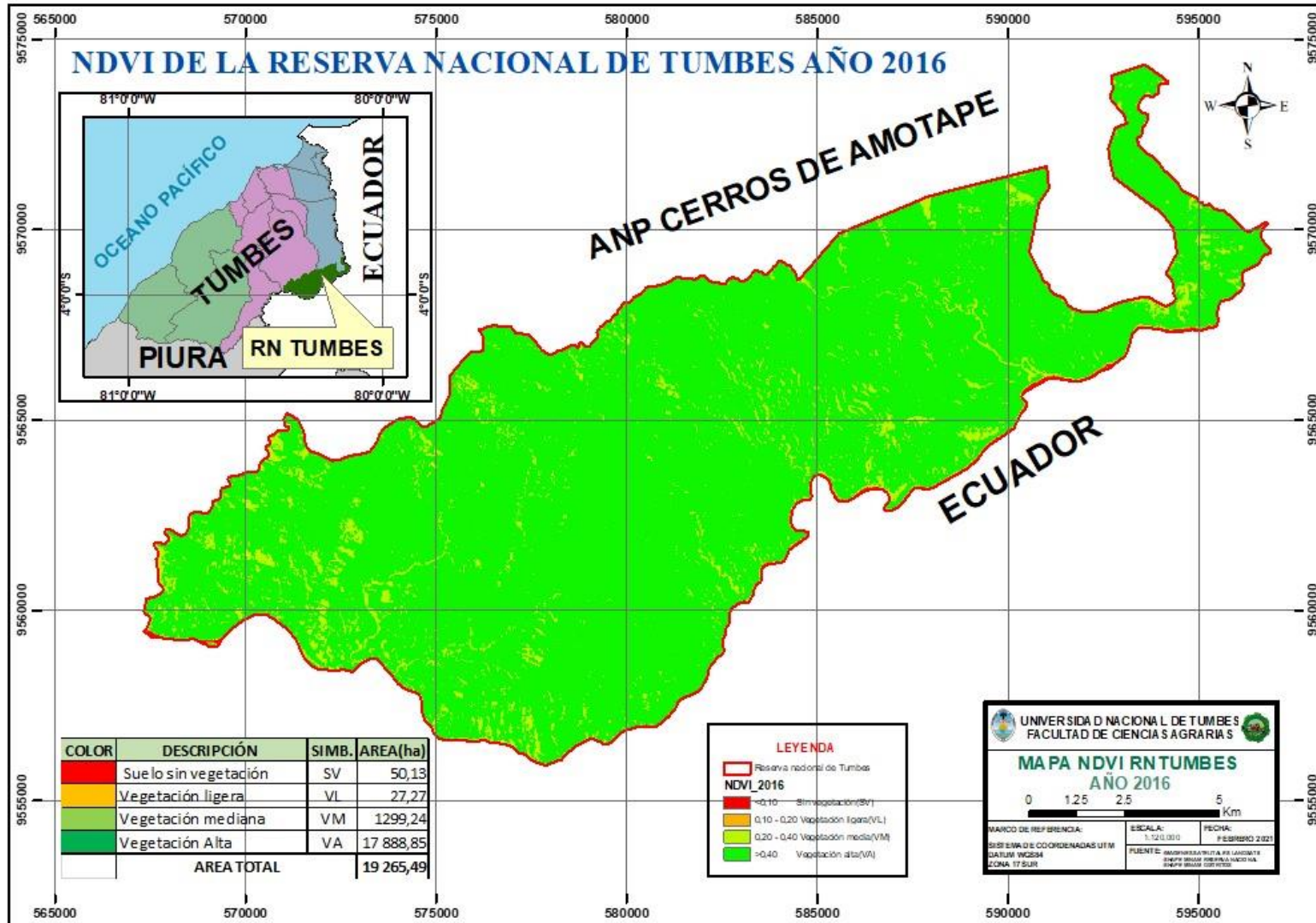
Anexo 15: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2010.



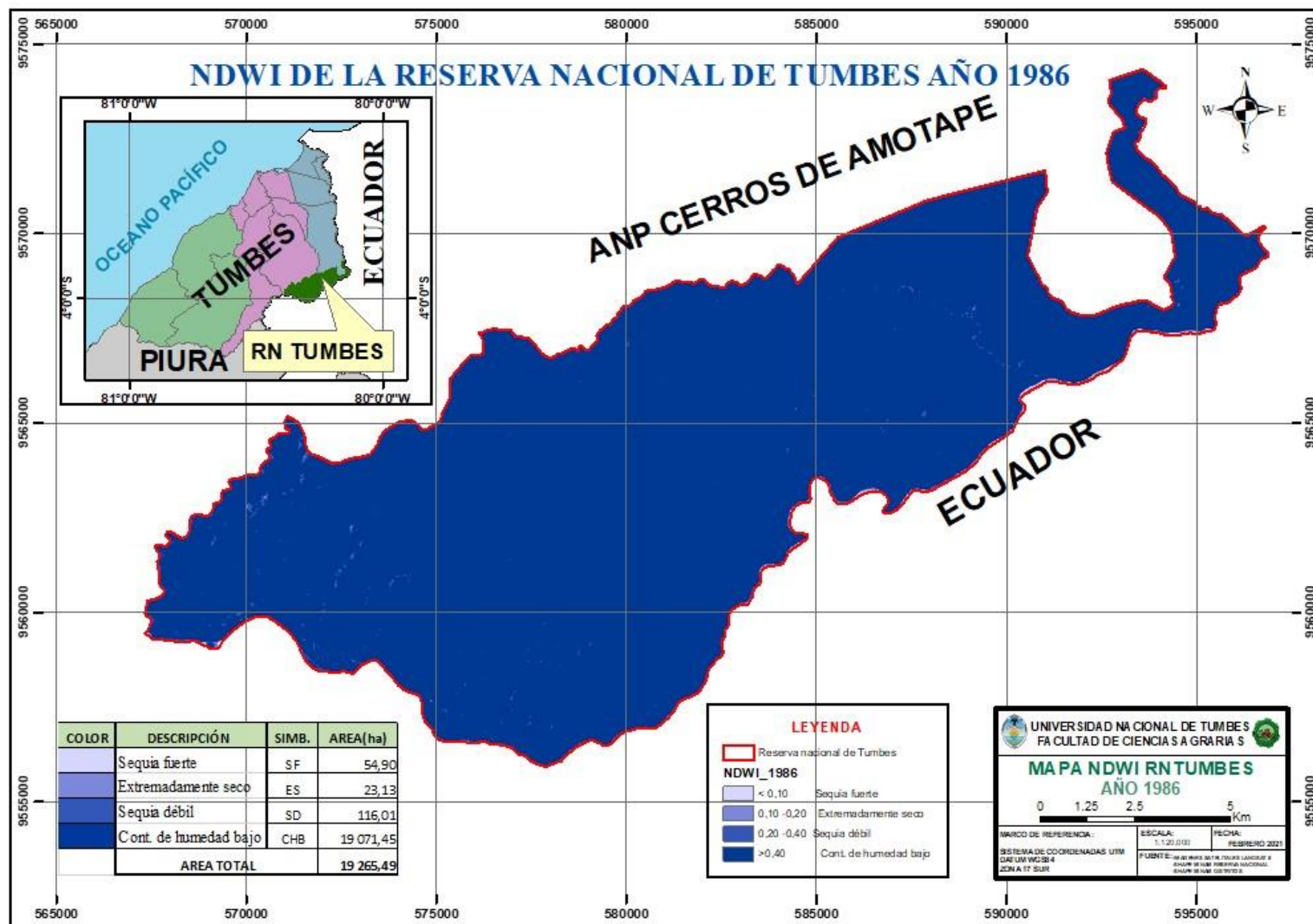
Anexo 16: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2012.



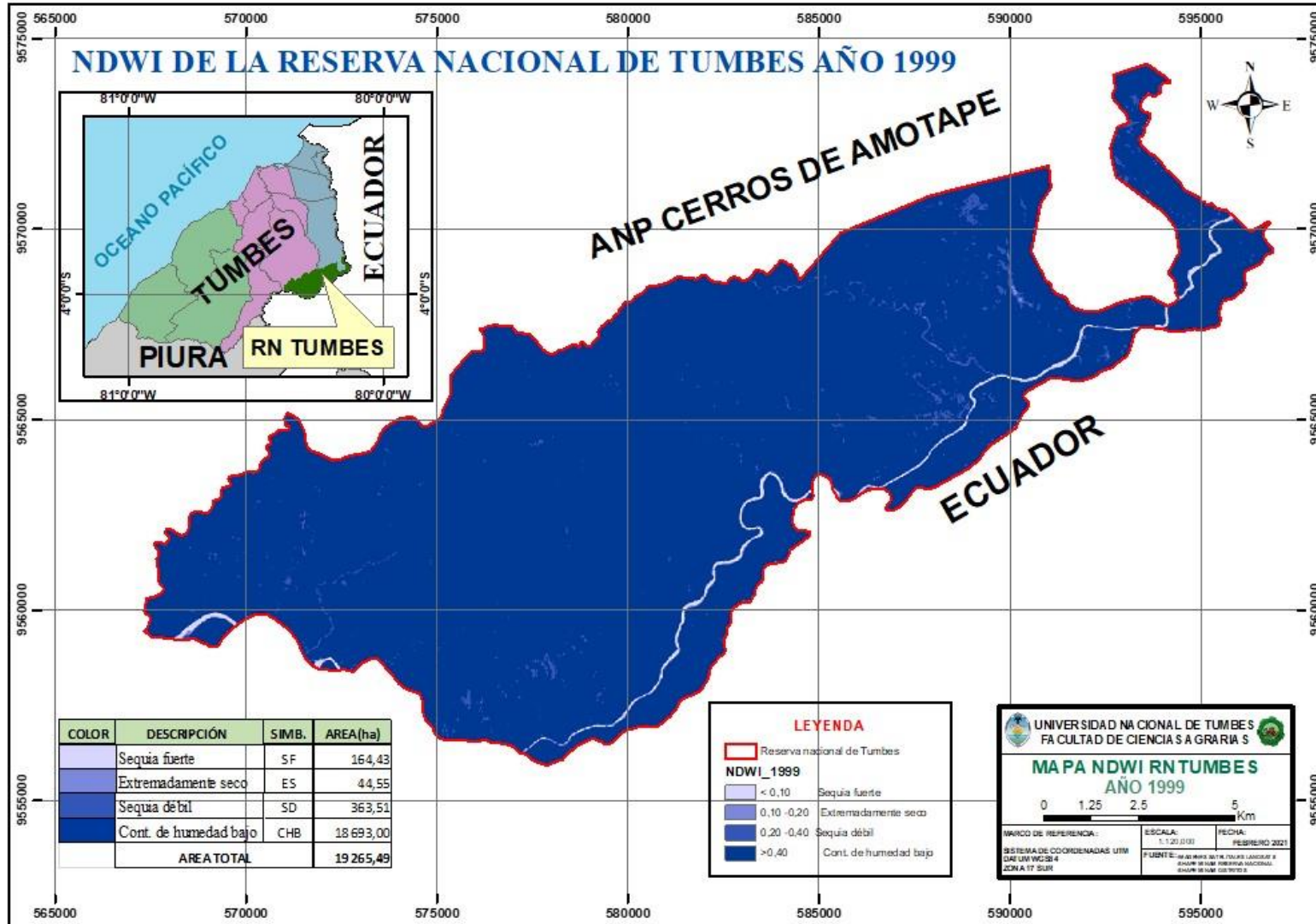
Anexo 17: NDVI de la reserva nacional de Tumbes, año 2016.



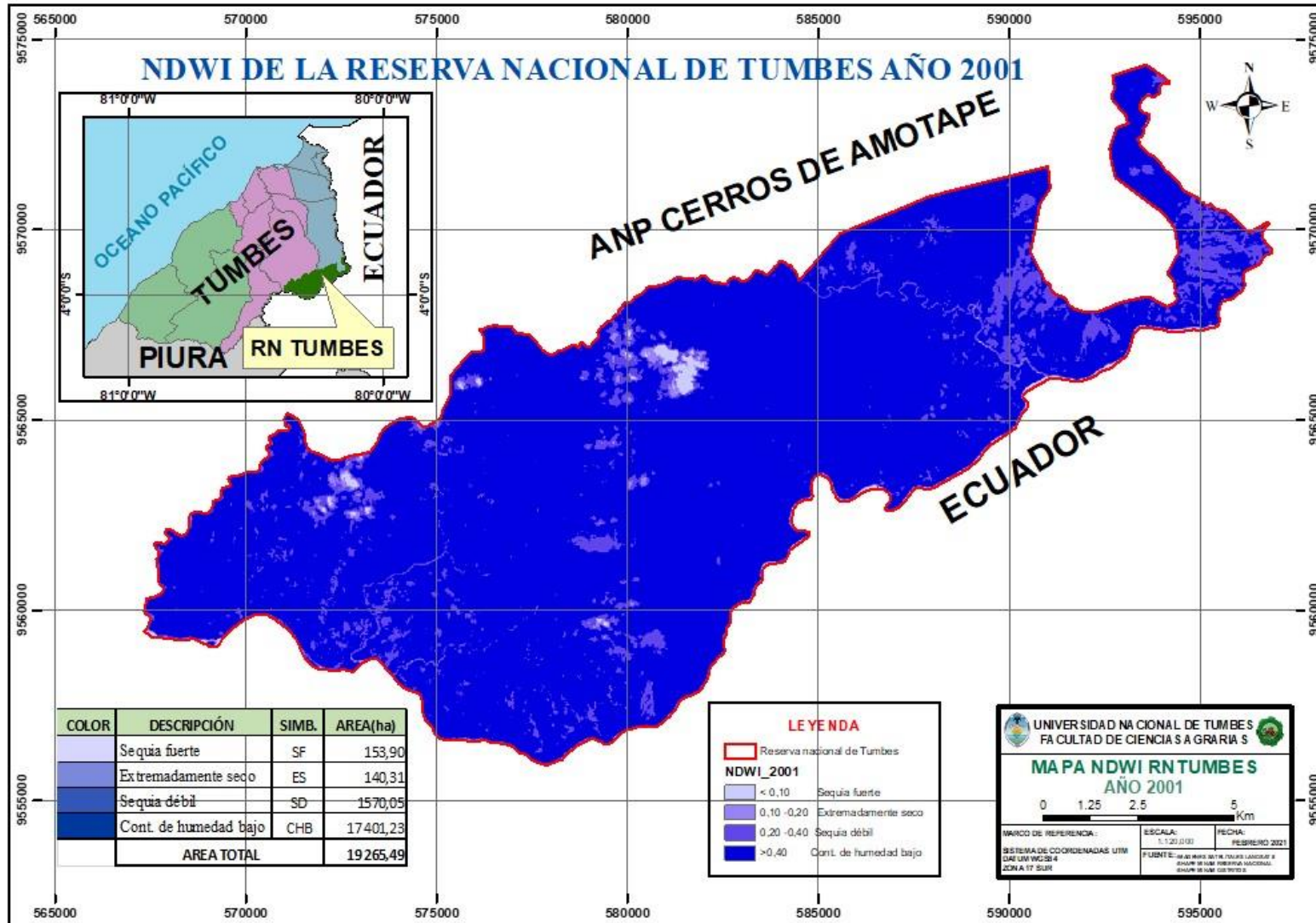
Anexo 19: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 1986.



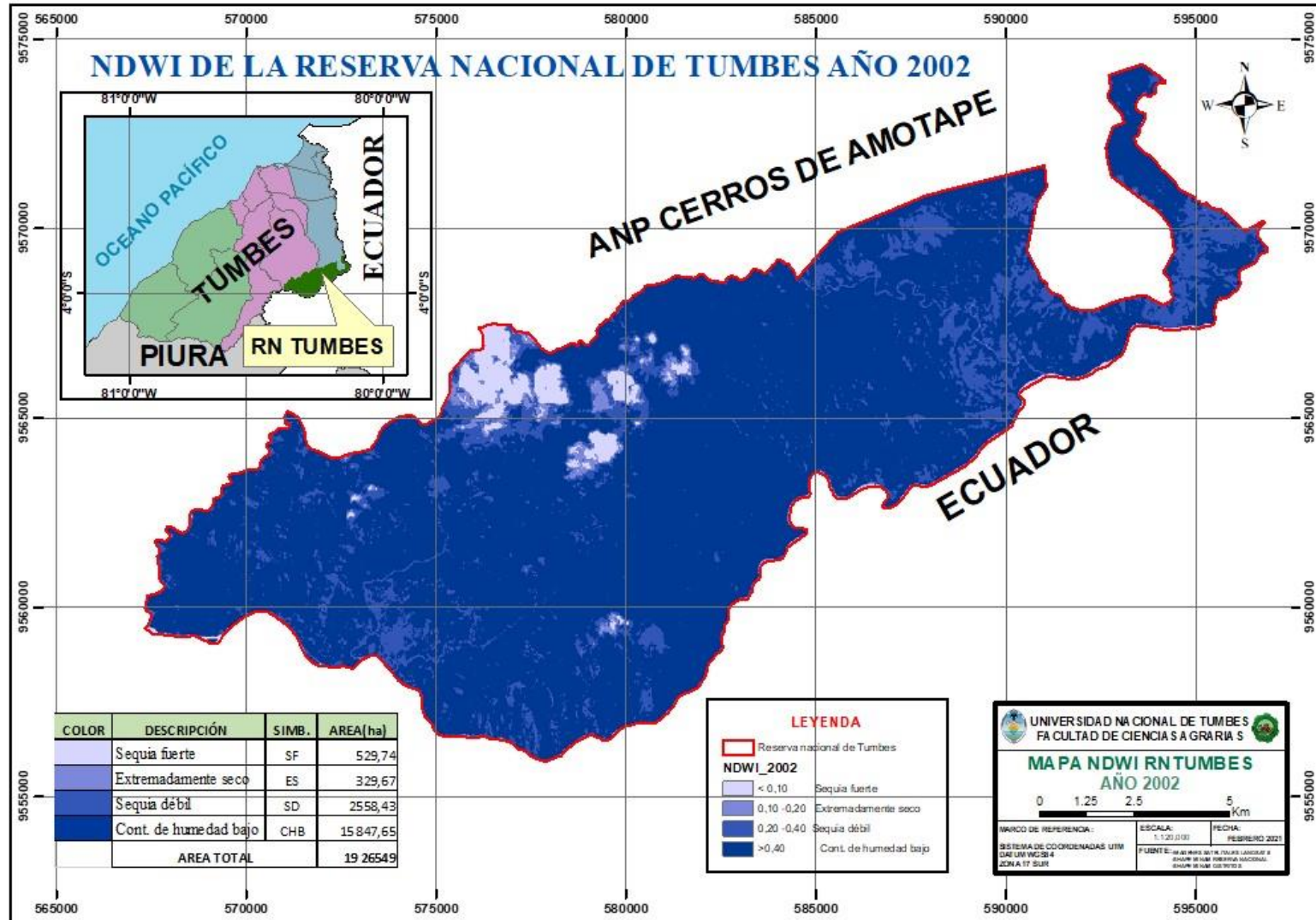
Anexo 20: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 1999.



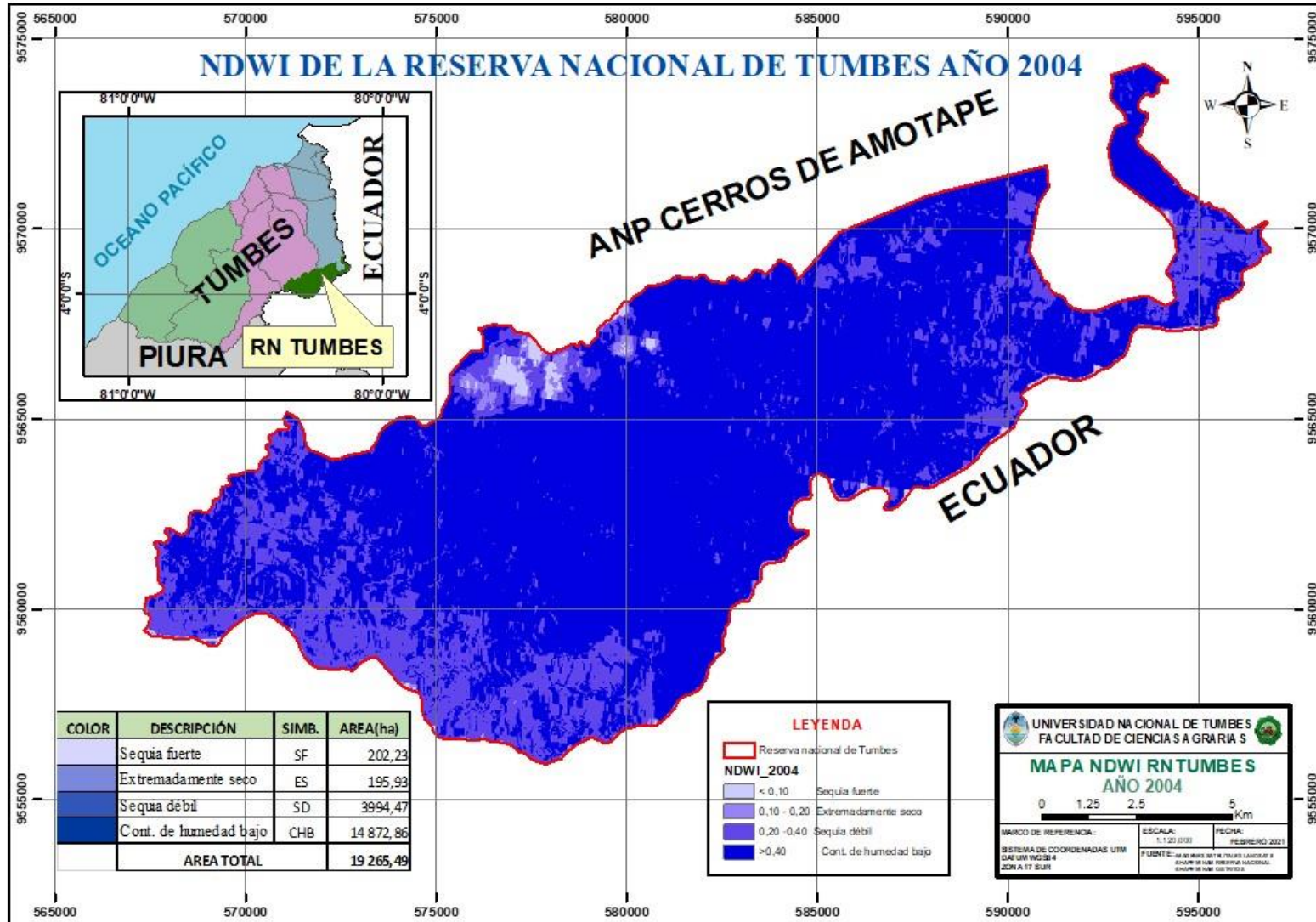
Anexo 21: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2001.



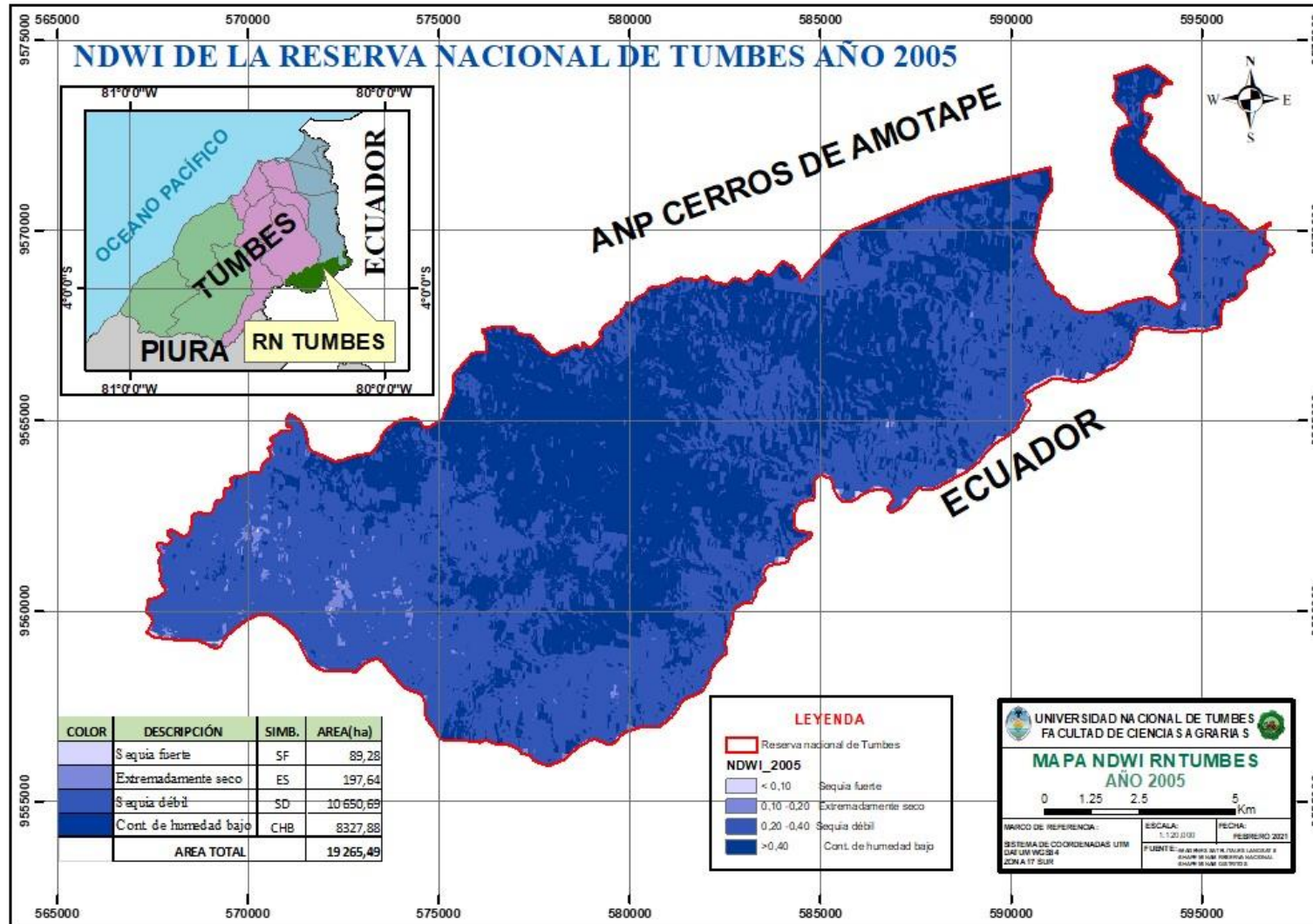
Anexo 22: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2002.



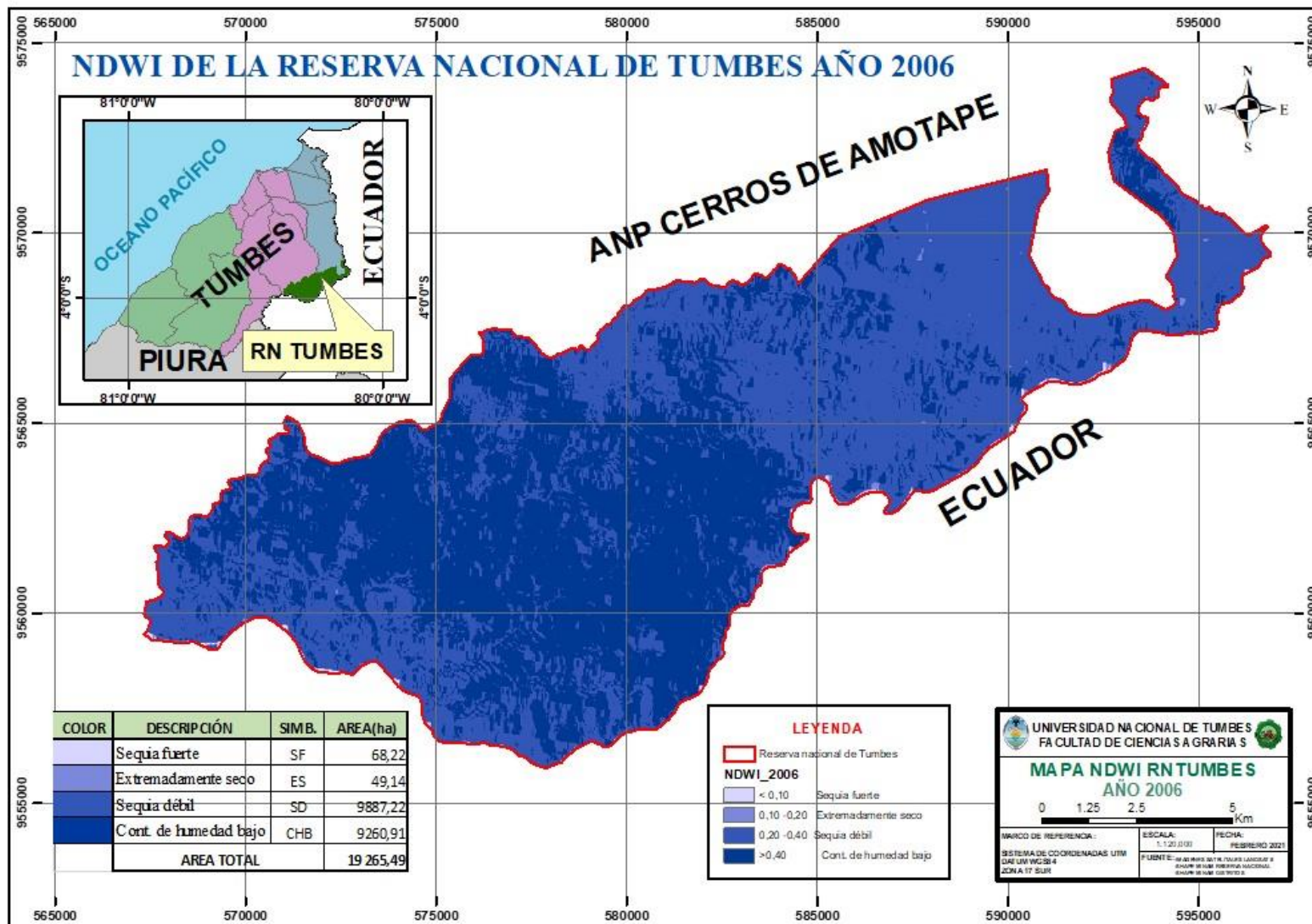
Anexo 23: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2004.



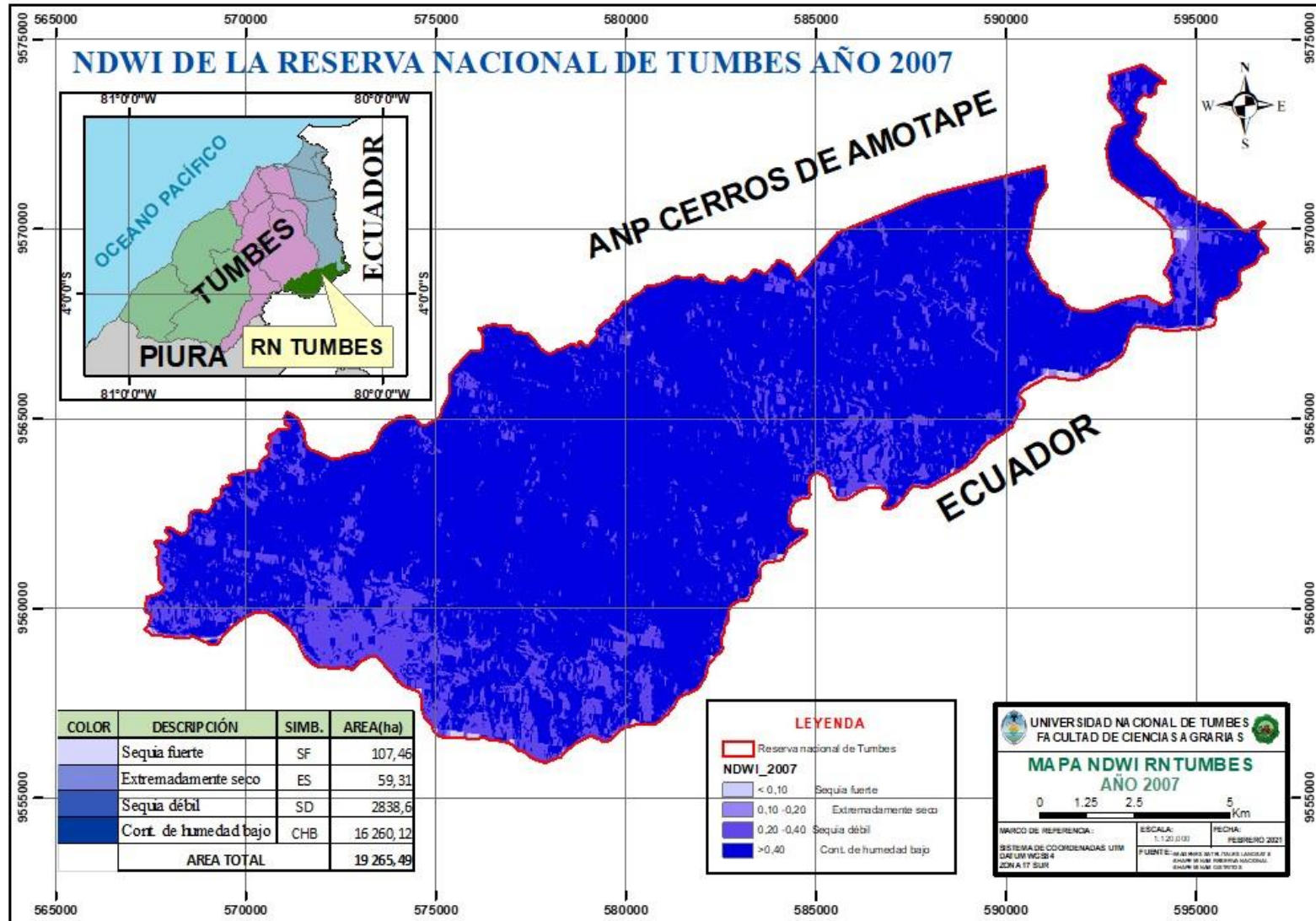
Anexo 24: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2005.



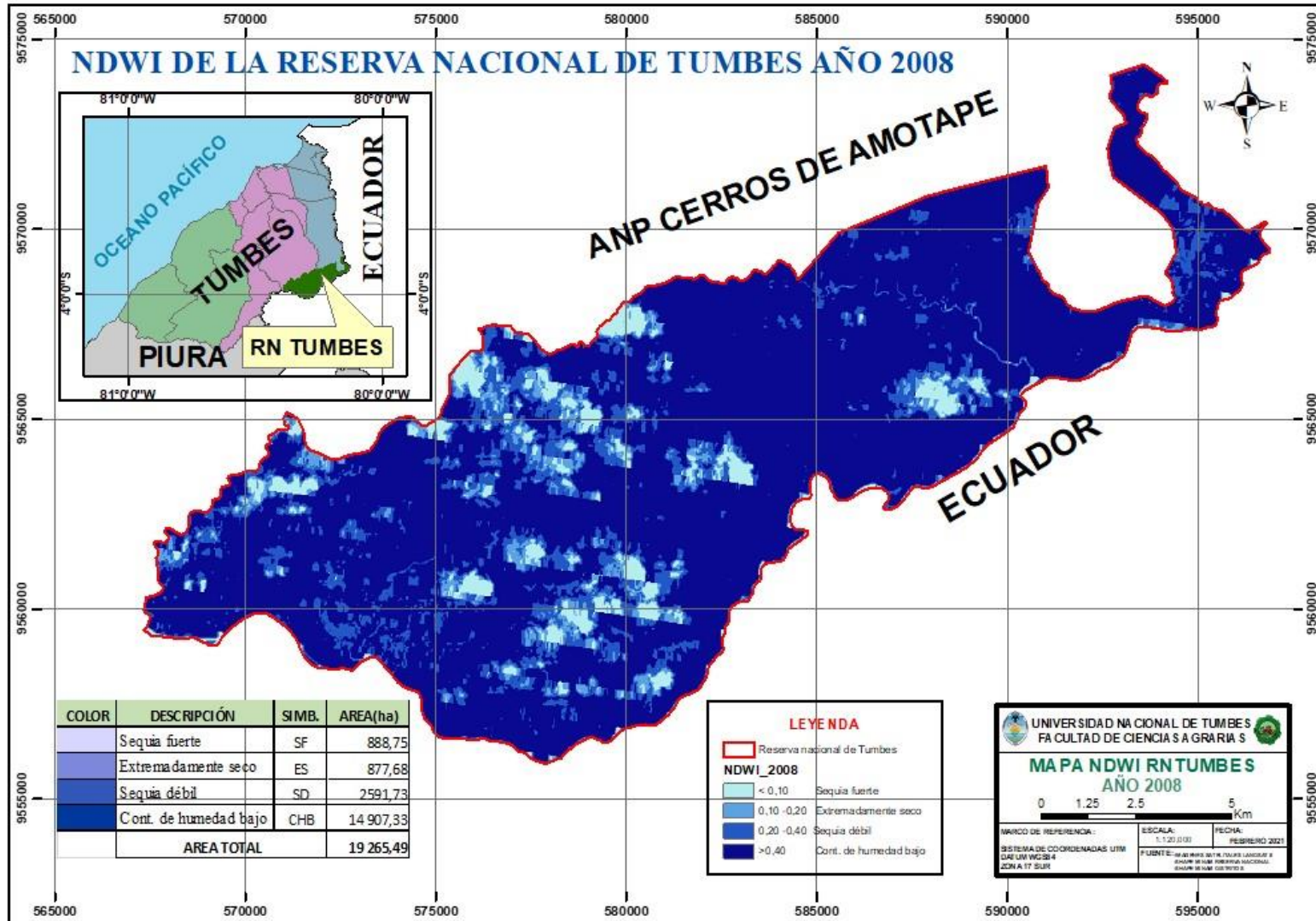
Anexo 25: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2006.



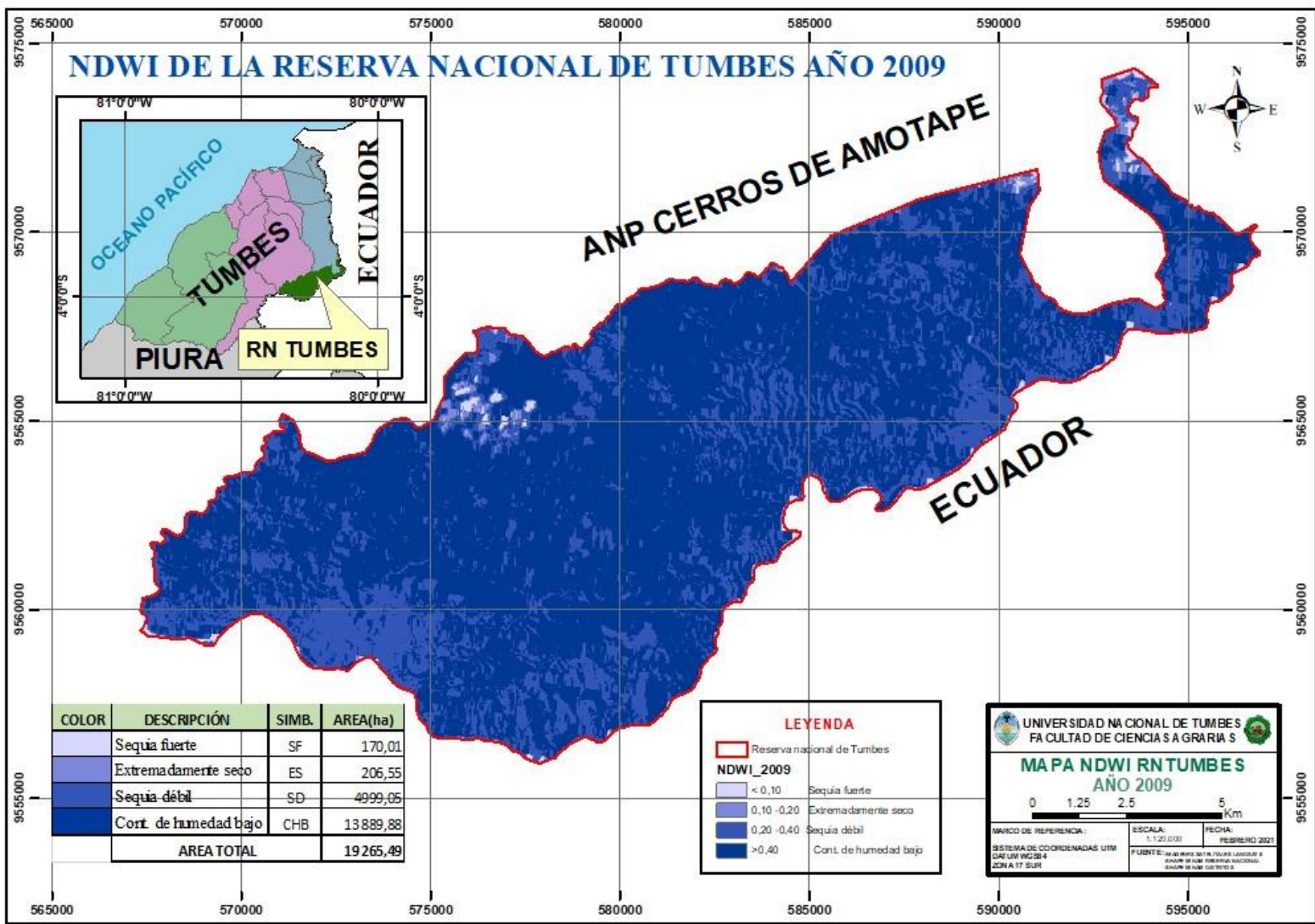
Anexo 26: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2007.



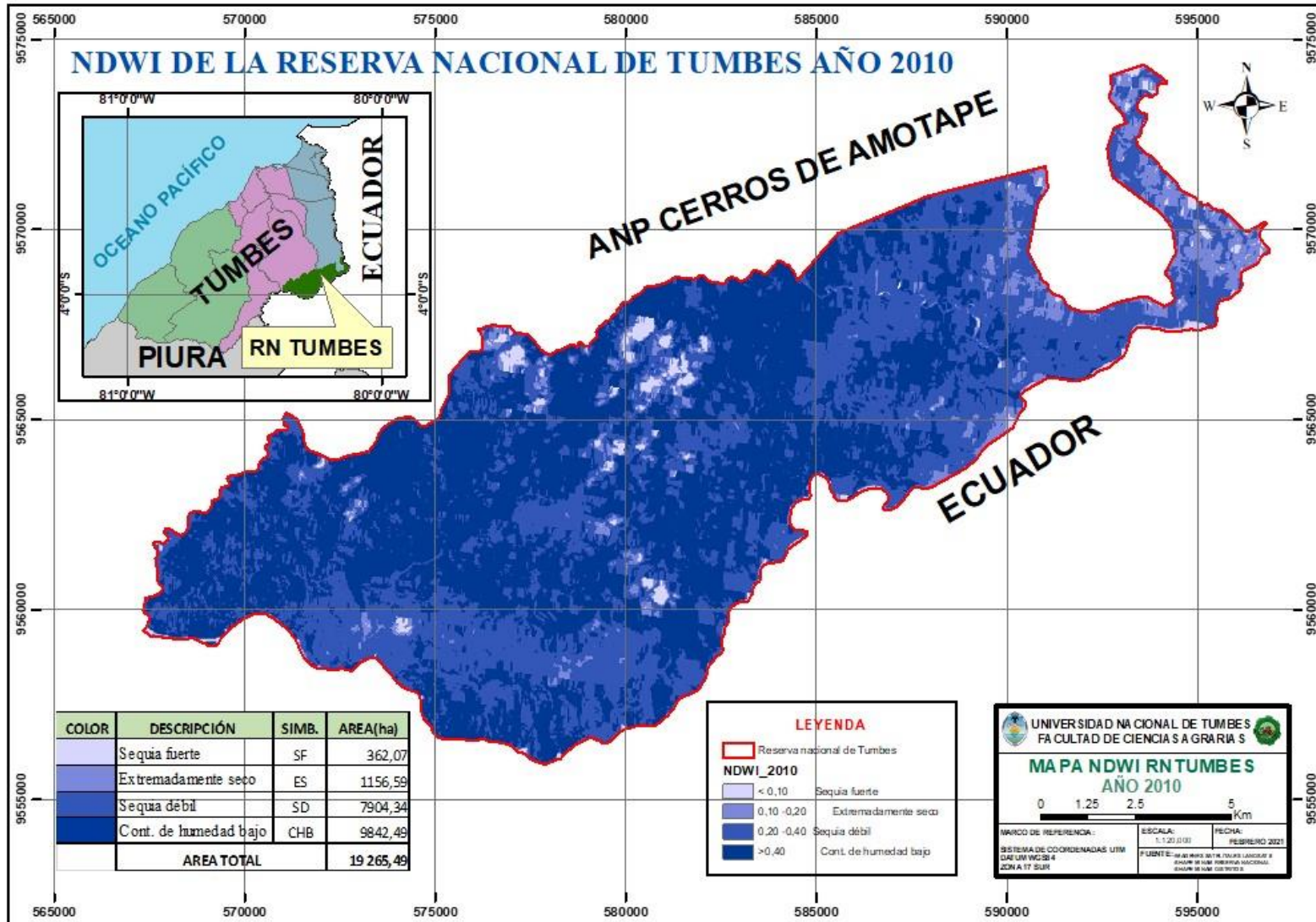
Anexo 27: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2008.



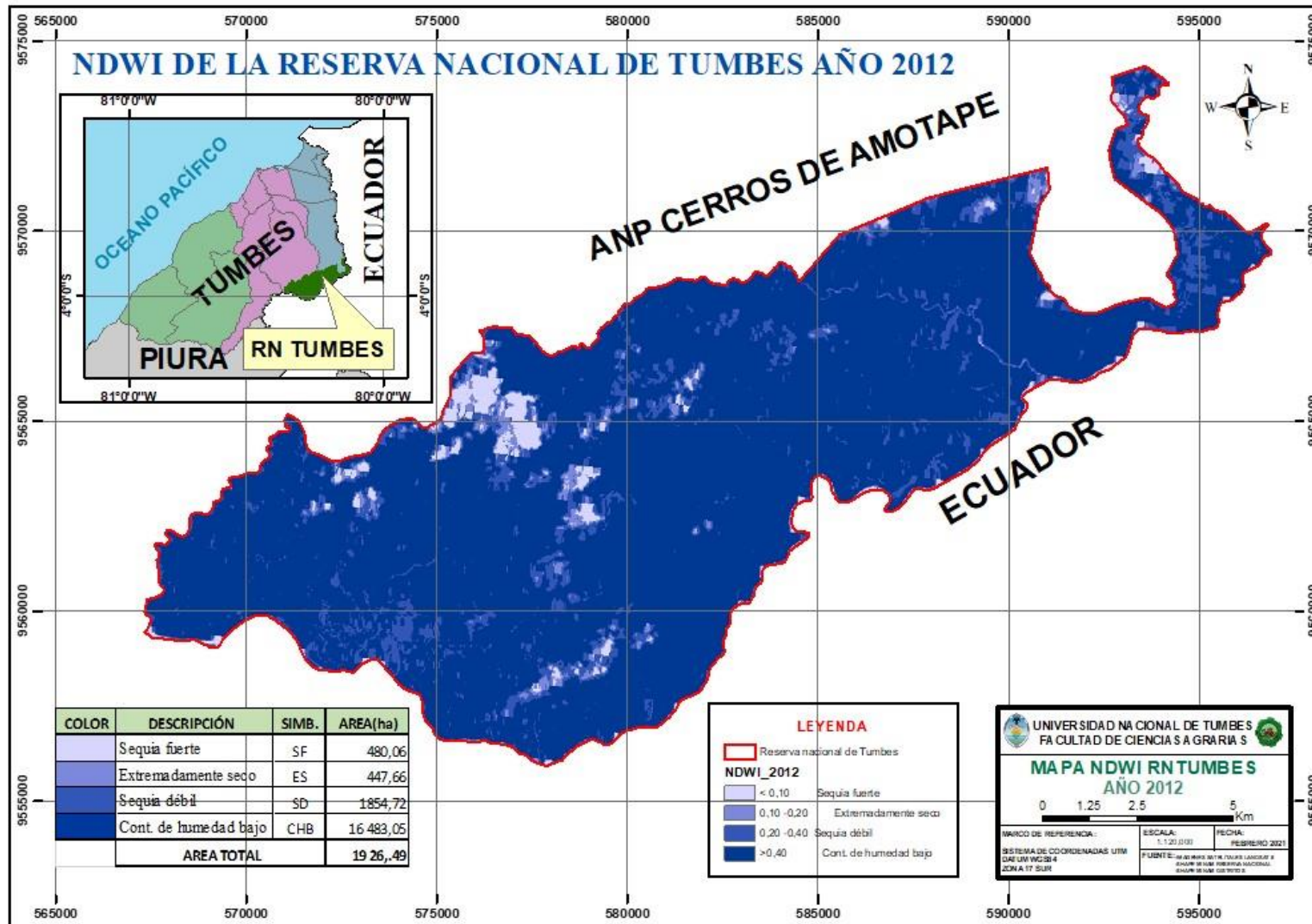
Anexo 28: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2009.



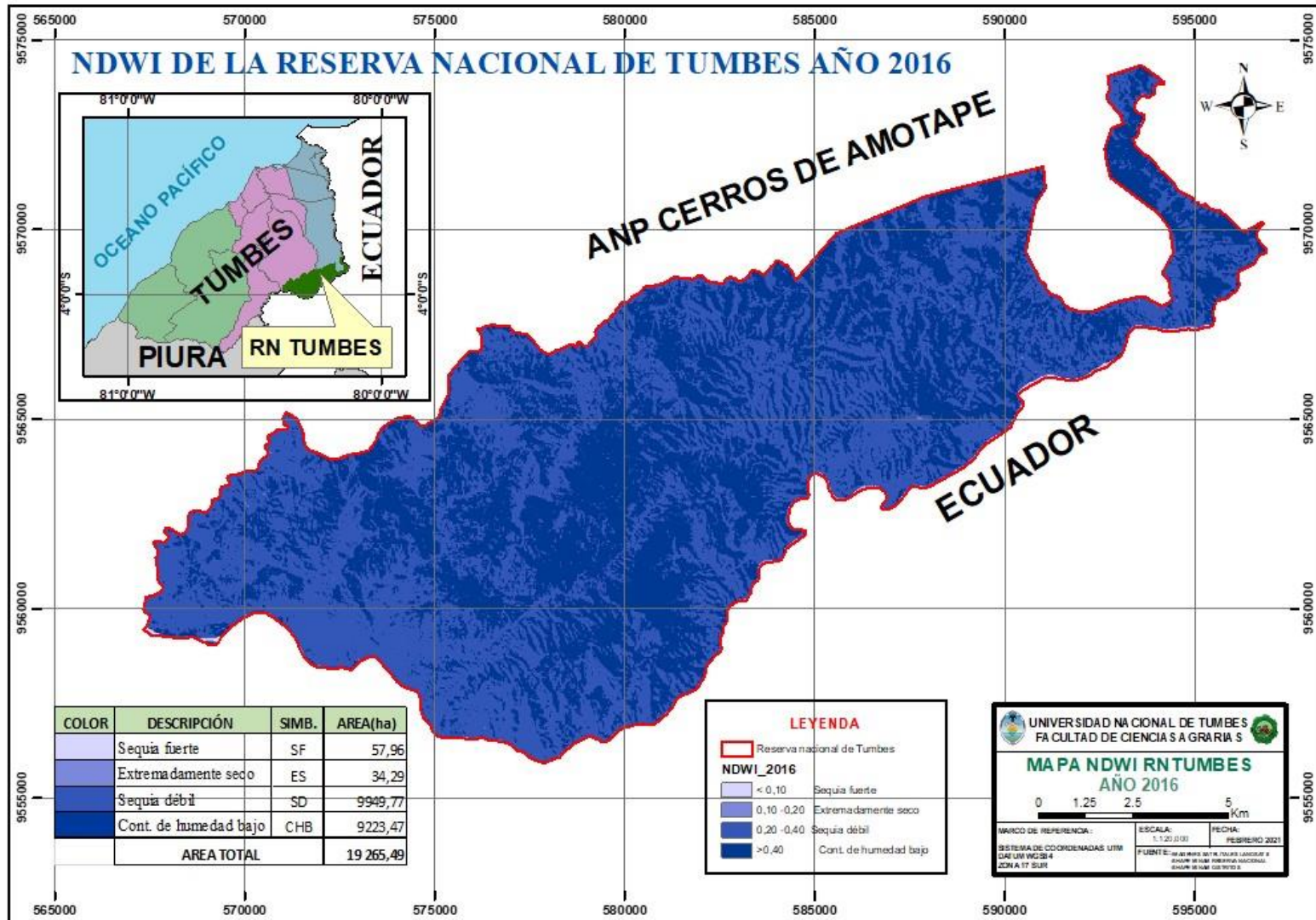
Anexo 29: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2010.



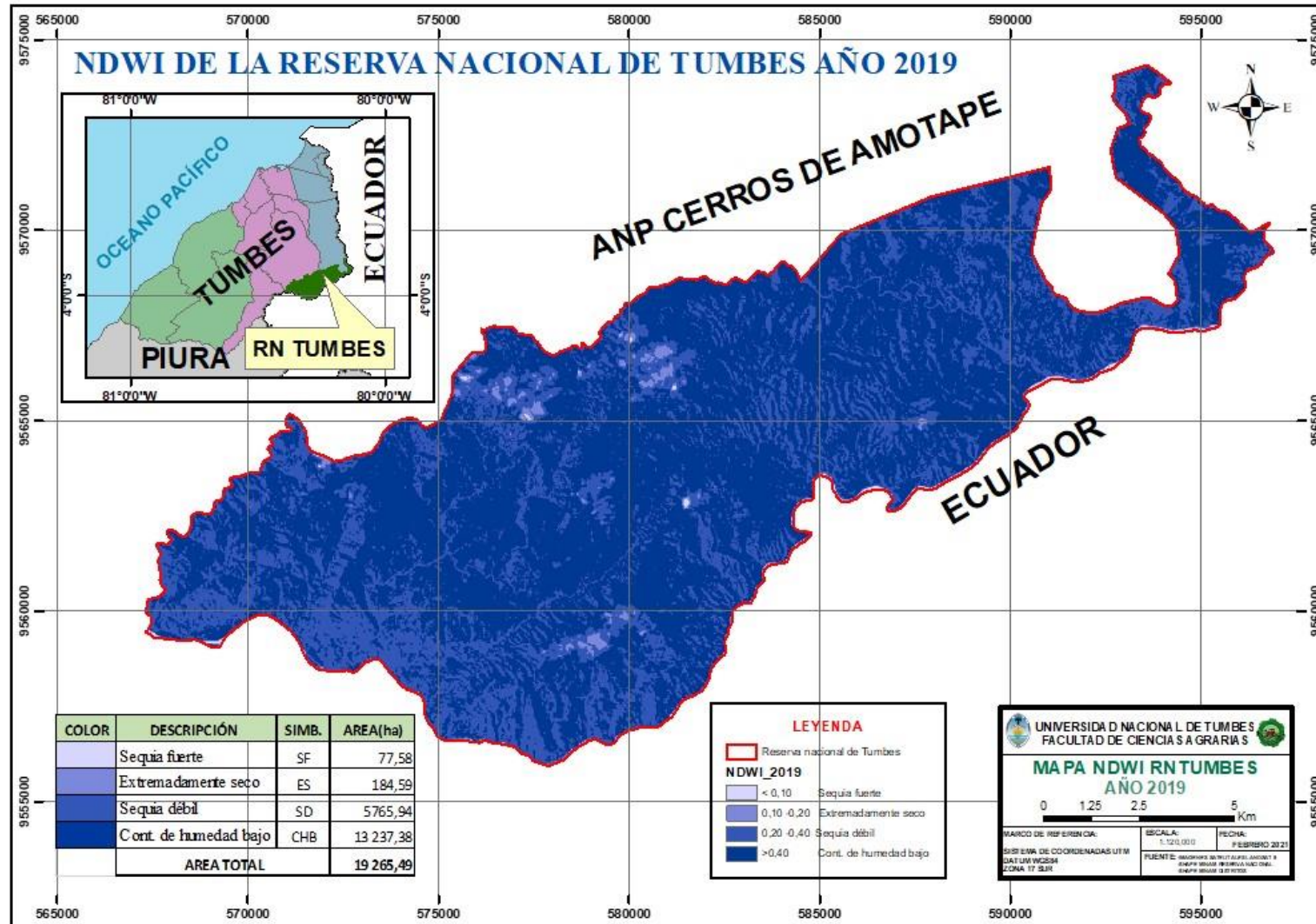
Anexo 30: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2012.



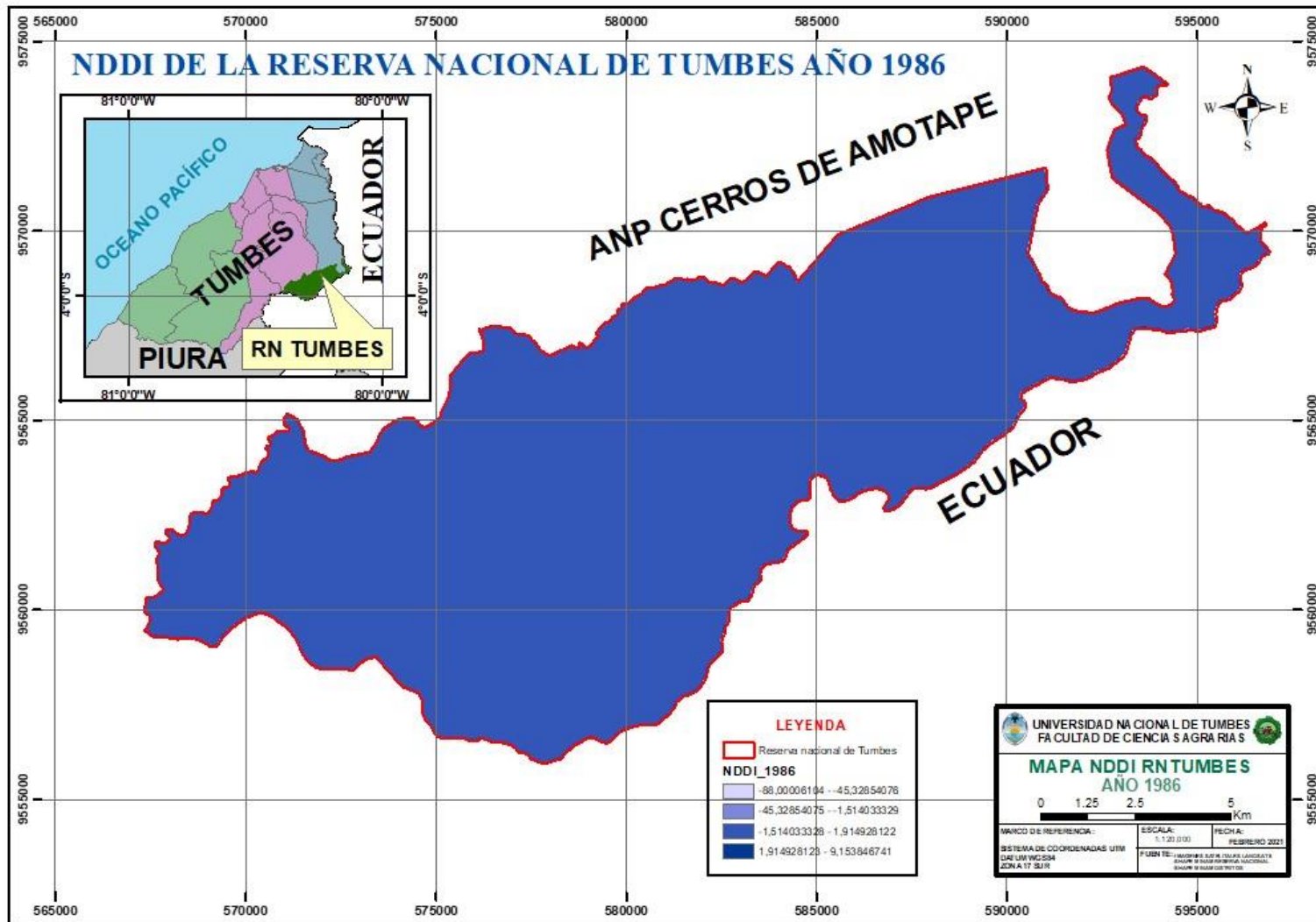
Anexo 31: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2016.



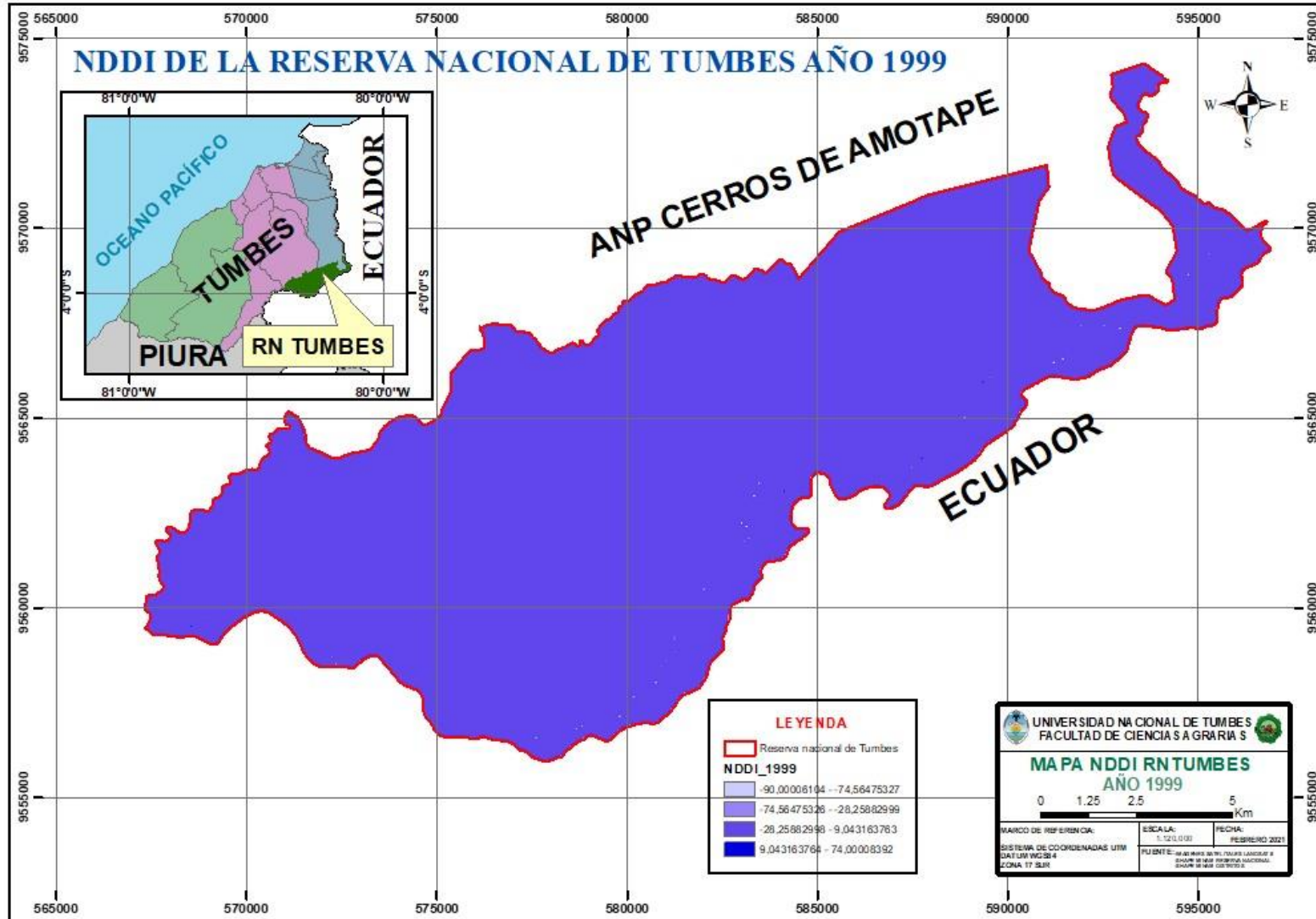
Anexo 32: NDWI de la reserva nacional de Tumbes, año 2019.



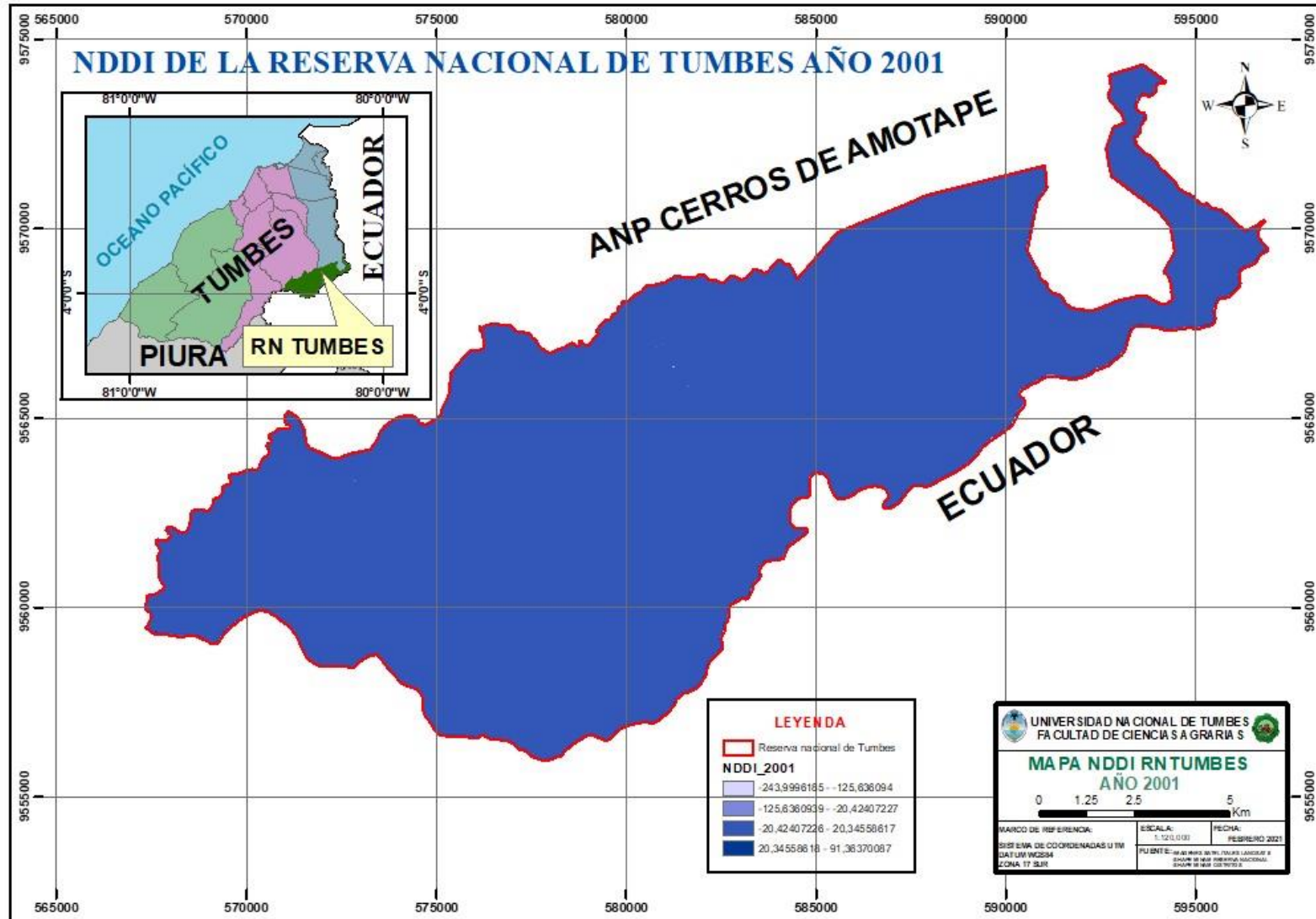
Anexo 33: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 1986.



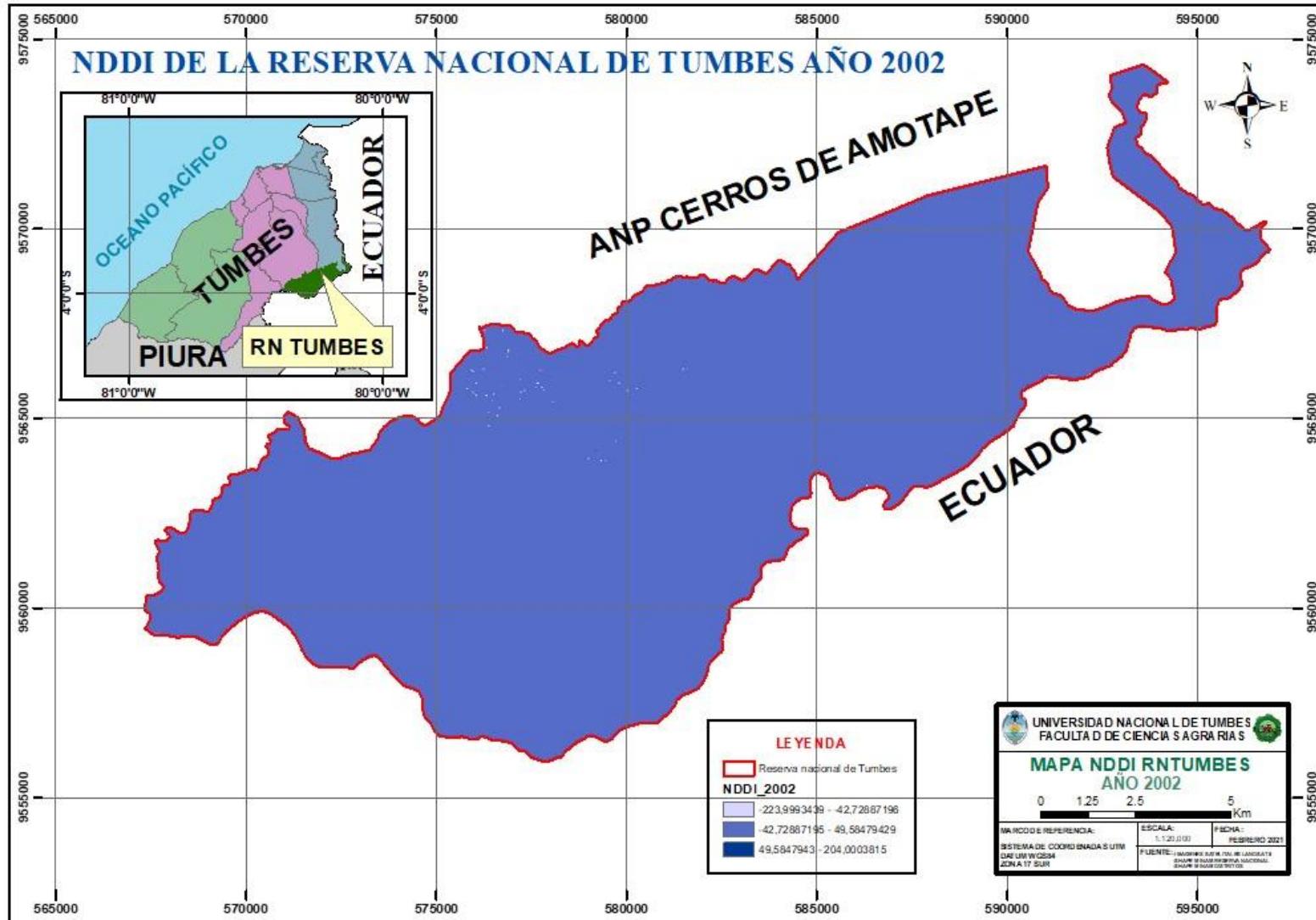
Anexo 34: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 1999.



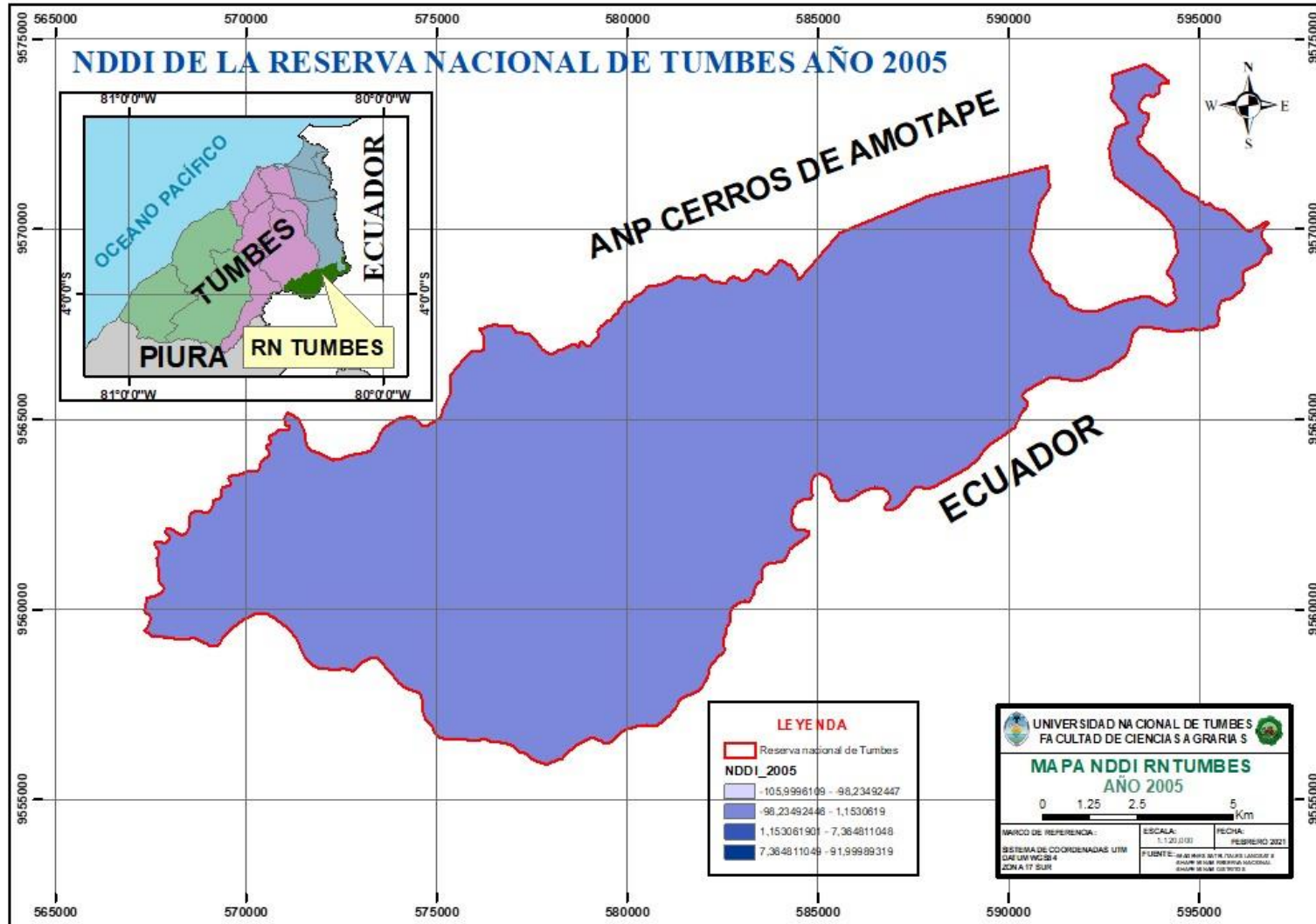
Anexo 35: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2001.



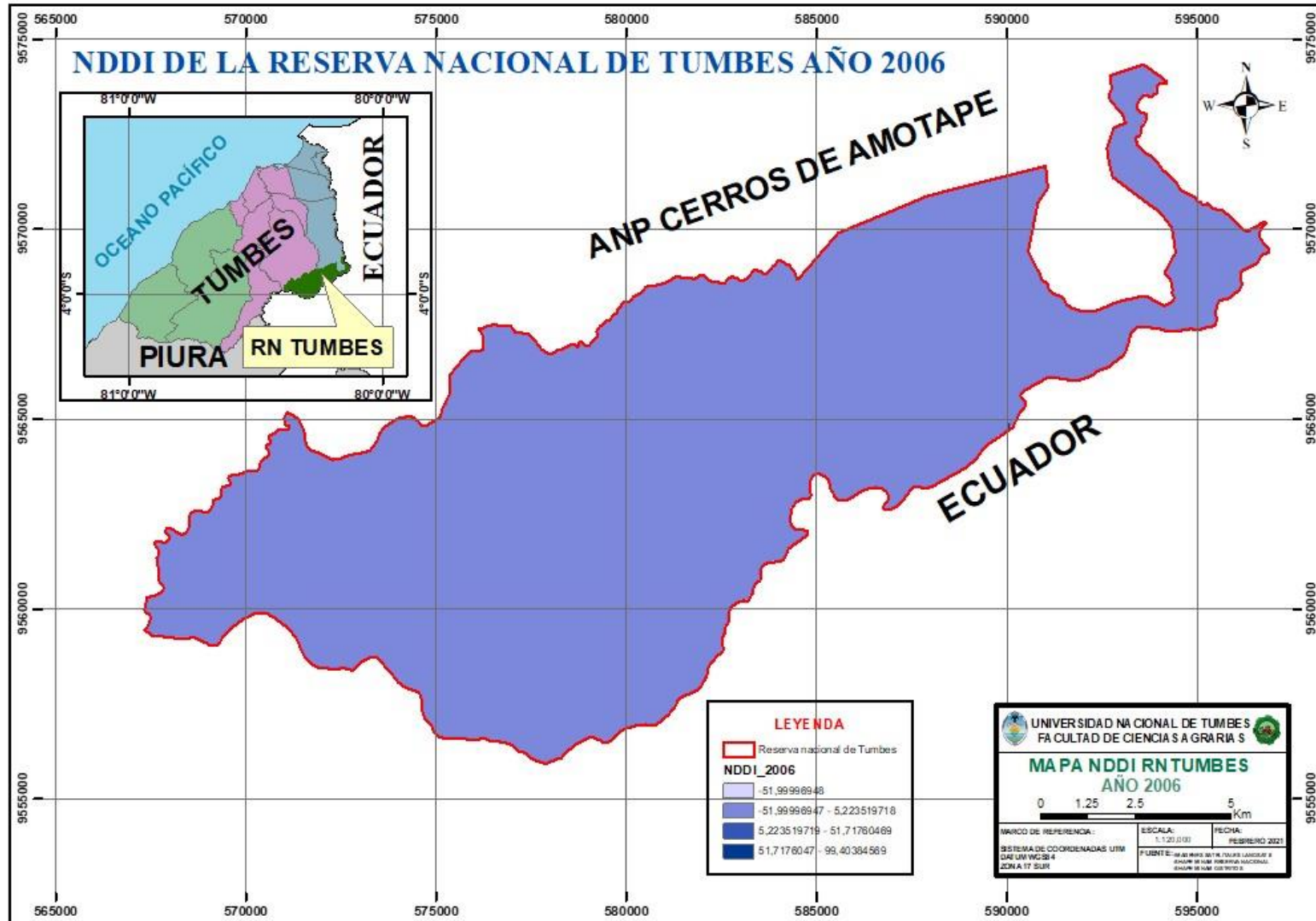
Anexo 36: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2002.



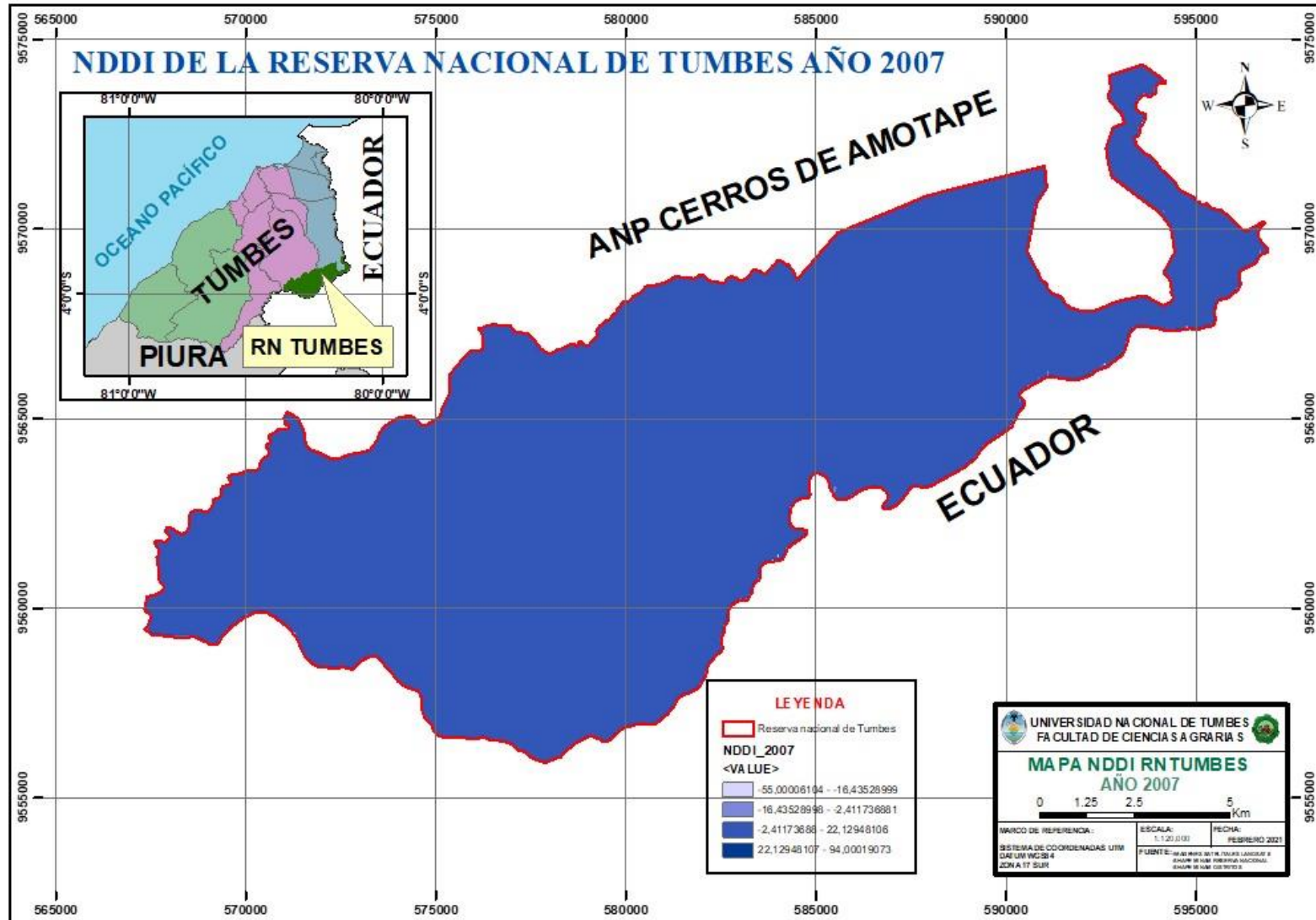
Anexo 38: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2005.



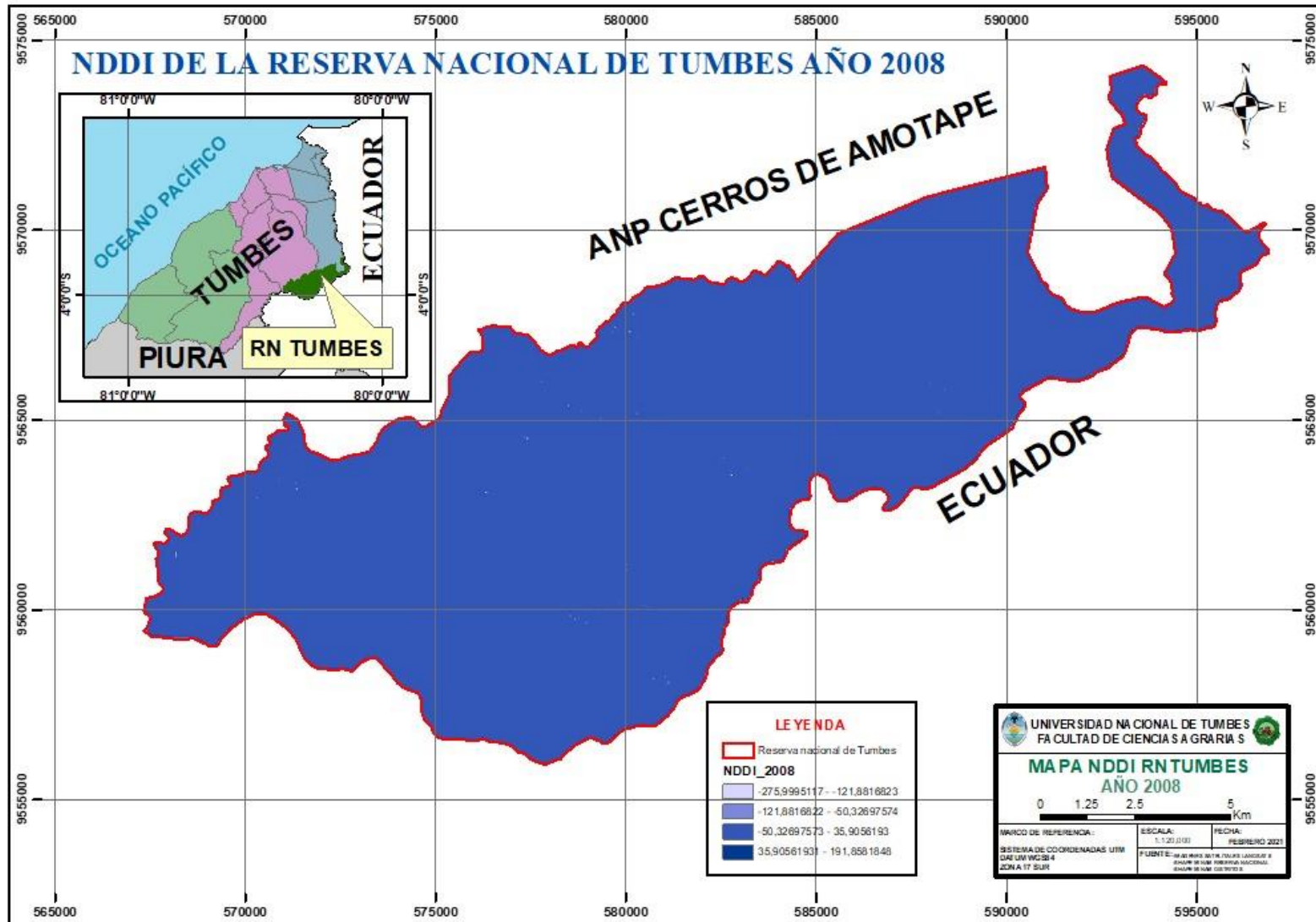
Anexo 39: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2006.



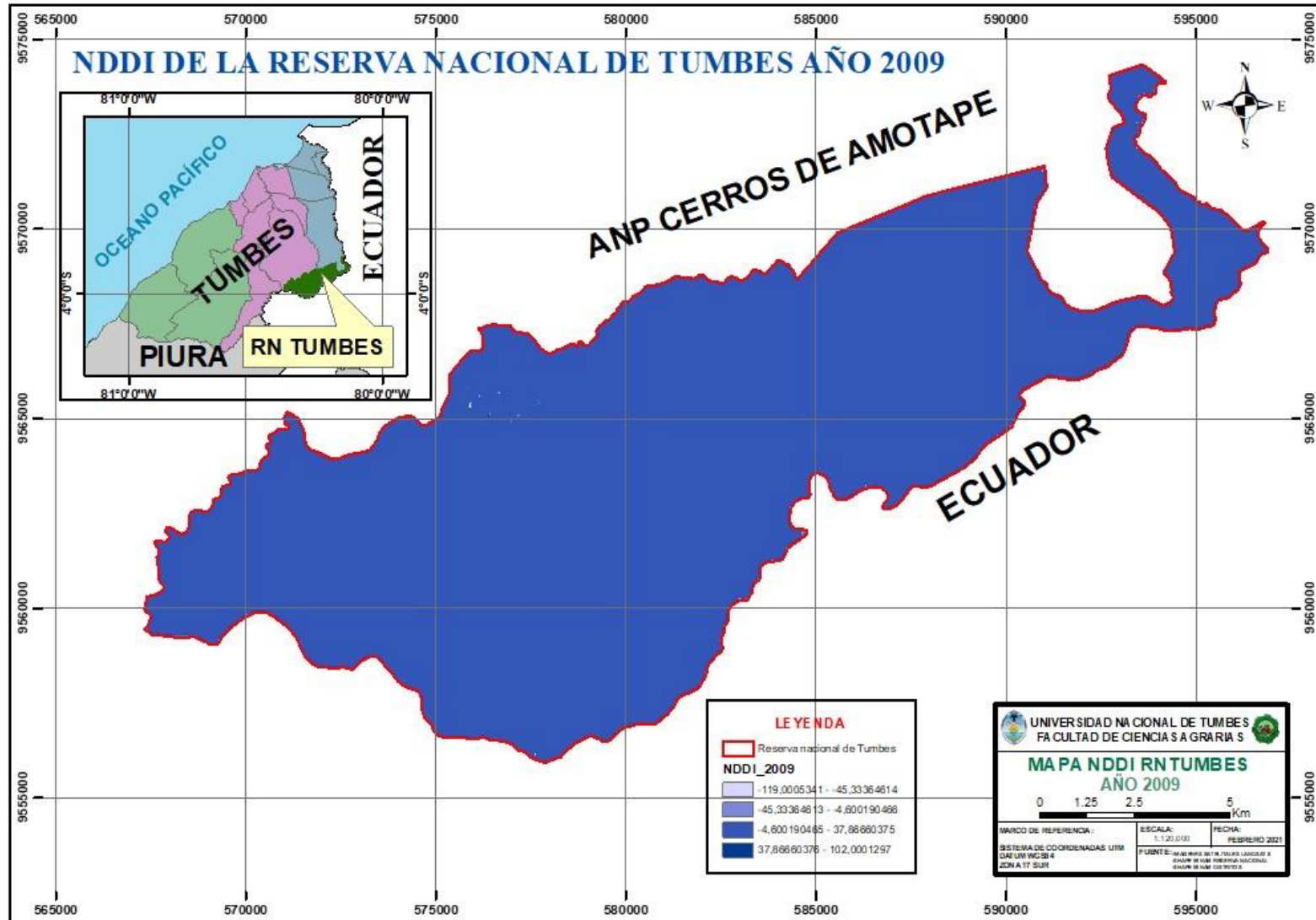
Anexo 40: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2007.



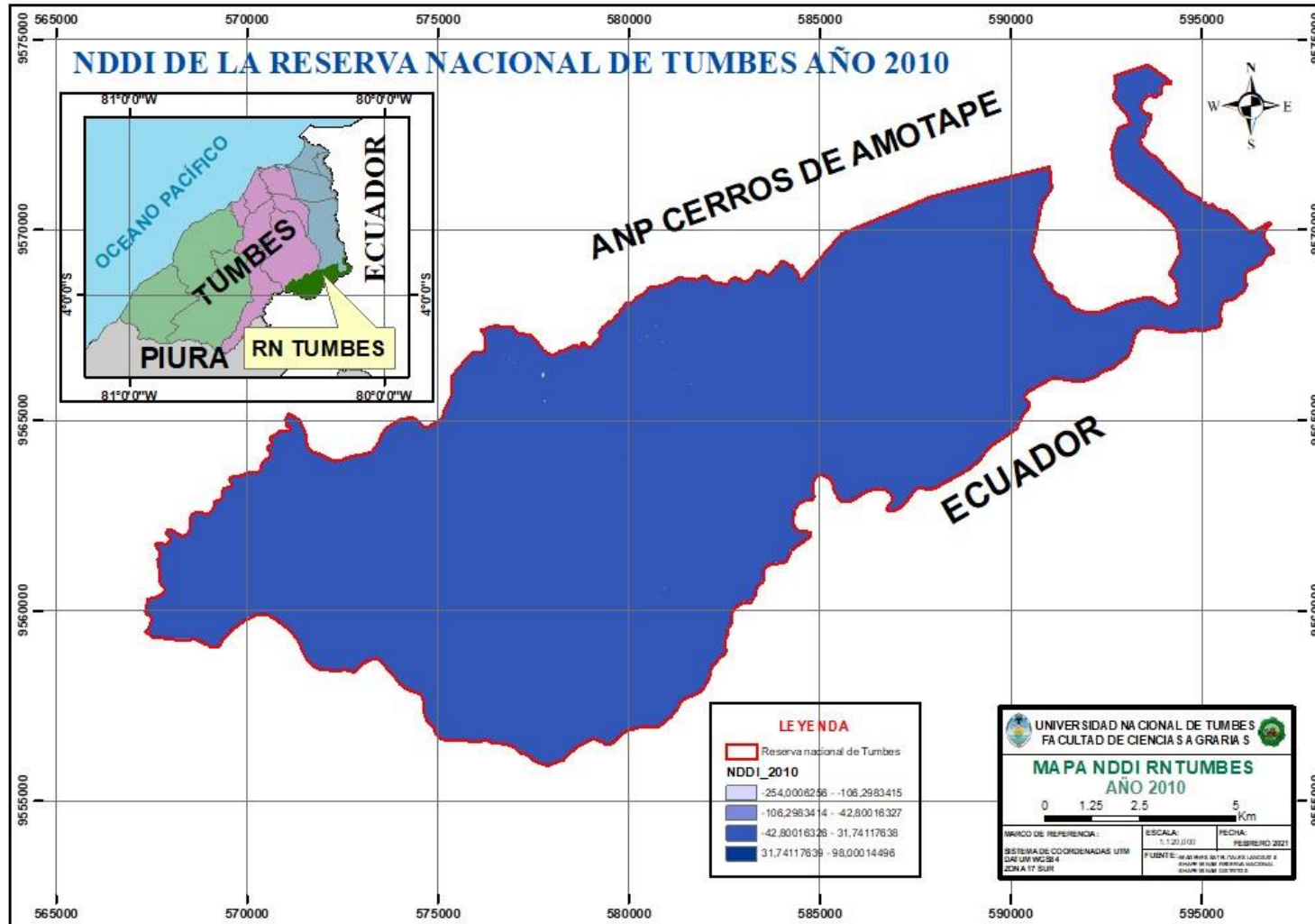
Anexo 41: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2008.



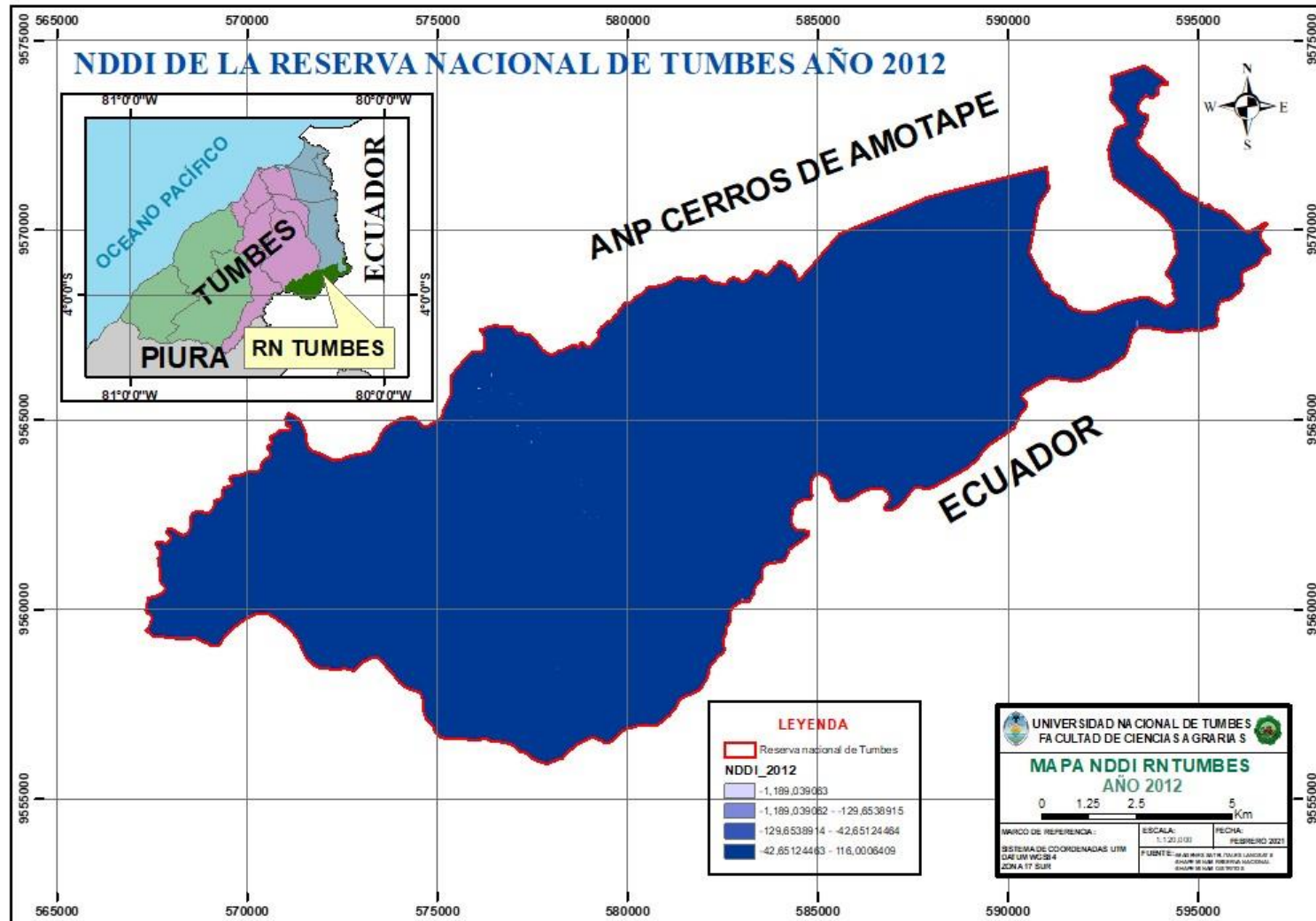
Anexo 42: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2009.



Anexo 43: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2010.



Anexo 44: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2012.



Anexo 46: NDDI de la reserva nacional de Tumbes, año 2019.

