



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL MEDIANTE EL NDVI, Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA PROVINCIA DE LIMA, PERÚ (2000-2019)”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

María de los Ángeles Lisbeth Guerra Cardenas

Asesor:

M.Sc. Daniela Milagros Landa Acuña

Lima - Perú

2020

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor M.Sc. Daniela Milagros Landa Acuña, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Guerra Cardenas, María de los Ángeles Lisbeth

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “ANÁLISIS ESPACIO – TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL MEDIANTE EL NDVI, Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO POBLACIONAL DE LA PROVINCIA DE LIMA, PERÚ (2000-2019)” para aspirar al título profesional de: Ingeniero Ambiental por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

M.Sc. Daniela Milagros Landa Acuña
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante Guerra Cardenas, María de los Ángeles Lisbeth para aspirar al título profesional con la tesis denominada: "Análisis espacio – temporal de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la Provincia de Lima, Perú (2000-2019)

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado
Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos
Jurado

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicado a mis padres
Lenin Guerra y Maritza Cardenas por los valores
y el amor brindado cada día; siendo la base de mi
educación y mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme guiado en mí día a día.

A mi familia por el apoyo que me han brindado todo este tiempo,
convirtiéndolos en fuentes de motivación y superación.

TABLA DE CONTENIDO

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	ii
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Bases Teóricas.....	25
1.2.1. Crecimiento poblacional.....	25
1.2.2. Análisis temporal	25
1.2.3. Imágenes satelitales	25
1.2.4. Percepción Remota	25
1.2.5. Corrección atmosférica.....	26
1.2.6. Corrección geométrica	26
1.2.7. Corrección radiométrica.....	26
1.2.8. Landsat.....	27
1.2.9. Cobertura Vegetal.....	27
1.2.10. Índice de vegetación.....	27
1.2.11. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	27

1.2.12.	<i>ArcGIS</i>	28
1.2.13.	<i>QGIS</i>	28
1.2.14.	<i>ENVI</i>	28
1.2.15.	<i>Model Builder</i>	29
1.3.	Formulación del problema	29
1.3.1.	<i>Problema General</i>	29
1.3.2.	<i>Problemas Específicos</i>	29
1.4.	Justificación.....	30
1.5.	Objetivos	31
1.5.1.	<i>Objetivo General</i>	31
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	31
1.6.	Hipótesis.....	31
1.6.1.	<i>Hipótesis General</i>	31
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA		32
2.1.	Tipo de investigación	32
2.2.	Población.....	32
2.3.	Materiales, Instrumentos y métodos.....	33
2.3.1.	<i>Materiales</i>	33
2.3.2.	<i>Instrumentos</i>	33
2.3.3.	<i>Métodos</i>	34
2.4.	Procedimientos	38
2.4.1.	<i>Zonificación del área de estudio</i>	38
2.4.2.	<i>Obtención de datos</i>	39
2.4.3.	<i>Determinación del Índice de Vegetación de Diferencia normalizada (NDVI)</i>	40
2.4.4.	<i>Determinación de la dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal</i>	43
2.4.5.	<i>Determinación del crecimiento poblacional</i>	44
2.4.6.	<i>Determinación de la dinámica del crecimiento poblacional</i>	45

2.4.7.	<i>Determinación de la relación de las variables en SPSS</i>	45
2.5.	Aspectos éticos.....	46
CAPÍTULO III. RESULTADOS		48
3.1.	Variación del crecimiento poblacional.....	48
3.1.1.	<i>Variación del crecimiento poblacional del área total</i>	48
3.1.2.	<i>Variación del crecimiento poblacional por zonas</i>	48
3.2.	Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal.....	49
3.2.1.	<i>Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal del área total</i>	49
3.2.2.	<i>Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal por zonas</i>	52
3.3.	Correlación entre la población y la cobertura vegetal.....	57
3.3.1.	<i>Correlación entre la cantidad poblacional y las áreas de cobertura vegetal de la superficie total</i>	57
3.3.2.	<i>Correlación entre la cantidad poblacional y las áreas de cobertura vegetal por zonas</i>	59
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		63
4.1.	Discusión.....	63
4.2.	Conclusiones	67
REFERENCIAS		68
ANEXOS		84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales empleados en la investigación	33
Tabla 2. Clasificación de los valores de NDVI	35
Tabla 3. Escala de valores del coeficiente de correlación	37
Tabla 4. Zonificación del área de estudio.....	39
Tabla 5. Hipótesis correlacional	46
Tabla 6. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables	57
Tabla 7. Correlación de Pearson.....	58
Tabla 8. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables por zonas	59
Tabla 9. Correlación de Pearson y Spearman por zonas	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de zonificación del área de estudio	38
Figura 2. Modelo para la determinación del NDVI.....	42
Figura 3. Modelo para la determinación del NDVI por zonas	43
Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento.....	47
Figura 5. Dinámica del crecimiento poblacional del área total	48
Figura 6. Dinámica del crecimiento poblacional por zonas	49
Figura 7. Dinámica de cobertura vegetal del área total	50
Figura 8. Dinámica de la cobertura vegetal y la variación del crecimiento población.....	50
Figura 9. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal del área total	51
Figura 10. Dinámica de cobertura vegetal por zonas	52
Figura 11. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Norte...	53
Figura 12. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Centro .	54
Figura 13. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Este	55
Figura 14. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Sur	56
Figura 15. Diagrama de dispersión de puntos	58
Figura 16. Diagrama de dispersión de puntos por zonas.....	61
Figura 17. Mapa de correlación de por zonas.....	62

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo general para la determinación del NDVI.....	34
Ecuación 2. Cálculo estándar de radiancia espectral para cada píxel (L).....	35
Ecuación 3. Cálculo de NDVI para Landsat 8	41
Ecuación 4. Cálculo de NDVI para Landsat 7	41
Ecuación 5. Cálculo de tasa de cambio medio	43
Ecuación 6. Cálculo para la tasa de crecimiento anual.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia del trabajo de investigación	84
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables.....	85
Anexo 3. Tabla de datos que dan origen a las gráficas	86
Anexo 4. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2000	87
Anexo 5. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2001	88
Anexo 6. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2002	89
Anexo 7. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2003	90
Anexo 8. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2004	91
Anexo 9. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2005	92
Anexo 10. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2006	93
Anexo 11. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2007	94
Anexo 12. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2008	95
Anexo 13. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2009	96
Anexo 14. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2010	97
Anexo 15. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2011	98
Anexo 16. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2012	99
Anexo 17. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2013	100
Anexo 18. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2014	101
Anexo 19. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2015	102
Anexo 20. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2016	103
Anexo 21. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2017	104
Anexo 22. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2018	105
Anexo 23. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2019	106

RESUMEN

Los cambios de cobertura vegetal son provocados por factores naturales, climáticos y antrópicos, siendo este último el más predominante en territorios urbanos; en donde, se encuentra el crecimiento poblacional; el cual, se desconoce su influencia sobre las coberturas vegetales. Por ello, el presente estudio tiene como finalidad realizar un análisis espacio temporal de la cobertura vegetal y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, en el periodo 2000 – 2019. Con este propósito, se empleó un diseño descriptivo correlacional; en donde, las variables en estudio fueron analizadas en pruebas estadísticas para determinar la relación entre ambas. La cobertura vegetal fue calculada a través de la técnica del NDVI; para ello, se hizo uso de imágenes satelitales con previo tratamiento de datos; mientras que, la cantidad poblacional fue adquirida de los censos nacionales. La prueba correlacional entre las variables, mostró una relación de tipo negativa alta; además, se evidenció un descenso de la cobertura vegetal de 1.73% en toda la extensión del área de estudio. La provincia de Lima presentó un descenso de 2769.5 Ha en cobertura vegetal; además, estas coberturas presentan una relación del 86% con el crecimiento poblacional.

Palabras clave: Crecimiento poblacional, cobertura vegetal, NDVI, percepción remota

SUMMARY

Changes in vegetation cover are caused by natural, climatic and anthropic factors, the latter being the most predominant in urban territories; where, is the population growth; which, its influence on the vegetal covers is unknown. Therefore, the present study aims to perform a spatial-temporal analysis of the vegetation cover and its relationship with the population growth of the province of Lima, in the period 2000 - 2019. For this purpose, a correlational descriptive design was used; where, the variables under study were analyzed in statistical tests to determine the relationship between both. The vegetation cover was calculated through the NDVI technique; For this, satellite images were used with previous data processing; while, the population quantity was acquired from the national censuses. The correlational test between the variables showed a high negative relationship; Furthermore, a 1.73% decrease in vegetation cover was observed throughout the study area. The province of Lima presented a decrease of 2769.5 Ha in vegetation cover; furthermore, these coverages show an 86% relationship with population growth.

Keywords: Population growth, vegetation cover, NDVI, remote perception

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El fenómeno poblacional a nivel mundial ha generado la reorganización de los territorios, estos cambios son debidos al crecimiento poblacional que se presenta (Manzano y Velazquez, 2015). Según la ONU, la tasa de crecimiento anual de la población en los últimos años es del 1.1% a nivel mundial; en donde, África Oriental y América Latina desarrollan mayor ascenso poblacional en referencia a los otros territorios (Organización de las Naciones Unidas – ONU, 2020), este crecimiento se ve reflejado con las actividades antrópicas que provocan distintos impactos en los medios naturales (Rezende, Carneiro, Campos, y Mauad, 2018).

Los impactos más relevantes generados por el crecimiento poblacional son la pérdida de superficies forestales, pérdida de la identidad cultural de los pueblos indígenas (Baiafonte, Domina, Raimondo, y Bazan, 2015), pérdida de la biodiversidad (Sierra, Flores, y Pérez, 2018), inactividad de los ecosistemas por la sobreexplotación de recursos y deterioro de la cobertura vegetal (Morales, 2019).

En las últimas décadas se ha evidenciado que la tasa de pérdida de cobertura se encuentra en el rango de 0.2% a 0.6% anual; el cual, corresponde a vegetales como matorrales bosques, pastizales y agricultura (Sahagún y Reyes, 2018). La provincia de Lima también presenta impactos en la cobertura vegetal generados por el crecimiento poblacional; según el INEI, el Perú tiene en toda su extensión 29 381 884 habitantes, donde la provincia de Lima representa el 29.2%; siendo la población urbana la más representativa con un 99.9% (Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, 2017).

Uno de los problemas presentes en Lima son las invasiones de ecosistemas frágiles como las lomas; puesto que la población busca habitar en estas coberturas vegetales; además, para satisfacer las necesidades de la población limeña, se construyen infraestructuras grises como los servicios de saneamiento y carreteras, afectando la cobertura vegetal del territorio (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD, 2018). Otro impacto que se evidencia por la pérdida de cobertura vegetal en Lima, son los deslizamientos de masas que ocurren en las laderas del territorio (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, 2018); además, la pérdida de cobertura agrícola es evidenciada en las zonas bajas de las cuencas de CHIRILU y en los valles (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, 2016).

Ante los problemas evidenciados por el crecimiento poblacional en los usos de suelo, es necesario comprender la dinámica población - cobertura vegetal; para ello, se necesita realizar estudios en base a tiempo y espacio (Siddiqui, *et al.*, 2018); por ello, es preciso el uso de imágenes satelitales; debido a que presentan datos espaciales a diferentes tiempos, el cual permite cuantificar y caracterizar las coberturas territoriales (Palacios, Zárate, Minaya, Martín, y Benavides, 2020).

La manipulación de las imágenes satelitales se da en la actualidad con mayor facilidad mediante diversos programas como el ArcGIS (Palacios, *et al.*, 2020); además, para la precisa determinación de la cobertura vegetal es necesario emplear índices de vegetación como el NDVI; el cual, está fundamentado en operaciones algebraicas de estas imágenes satelitales (Maldonado, Alatorre, y Torres, 2015).

La presente investigación, se basa en artículos científicos internacionales y nacionales, con relación a los cambios que produce el crecimiento poblacional en la cobertura vegetal, estos artículos son presentados a continuación:

Soares, De Morais, Alves, y Martins (2020), efectuaron un estudio a fin de evaluar la dinámica espacio – temporal en una zona urbana. Para ello, hicieron uso de la teledetección con un periodo de 27 años de análisis; además, para el cálculo de la expansión de áreas agrícolas y la determinación de áreas boscosas del lugar se realizó mediante el NDVI, que para su correcta aplicación, se emplearon criterios de selección en las imágenes satelitales utilizadas de Landsat 5; como son la nubosidad, temporada del año, corrección de imágenes, entre otros; asimismo, para el análisis del uso del suelo se realizó la clasificación no supervisada de estas imágenes. El estudio evidenció que en el periodo de estudio de 1986 – 2011, la cobertura boscosa nativa presentó pérdidas del 74.56 % en toda su extensión; sin embargo, las áreas de cultivo presentaron un aumento del 50.03 %. La reducción de las áreas boscosas nativas fue generada por el crecimiento de las urbanizaciones y sus actividades primarias; como la agricultura.

Salinas, Martínez, y Morales (2017), llevaron a cabo una investigación con el propósito de diagnosticar cambios en el comportamiento del NDVI de una península. Para ello, emplearon la técnica de percepción remota en un periodo de 15 años mediante el uso de imágenes satelitales de tipo MODIS; en donde, las bandas ejecutadas para la clasificación de la cobertura fueron las cercanas al infrarrojo y la banda visible; además, para los datos del NDVI, aplicaron la técnica de mosaico de las imágenes para el cálculo promedio de 16 días y de esta manera trabajar sobre una base mensual para su análisis espacio – temporal. La investigación arrojó tendencias

negativas del NDVI en áreas naturales protegidas y en áreas próximas a zonas urbanas; sin embargo, esos cambios no fueron significativos porque no superaron el 1%. También se identificó que los factores demográficos y los factores económicos (turismo) influyen en la negatividad del NDVI.

Gómez (2018), efectuó un estudio a fin de identificar la variabilidad de las cubiertas vegetales en un periodo de 27 años, con énfasis en el crecimiento urbano. Por tal motivo, empleó la técnica de teledetección a través del uso de imágenes satelitales Landsat 8 y Landsat 5; asimismo, realizó un análisis de firmas espectrales para la posterior categorización de las cubiertas más representativas; además, la clasificación empleada fue de tipo supervisado en las imágenes; por otra parte, utilizó datos estadísticos para el análisis del crecimiento poblacional. El estudio identificó que las cubiertas vegetales han presentado una pérdida de 329.49 Ha y el crecimiento urbano presentó una ganancia de 459.99 Ha en el territorio de estudio. En consecuencia, la capacidad de las coberturas vegetales fue afectada por la densidad poblacional; además, se identificó que este impacto es mayor en las zonas con menor pendiente.

De Amorim y Sabóia (2019), realizaron una investigación que tuvo como finalidad realizar un análisis temporal de la cobertura vegetal en una cuenca hidrográfica, con relación a las actividades humanas. Para ello, trabajaron con la técnica de teledetección en un periodo de 14 años; a través de imágenes satelitales de Landsat 5 y Landsat 8; en donde, se realizó el método de corrección atmosférica y radiométrica para la reclasificación mediante la ecuación NDVI; asimismo, los datos económicos fueron adquiridos del IBGE. La investigación identificó que hubo pérdidas en la vegetación; como es el caso de los cultivos estacionales y cultivos permanentes, ambos con un

descenso de 94% y 72% respectivamente. En consecuencia, estos cambios fueron originados por las actividades económicas desarrolladas en la zona.

Hernández, *et al.* (2016), llevaron a cabo un estudio con la intención de conocer la relación entre el impacto de la urbanización sobre los ecosistemas naturales. Por lo cual, hicieron uso de imágenes satelitales Landsat ETM y OLI multiespectral para un periodo de 15 años, estas imágenes fueron sometidas a correcciones geométrica, radiométricas y atmosféricas; con la ayuda del programa ENVI; además, emplearon el método de clasificación supervisada para la cobertura vegetal y el uso del suelo; asimismo, el índice de vegetación fue calculado mediante el NDVI. El estudio mostró que el área urbana había presentado un incremento del 51% extendiéndose sobre la vegetación nativa que presentó impactos negativos en ella. Se identificó también que la vegetación colindante a áreas urbanas, presentan un mayor impacto negativo; es decir, la cercanía de estas áreas produce un decrecimiento en la calidad de la vegetación.

Ruiz, Orozco, Granados, y Álvarez (2017), realizaron una investigación con la finalidad de determinar el cambio de uso de suelo y el NDVI, en una subcuenca. Por tal motivo, emplearon imágenes satelitales Landsat 5 teniendo en consideración la temporada del año y la escasa presencia de nubosidad para un adecuado proceso; además, la clasificación y combinación de bandas fueron realizados en el software Idrisi Selva; asimismo, se realizó el cálculo del NDVI para cada pixel de las imágenes obtenidas, considerando la reflectividad de las bandas infrarrojo cercano y rojo. La investigación muestra un aumento en las cubiertas agrícolas de riego, pastizales y en la zona urbana; y disminución en las superficies boscosas y áreas agrícolas de temporadas. Se identificó que las actividades rurales estaban influenciadas de manera

negativa en la cobertura debido a la agricultura, ganadería, extracción de maderas y las viviendas.

Li, Cao, Long, Liu, y Li (2017), efectuaron un estudio a fin de detectar los recientes cambios ambientales basados en los datos más recientes. Por ello, realizaron el análisis LUCC basado en la teledetección para la identificación de tendencias temporales y distribución geográfica, por tal motivo, se hizo uso de imágenes satelitales Landsat para los años 1990 – 2010; además, el cálculo del NDVI se efectuó mediante el MVC para la minimización de efectos atmosféricos, efectos del ángulo cenital solar y efectos de ángulo de escaneo; asimismo, se empleó la técnica MK para la detección de la tendencia del NDVI para los años 2000 – 2014. El estudio mostró que la cobertura del suelo cambió de forma moderada durante el periodo 1990 – 2010; y los valores del NDVI muestran una afectación en la cobertura vegetal a un ritmo de 0.00076-0.0117 km²/año de vegetación. Se identificó que el cambio climático y las actividades humanas, están afectando la cobertura vegetal; además, señalaron que las afectaciones a la cubierta ecológica son mayores cuando la textura del suelo es arenosa.

Jaramillo y Antunes (2018), llevaron a cabo un estudio con la intención de identificar cambios en la cobertura boscosa. Por lo cual, hicieron uso de la teledetección a través del empleo de imágenes satelitales Landsat pertenecientes a las bandas rojo (R) e infrarrojo cercano (NIR) para dos periodos de estudio; además, las imágenes fueron sometidas a correcciones radiométricas, geométricas y atmosféricas; a fin de reducir las distorsiones de las imágenes, evitar falsas alteraciones de cambios y generar valores de reflectancia en las superficies; posterior a ello, procedieron a clasificar las coberturas para su análisis. El estudio mostró que las coberturas que disminuyeron con mayor rapidez fueron los bosques, arbustos y herbáceas, a una tasa de 9.5 % / año. Se

identificó que, para una buena validación en los cambios de cobertura vegetal, es preciso usar la técnica de Redes Neuronales Artificiales (RNAs).

Flórez, Rincon, Cardona, y Alzate (2016), realizaron una investigación con el propósito de realizar un análisis multitemporal de las coberturas vegetales en áreas de influencia de minas. Por tal motivo, trabajaron con Sistemas de Información Geográfica como herramienta principal, hicieron uso de imágenes aéreas correspondientes al año 1998 y se empleó cartografías de uso del suelo; los datos adquiridos fueron procesados y sistematizados en el software ArcGIS. La investigación evidenció que en el periodo de 1998 – 2014, las coberturas boscosas disminuyeron a una tasa de 0.31 km²/año; sin embargo, los pastizales aumentaron a una tasa de 0.42 Km²/año; debido a planes de restauración aplicadas por las actividades mineras. Se identificó que el sistema productivo que genera mayor impacto sobre la cobertura boscosa, es la producción pecuaria; debido a la ampliación que ha venido desarrollando en el área de estudio.

Da Silva, Parodi, Silva, y Opazo (2019), realizaron una investigación con el propósito de realizar un análisis del estado vegetativo de una cuenca en un periodo de 24 años. Para ello, emplearon imágenes satelitales Landsat 5; con la menor cantidad de nubes posibles para que no dificulte la identificación de objetos sobre la superficie; para la posterior calibración radiométrica; además el NDVI fue obtenido del cálculo de la reflectancia infrarrojo cercano y rojo; y el cálculo del índice de vegetación ajustado de suelo – SAVI, mantiene el valor del NDVI entre -1 y +1; asimismo, la clasificación efectuada fue de tipo supervisada tanto para NDVI y el SAVI; en donde, los valores positivos reflejaban una mayor concentración de cobertura vegetal y los valores positivos más bajos reflejaban una menor concentración de cobertura. El estudio

identificó que la cobertura de mayor densidad presentó pérdidas en la vegetación del 4.91%. Se identificó que las coberturas vegetales de una cuenca son las más sensibles ante las actividades humanas; debido a que se realiza la tala de árboles.

Mendoza (2020), efectuó un estudio a fin de identificar los índices de área verde y cobertura vegetal, en una zona urbana. Por tal motivo, empleó la técnica de la teledetección en imágenes multiespectrales; en donde, aplicó el índice de diferencia normalizada – NDVI para la identificación de coberturas vegetales y proceder a la clasificación de estas mismas en arbórea y arbustos; además, se hizo uso del software SIG para conocer mediante una intersección espacial los tipos de vegetación presentes en áreas públicas o privadas. El estudio evidenció que la vegetación arbórea representó el 7.3 % en espacios privados y 29.2 % en espacios públicos; asimismo, la vegetación arbustiva presentó 31.9 % en lugares públicos y privados. Se identificó que una ciudad con pendientes bajas presenta mayor cobertura arbustiva; además, las infraestructuras grises desfasan a las coberturas vegetales

Loayza, Mercedes, Mesta, y Quiliche (2017), realizaron una investigación con la finalidad de evaluar la expansión urbana y las alteraciones de la cobertura vegetal. Para ello, hicieron uso de imágenes satelitales Landsat 7 en un periodo de estudio de 1986 – 2014, estas imágenes fueron procesadas a través del programa LeoWorks con la combinación de diferentes bandas; del mismo modo, generaron el índice de vegetación normalizada – NDVI y realizaron una clasificación supervisada de las imágenes para su posterior análisis. La investigación arrojó que la cobertura vegetal tuvo un descenso del 10.2 %; mientras que el área urbana incrementó en un 6.8 % en el periodo de estudio. Se evidenció que el descenso de la cobertura vegetal es debido al crecimiento poblacional y a la migración de las zonas alto andinas.

Rojas, Castillo, Maicelo, Oliva, y Salas (2019), llevaron a cabo una investigación con el propósito de evaluar los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo. Por ello, se empleó la técnica de percepción remota mediante imágenes satelitales Landsat que se les aplicó la corrección atmosférica, radiométrica y geométrica a las bandas; además, emplearon el método de clasificación supervisada, la clasificación fue realizada en base a las firmas espectrales. La investigación reveló que durante el periodo de estudio de 1987 – 2016, se generó una pérdida total de 918,59 km² de cobertura boscosa. Las pérdidas generadas son debido a las actividades agrícolas, ganaderas y el crecimiento agrícola migratoria.

Flores, Castro, y Aponte (2020), efectuaron un estudio a fin de analizar los cambios en la cobertura vegetal mediante el uso del NDVI. Por ello, se empleó la técnica de percepción remota y Sistemas de Información Geográficas; asimismo, se obtuvieron imágenes satelitales que fueron sometidas a la corrección geométrica y técnicas de realce; además, se realizó una clasificación no supervisada para la posterior obtención de las firmas espectrales; del mismo modo, se empleó la clasificación supervisada y el método de máxima verosimilitud. El estudio determinó que las coberturas densas disminuyeron de 130 Ha a 40 Ha y las coberturas sin vegetación aumentaron de 38 Ha a 100.3 Ha, en el periodo de análisis de 14 años. Los autores concluyeron que el incremento del área sin vegetación es una muestra de cómo el cambio de uso de suelo generado por diferentes actividades humanas, pueden afectar a cubiertas vegetales.

Muñoz y Navarro (2016) realizaron una investigación que tuvo como finalidad identificar la variabilidad espacio – temporal de NDVI relacionado con la deforestación. Por lo cual, los datos de NDVI fueron pre procesados con las

herramientas MODIS y la imagen del área de estudio fue formado por la fusión de mosaicos mediante la técnica de pantalla dividida para proceder a la interpolación espacial necesaria. La investigación obtuvo una periodicidad de alta frecuencia de 2,8 meses; la cual, presentó una variación en la vegetación estacional del 54 %. Se identificó que las actividades antrópicas en la selva, generan pérdidas en las coberturas boscosas, esto fue demostrado mediante el NDVI en el estudio espacio - temporal; además, indicaron que este procedimiento sirve para aplicar medidas de supervisión ante delitos ambientales.

Palacios, *et al.* (2020), efectuaron un estudio con la finalidad de determinar un escenario predictivo para la pérdida de bosques. Por lo cual, emplearon imágenes satelitales de Landsat 5 y Landsat 8, obtenidas del USGS, para su posterior procesamiento en la plataforma Google Earth Engine; asimismo, el cálculo y clasificación del NDVI se realizó con los raster de reflectancia. El estudio determinó que en el periodo de 1999 – 2018, que las áreas urbanas aumentaron en 1.29 km²/año y los bosques disminuyeron en 0.87 km²/año; además, la predicción realizada para el año 2029, indica que la cobertura vegetal se seguirá perdiendo debido a las actividades primarias desarrolladas por el hombre. Se identificó la cobertura vegetal ha estado en descenso y según el pronóstico presentado, seguirá descendiendo; siempre y cuando, no se realice planificación en cuanto al crecimiento urbano.

1.2. Bases Teóricas

1.2.1. Crecimiento poblacional

Es una variable que determina la magnitud del aumento poblacional en función de un tiempo específico; ya sea, anual o mensual, el modelo que proyecta es un ascenso exponencial (Redondo, *et al.*, 2018). La variable es determinada en porcentaje o en densidad, esta última expresa el crecimiento poblacional a nivel espacial (Fuenzalida, Buzai, Moreno, y García, 2015).

1.2.2. Análisis temporal

Es el proceso que se realiza para identificar fenómenos, evolución, pérdidas o incremento de un objeto en estudio, en diferentes tiempos, sea mensual o anual (INGEMMET, 2015). Para llevar a cabo este proceso, es necesario contar con la información temporal del objeto en estudio (Fuenzalida, *et al.*, 2015).

1.2.3. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son productos que contienen valores de reflectancia de la cobertura terrestre, la información que contienen estas imágenes son provenientes de los sensores remotos (Mieza, Kovac, y Martínez, 2012). La clasificación de estas imágenes puede darse por la resolución espacial, estas imágenes brindan información espacial que se utilizan para monitorear las características de la tierra (Dellepiane, 2017).

1.2.4. Percepción Remota

Es un procedimiento o técnica para adquirir información espacial de una materia en estudio, este puede ser un espacio territorial, océano gráfico o datos climáticos, esto se realiza a través de las imágenes provenientes de sensores satelitales (Pérez y Muñoz,

2006); además, a esta técnica se suma las actividades de tratamiento de datos y la fotointerpretación (Chuvienco, 2008).

1.2.5. Corrección atmosférica

Es un procesamiento que involucra la remoción de componentes atmosféricos como los aerosoles y vapor de agua, para que se pueda percibir la reflectancia de un objeto en estudio como los cuerpos de agua, superficies continentales y superficies vegetales (Souza, *et al.*, 2017); además, este proceso se antepone a actividades cuantitativas (Hagolle, Huc, Villa, y Dedieu, 2015).

1.2.6. Corrección geométrica

Este proceso corrige los errores geométricos presentes en una imagen, causados por la inclinación del sensor, topografía y errores sistemáticos. Esta parte del proceso es importante; ya que, determinara la posición precisa de las imágenes satelitales en el área de análisis (Santos, *et al.*, 2011). Según Ambrosio, González, y Arévalo (2016), estas correcciones son aplicadas a las coordenadas de los píxeles de la imagen errónea; para ello, requiere de una imagen referenciada o puntos de control.

1.2.7. Corrección radiométrica

Es un proceso para tratar los valores de píxel de una imagen satelital a valores de intensidad homogéneos (Ambrosio, *et al.*, 2016), también se considera la corrección de las imperfecciones presentes en los píxeles originados de las fallas de los sensores; además, la corrección se da con ayuda de los píxeles vecinos (Montes, 2019).

1.2.8. Landsat

Es un satélite emitido por la NASA y el USGS; el cual, cumple con la función de observar la superficie terrestre y registrar datos a través de sensores incluidos en ella (Loveland y Irons, 2016); asimismo, las observaciones son registradas con una frecuencia de ocho días (Ke, Im, Lee, Gong, y Ryu, 2015). Las últimas modificaciones del satélite están basadas en la mejora de calibración, mayor resolución y una geometría espacial más exacta (Roy, *et al.*, 2016).

1.2.9. Cobertura Vegetal

Son unidades vegetales que conforman un ecosistema, estas unidades son clasificadas en función al relieve y al clima del territorio; se tiene como ejemplo, a los bosques, herbáceas, pajonales, bofedales, pastizales, entre otras (Ministerio del Ambiente – MINAM, 2015). Además, las coberturas vegetales son reguladores hídricos dentro de un servicio ecosistémico (Cerron, Castillo, Bonesoeur, Peralvo, y Mathes, 2019).

1.2.10. Índice de vegetación

Es una herramienta que permite determinar la cobertura vegetal de un territorio mediante el proceso de datos satelitales que interpretan la reflectancia de la cobertura vegetal (Meera, Parthiban, Thummalu, y Christy, 2015). Estos índices son determinados a partir de la combinación de bandas espectrales provenientes de imágenes satelitales (Gonzaga, 2015).

1.2.11. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El NDVI es un índice que permite estimar la superficie con vegetación, este resultado es debido al proceso multiespectral (Arabameri y Reza, 2019); también es conocida

por los valores espectrales -1 a 1; el cual indica el comportamiento fotosintético de la cobertura vegetal, aquellos que se encuentren próximos a 1, son considerados como cobertura vigorosa (García y Gutierrez, 2015).

1.2.12. ArcGIS

Es un software diseñado para procesar informaciones geográficas, el servidor se encuentra a nivel Desktop, web, tablets y móvil (Pucha, 2017). Además, cumple la función de interpretar y extraer información de fuentes digitales complejas; como el Geotiff, imágenes satelitales, entre otros (Abulizi, Kawamura, Tomiyama, y Fujita, 2016).

1.2.13. QGIS

También conocido como Quantum Gis, es un software de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac Os y Microsoft Windows; dentro de ello, se manejan formatos “Raster” y “vectoriales”; así como también, bases de datos (Novara, 2011). Además, este software está desarrollado en lenguaje de programación C++ (Garay y Agüero, 2013).

1.2.14. ENVI

Es un software especialista en el análisis y procesamiento de imágenes geoespaciales; dentro de este, se integra herramientas y flujos de trabajo automatizados que pueden integrarse con mayor facilidad a las dificultades de otros programas (Esri, 2015). Está construido sobre el lenguaje IDL (Interactive Data Language), este lenguaje de programación científico es utilizado en todas las disciplinas para crear visualizaciones significativas de datos numéricos complejos (Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI, 2018).

1.2.15. Model Builder

Es una aplicación perteneciente al software ArcGIS, se utiliza para crear, editar y administrar modelos (ArcMap, 2016). La secuencia de estos modelos presenta herramientas de geoprocésamiento; además, esta aplicación es considerado como un lenguaje de programación visual para crear diagrama de flujos (Schaller y Mattos, 2009).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

¿Cómo es la dinámica de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019)?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la variación temporal del crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019)?
- ¿Cuál es la dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal mediante el análisis del NDVI de la provincia de Lima, Perú (2000-2019)?
- ¿Cuál es el grado de correlación entre el crecimiento poblacional y la cobertura vegetal a total y por zonas de la provincia de Lima, Perú (2000-2019)?

1.4. Justificación

El crecimiento poblacional es una situación que afecta a todos los territorios, tanto rurales como urbanos, este fenómeno provoca cambios en los usos del suelo reemplazando las coberturas vegetales por infraestructuras grises. Estas modificaciones pueden ser percibidas mediante la disminución de áreas agrícolas, pérdida de lomas costeras, descenso de pastizales, entre otros.

La pérdida de cobertura vegetal genera impactos como el aumento del grado de evapotranspiración, migración de la fauna y desequilibrios en la regulación térmica; asimismo, el impacto geográfico más preocupante ante la pérdida de esta cobertura es el aumento de la vulnerabilidad territorial ante deslizamiento de masas debido a la pérdida de la estabilidad física.

Es por ello, que resulta de interés identificar las zonas vegetativas que han sido alteradas por efecto del crecimiento poblacional; además, cabe la necesidad de conocer el impacto del crecimiento poblacional en las coberturas vegetales; todo esto, mediante un análisis espacio – temporal; en donde, los resultados aportarán a la literatura científica; del mismo modo, se busca comprender los cambios evolutivos de la cobertura vegetal de la provincia de Lima.

Asimismo, la investigación contribuirá con los mecanismos de planificación urbana y la determinación de acciones eficientes en el manejo de uso de suelos de la provincia de Lima; ya que, permitirá conocer la relación e impacto del crecimiento poblacional con la cobertura vegetal. Por último, el estudio aportará a la conservación y protección de recursos vegetales; debido a que permitirá identificar las coberturas vegetales amenazadas por el crecimiento poblacional; y ante ello, se podrán aplicar medidas

preventivas, correctivas o compensatorias, para mantener la sostenibilidad de este recurso.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Analizar de manera espacio temporal la dinámica de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019).

1.5.2. Objetivos Específicos

- Conocer la variación temporal del crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019).
- Conocer la dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal mediante el NDVI de la provincia de Lima, Perú (2000-2019).
- Determinar el grado de correlación entre el crecimiento poblacional y la cobertura vegetal a nivel total y por zonas de la provincia de Lima, Perú (2000-2019).

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

Existe una relación estrecha entre la disminución de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019).

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo – correlacional – no experimental:

Descriptivo debido a que se realizará un análisis espacio – temporal de las variables; correlacional – causal, puesto que se buscará el efecto y el grado de relación entre el crecimiento poblacional y la cobertura vegetal; no experimental – longitudinal, debido a que no se manipulará las variables, además el estudio se llevará a cabo en un periodo de análisis de 19 años (2000-2019) (Hernandez, Fernández, y Baptista, 2014).

2.2. Población

La investigación presenta como población a toda la superficie de la Provincia de Lima; el cual, presenta un área de 2 664.67 km² (INEI, 2017), se consideró a todo el territorio debido a que presenta mayor tasa de crecimiento poblacional en comparación con las otras provincias del departamento de Lima; además, es categorizada como un territorio urbano (REDATAM, 2017). Por otra parte, Gómez (2018), menciona que, para un estudio de análisis espacial es recomendable abarcar la mayor superficie dónde se involucre las variables en estudio.

La investigación solo presenta población; debido a que, el análisis estadístico es aplicado únicamente a las variables cualitativas, crecimiento poblacional y cobertura vegetal, donde estas se encuentran afectadas por condiciones ambientales, políticas y sociales de manera abierta; lo cual indica, una afectación no controlada; por tanto, una muestra no representaría estadísticamente a la población (Rozo, 2017)

2.3. Materiales, Instrumentos y métodos

2.3.1. Materiales

Los materiales que se consideraron en el presente estudio fueron necesarios para poder desarrollar los procesos de recolección de datos, procesamiento de datos, muestra de resultados y la monografía de la investigación.

Tabla 1.
Materiales empleados en la investigación

MATERIALES DE ESCRITORIO	MATERIALES DIGITALES
	ArcGIS 10.3
	QGIS 3.14
Laptop Intel Core i5 – memoria RAM 8 GB	ENVI
Bolígrafos de tinta oscura	WinRAR
Libreta de notas	Imágenes Satelitales Landsat
Resaltadores	DEM Alos Palsar (12.5 m)
USB	Microsoft Excel 2019
	Microsoft Word 2019
	Package for the Social Sciences versión 25

2.3.2. Instrumentos

A. Instrumentos de Recolección de datos

La investigación trabajó con datos provenientes de la institución internacional “Science for a Changing World” (USGS) para la obtención de imágenes satelitales (Landsat 7 y 8) y del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) para la recopilación de datos poblacionales.

B. Instrumentos de Análisis de datos

Para la investigación se empleó el software ArcGIS 10.3 para la interpretación y manipulación de las imágenes satelitales; el programa Microsoft Excel 2019 para el manejo de los datos poblacionales y la herramienta “Statistical Package for the Social Sciences” versión 25 (SPSS) para la prueba de hipótesis y la prueba correlacional.

2.3.3. Métodos

A. Técnica de percepción remota

Esta técnica consiste en aplicar manipulaciones a las imágenes digitales a fin de adquirir información específica; además, su uso es recurrente para estudios de seguimiento espacial (Rojas, Barboza, Maicelo, y Salas, 2019).

B. Técnica del NDVI

Esta técnica consiste en determinar la cobertura vegetal de un territorio de manera espacial; para ello utiliza una ecuación de bandas (Da Silva, *et al.*, 2019), la banda infrarrojo cercano y la banda roja (Choubin, *et al.*, 2019); expresada en la siguiente ecuación matemática (Gonzaga, 2015):

Ecuación 1. Cálculo general para la determinación del NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde:

NIR = Infrarrojo cercano.

R = Rojo.

C. Método de clasificación no supervisada

Según López, Martínez y Fernández (2015), este método consiste en clasificar el nivel digital (-1 a 1) del NDVI en rangos más sintetizados; en base a ello, recomiendan la siguiente clasificación:

Tabla 2.
Clasificación de los valores de NDVI

CLASIFICACIÓN	VALOR	TIPO
Vegetación aparente	< 0.1	Sin cobertura vegetal
Vegetación Ligera	0.1 – 0.2	Con cobertura vegetal
Vegetación Media	0.2 – 0.4	
Vegetación Densa	> 0.4	

Fuente: López, Martínez y Fernández (2015)

D. Método FLAASH para corrección atmosférica

El método Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) es un método de corrección atmosférica, basada en el algoritmo de transferencia de radiación MODTRAN4 desarrollado por Spectral Sciences Inc (Aguilar, Mora, y Vargas, 2015).

La ecuación que la determina es:

Ecuación 2. Cálculo estándar de radiancia espectral para cada píxel (L)

$$L = \left(\frac{A \times P}{1 - P_e \times S} \right) + \left(\frac{B \times P_e}{1 - P_e \times S} \right) + L_a$$

Donde:

P = Pixel de la superficie en reflectancia.

Pe = Valor medio de la superficie en reflectancia asignado a un pixel.

S = Albedo atmosférico.

La = Radiancia dispersada por la atmósfera.

A y B = Coeficientes dependientes de la geometría y de la atmósfera.

E. Método de Shapiro – Wilks

Este método se aplica cuando el tamaño de los datos es igual o inferior a 50; además, determina si una variable se encuentra dentro de una distribución normal que permite aproximar satisfactoriamente el valor de una variable aleatoria continua a una situación ideal (Pino y Soto, 2015).

Según Alea, Jiménez, Muñoz, Torrelles, y Viladomiu (2014), para determinar la normalidad de una variable se considera los siguientes pasos:

- Paso 1: Alternativas de hipótesis
 - H_0 : La variable presenta una distribución es normal
 - H_1 : La variable presenta una distribución no es normal

Toma de decisión:

- $\text{Sig}(p \text{ value}) > \alpha$: Aceptar H_0 (Distribución normal)
- $\text{Sig}(p \text{ value}) < \alpha$: Rechazar H_1 (Distribución no normal)
- Paso 2: Analisis estadístico

En este punto se determina el estadístico p -value.

- Paso 3: Regla de decisión

La decisión está basada en el nivel de significancia (α), este valor es igual a la inversa aritmética del nivel de confianza. Para el caso de una confianza del 95% el nivel de significancia a considerar es 0.05.

Cuando:

- $p\text{-value} > \alpha$, se acepta la hipótesis nula; es decir, los datos presentan una distribución normal.
- $p\text{-value} < \alpha$, se acepta la hipótesis alterna; es decir, los datos presentan una distribución no normal.

F. Método de correlación de Pearson

Este método consiste en determinar la correlación entre dos variables; siempre y cuando, los datos presenten valores paramétricos, el valor que muestra este método varía entre valores de -1 a 1 (Hernández, *et al.*, 2018). La clasificación de estos valores presenta un significado específico (Tabla 3), estos rangos facilitan la interpretación del grado de relación de las variables (González, 2009).

Tabla 3.
Escala de valores del coeficiente de correlación

VALOR	SIGNIFICADO
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada
-0.2 a -0.39	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: González (2009)

G. Método de correlación de Spearman

La correlación de Spearman se utiliza para cuantificar la intensidad y dirección de la relación de datos no paramétricos; además, su magnitud, al igual que el “r” de Pearson se encuentra en el rango de $-1 \leq Rho \leq 1$ (Fallas, 2012). Este método es empleado cuando los datos presentan valores extremos; ya que, estos valores afectan el método de Pearson en las distribuciones normales (Martínez, Tuya, Martínez, Pérez, y Cánovas, 2009). Sin embargo, la interpretación de los coeficientes de correlación de

Spearman, son manejados de la misma forma que el método de Pearson (Martínez y Campos, 2015); es decir, se considera la misma escala de valores del coeficiente de correlación (Tabla 3).

2.4. Procedimientos

2.4.1. Zonificación del área de estudio

La provincia de Lima fue zonificada en 4 partes (Figura 1) tomando en consideración la división por áreas interdistritales elaborado por el Instituto Metropolitano de Planificación – “IMP” (Tabla 4) (IMP, 2013); para ello, se utilizó el software ArcGIS 10.3 y los datos vectoriales (provincias y distritos), estos últimos fueron adquiridos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (Ministerio de Defensa – MINDEF, 2005).

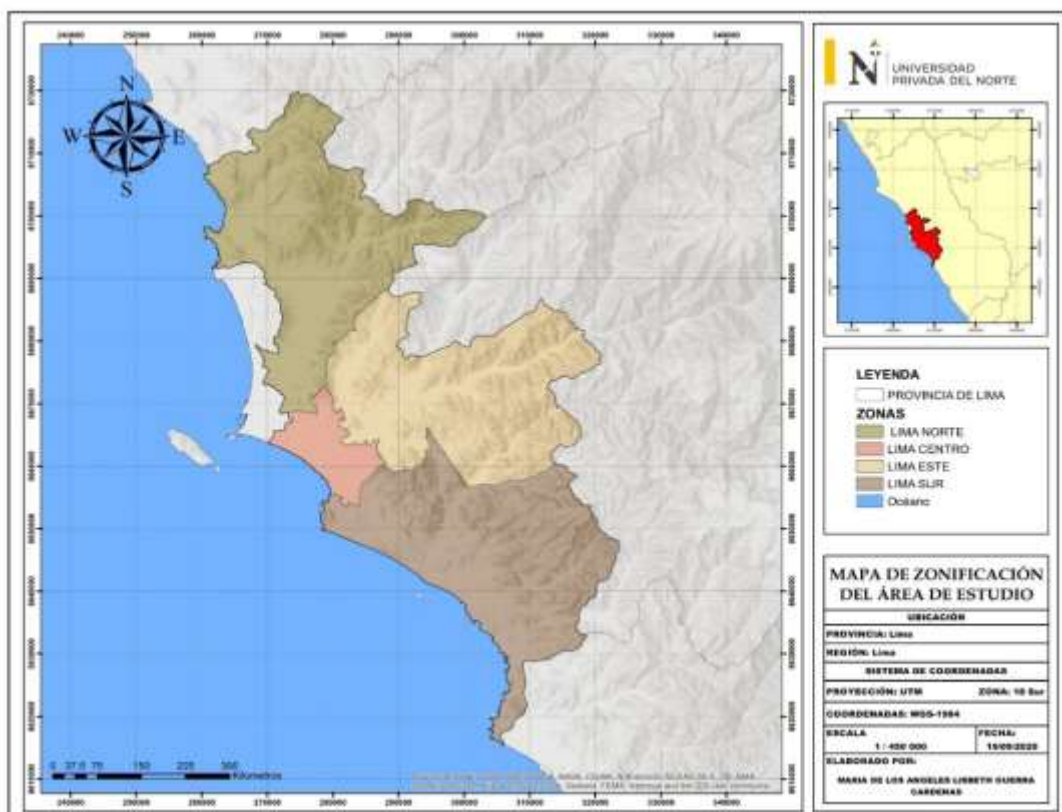


Figura 1. Mapa de zonificación del área de estudio
Fuente: IMP (2013)

Tabla 4.

Zonificación del área de estudio

ZONAS	DISTRITOS
Lima Norte	Ancón, Santa Rosa, Carabaylo, Puente Piedra, Comas, Los Olivos, Independencia y San Martín de Porres
Lima Centro	Rímac, Lima, Breña, La Victoria, San Miguel, Lince, San Isidro, San Borja, Santiago de Surco, Magdalena del Mar, Jesús María, Surquillo, Miraflores, Magdalena Vieja/Pueblo Libre y Barranco
Lima Este	Ate, San Juan de Lurigancho, El Agustino, Santa Anita, San Luis, Lurigancho, Cieneguilla, Chaclacayo y La Molina
Lima Sur	Chorrillos, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, Villa el Salvador, Pachacamac, Lurín, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María del Mar y Pucusana

Fuente: IMP (2013)

2.4.2. Obtención de datos

Los datos poblacionales fueron obtenidos de la plataforma del INEI haciendo uso de la guía técnica de usuario brindada por esta institución (INEI, 2019); el cual consiste en acceder a los censos poblacionales de los años 1981, 1993, 2005, 2007 y 2017 para obtener la población total de la provincia de Lima mediante el REDATAM de cada uno de estos censos.

Por otro lado, para la obtención de imágenes satelitales (Landsat 7 y 8) del periodo en estudio se utilizó la plataforma internacional Earth Explorer – “Science for a Changing World” (USGS), el cual permitió extraer el conjunto de datos Landsat – Colección Landsat 1 (Maldonado, *et al.*, 2015); además se aplicó la codificación PATH ROW para la selección del área de estudio (MINAM, 2015).

2.4.3. Determinación del Índice de Vegetación de Diferencia normalizada (NDVI)

Para determinar la cobertura vegetal de la provincia de Lima en el periodo de estudio, se usó la técnica del NDVI recomendado por Alencar, Parodi, Silva, y Opazo (2019).

A. Corrección atmosférica de las imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8

Para el tratamiento atmosférico de las imágenes satelitales Landsat 7 y 8, se utilizó el método FLAASH (Farjas, Domínguez, Picazo, y Pérez, 2015), este método se encuentra disponible en el software ENVI, para aplicar de manera automática el proceso de corrección atmosférica; además, fue necesario tener los siguientes parámetros de las bandas: Coordenadas geográficas del centro del área, tipo de sensor, altura del sensor, altura sobre el nivel del mar del área de estudio, tamaño del píxel y fecha de obtención de la imagen (Cholan, 2018), estos parámetros fueron adquiridos de las imágenes satelitales descargadas y del DEM (modelo de elevación digital) del área en estudio.

B. Corrección radiométrica de las imágenes satelitales Landsat 7

En este proceso se aplicó la corrección radiométrica a las imágenes satelitales Landsat 7; debido a que, presentaron el error de bandeo. Para ello, se aplicó la herramienta “pulling” del software QGIS, esta herramienta, permitió rellenar los datos erróneos por datos próximos de las imágenes mediante un análisis de estadística (Cholan, 2018).

C. Corrección geométrica de las imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8

En esta etapa se aplicó la corrección geográfica; debido a que, las imágenes Landsat 7 y Landsat 8, se descargaron en las coordenadas WGS-1984 Zona Norte; y el área de estudio se encuentra en la zona Sur; por ello, se aplicó la herramienta “Project Raster” del software ArcGIS (Maldonado, *et al.*, 2015).

D. Cálculo del NDVI en ArcGIS

Para la determinación del NDVI se hizo uso de la técnica de percepción remota a través del software ArcGIS; en donde, se aplicó la herramienta de álgebra de mapas (ArcMap, 2017); en el cual, se empleó la ecuación aritmética para Landsat 8 (Ecuación 3) y Landsat 7 (Ecuación 4) (Pauca *et al.*, 2020):

Ecuación 3. Cálculo de NDVI para Landsat 8

$$\frac{\text{Float (banda 5 - banda 4)}}{\text{Float (banda 5 + banda 4)}}$$

Ecuación 4. Cálculo de NDVI para Landsat 7

$$\frac{\text{Float (banda 4 - banda 3)}}{\text{Float (banda 4 + banda 3)}}$$

El resultado de esta operación fue el Raster NDVI que presentó valores de -1 a 1 (ArcMap, 2016). Posterior a ello, se realizó el método de clasificación no supervisada en base a información secundaria (López, *et al.*, 2015); luego, se transformó el formato Raster al formato vectorial con el objetivo de calcular la geometría (área) de los polígonos. Para estos procesos se hizo uso de la extensión “Model Builder” del programa ArcGIS; en donde, se generó dos modelos; NDVI total (Figura 2) y NDVI zonificado (Figura 3).

Los polígonos generados fueron exportados a Excel con la ayuda de la extensión Arc Excel (ArcGIS, 2020); donde, las áreas de cobertura vegetal fueron sintetizadas en función al espacio total y el espacio zonificado.

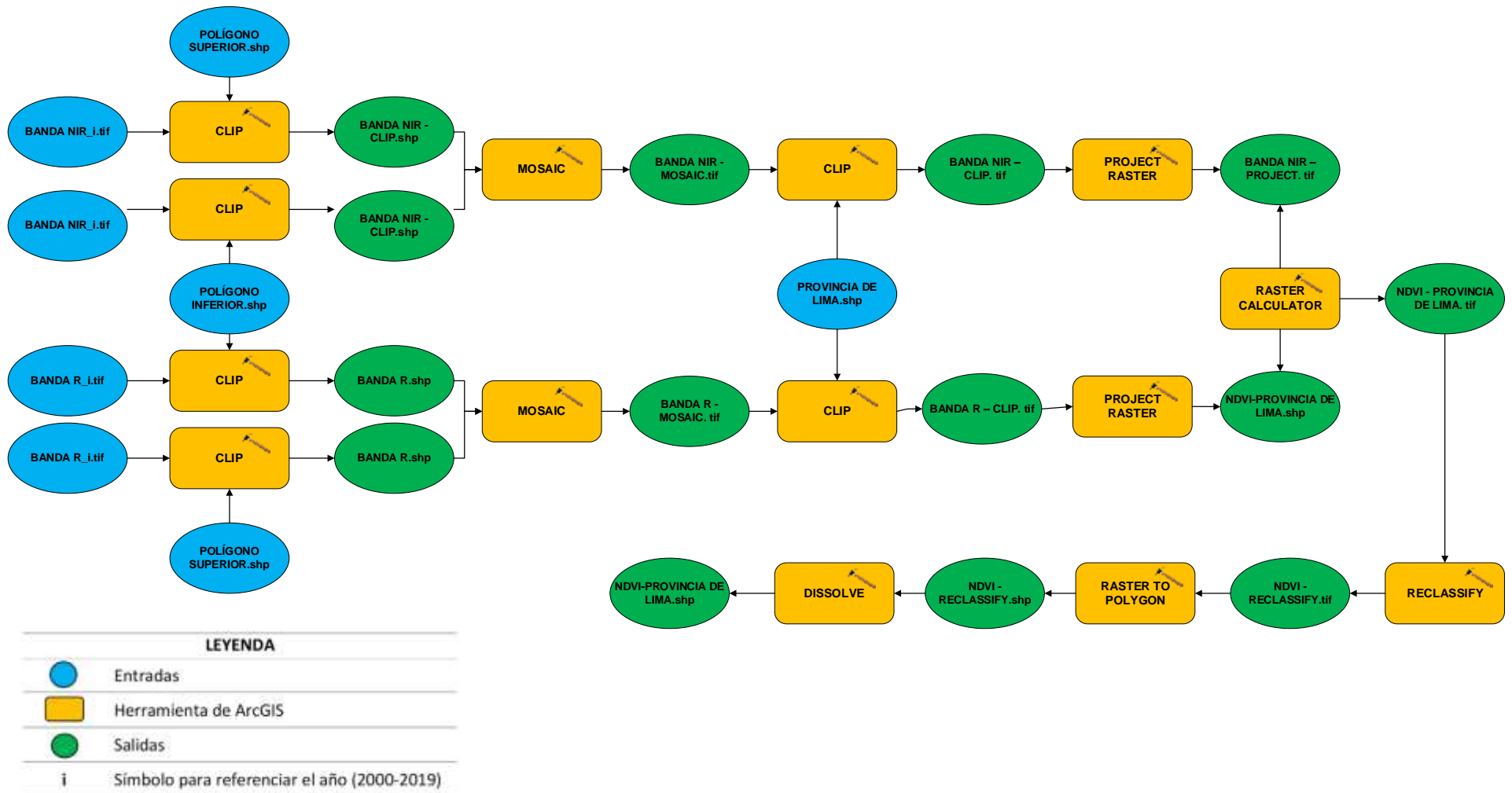


Figura 2. Modelo para la determinación del NDVI

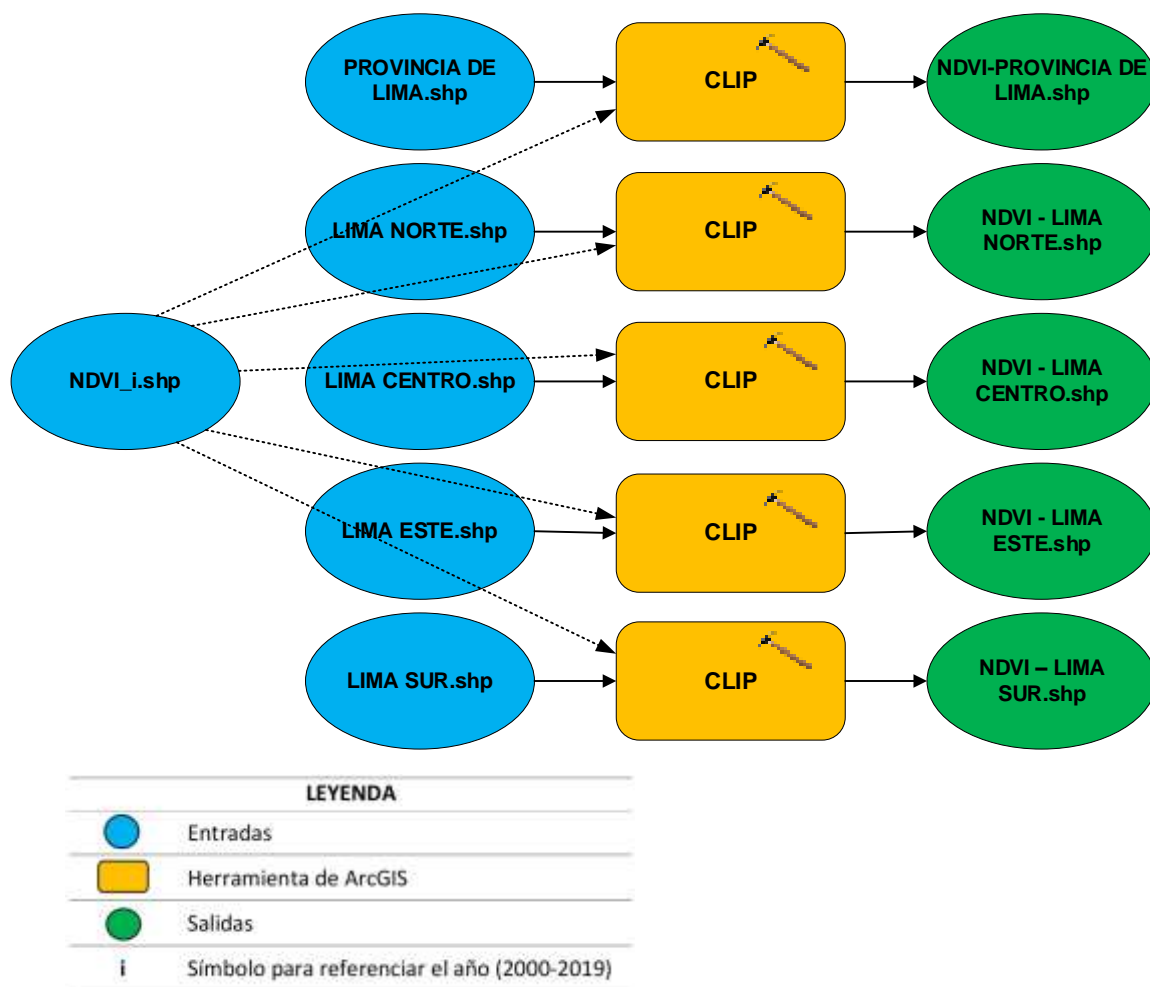


Figura 3. Modelo para la determinación del NDVI por zonas

2.4.4. Determinación de la dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal

Para determinar la dinámica temporal de la cobertura vegetal, se utilizó la tasa de cambio medio (ecuación 5); el cual, permitió identificar los cambios superficiales de la cobertura vegetal; la cual, fue aplicada en función al periodo de análisis (2000 – 2019) (Barros, Cordero, y García, 2019).

Ecuación 5. Cálculo de tasa de cambio medio

$$TCM = \left[\left(\frac{N_f}{N_i} \right)^{1/p} - 1 \right] \times 100\%$$

Donde:

TCM = Tasa de cambio medio (%)

N_f = Dato final

N_i = Dato inicial

p = Periodo de estudio

La dinámica espacial fue determinada mediante un análisis cartográfico; a través, del software ArcGIS; en donde, se realizó una serie temporal cartográfica de la cobertura vegetal para el período 2000 – 2019. Este proceso, permitió visualizar los cambios espaciales en toda la provincia de Lima.

2.4.5. Determinación del crecimiento poblacional

Los datos poblacionales extraídos de la plataforma del INEI, fueron procesados en Excel, con la finalidad de determinar la tasa de crecimiento anual (Ecuación 6) (INEI, 2018), para luego estimar la población total y la población zonificada de los años en estudio 2000 – 2019.

Ecuación 6. Cálculo para la tasa de crecimiento anual

$$r = \sqrt[n]{\frac{Pob_f}{Pob_0}} - 1$$

Donde:

Pob_f = Población en el último año de datos censales.

Pob_0 = Población en el anterior año de datos censales.

r = Tasa de crecimiento poblacional.

n = Año final – Año inicial

2.4.6. Determinación de la dinámica del crecimiento poblacional

Para la determinación de la dinámica poblacional, se utilizó la tasa de cambio medio (ecuación 5); el cual, permitió identificar el crecimiento poblacional para el área total, y para las áreas zonificadas; además, dicha tasa fue aplicada en función al periodo de estudio (Barros, *et al.*, 2019)

2.4.7. Determinación de la relación de las variables en SPSS

Las variables, cobertura vegetal y población, fueron analizados con la prueba de normalidad y prueba de correlación en el programa SPSS; asimismo, se utilizó este programa para el análisis descriptivo (De Amorim, *et al.*, 2019).

A. Prueba de normalidad

Los datos de población y cobertura vegetal, fueron analizados mediante una prueba de normalidad de método Shapiro -Wilk; con la finalidad, de conocer el estado de las variables en estudio (Alea, *et al.*, 2014). Este proceso se desarrolló en el programa SPSS 25.0; debido a que, presenta herramientas para la aplicación de la prueba de normalidad “Shapiro-Wilk” de manera automática (Romero-Saldaña, 2016).

B. Prueba de correlación

La correlación de las variables fue determinada mediante el método de correlación de Pearson y Spearman (Hernández, *et al.*, 2018) a través del programa SPSS que cuenta con la herramienta de correlación bivariada. Los resultados pertinentes de este análisis fueron los coeficientes de correlación y la significancia bilateral; debido a que, el coeficiente de correlación determina el grado de dependencia entre las variables y la significancia bilateral determina la hipótesis (Tabla 5) (Moreno, 2008).

Tabla 5.
Hipótesis correlacional

HIPÓTESIS	ALTERNATIVA	REGLA DE DESICIÓN
Hipótesis Nula	No existe relación	Se acepta esta alternativa siempre y cuando $P > 0.05$
Hipótesis Alterna	Sí, existe una relación	Se acepta esta alternativa siempre y cuando $P < 0.05$

P = Probabilidad al 95 % de confianza

Fuente: Moreno (2008)

2.5. Aspectos éticos

La investigación extrajo datos de dos instituciones; la institución internacional USGS, el cual brindó imágenes satelitales de manera digital; y la institución nacional INEI, el cual facilitó la adquisición de datos poblacionales; por lo tanto, se respetó los derechos de las instituciones. Además, se aplicó la misma ética para las informaciones primarias y secundarias; tal es el caso de artículos científicos, libros y tesis.

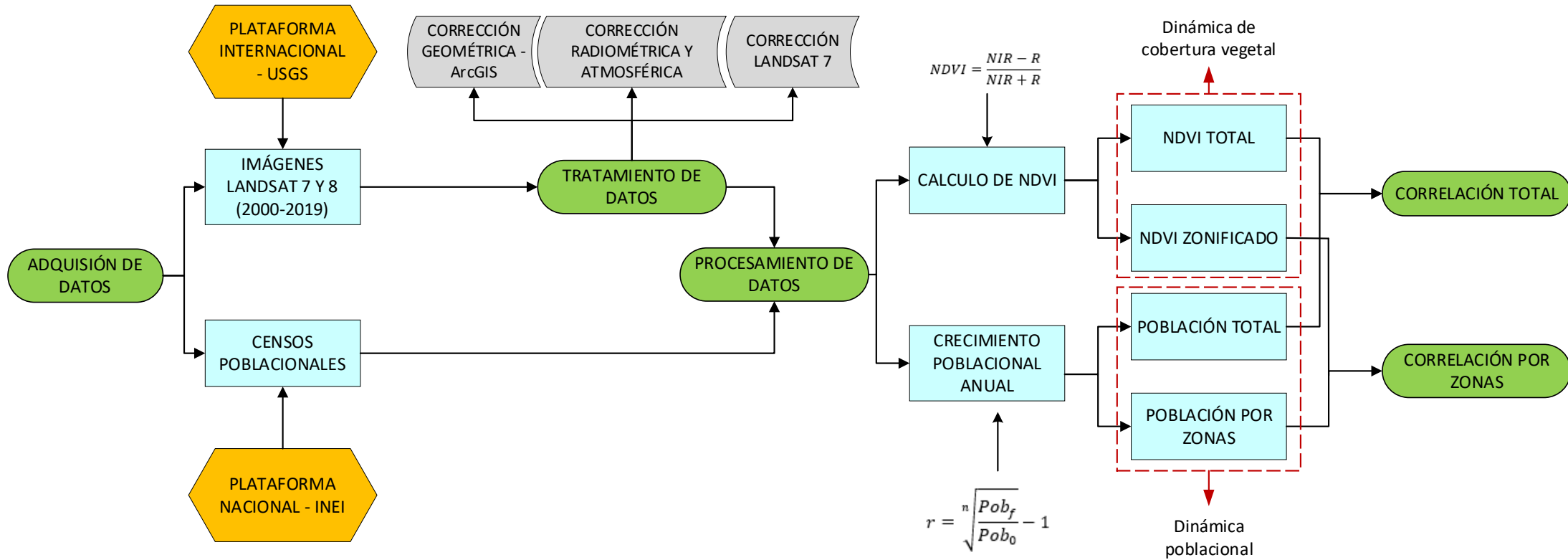


Figura 4. Diagrama de flujo del procedimiento

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Variación del crecimiento poblacional

3.1.1. Variación del crecimiento poblacional del área total

La dinámica poblacional del área total en estudio (Figura 5), presenta una tasa de crecimiento de 2.10 % y un aumento total de 3 045 420 habitantes en el periodo de estudio; además, se evidencia que entre los años 2005 – 2007, la población incrementó en 4.58 %; magnitud que es superior a los distintos años.

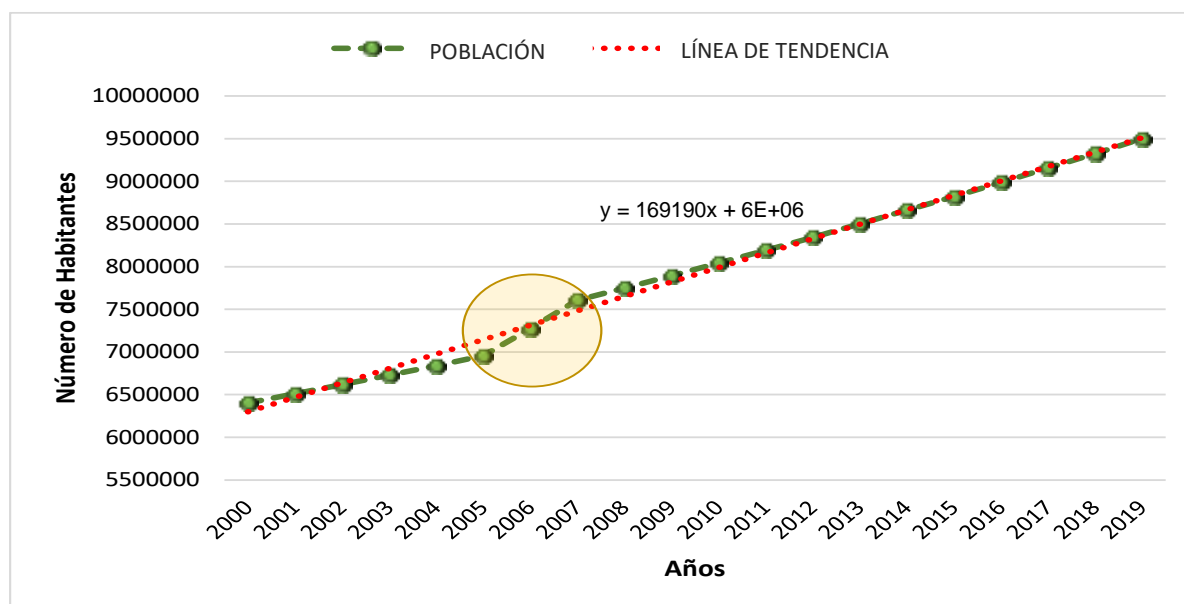


Figura 5. Dinámica del crecimiento poblacional del área total

*Figura realizada a partir de los datos del anexo 3

3.1.2. Variación del crecimiento poblacional por zonas

La dinámica poblacional por zonas se evidencia de manera temporal (Figura 6). Las zonas Lima Norte, Lima Este y Lima Sur, presentaron una tasa de crecimiento de 2.58% (1 013 526 habitantes), 2.86 % (1 157 616 habitantes) y 2.08 % (584 388 habitantes) respectivamente; además, estas zonas presentaron un crecimiento poblacional significativo entre los años 2005 – 2007. Por otra parte, en la zona Lima

Centro, se evidencia una dinámica constante con una tasa de crecimiento de 0.22 % (77 056 habitantes) para el periodo de estudio.

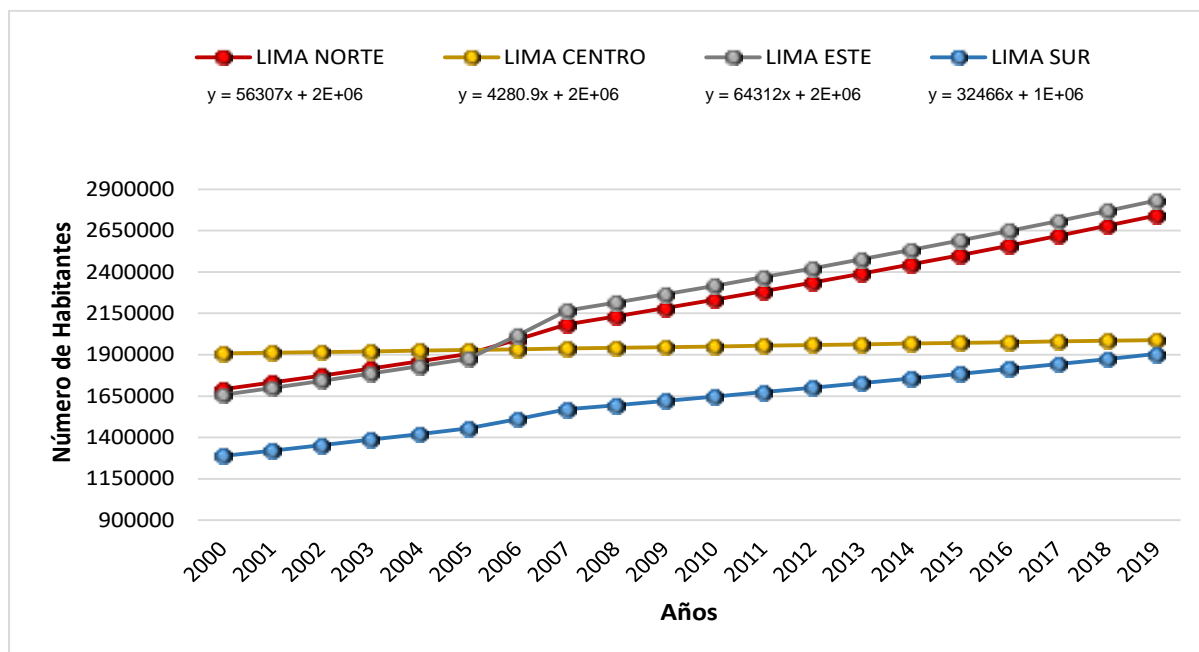


Figura 6. Dinámica del crecimiento poblacional por zonas

*Figura realizada a partir de los datos del anexo 3

3.2. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal

3.2.1. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal del área total

La dinámica temporal de la cobertura vegetal del área total muestra un comportamiento en descenso, a una tasa de 1.73% y una disminución total de 2769.5 Ha en el periodo de estudio; además, se evidencia picos de elevación en los años 2001, 2004, 2011, 2012 y 2016 (Figura 7).

Por otro lado, en la Figura 8 se evidencia la dinámica temporal de la cobertura vegetal en conjunto con la variación del crecimiento poblacional, esta figura refleja la relación entre las variables de estudio; puesto que, el crecimiento poblacional presenta una dirección ascendente y la cobertura vegetal una dirección descendente; esto indica una dinámica inversa.

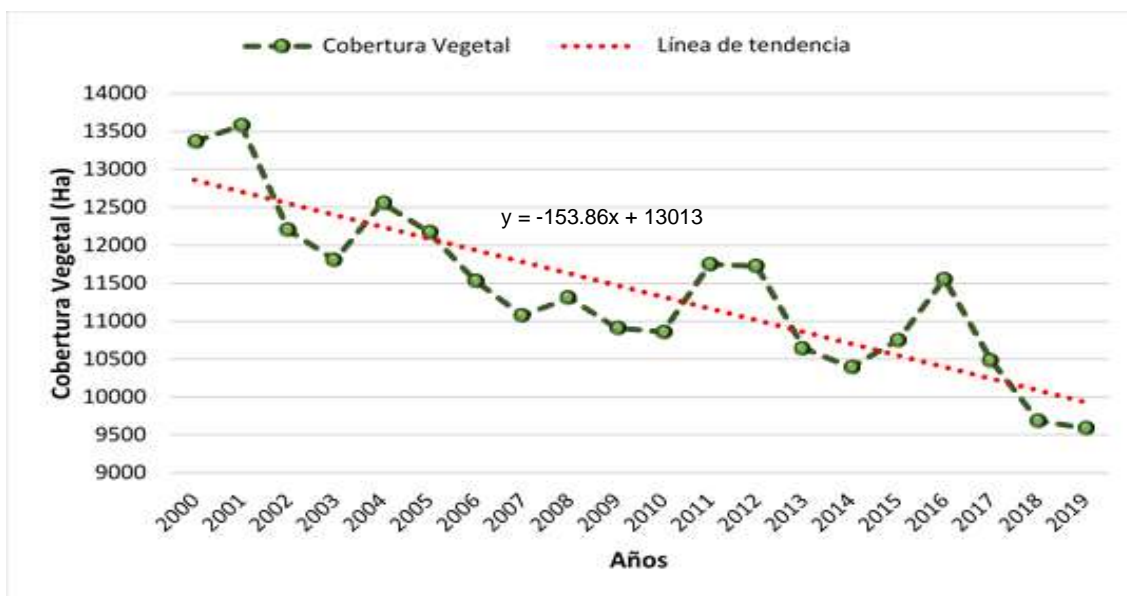


Figura 7. Dinámica de cobertura vegetal del área total

*Figura realizada a partir de los datos del anexo 3

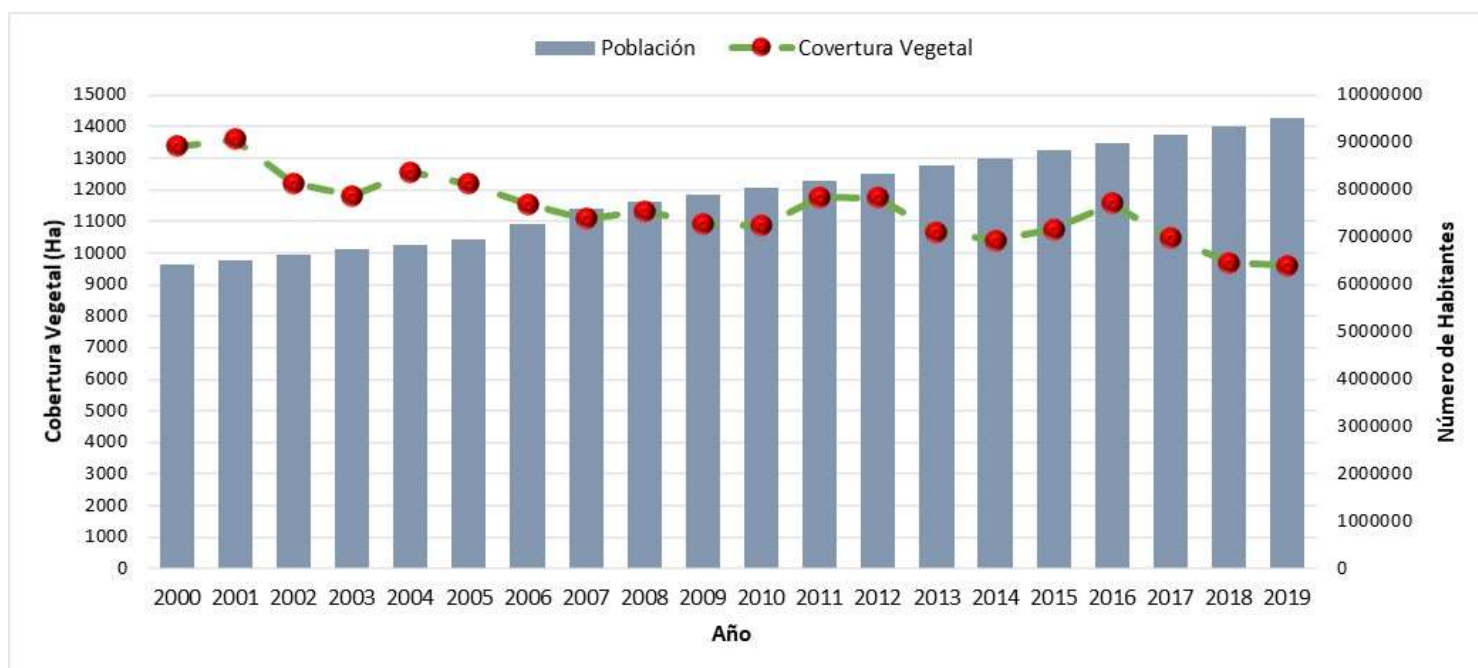


Figura 8. Dinámica de la cobertura vegetal y la variación del crecimiento población

*Figura realizada a partir de los datos del anexo 3

El comportamiento espacial de la cobertura vegetal determinado por el NDVI, es evidenciado a través de los mapas cartográficos; de ello, se observa que los años picos 2001, 2004, 2011, 2012 y 2016; muestran incrementos significativos con mayor frecuencia en las zonas Lima Centro y Lima Sur (Figura 9).

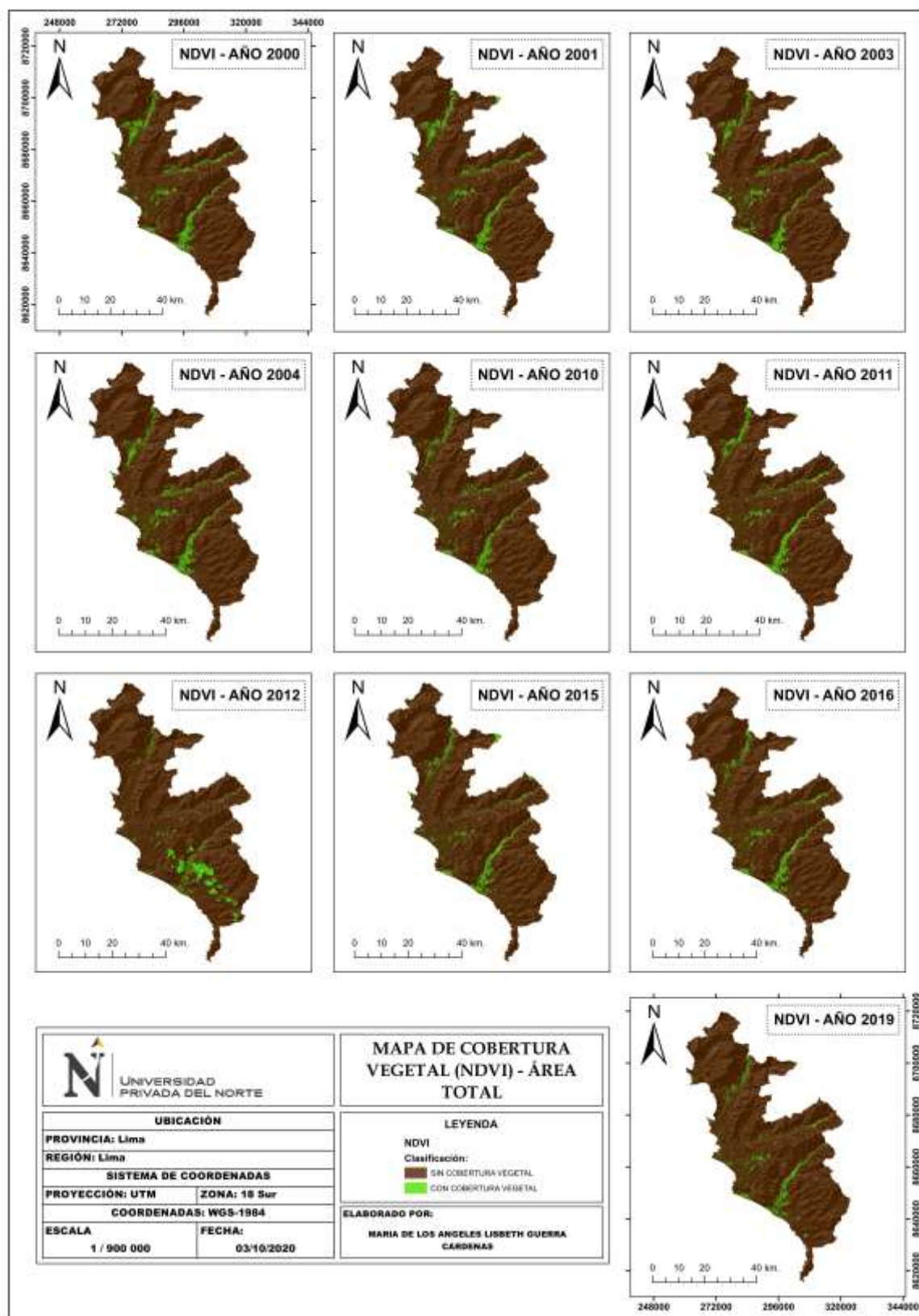


Figura 9. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal del área total

3.2.2. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal por zonas

En la dinámica temporal de cobertura vegetal zonificada (Figura 10) se identificó, que la zona Lima Norte presentó una tasa de descenso de 3.10 % y una disminución total de 1717.9 Ha; asimismo, la zona Lima Este manifestó una tasa de descenso de 1.80 % y una disminución total de 626.2 Ha; además, se evidenció que estas dos zonas mostraron un descenso significativo en el año 2012.

La zona Lima Centro presenta una dinámica temporal constante en la cobertura vegetal, con una tasa de descenso de 0.10 % y una disminución total de 155.4 Ha. Por otra parte, la zona Lima Sur en el año 2012, presentó una elevación en la cobertura vegetal de 101.19 % en relación al año anterior; sin embargo, la tasa de descenso para esta zona fue de 1.17 % y una disminución total de 240.8 Ha para el periodo de estudio.

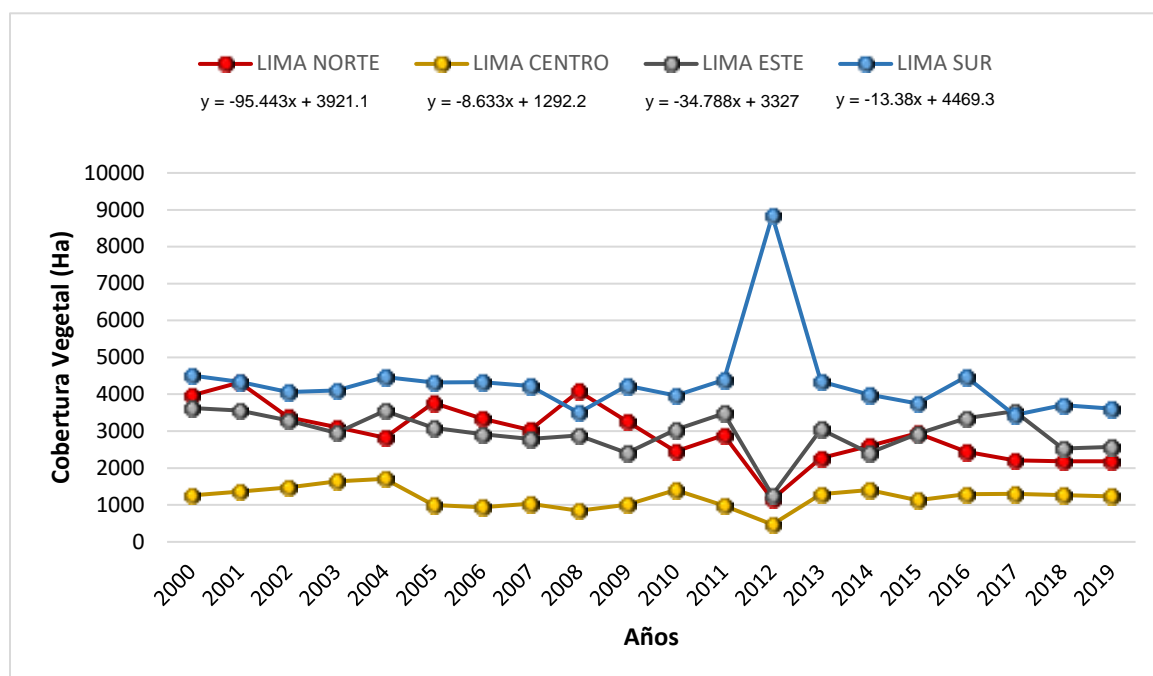


Figura 10. Dinámica de cobertura vegetal por zonas
*Figura realizada a partir de los datos del anexo 3

El comportamiento espacial de la cobertura vegetal determinado por el NDVI para las zonas, es evidenciado a través de los mapas cartográficos. De ello, se observa que la zona Lima Norte en el año 2012, presentó una disminución en la cobertura vegetal en la parte media (Figura 11).

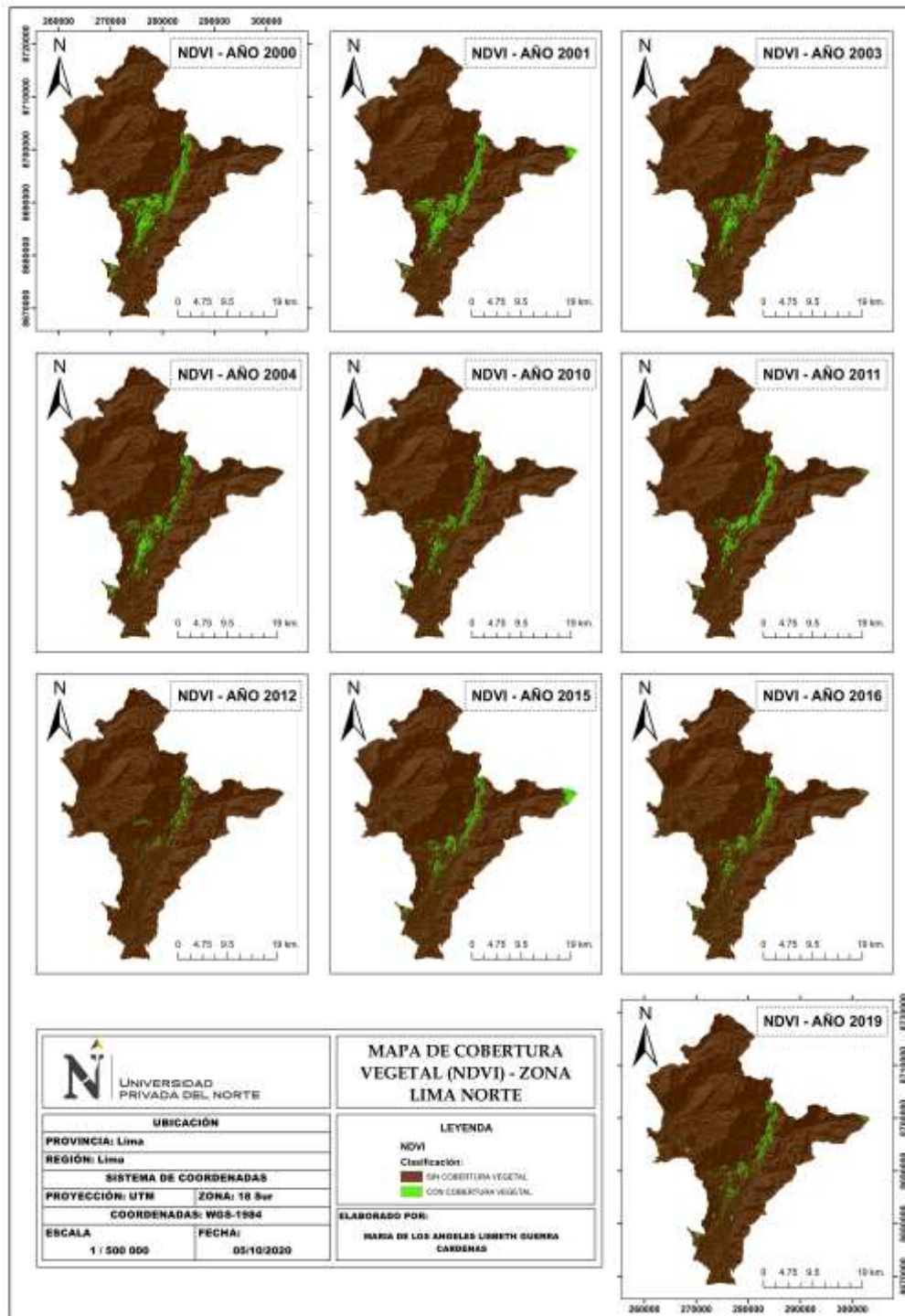


Figura 11. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Norte

La zona Lima Centro en el año 2004 presentó un aumento significativo de la cobertura vegetal en la parte media; además, se evidenció una disminución representativa en el año 2012 en casi toda su extensión (Figura 12).

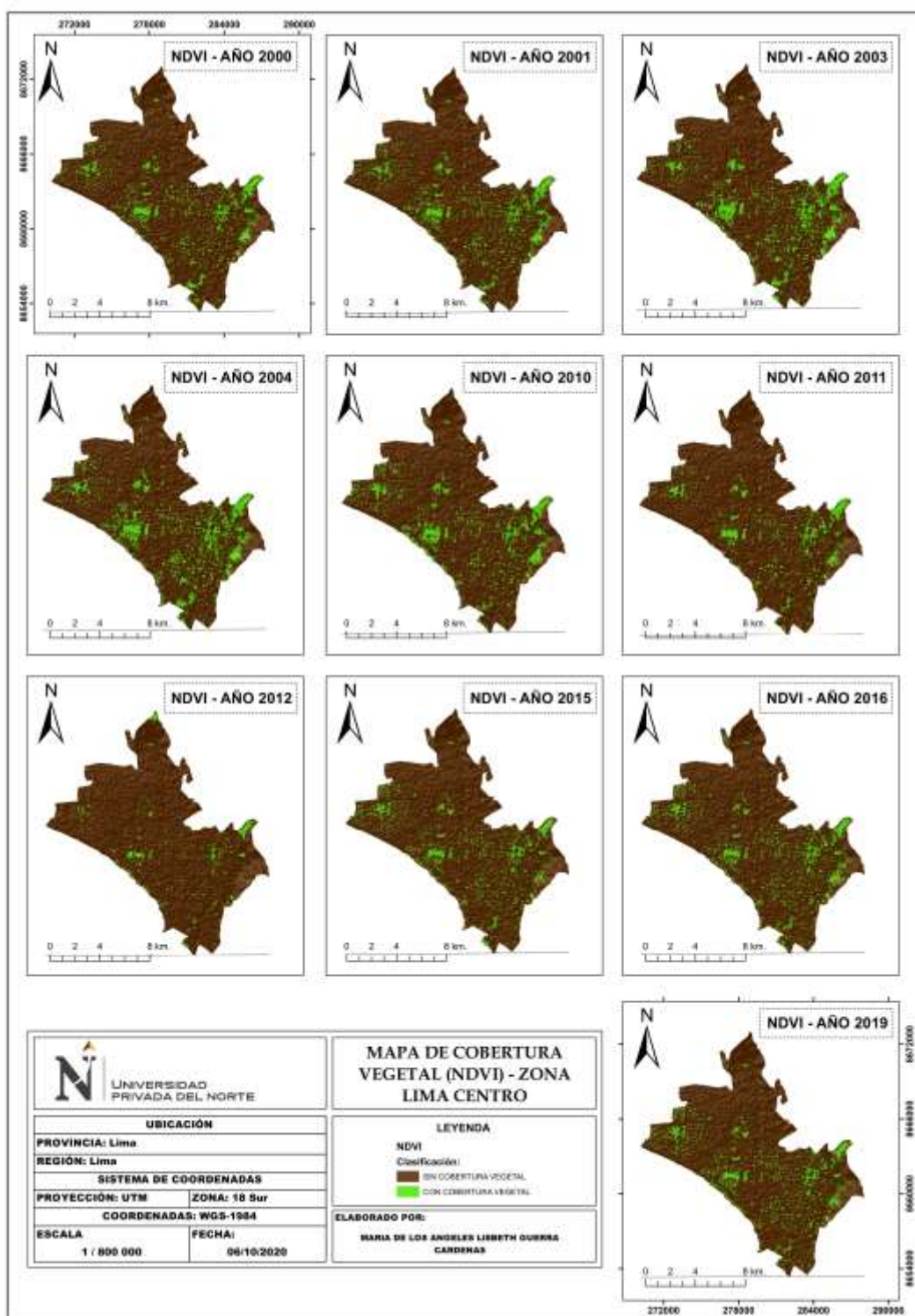


Figura 12. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Centro

La zona Lima Este, en los años 2004 y 2011, presentaron un aumento de la cobertura vegetal en los márgenes izquierdos; por otra parte, en el año 2012 se observó un descenso significativo de cobertura vegetal en toda la extensión (Figura 13).

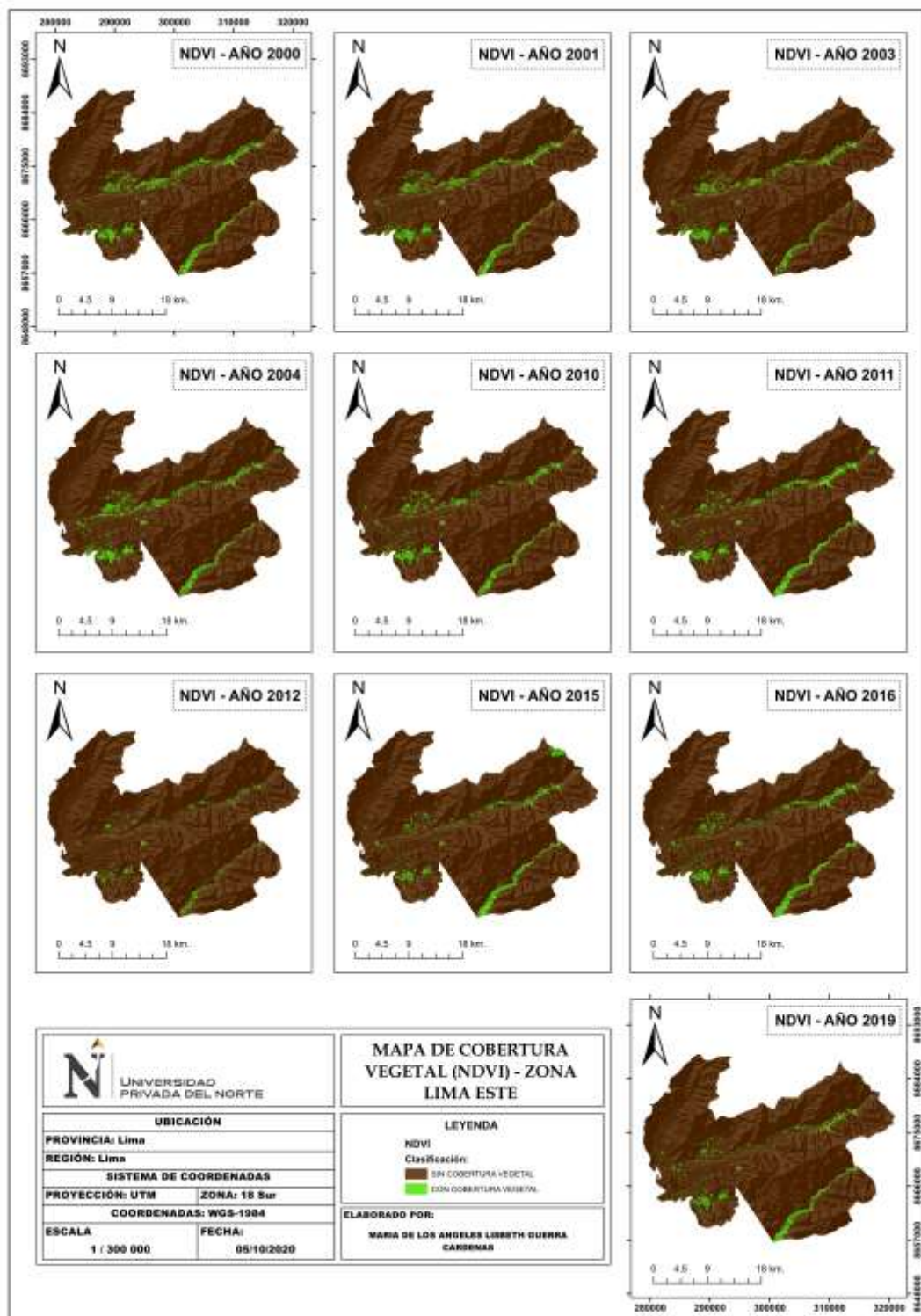


Figura 13. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Este

Por último, la zona Lima Sur en el año 2012, presentó un aumento significativo de cobertura vegetal en la parte media en relación al año anterior (Figura 14).

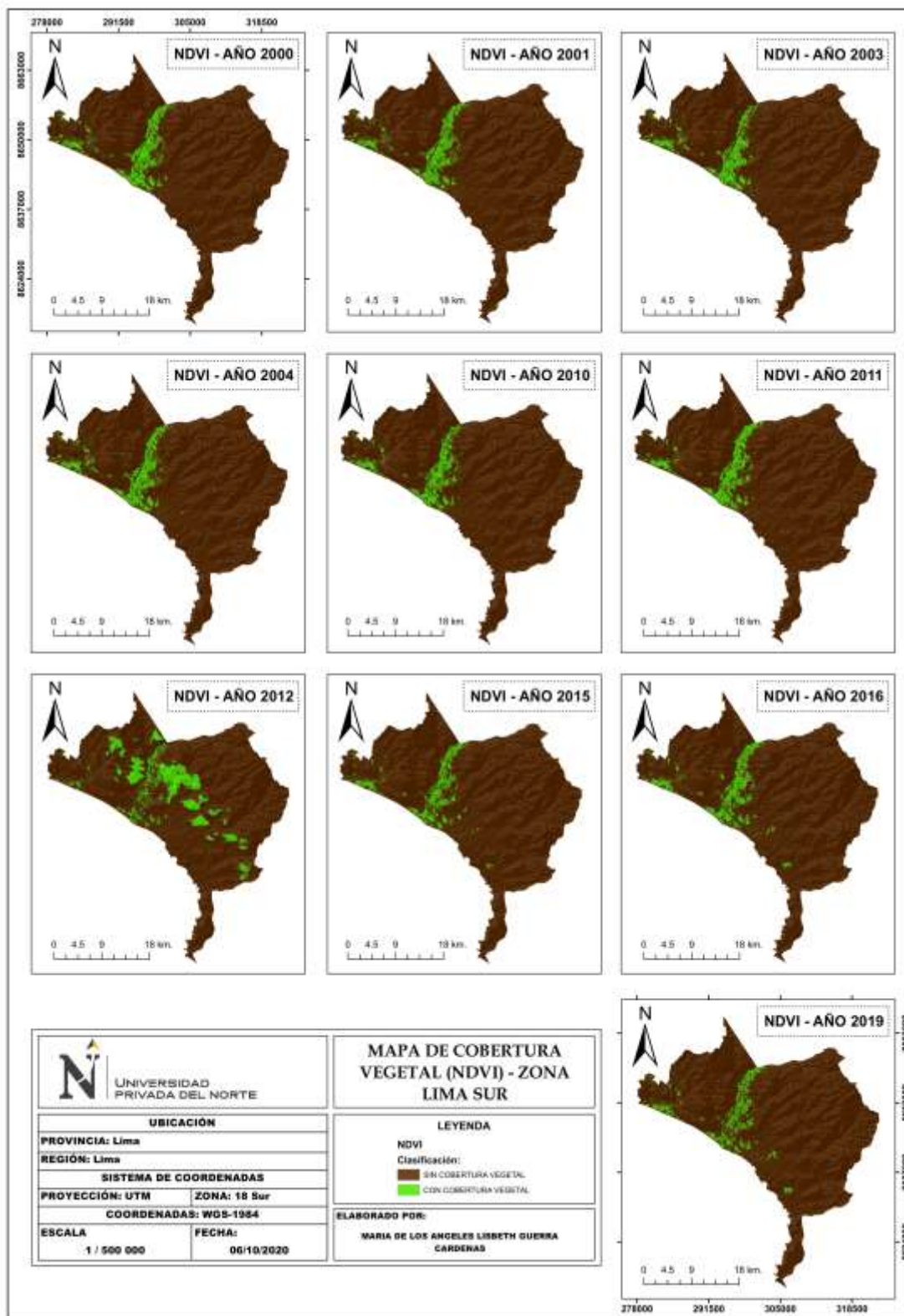


Figura 14. Dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal de la zona Lima Sur

3.3. Correlación entre la población y la cobertura vegetal

3.3.1. Correlación entre la cantidad poblacional y las áreas de cobertura vegetal de la superficie total

A. Prueba de normalidad

Según la prueba de normalidad “Shapiro-Wilk” elaborado en el programa SPSS 25.0, las variables, presentan datos con distribución normal; debido a que, sus valores críticos (p -value) son mayores a 0.05; es decir, que los datos de las variables población y cobertura vegetal presentan una distribución uniforme lateral en relación a la media aritmética, esto indica que corresponde una prueba estadística paramétrica (coeficiente de correlación de Pearson).

Tabla 6.
Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables

	Shapiro-Wilk	
	N (datos)	p -value
Población (Nº de habitantes)	20	0.282
Cobertura Vegetal (Ha)	20	0.799

B. Coeficiente de correlación de Pearson

Según la prueba de correlación, las variables presentan una correlación negativa; el cual indica, que el crecimiento poblacional presenta una influencia directa en la disminución de la cobertura vegetal de la provincia de Lima con un grado de relación del 86%. Asimismo, la significancia bilateral resultó menor a 0.05; es decir, existe una relación estrecha entre las variables de estudio.

Tabla 7.
Correlación de Pearson

		POBLACIÓN	COBERTURA VEGETAL
POBLACIÓN	Correlación de Pearson	1	-0.86
	Significancia bilateral	-	0
	N (datos)	20	20
COBERTURA VEGETAL	Correlación de Pearson	-0.86	1
	Significancia bilateral	0	-
	N (datos)	20	20

La correlación mencionada entre las variables población y cobertura vegetal, es evidenciada en un plano cartesiano mediante la dispersión de datos, en ella se observa la relación negativa; es decir, una dependencia de tipo inversamente proporcional.

(Figura 15).

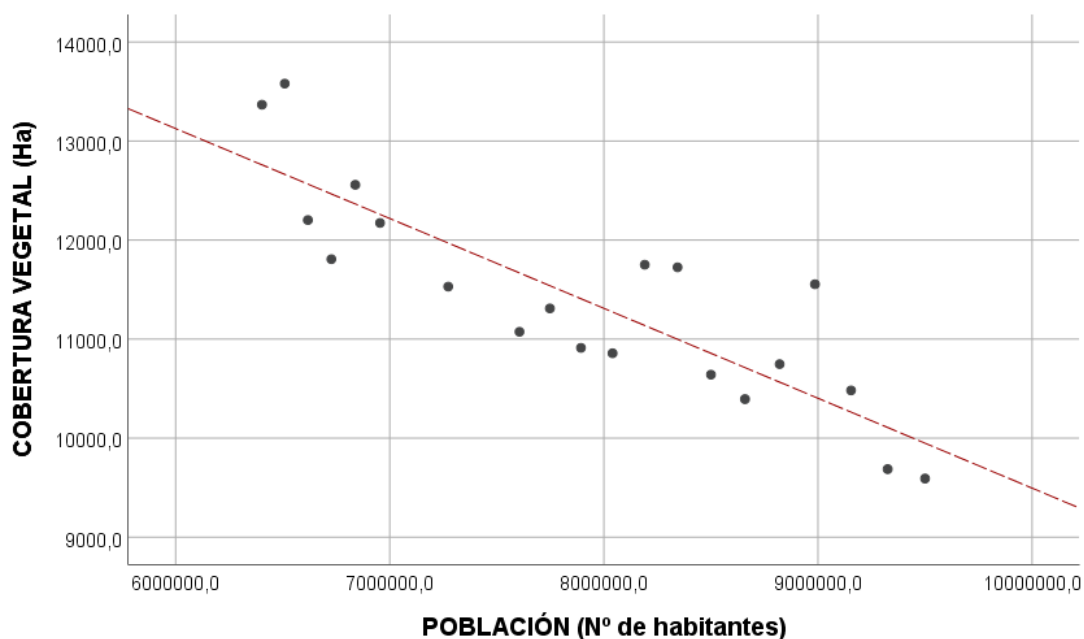


Figura 15. Diagrama de dispersión de puntos

3.3.2. Correlación entre la cantidad poblacional y las áreas de cobertura vegetal por zonas

A. Prueba de normalidad

Según la prueba de normalidad por zonas, las variables que presentan una distribución normal muestran que los datos de estas variables presentan una distribución uniforme lateral en relación a la media; sin embargo, las variables que presentan una distribución no normal indican que los datos de estas variables no están entorno a la media.

La determinación de este proceso permitió identificar la estadística de correlación pertinente para las variables.

Tabla 8.
Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables por zonas

		Shapiro-Wilk	
		p-value	Interpretación
LIMA NORTE	Población (Nº de habitantes)	0.414	Distribución normal
	Cobertura Vegetal (Ha)	0.817	Distribución normal
LIMA CENTRO	Población (Nº de habitantes)	0.551	Distribución normal
	Cobertura Vegetal (Ha)	0.564	Distribución normal
LIMA ESTE	Población (Nº de habitantes)	0.223	Distribución normal
	Cobertura Vegetal (Ha)	0.018	Distribución no normal
LIMA SUR	Población (Nº de habitantes)	0.417	Distribución normal
	Cobertura Vegetal (Ha)	0.00	Distribución no normal

B. Coeficiente de correlación de Pearson y Spearman

De la prueba de normalidad, se determinó que a las zonas con distribución normal se aplicó la correlación de Pearson y a las zonas con distribución no normal se aplicó la correlación de Spearman.

Según los coeficientes de correlación, la zona Lima Norte presentó una relación de tipo negativa alta; el cual indica, que el crecimiento poblacional presenta una alta influencia en la disminución de la cobertura vegetal, con un grado de relación del 72%; por otra parte, la zona Lima Centro presentó una relación negativa muy baja; es decir, que el crecimiento poblacional presenta una baja influencia en la disminución de la cobertura vegetal con una relación del 18%. Las zonas Lima Este y Lima Sur, presentaron una relación negativa moderada; el cual indica, que el crecimiento poblacional presenta una moderada influencia en la disminución de la cobertura vegetal de la provincia de Lima, con un grado de relación del 44% y 41% respectivamente.

Tabla 9.
Correlación de Pearson y Spearman por zonas

		PRUEBA DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN
LIMA NORTE	Población (Nº de habitantes)	Pearson	-0.721
	Cobertura Vegetal (Ha)		
LIMA CENTRO	Población (Nº de habitantes)	Pearson	-0.175
	Cobertura Vegetal (Ha)		
LIMA ESTE	Población (Nº de habitantes)	Spearman	-0.444
	Cobertura Vegetal (Ha)		
LIMA SUR	Población (Nº de habitantes)	Spearman	-0.405
	Cobertura Vegetal (Ha)		

Estas relaciones son evidenciadas en los diagramas de dispersión; donde, las zonas Lima Norte, Lima Este y Lima Sur presentan una distribución homogénea con una pendiente negativa; sin embargo, los valores de Lima Centro presentan una distribución variada, esto indica una baja relación entre las variables en estudio.

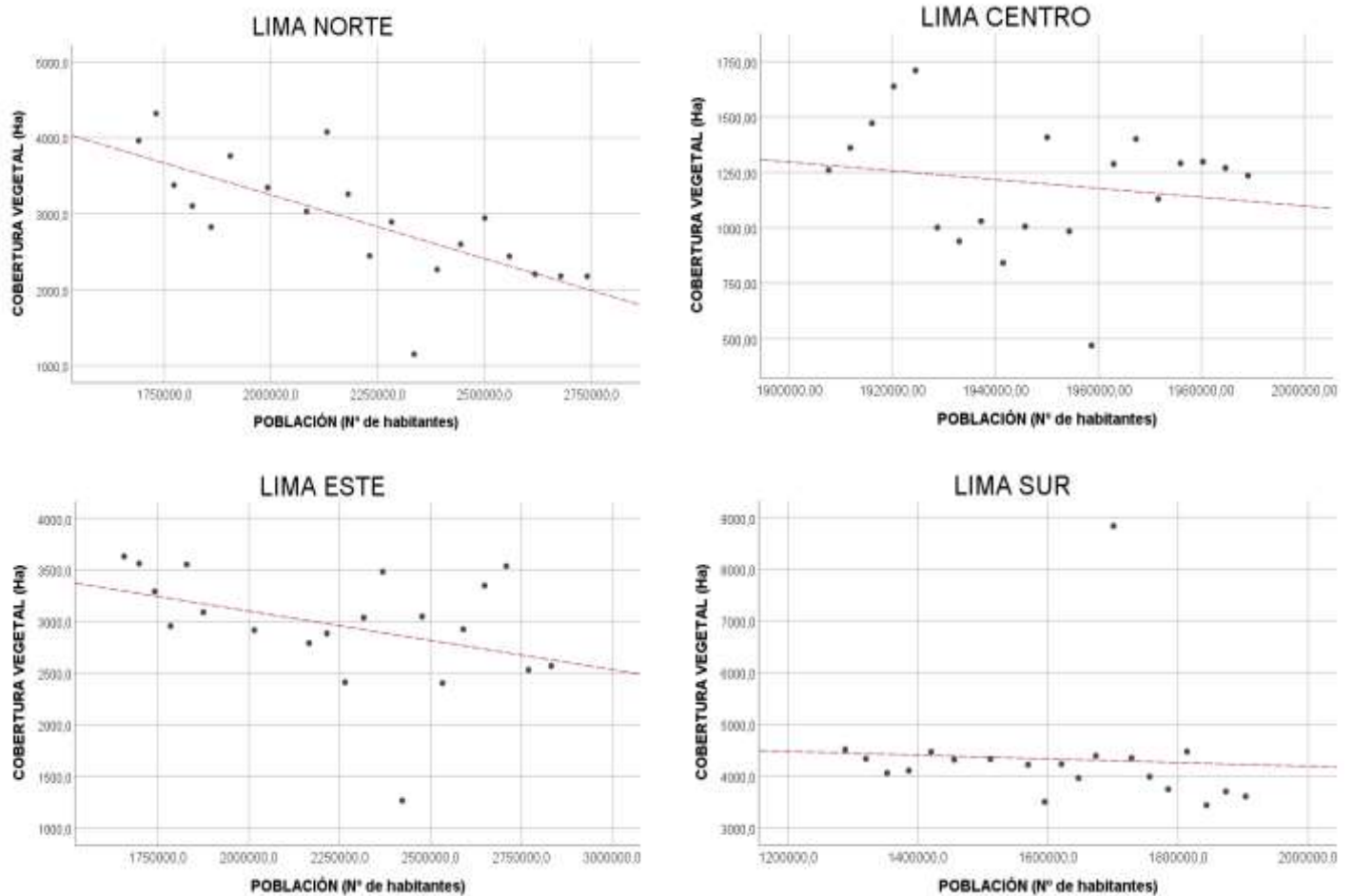


Figura 16. Diagrama de dispersión de puntos por zonas

Asimismo, la relación fue expresada de manera cartográfica, con el objetivo de visualizar la magnitud de la correlación por zonas considerando una escala de colores (Figura 17).

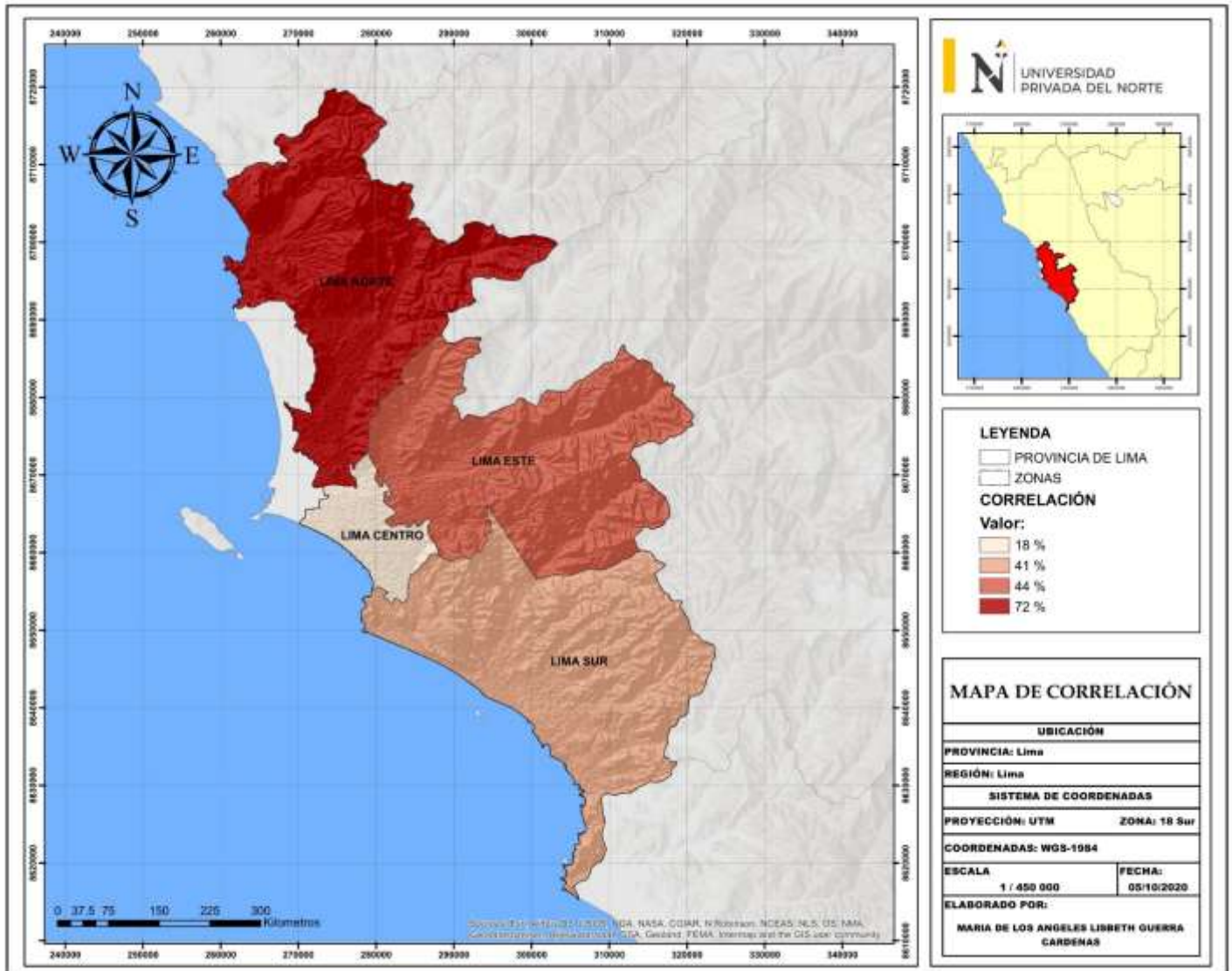


Figura 17. Mapa de correlación de por zonas

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La variación del crecimiento poblacional de la provincia de Lima, presenta una tendencia positiva a una tasa de 2.10 % (Figura 5); lo que indica un crecimiento poblacional de manera temporal y espacial. Los factores que generan el crecimiento poblacional son las migraciones internas y las oportunidades laborales en el territorio (Loayza, *et al.*, 2017). En los últimos años, los distritos con incremento de espacio laboral fueron Puente Piedra, Santa Rosa, San Martín de Porres y Los Olivos; debido a que, el 60% de la población se consideró como población económicamente activa (PEA), este fenómeno genera las migraciones internas (Tácanan, 2014). Se ha evidenciado que los distritos de Lima con mayor migración son San Juan de Lurigancho, San Marín de Porres, Ate, Carabayllo y Puente Piedra, con una tasa entre 9% a 15% (Castellares y Alanya, 2019; Young, 2013).

La provincia de Lima presentó un descenso de 1.73 % de cobertura vegetal, lo que equivale a 2 769.5 Ha en el periodo 2000 – 2019 (Figura 7). Este comportamiento decadente es generado por diversos factores como la variabilidad climática, el crecimiento poblacional (2.10%) y los factores antrópicos (Gómez, 2019) ; siendo este último, uno de los principales causantes de los cambios en la cobertura vegetal debido al desarrollo de actividades industriales y al aumento de obras civiles (222.7 %) en el periodo 2001 – 2019 (Bejarano y Bernal, 2018; Cámara de Comercio de Lima – CCL, 2019). Además, estas actividades generan emisión de contaminantes que alteran la capacidad productiva de la cobertura vegetal (Moreno y Lourenço, 2018). Es posible

que la provincia de Lima pueda adquirir medidas de protección para coberturas vegetales frágiles, cuando estas se ven afectadas por las actividades antropogénicas.

Los picos elevados de cobertura vegetal observados en los años 2001, 2004, 2011, 2012 y 2016 (Figura 7), pueden ser a causa de los eventos climáticos del niño (Gómez, 2019), en el Perú se ha evidenciado este evento en los años 2000, 2003 y 2016 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, 2014). Estos eventos provocan un incremento de las precipitaciones en las costas, Lima puede presentar precipitaciones más altas de lo normal (Takahashi, 2016). Además, los picos evidenciados pueden ser ocasionados por el florecimiento de las coberturas vegetales temporales (lomas) que se encuentran localizados en la zona Norte, Este y Sur, con mayor densidad en esta última (Apedjinou, 2019).

La zona Lima Norte presentó una alta disminución de la cobertura vegetal en el periodo de análisis, con una tendencia de -95.44 (Figura 10). Esta magnitud puede ser ocasionado por los cambios en los microclimas y un descenso del 35 % aproximadamente de las actividades agrícolas de la zona (Gómez, 2019; Instituto Metropolitano de Planificación – IMP, 2020), la reducción de estas coberturas son ocasionados por el incremento de concesiones mineras, instalaciones industriales, crecimiento poblacional (2.5%) ocupaciones urbanas, empresas inmobiliarias y la pérdida de los canales de regadío (Arboit y Maglione, 2018), los distritos más afectados son Carabayllo y Puente Piedra (Tácutan, 2014). Es posible direccionar proyectos de conservación de agricultura en esta zona; además, incorporar infraestructuras de canales de riego que provengan del río Chillón.

La zona Lima Centro presentó una baja disminución de la cobertura vegetal en el periodo de análisis, con una tendencia de -8.63 (Figura 10). Esta tendencia puede ser debido a que Lima Centro no presenta ecosistemas de importancia, solo abarca un pequeño espacio de las lomas de Amancaes (Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD, 2018), esta zona está intervenida por áreas urbanas (97.45 km²) (Cossios, 2018; Sistema Nacional de Información Ambiental, 2019; INEI, 2017).

La zona Lima Este presentó una disminución media de la cobertura vegetal en el periodo de análisis, con una tendencia de -34.78 (Figura 10). Esta tendencia puede ser debido al crecimiento de la población generada por el aumento de inmobiliarias (5 164 viviendas) y la creación de nuevos espacios industriales (26 %) (CAPECO, 2019), perjudicando las coberturas vegetales presentes en la zona debido a la falta de planificación para la mejora en la zonificación ecológica económica (Carranza y Tasilla, 2020).

La zona Lima Sur presentó una disminución media de la cobertura vegetal en el periodo de análisis, con una tendencia de -13.38 (Figura 10). Esta dinámica es similar a un estudio realizado en el periodo 2012 – 2014; donde, mostró una reducción de la cobertura vegetal influenciado por el crecimiento de las obras inmobiliarias (Municipalidad Metropolitana de Lima - MUNLIMA, 2016); además, las coberturas vegetales de los humedales de Lima Sur presentaron una disminución superficial (17%) provocado por los vertimientos residuales y los cambios estructurales de los suelos, la vegetación más afectada fue el juncal, totoral, carrizal y corta-corta (Flores, *et al.*, 2020). Las lomas son otras coberturas vegetales que han presentado un descenso superficial a causa de diversos factores, las lomas más afectadas son las que se

encuentran ubicadas en esta zona; debido a que, presentan una vulnerabilidad alta (Nieuwland y Mamani, 2017).

El estudio demostró que el crecimiento poblacional influye de manera directa en la disminución de la cobertura vegetal con una relación de 86 % en la provincia de Lima (Tabla 7). El incremento de la densidad poblacional provoca cambios en el suelo (Chen, Shi, Sun, y Niu, 2016), los cambios más representativos evidenciados en Lima es la degradación de paisajes y las construcciones de viviendas y carreteras (MUNLIMA, 2016; Armenteras, Murcia, Gonzáles, Barón, y Arias, 2019; Flores, *et al.*, 2020). Las edificaciones provocan las llamadas islas de calor que están compuestas por radiaciones de ondas largas (calor), este fenómeno afecta los procesos fotosintéticos y la transpiración de las coberturas vegetales (Moreno, *et al.*, 2018; Jami, Belén, Padilla, y Kirby, 2018; Quijano, Ramírez, y Gonzáles, 2017), otro fenómeno generado por el crecimiento poblacional es la disminución de la humedad relativa del aire que es benéfica para la preservación de las coberturas vegetales (Ferrelli, 2016).

La magnitud de la relación entre el crecimiento poblacional y el descenso de la cobertura vegetal en la zona Lima Norte fue de 72.1% (Tabla 9). Esta alta relación es debido a que la población concentrada en los valles del río Chillón generó amplificaciones de viviendas (Delgado, 2020). Estas amplificaciones han provocado el deterioro de los ecosistemas presentes en los valles (Bartens, 2016; Ullah, *et al.*, 2019) y la disminución de coberturas agrícolas por sustitución de espacios (MUNLIMA, 2016), la vegetación deteriorada no puede regenerarse debido a que se encuentra en efectos de la erosión (Márquez, 2020). Es posible considerar políticas de planificación urbano poblacional en los valles de la zona Lima Norte para no afectar las coberturas de importancia.

La magnitud de la relación entre el crecimiento poblacional y el descenso de la cobertura vegetal en la zona Lima Centro fue de 18% (Tabla 9). Esta baja relación es debido a que el espacio de la zona presenta en su mayoría coberturas vegetales de tipo parques, áreas verdes recreativas y áreas verdes privadas, estas coberturas no tienen la capacidad de distribuirse espacialmente (MUNLIMA, 2016; Arboit *et al.*, 2018). Por otra parte, la disminución de estas coberturas puede estar influenciadas por el factor climático (Olivares y López, 2019); puesto que, la temperatura y la precipitación climática influyen en la vigorosidad de las coberturas vegetales (Shinkarenko y Bartalev, 2020). Es posible considerar medidas para preservar las áreas verdes de esta zona, con la finalidad de contrarrestar los efectos climáticos.

4.2. Conclusiones

La variación del crecimiento poblacional presentó un incremento del 2.10% (3 045 420 habitantes); además; las zonas Lima Norte, Lima Este, Lima Centro y Lima sur presentaron una tasa de crecimiento de 2.58%, 2.86%, 0.22% y 2.08% respectivamente.

La investigación demostró un descenso de 2769.5 Ha de cobertura vegetal en la provincia de Lima; asimismo, se observó aumentos temporales de coberturas vegetales en las zonas Lima Centro y Lima Sur, durante el periodo 2000 – 2019.

El crecimiento poblacional de la provincia de Lima influye en un 86% en el descenso de la cobertura vegetal; además, la cobertura vegetal de la zona Lima Norte está influenciada en un 72% por el crecimiento poblacional y las zonas restantes presentaron una influencia del 17% a 44%.

REFERENCIAS

- Abulizi, N., Kawamura, A., Tomiyama, K., & Fujita, S. (2016). Measuring and evaluating of road roughness conditions with a compact road profiler and ArcGIS. *ScienceDirect*, 398-411. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.004>
- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2015). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 el módulo FLAASH del software ENVI. *ResearchGate*, 2-52. doi:<https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alea, V., Jiménez, E., Muñoz, C., Torrelles, E., & Viladomiu, N. (2014). *Guía para el análisis estadístico con R Commander*. Barcelona: Universidad de Barcelona. Obtenido de <https://n9.cl/c8i7w>
- Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (2016). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *Universidad de Málaga*. Obtenido de <http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/ambrosio2002crg.pdf>
- Apedjinou, B. (2019). *Impacto del crecimiento urbano en la alteración y degradación del ecosistema de las lomas de Villa María del Triunfo*. Tesis, Lima. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2863/ECOL_T030_000605975_M%20%20%20APEDJINO%20KOMLAVI.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arabameri, A., & Reza, H. (2019). 13 - Spatial modeling of gully erosion using linear and quadratic discriminant analyses in GIS and R. *ScienceDirect*, 299-321. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815226-3.00013-2>
- Arboit, M., & Maglione, D. (2018). Situación actual y cambios recientes en los índices de vegetación (VIS) en ciudades forestadas con climas secos. *Redalyc*, 21(38). doi:<https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.38.02>
- ArcGIS. (19 de Mayo de 2020). *Table to Excel*. Obtenido de ArcGIS: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=c344c669bad046acb4e2968cef375062>

- ArcMap. (11 de 05 de 2016). *¿Qué es ModelBuilder?* Obtenido de Esri:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>
- ArcMap. (4 de Diciembre de 2016). *Función NDVI*. Obtenido de esri:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>
- ArcMap. (2017). *Un recorrido rápido por el uso del Álgebra de mapas*. Obtenido de esri:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/spatial-analyst/map-algebra/a-quick-tour-of-using-map-algebra.htm>
- Armenteras, D., Murcia, U., Gonzáles, T., Barón, O., & Arias, J. (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *ScienceDirect, 17*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567>
- Baiamonte, G., Domina, G., Raimondo, F., & Bazan, G. (2015). Agricultural landscapes and biodiversity conservation: a case study in Sicily (Italy). *Springer Link, 24*, 3201-3216. doi:<https://doi.org/10.1007/s10531-015-0950-4>
- Barros, O., Cordero, J., & García, M. (2019). Villa Clara. Dinámica y composición de la población. Período 2000-2017. *Scielo, 82-97*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-40782019000100082&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bartens, A. (2016). *Evaluación del estado ecológico de las riberas del canal de la laguna Moronacocha, Iquitos – Perú*. Tesis, Iquitos. Obtenido de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4214>
- Bejarano, S., & Bernal, L. (2018). *Análisis del índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI) en la zona Este del departamento del Tolima*. Monografía. Obtenido de <https://repositorio.unibague.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12313/689/1/Trabajo%20de%20grado%20.pdf>

- Blanco, E., & Ferrer, J. (2016). Métodos de estimación de cambios espacio-temporales en la distribución geográfica de especies. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/307630677_Metodos_de_estimacion_de_cambios_espacio-temporales_en_la_distribucion_geografica_de_especies
- Cámara de Comercio de Lima. (2019). Construcción en Alza. *La Cámara*, 1-36. Obtenido de https://apps.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/edicion900/edicion_digital_900.pdf
- CAPECO. (2019). *Informe Económico de la Construcción*. Instituto de la Construcción y el Desarrollo - ICD. Obtenido de http://www.construccionindustria.com/iec/IEC22_0119.pdf
- Carranza, J., & Tasilla, F. (2020). Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, VI(1), 1-11. Obtenido de <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1400>
- Castañeda, C., Martínez, M., Pascual, F., Flores, H., Fernández, D., & Esparza, S. (2015). Estimación de coeficientes de cultivo mediante sensores. *Scielo*, 49(2), 221-232. Obtenido de <http://scielo.org.mx/pdf/agro/v49n2/v49n2a9.pdf>
- Castellares, R., & Alanya, W. (2019). *Determinantes de la migración interna en el Perú 2012-2017*. Lima. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-177/moneda-177-05.pdf>
- Cerron, J., Castillo, J., Bonesoeur, V., Peralvo, M., & Mathes, S. (2019). *Relación entre árboles, cobertura y uso de tierra y servicios hidrológicos en los Andes Tropicales: Una síntesis del conocimiento*. Lima. doi:<http://dx.doi.org/10.5716/OP19056.PDF>
- Chen, J., Shi, H., Sun, L., & Niu, J. (2016). Yellow River Basin. *ResearchGate*, 1-24. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/310597524_Yellow_River_Basin

- Cholan, N. (2018). *Metodología para identificar la variación espacio - temporal de la cobertura vegetal mediante las técnicas de la geomática*. Valle de Cañete: Universidad Nacional Agraria la Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3382/cholan-rodriguez-nevenca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Choubin, B., Soleimani, F., Pirnia, A., Sajedi, F., Alilou, H., Melesse, A., . . . Shahabi, H. (2019). Chapter 17 - Effects of drought on vegetative cover changes: Investigating spatiotemporal patterns. *ScienceDirect*, 213-222. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00017-8>
- Chuvienco, E. (2008). *Teledeteccion ambiental*. (3, Ed.) Barcelona: Ariel S.A. Obtenido de <https://n9.cl/qayc6>
- Corral, L., Schling, M., & Montiel, C. (2018). The economic and ecological impact of natural. *ECONSTOR*, 1-55. Obtenido de <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/208139/1/IDB-WP-0934.pdf>
- Cossios, D. (2018). *Sobre estado y tendencias de la diversidad de ecosistemas del Perú*. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/321470/Estado_y_tendencias_ecosistemas.pdf
- Da Silva, K., Parodi, M., Nóbrega, R., & Opazo, D. (2019). Variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal de los años 1984 a 2011 en la cuenca hidrográfica del río Moxotó, Pernambuco, Brasil. *SciELO*, 139-150. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812019000100139>
- De Amorim, F., & Sabóia, C. (2019). Análisis temporal de cobertura vegetal en un tramo del curso medio de la cuenca del río Poti Noroeste del Estado de Piauí. *Revista Cadernos de Ciências e Tecnologia y la multiplicidad de conceptos*, 21-35. Obtenido de <https://revistas.uece.br/index.php/CCiT/article/view/957>
- Delgado, S. (2020). Resiliencia urbana, crecimiento demográfico y cambio climático: la estructura ecológica y las áreas verdes urbanas vinculadas al río Rímac de Lima. *Pntificia Universidad Católica del Perú*. doi:10.21142/SS-0101-2020-006

- Dellepiane, J. (2017). *Uso de imágenes satelitales para el reconocimiento de parapetos en el centro-oeste de Patagonia meridional*. Buenos Aires: INAPL. Obtenido de <https://cutt.ly/Vfs0dBC>
- Esri. (1 de Setiembre de 2015). *ENVI*. Obtenido de esri Official Distributor: <https://www.sigsa.info/productos/envi#:~:text=Es%20el%20software%20especializ%20ado%20en,analistas%20de%20todo%20el%20mundo>
- Fallas, J. (2012). *Correlación Lineal: Midienda la relación entre dos variables*. Obtenido de https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/correlacion_lineal_2012.pdf
- FAO. (25 de Junio de 2016). *Agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/es/CMVALC/lima.html>
- Farjas, M., Domínguez, A., Picazo, A., & Pérez, C. (2015). Utilización de recursos Open Data en procesos de documentación cartográfica de bajo coste sobre territorios no estructurados de interés arqueológico mediante imágenes Landsat 8: Área de Mleiha-Khor Fakkan (E.A.U). *Core*, 269-272. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/148680784.pdf>
- Ferrelli, F. (2016). Análisis del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/314472454_Analisis_del_clima_local_y_micro-local_de_la_ciudad_de_Bahia_Blanca_Argentina
- Flores, N., Castro, I., & Aponte, H. (2020). Evaluación de las unidades de vegetación en Los Pantanos De Villa (Lima, Perú) mediante sistemas de información geográfica y teledetección. *Scielo*, 303-321. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992020000100303&script=sci_arttext
- Flórez, G., Rincon, A., Cardona, P., & Alzate, A. (2016). Multitemporal analysis of the vegetation cover in the area of influence of. *DYNA*. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>

- Fuenzalida, M., Buzai, G., Moreno, A., & García, A. (2015). *Geografía Geotecnología y Análisis Espacial*. Santiago de Chile: TRIANGULO. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/292843472/Fuenzalida-Et-AI-2015-Geografia-Geotecnologia-y-Analisis-Espacial>
- Garay, D., & Agüero, J. (2013). *Introducción a los SIG_Software QGIS*. EEA La Rioja. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_intro_qgis2.10_eea_la_rioja.pdf
- García, E., & Otto, M. (2015). Caracterización ecohidrológica de humedales Alto Andinos usando Imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del río Santa, Ancash, Perú. *ResearchGate*. Obtenido de <https://n9.cl/2c5hf>
- García, M., & Gutierrez, J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/33104782.pdf>
- Gómez, D. (2019). *Variación espacial y temporal de la vegetación en Baja California Sur, con énfasis en áreas naturales protegidas*. Tesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. . Obtenido de <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/2890>
- Gomez, L. (2018). Cambios de uso de suelo en paso de los libres, corrientes, Argentina entre los años 1990 y 2016. Impacto del Proceso de Expansión Urbana. *Geográfica Digital*, 1-21. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81083/CONICET_Digital_Nro.acd74b1e-2609-4161-98be-af47de93e314_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Gonzaga, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ*, 30-41. Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/43/41>
- González, J. (2009). *Manual básico SPSS: Manual de introducción a SPSS*. Talca: Universidad de Talca. Obtenido de https://www.fibao.es/media/uploads/manual_basico_spss_universidad_de_talca.pdf

- Hagolle, O., Huc, M., Villa, D., & Dedieu, G. (2015). Un método multitemporal y multiespectral para estimar el espesor óptico de aerosoles sobre tierra, para la corrección atmosférica de imágenes de FormoSat-2, LandSat, VENμS y Sentinel-2. *MDPI*, 2668-2691. doi:<https://doi.org/10.3390/rs70302668>
- Hernández, J., Espinosa, J., Peñaloza, M., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., . . . Bermúdez, V. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *AVFT*, 587-595. Obtenido de https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adequado_coeficiente.pdf
- Hernández, M., Palacios, A., Otazo, E., Gonzáles, C., Gordillo, A., & Mendoza, K. (2016). Influencia de la urbanización en el cambio de la vegetación colindante del corredor Pachuca-Tizayuca (2000-2014). *Scielo*, 20-39. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000100020
- Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed.). México: Mc Graw Hill.
- IMP. (19 de Febrero de 2013). *Plan REgional de Desarrollo Concertado de Lima (2012-2025)*. Obtenido de Municipalidad Metropolitana de Lima: <https://190.187.94.147/images/Plan-Desarrollo-Lima-Metropolitana-2012-2025.pdf>
- IMP. (2020). *Planes de Desarrollo Distritales*. Lima. Obtenido de <http://imp.gob.pe/planes-de-desarrollo-distritales/>
- INEI. (2017). *Provincia de Lima: Compendio Estadístico*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1477/libro.pdf
- INEI. (2017). *REDATAM*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática: <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>

- INEI. (27 de Junio de 2018). *Metodología*. Obtenido de Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Urbana y Rural por Sexo y Grupo de Edad, Según Departamentos: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0844/cap01.pdf>
- INEI. (Febrero de 2019). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática: https://censos2017.inei.gob.pe/pubinei/censos/Cpv2017/cpv2017_REDATAM_WEB_GUIA_DE_USO.pdf
- INGEMMET. (24 de Octubre de 2015). *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*. Obtenido de https://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/tecnicas_tl
- INGEMMET. (2018). *Taller Internacional Fortalecimiento de capacidades para mitigar los impactos de huaicos en Perú, Lima y Arequipa, Perú, 15-19 octubre 2018 : Libro de Resúmenes*. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Obtenido de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico: <http://51.79.70.226/handle/20.500.12544/1937>
- Jami, L., Belén, M., Padilla, O., & Kirby, E. (2018). Análisis de la presencia de islas de calor en el cantón Rumiñahui mediante el tratamiento de imágenes Landsat 7 ETM +. *ResearchGate*. doi:10.24133/geoespacial.v15i2.1241
- Jaramillo, L., & Antunes, A. (2018). Detección de cambios en la cobertura vegetal mediante. *Crossref*, 33-46. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105582/8995-38927-1-PB.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., & Ryu, Y. (2015). Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *ScienceDirect*, 298-313. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.004>
- Leal, J., Pérez, U., & Ortiz, N. (2015). Índice normalizado de la vegetación (NDVI) para la detección de cambio de coberturas vegetales entre 1999-2010 en la cuenca del río Combeima (Ibagué – Tolima). *ResearchGate*. doi:10.13140 / RG.2.1.1455.0246

- Li, Y., Cao, Z., Long, H., Liu, Y., & Li, W. (20 de Enero de 2017). Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urban–rural development: The case of Mu Us Sandy Land, China. *ScienceDirect*, 697-715. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.011>
- Loayza, K., Mercedes, G., Mestas, V., & Quiliche, J. (2017). Estudio del crecimiento urbano y modificación de cobertura vegetal mediante teledetección del Distrito de Végueta. *BIG BANG*. Obtenido de <http://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/BIGBANG/article/view/46>
- López, A., Martínez, M., & Fernández, D. (15 de Febrero de 2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Scielo*, 121-137. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000100007
- Loveland, T., & Irons, J. (2016). Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. *ScienceDirect*, 1-6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.033>
- Maldonado, J., Alatorre, L., & Torres, M. (2015). Análisis de las tendencias del NDVI con imágenes satelitales en Cuauhtémoc, Chihuahua (2000-2014). *ResearchGate*, 1-7. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/302510079_Analisis_de_las_tendencias_del_NDVI_con_imagenes_satelitales_en_Cuauhtemoc_Chihuahua_2000-2014
- Mamani, R. (2020). Índices de Área Verde y Cobertura Vegetal de la Ciudad de La Paza. *IGEO*, 60-75. Obtenido de <https://revistaiigeo.umsa.bo/index.php/revista/article/view/23>
- Manzano, F., & Velazquez, G. (2015). La evolución de las ciudades intermedias en la Argentina. *GEOUERJ*. doi: 10.12957/geouerj.2015.18859
- Márquez, C. (2020). *Fenómeno El Niño: Análisis comparativo 1997-1998//2014-2016*. Bogotá. Obtenido de https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20564/Fenomeno_nino-2016.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- Martínez, A., & Campos, W. (2015). Correlación entre Actividades de Interacción Social Registradas con Nuevas Tecnologías y el grado de Aislamiento Social en los Adultos Mayores. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322015000300004
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman. *Redalyc*, 8(2). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1804/180414044017.pdf>
- Maza, C. (2009). *Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco-Cantón loja*. San Cayetano Alto. Obtenido de https://www.academia.edu/27275604/UTPL_Maza_Chamba_Cristian_Vicente_1009103_MODELO_DE_TESIS
- Meera, G., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and Gis – A case study of Vellore District. *ScienceDirect*, 1199-1210. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- Mieza, S., Kovac, F., & Martínez, D. (2012). Imágenes satelitales y aéreas en aplicaciones sitio específicas. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318710942_Imagenes_satelitales_y_aereas_en_aplicaciones_sitio_especificas
- MINAGRI. (2018). *Manual técnico: Metodología para clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales*. Bellavista: ESERGRAF. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Manual-de-procesamiento-de-imagenes-satelite-ENVI.pdf>
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: Memoria descriptiva*. Lima: Ministerio del Ambiente. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>
- MINDEF. (2005). *Infraestructura Nacional de datos Geoespaciales Fundamentales del Perú*. Obtenido de Instituto Geográfico Nacional: <https://www.idep.gob.pe/>

- Montes, C. (2019). *Metodología de corrección radiométrica basada en modelos mixtos para cámaras acopladas en RPAS con tiempo de exposición en modo automático*. Universidad Católica de Manizales, Caldas. Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2702/Cristian%20Camilo%20Montes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morales, F. (2019). Actividad humana e impacto ambiental. *International Journal of Good Conscience*, 1-14. Obtenido de [http://www.spentamexico.org/v14-n2/A8.14\(2\)131-144.pdf](http://www.spentamexico.org/v14-n2/A8.14(2)131-144.pdf)
- Moreno, A., & Lourenço, R. (2018). Emisividad de radiación y efecto invernadero por la ocupación urbana del suelo en la cuenca del río Una, São Paulo. *ResearchGate*, 323-337. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/326596327_Emisividad_de_radiacion_y_efecto_invernadero_por_la_ocupacion_urbana_del_suelo_en_la_cuenca_del_rio_Una_Sao_Paulo
- Moreno, E. (2008). *Manual de uso de SPSS*. Madrid: UNED. Obtenido de http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:500727/Guia_SPSS.pdf
- MUNLIMA. (2016). *Plan de desarrollo local concertado de Lima Metropolitana 2016-2021*. Lima. Obtenido de <https://cdn.plataformaurbana.cl/wp-content/uploads/2016/11/1.-pdlc-de-lm-2016-2021.pdf>
- Muñoz, M., & Navarro, F. (2016). Un análisis armónico de datos NDVI para estudiar la deforestación en la provincia de Tahuamanu en Perú durante 2001–2011. *Taylor & Francis*, 856-875. doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1136446>
- MVCS. (28 de Agosto de 2020). *Observatorio Urbano*. Obtenido de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: <http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/curbano.php>
- Nieuwland, B., & Mamani, J. (2017). Las lomas de Lima: enfocando ecosistemas desérticos como espacios abiertos en Lima metropolitana. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317143928_Las_lomas_de_Lima_enfocando_ecosistemas_deserticos_como_espacios_abiertos_en_Lima_metropolitana

- Novara, M. (2011). *Introducción al manejo del software libre Quantum Gis (QGIS)*. Documento Interno de Cátedra, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Obtenido de https://download.osgeo.org/qgis/doc/workshops/qgis1.6_tutorial_spanish.pdf
- Olivares, B., & López, M. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *ResearchGate*, 112-121. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/334058189_Indice_de_Vegetacion_de_Diferencia_Normalizada_aplicado_al_territorio_indigena_agricola_de_Kashaama_Venezuela
- ONU. (2020). *Fondo de Población de las Naciones Unidas*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.unfpa.org/es/data/world-population/PE>
- Palacios, J., Zárate, R., Minaya, R., Martín, M., & Benavides, J. (2020). Predicción de la pérdida de la cobertura vegetal por aumento de áreas urbanas en Iquitos, Perú. *ResearchGate*, 7(1), 37-50. doi:<http://dx.doi.org/10.22386/ca.v7i1.263>
- Pérez, C., & Muñoz, A. (2006). *Teledeteccion: Nociones y aplicaciones*. Universidad de Salamanca. Obtenido de <https://n9.cl/0zis5>
- Pino, R., & Soto, T. (2015). *Las redes sociales como herramienta didáctica para la producción de textos argumentativos en estudiantes del cuarto grado de secundaria del centro experimental de aplicación de la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle*. Chosica: Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Obtenido de <http://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/558/005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PNUD. (2018). *Retos y oportunidades en la conservación de las lomas de Lima Metropolitana*. Lima: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PNUD. (2018). *Retos y oportunidaes en la conservación de las lomas de Lima Metropolitana*. Lima. Obtenido de [file:///C:/Users/USER/Downloads/Brochure_24PP_FINAL%20\(3\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Brochure_24PP_FINAL%20(3)%20(1).pdf)

- Quijano, S., Ramírez, I., & Gonzáles, J. (2017). Gradiente térmico en la ciudad de Medellín y su relación con el crecimiento urbano: estudio de caso. *Dialnet*, 12(2), 159-168. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6307173>
- Ramírez, M., & Pértile, V. (2017). Crecimiento poblacional, expansión urbana y cambio de usos de suelo en ciudades intermedias de la provincia del Chaco, Argentina. El caso de Juan José Castelli. *Geografía*. Obtenido de <http://ojs2.fch.unicen.edu.ar:8080/ojs-3.1.0/index.php/estudios-socioterritoriales/article/view/289>
- REDATAM. (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística e Informática: <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Redondo, N., Brenes, G., Agudelo, M., Guidotti, C., Romero, D., & Sandoval, M. (2018). *Notas de Población N° 106*. Santiago: CEPAL. Obtenido de <https://cutt.ly/efs0kgw>
- Rezende, A., Carneiro, R., Campos, L., & Mauad, F. (2018). Definición de niveles de conservación ambiental considerando la actividad antrópica en el área protegida de la cuenca del río Uberaba. *Scielo*. doi:<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2279>
- Rojas, N., Barboza, E., Maicelo, J., & Salas, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Bage*, 81, 2538, 1-34. doi:<https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Rojas, N., Castillo, E., Maicelo, J., Oliva, S., & Salas, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *BAGE*, 1-34. doi: <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Romero-Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Dialnet*, 105-114. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>
- Roy, D., Kovalskyy, V., Zhang, H., Vermote, E., Yan, L., Kumar, S., & Egorov, A. (2016). Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. *ScienceDirect*, 57-70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024>

- Rozo, E. (2017). GEOGRAFÍA, TERRITORIO Y POBLACIÓN. *Redalcy*, 39-47. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/791/79105704.pdf>
- Ruiz, M., Orozco, M., Granados, R., & Álvarez, G. (2017). Cambio de uso de suelo e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), subcuenca del Río Salado, México. *GESIG*, 39-50. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68525/02%20Cambio%20de%20uso%20de%20suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sahagún, F., & Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006
- Salinas, C., Martínez, R., & Morales, M. (2017). Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *ResearchGate*, 82-90. doi:10.14350/ri.57214
- Santos, J., Uribe, B., Bessudo, S., Castaño, C., Lozano, R., & Arévalo, L. (2011). *Proyecto: Capacidad institucional, técnica y científica para apoyar proyectos de reducción de emisiones por deforestación y degradación -REDD- en Colombia*. IDEAM. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022108/PARTE1.pdf>
- Schaller, J., & Mattos, C. (2009). Aplicaciones de ArcGIS ModelBuilder para paisaje planificación del desarrollo en la región de Munich, Baviera. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/237458970_ArcGIS_ModelBuilder_Applications_for_Landscape_Development_Planning_in_the_Region_of_Munich_Bavaria
- SENAMHI. (2014). *El fenómeno El niño en el Perú*. Obtenido de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf

- Shinkarenko, S., & Bartalev, S. (2020). NDVI seasonal dynamics of the North Caspian pasture landscapes from MODIS data. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/345045373_NDVI_seasonal_dynamics_of_the_North_Caspian_pasture_landscapes_from_MODIS_data
- Siddiqui, A., Siddiqui, A., Maithani, S., Jha, A., Kumar, P., & Srivastav, S. (2018). Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA Markov and Logistic Regression. *ScienceDirect*, 229-236. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.006>
- Sierra, G., Flores, P., & Pérez, C. (2018). Vulnerabilidad, resiliencia y ordenamiento territorial. *ResearchGate*, 717-750. Obtenido de <https://cutt.ly/9fs0lbS>
- SINIA. (24 de Mayo de 2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental: <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Soares, J., De Moraes, V., Alves, O., & Martins, A. (2020). Estudio da dinâmica espaço-temporal do NDVI no Município de Sorriso-MT. *Revista Brasileira de Geografia Física*, XIII(2), 834-841. Obtenido de <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>
- Souza, V., Faria, C., Sander, L., Ferreira, D., De Lucia, F., & Leão, E. (2017). Evaluación de métodos de corrección atmosférica para imágenes MSI Sentinel-2 aplicadas a lagos de llanuras de inundación del Amazonas. *MDPI*, 322. doi:<https://doi.org/10.3390/rs9040322>
- Tácanan, S. (2014). *Historia al norte de Lima*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/summa_humanitatis/article/view/8279/8584
- Takahashi, K. (2016). *El fenómeno El Niño en el Perú*. IGP. Obtenido de <https://rpmesp.ins.gob.pe/public/journals/1/imagenes/Simposio/2016/Takahashi.pdf>
- Trujillo, R. (2019). *Respuesta del índice de vegetación de diferencia*. San Luis Potosí: Instituto Potosino de Investigación. Obtenido de <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/bitstream/handle/11627/5006/TMIPICYTT7R42019.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

- Ullah, S., Ahmad, K., Sajjad, R., Abbasi, A., Nazeer, A., & Tahir, A. (2019). Análisis y simulación de cambios en la cobertura terrestre y sus impactos en la temperatura de la superficie terrestre en una región del Himalaya inferior. *ResearchGate*, 238-257. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/335531435_Analysis_and_simulation_of_land_cover_changes_and_their_impacts_on_land_surface_temperature_in_a_lower_Himalayan_region
- Young, A. (2013). *The Quarterly Journal of Economics*. OXFORD, 1727–1785. Obtenido de <https://academic.oup.com/qje/article-abstract/128/4/1727/1850694?redirectedFrom=fulltext>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia del trabajo de investigación

TITULO: “Análisis espacio temporal de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019)”

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cómo es la dinámica de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2009-2019)?	General: Existe una relación estrecha entre la disminución de la cobertura vegetal y el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2009-2019).	General: Analizar de manera espacio temporal la dinámica de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2009-2019). Específicos: • Conocer la variación temporal del crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019). • Conocer la dinámica espacio – temporal de la cobertura vegetal mediante el NDVI de la provincia de Lima, Perú (2000-2019). • Determinar el grado de correlación entre el crecimiento poblacional y la cobertura vegetal a nivel total y por zonas de la provincia de Lima, Perú (2000-2019).	Variable 1: Crecimiento poblacional Variable 2: Cobertura vegetal	Tipo de investigación: Descriptivo – Correlacional – No experimental Técnica: Extracción de imágenes satelitales y recopilación de datos poblacionales Instrumento: Bases de datos. Método de análisis de datos: • Uso del programa SPSS versión 25 para el análisis de correlación entre las dos variables. • Uso del software ArcGIS 10.3 para el procesamiento y determinación de la cobertura vegetal.	Provincia de Lima

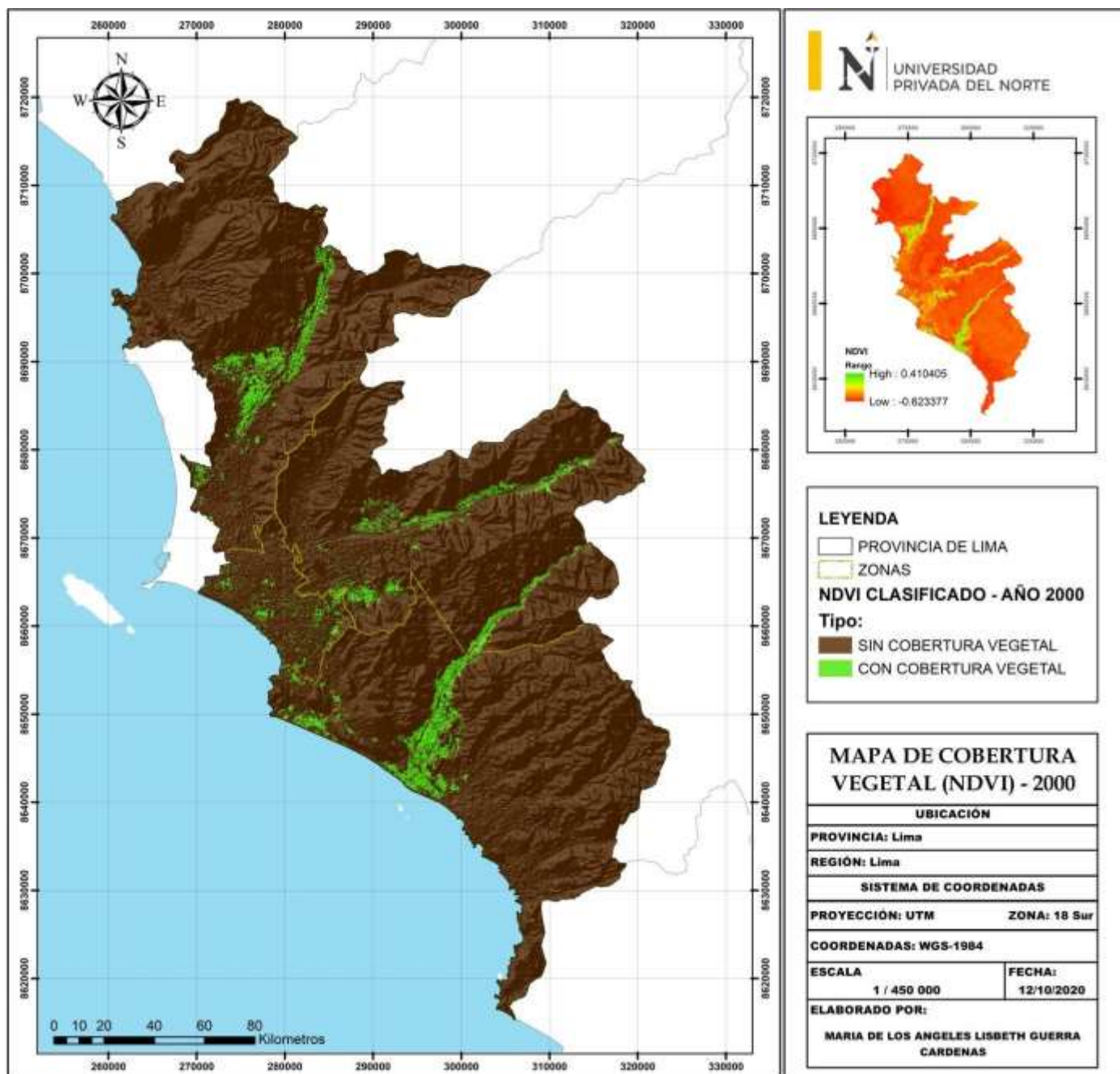
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

TITULO: “Análisis espacio temporal de la cobertura vegetal mediante el NDVI, y su relación con el crecimiento poblacional de la provincia de Lima, Perú (2000-2019)”				
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE DEPENDIENTE: Cobertura Vegetal	Son unidades vegetales que conforman un ecosistema, estas unidades son clasificadas en función al relieve y al clima del territorio; se tiene como ejemplo, a los bosques, herbáceas, pajonales, bofedales, pastizales, entre otras (MINAM, 2015)	Factores Físicos	Superficie	Ha
VARIABLE INDEPENDIENTE: Crecimiento poblacional	Se define como el crecimiento al número de habitantes en un determinado tiempo y espacio (Ramírez & Pértile, 2017).	Factores Físicos	Tasa Cantidad	% # habitantes

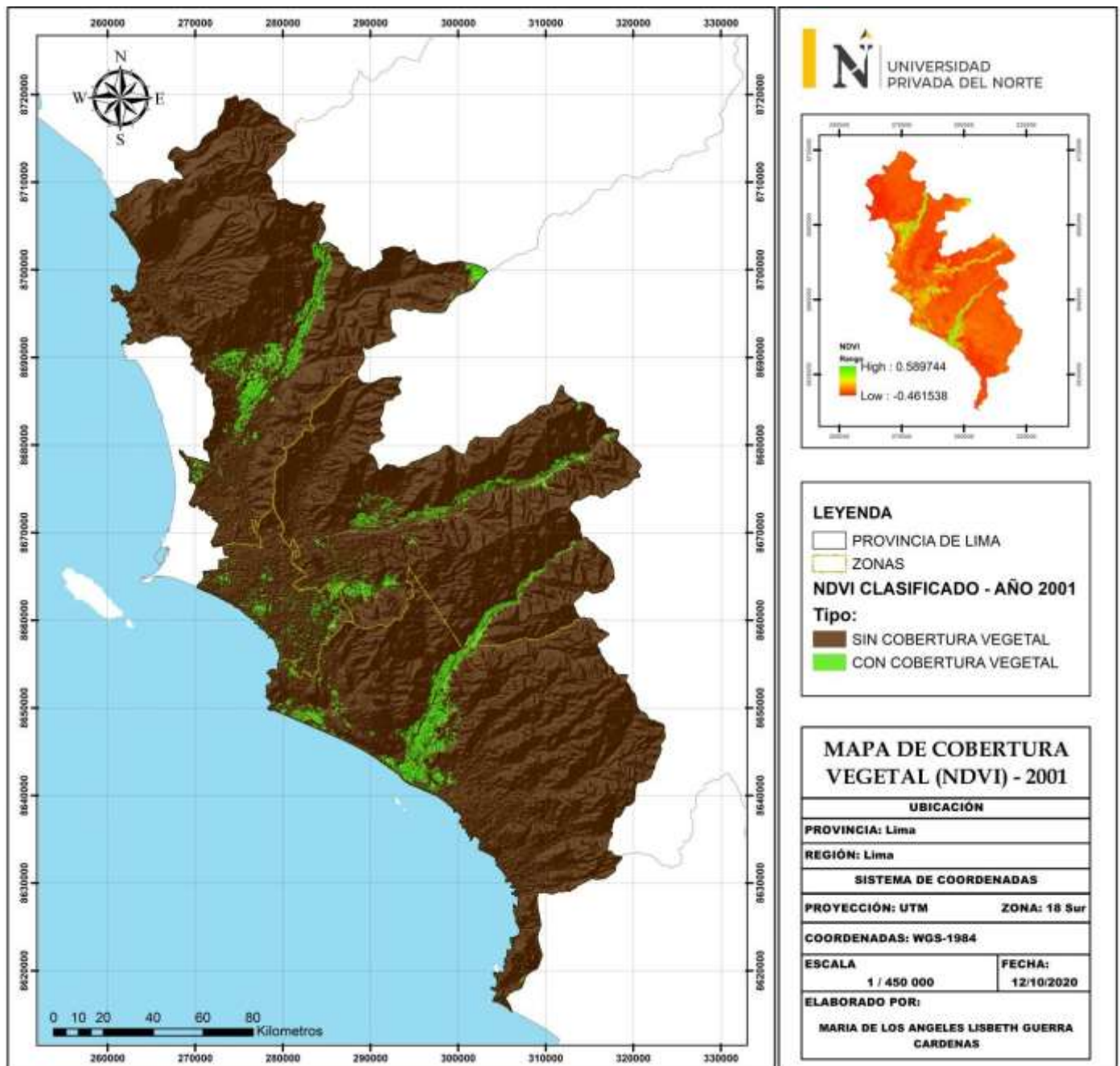
Anexo 3. Tabla de datos que dan origen a las gráficas

AÑO	PROVINCIA DE LIMA		LIMA NORTE		LIMA CENTRO		LIMA ESTE		LIMA SUR	
	Población (# hab.)	Cobertura Vegetal (Ha)	Población (# hab.)	Cobertura Vegetal (Ha)	Población (# de hab.)	Cobertura Vegetal (Ha)	Población (# de hab.)	Cobertura Vegetal (Ha)	Población (# hab.)	Cobertura Vegetal (Ha)
2000	6 403 128	13 367	1 690 266	3 963	1 907 678	1 260	1 657 540	3 631	1 288 309	4 513
2001	6 509 420	13 580	1 731 170	4 321	1 911 875	1 361	1 698 979	3 562	1 320 131	4 334
2002	6 617 476	12 202	1 773 065	3 378	1 916 081	1 472	1 741 453	3 291	1 352 738	4 059
2003	6 727 326	11 807	1 815 973	3 104	1 920 297	1 638	1 784 990	2 956	1 386 150	4 107
2004	6 839 000	12 558	1 859 919	2 826	1 924 521	1 710	1 829 614	3 553	1 420 388	4 467
2005	6 954 517	12 173	1 904 792	3 761	1 928 755	1 001	1 875 311	3 090	1 455 946	4 319
2006	7 273 034	11 530	1 992 222	3 345	1 932 999	939	2 015 397	2 916	1 511 709	4 329
2007	7 605 742	11 074	2 083 583	3 031	1 937 251	1 030	2 165 923	2 791	1 569 513	4 220
2008	7 747 969	11 310	2 131 714	4 078	1 941 513	842	2 214 873	2 885	1 594 939	3 501
2009	7 892 856	10 912	2 180 956	3 260	1 945 784	1 006	2 264 929	2 411	1 620 777	4 232
2010	8 040 453	10 857	2 231 336	2 448	1 950 065	1 408	2 316 116	3 038	1 647 034	3 962
2011	8 190 809	11 751	2 282 880	2 892	1 954 355	984	2 368 461	3 482	1 673 716	4 392
2012	8 343 977	11 725	2 335 615	1 153	1 958 655	469	2 421 988	1 265	1 700 830	8 837
2013	8 500 010	10 641	2 389 568	2 267	1 962 964	1 288	2 476 725	3 049	1 728 383	4 350
2014	8 658 960	10 394	2 444 767	2 599	1 967 282	1 401	2 532 699	2 403	1 756 383	3 988
2015	8 820 883	10 747	2 501 241	2 944	1 971 611	1 130	2 589 938	2 925	1 784 837	3 745
2016	8 985 833	11 554	2 559 019	2 441	1 975 948	1 291	2 648 470	3 348	1 813 751	4 473
2017	9 154 333	10 482	2 618 753	2 208	1 980 295	1 298	2 708 099	3 537	1 843 746	3 436
2018	9 325 519	9 687	2 679 246	2 181	1 984 652	1 270	2 769 302	2 531	1 873 615	3 703
2019	9 499 906	9 592	2 741 137	2 178	1 989 018	1 235	2 831 888	2 570	1 903 967	3 608

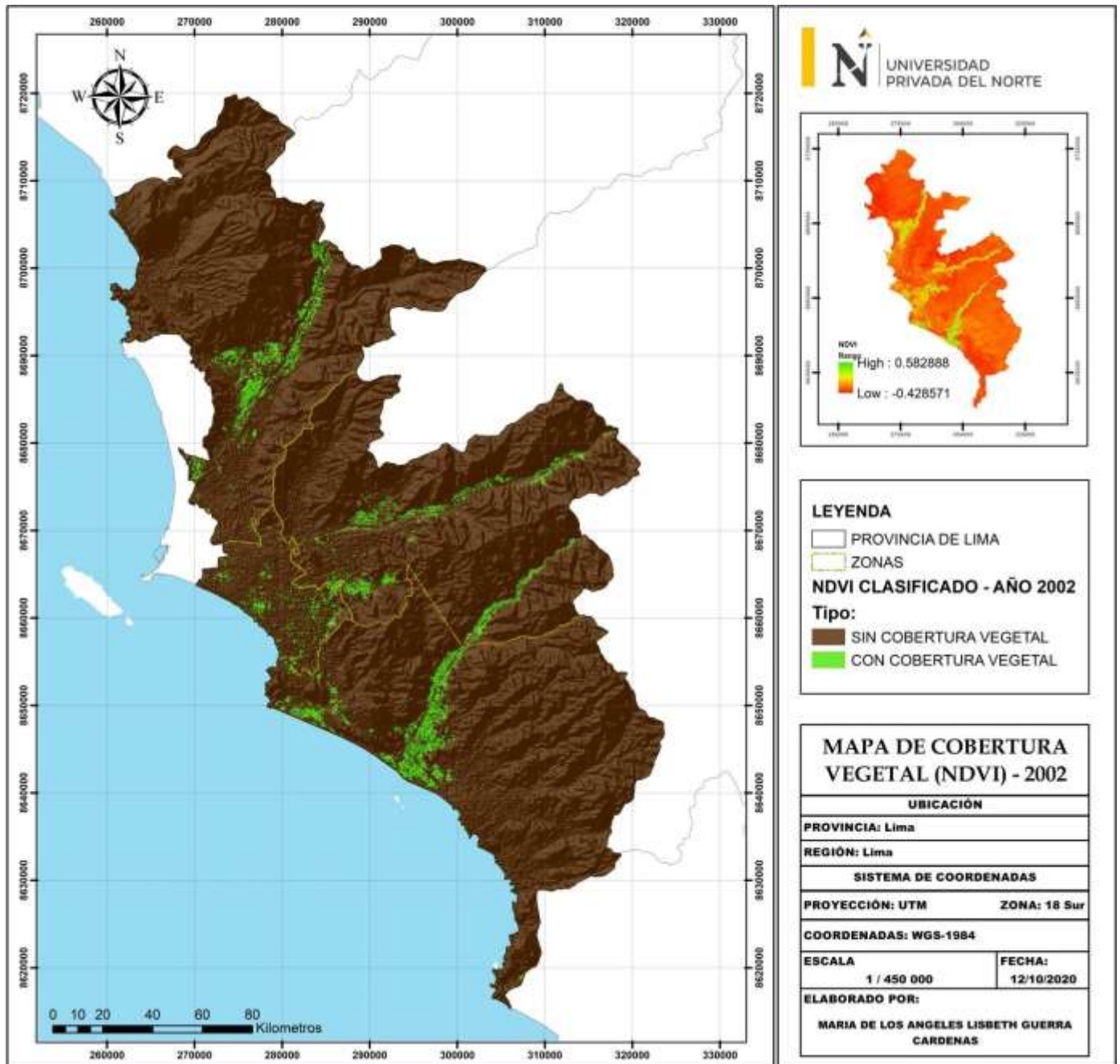
Anexo 4. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2000



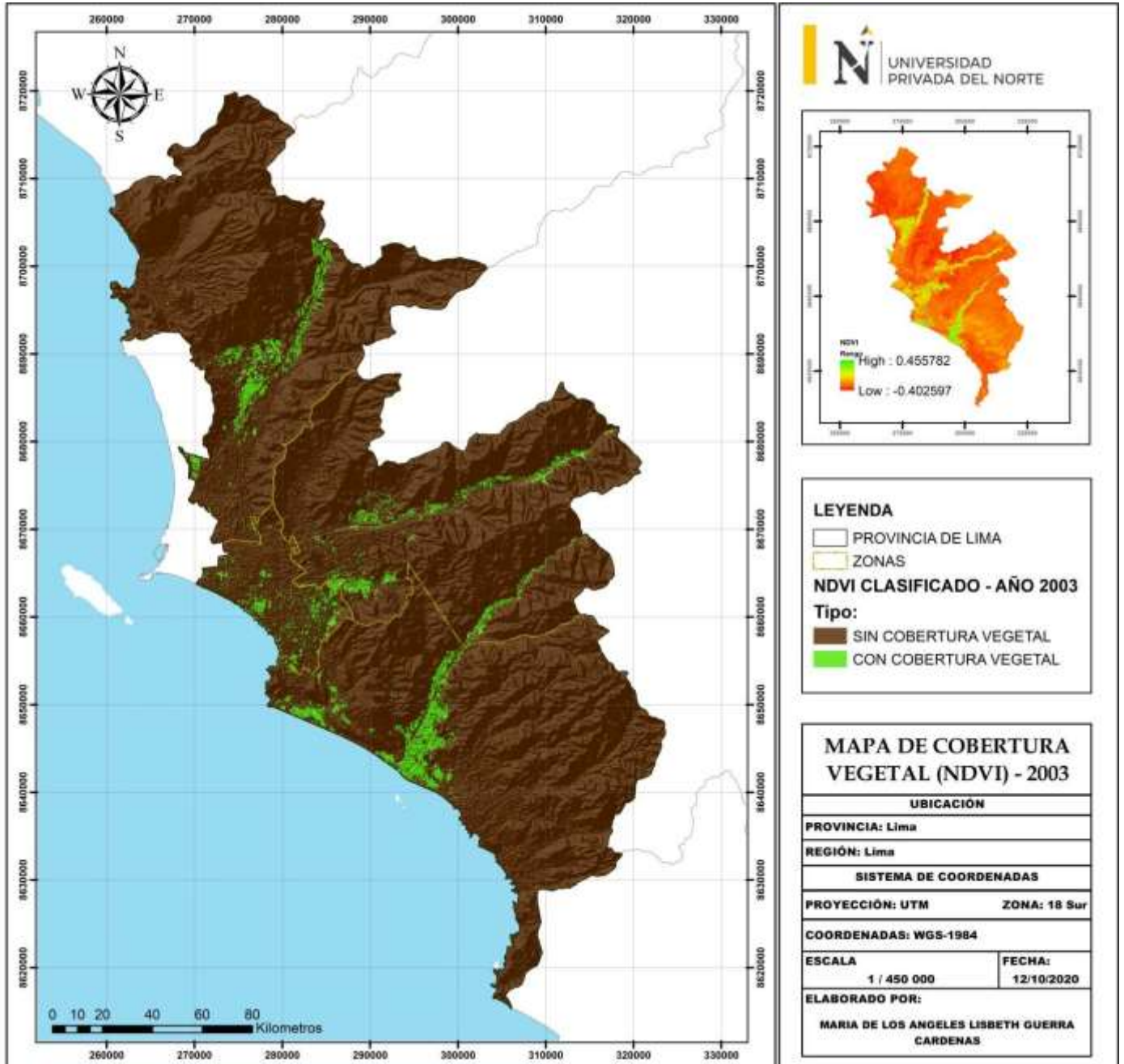
Anexo 5. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2001



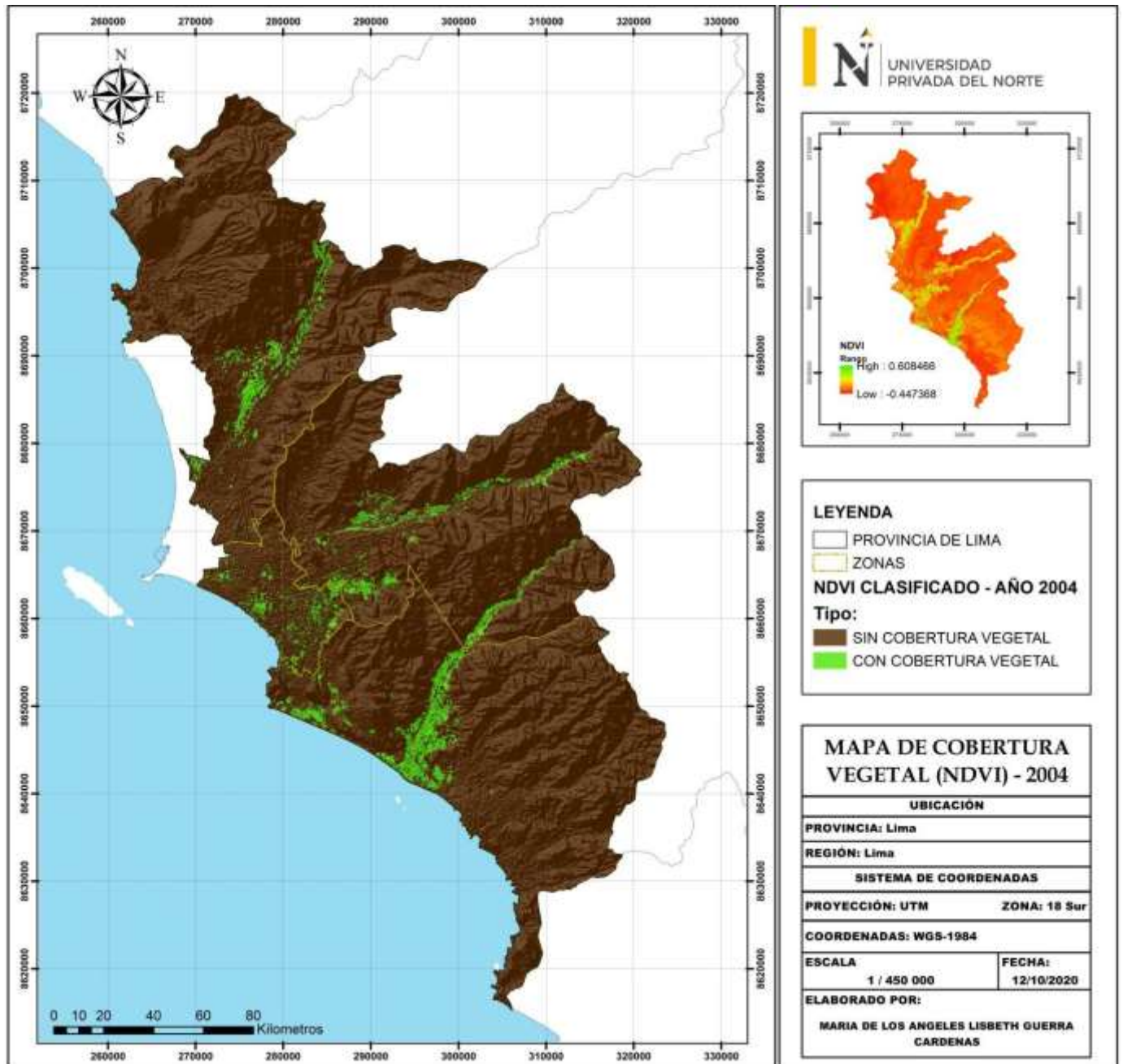
Anexo 6. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2002



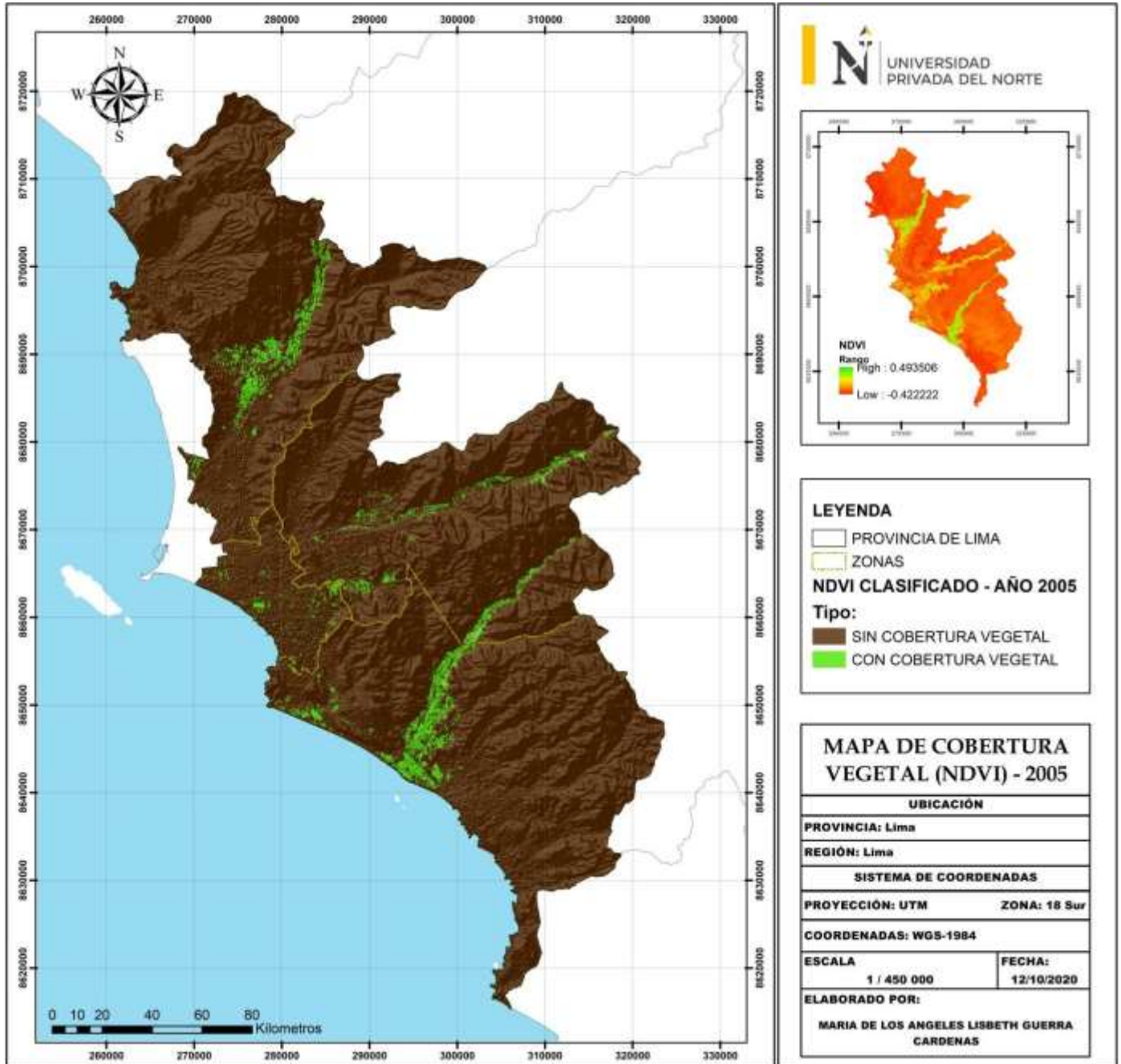
Anexo 7. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2003



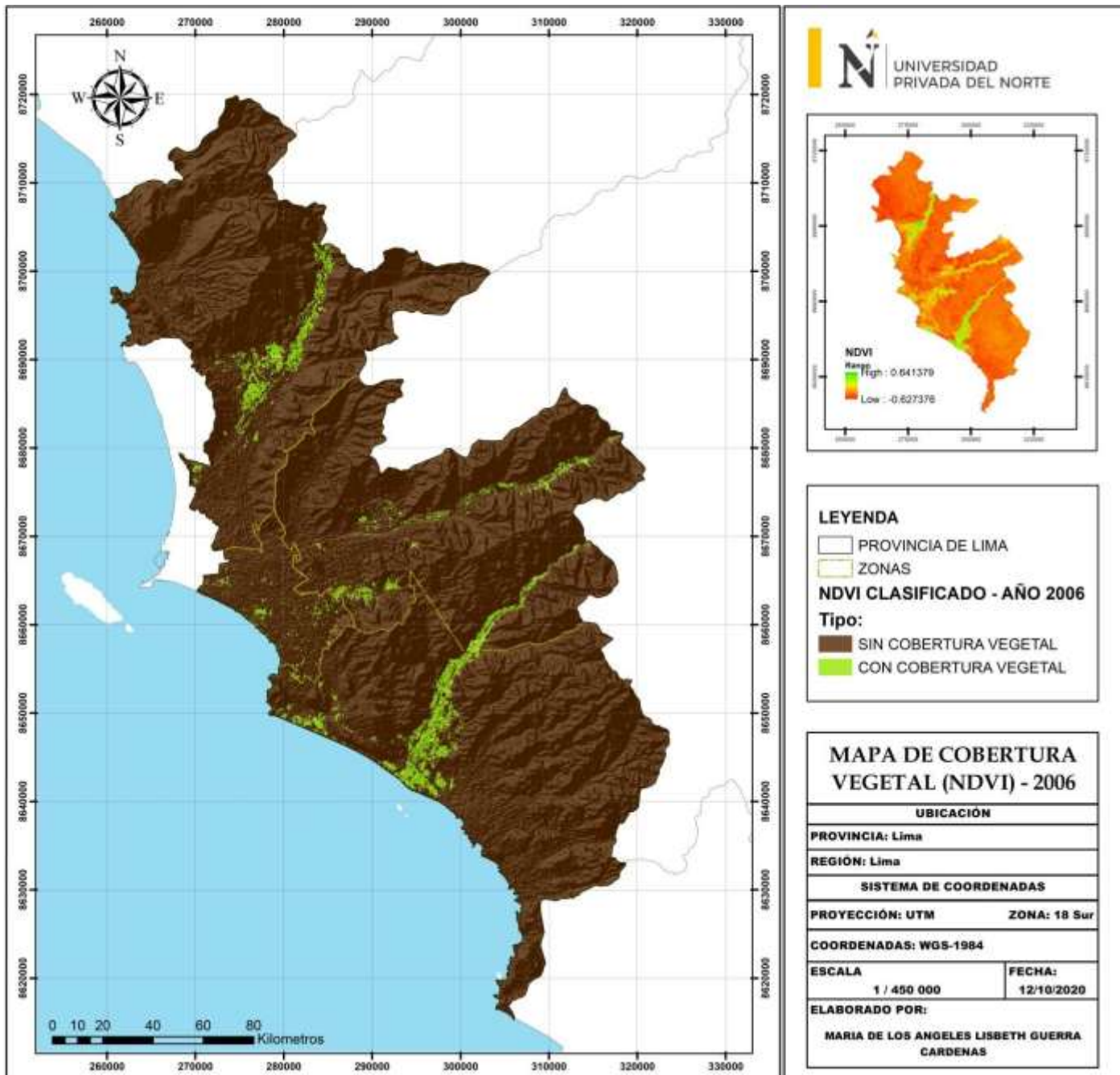
Anexo 8. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2004



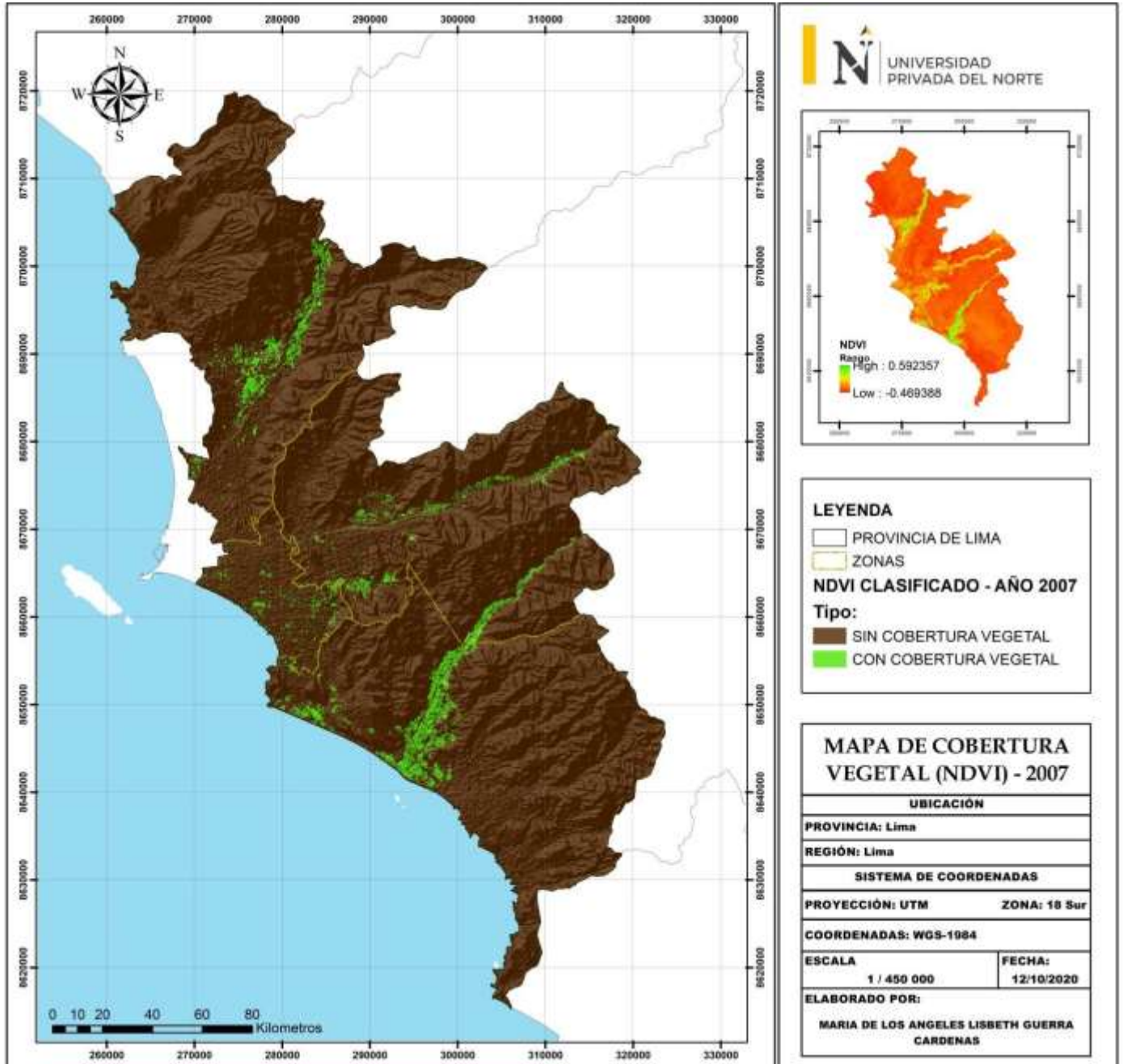
Anexo 9. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2005



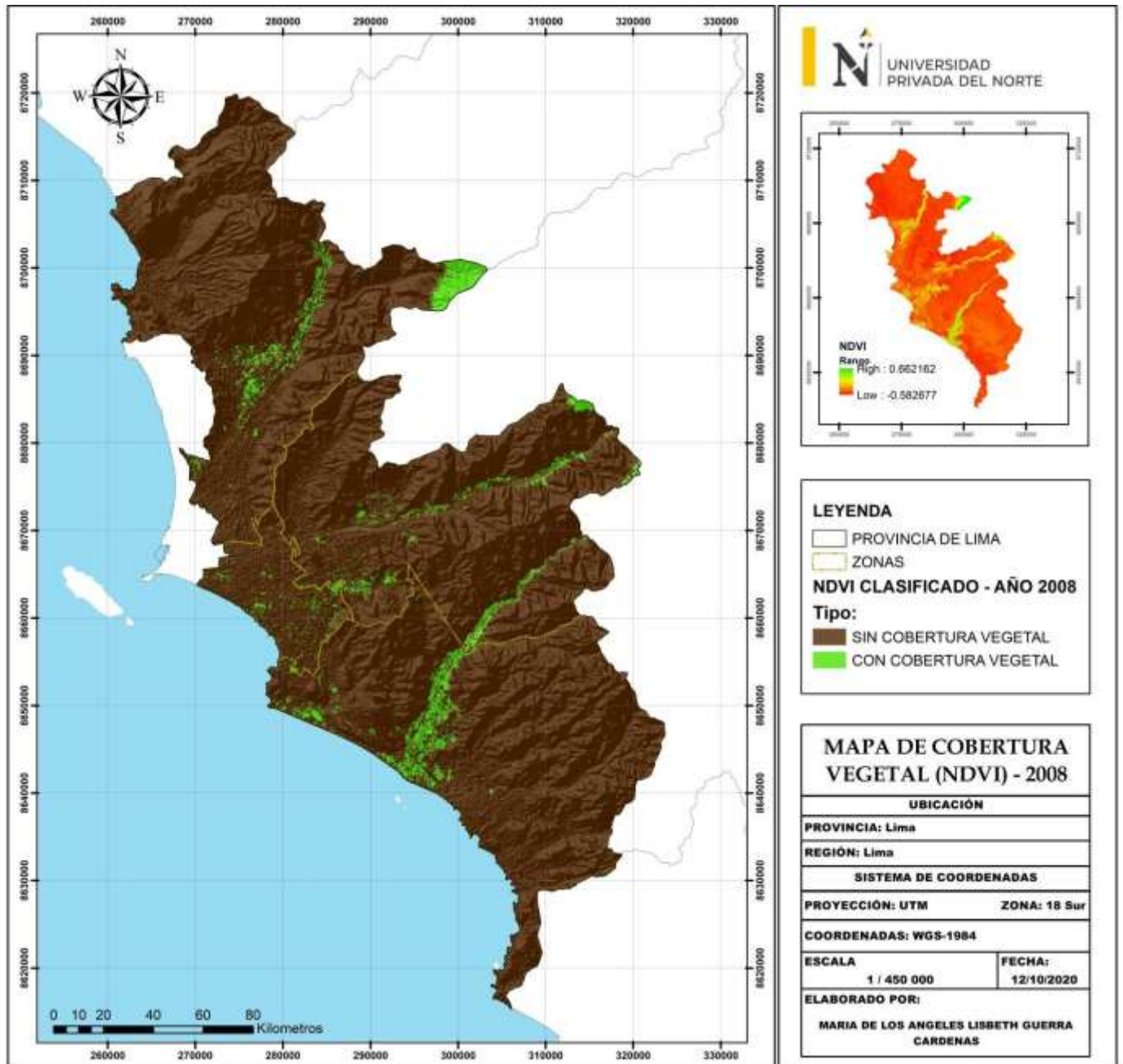
Anexo 10. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2006



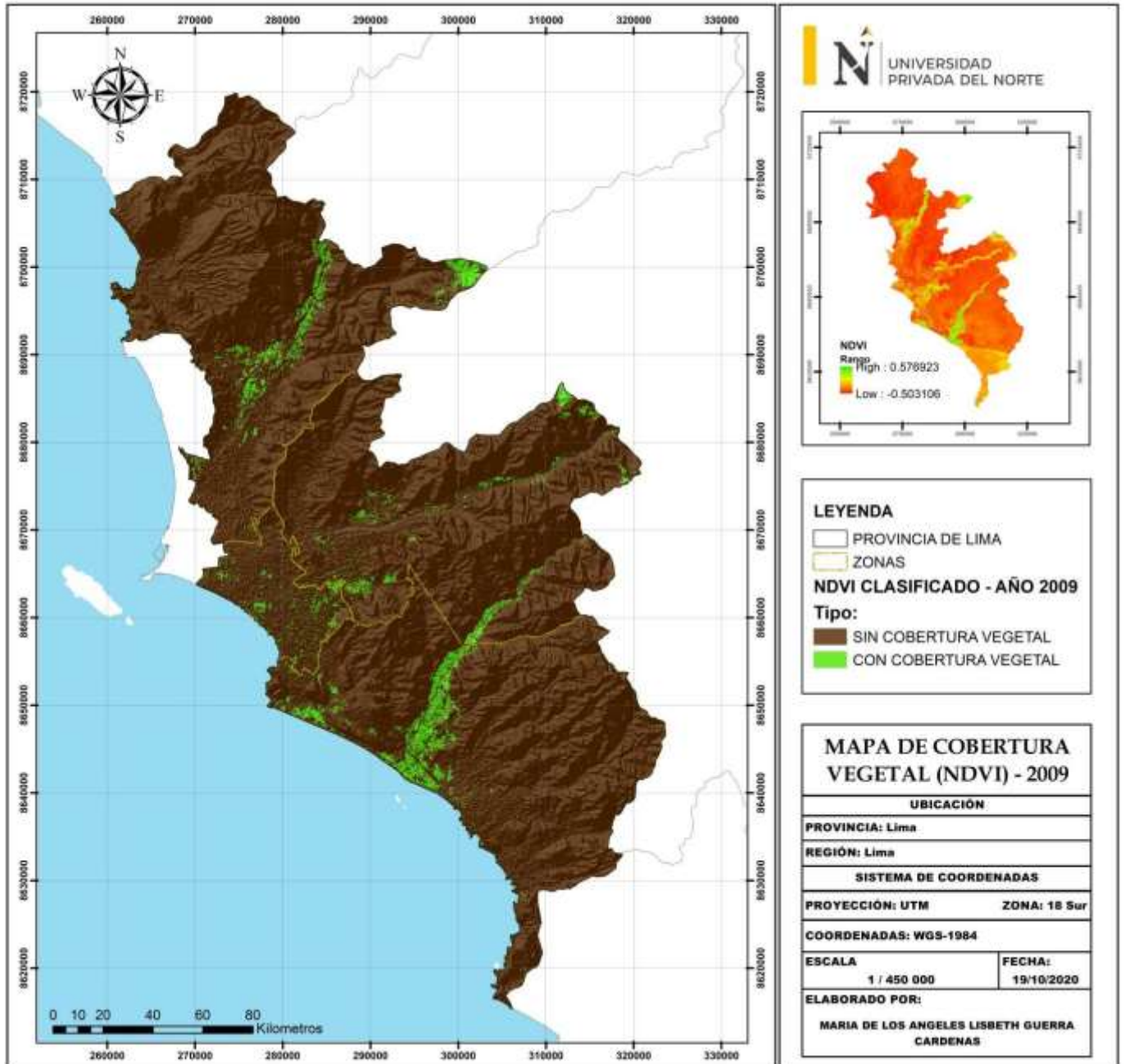
Anexo 11. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2007



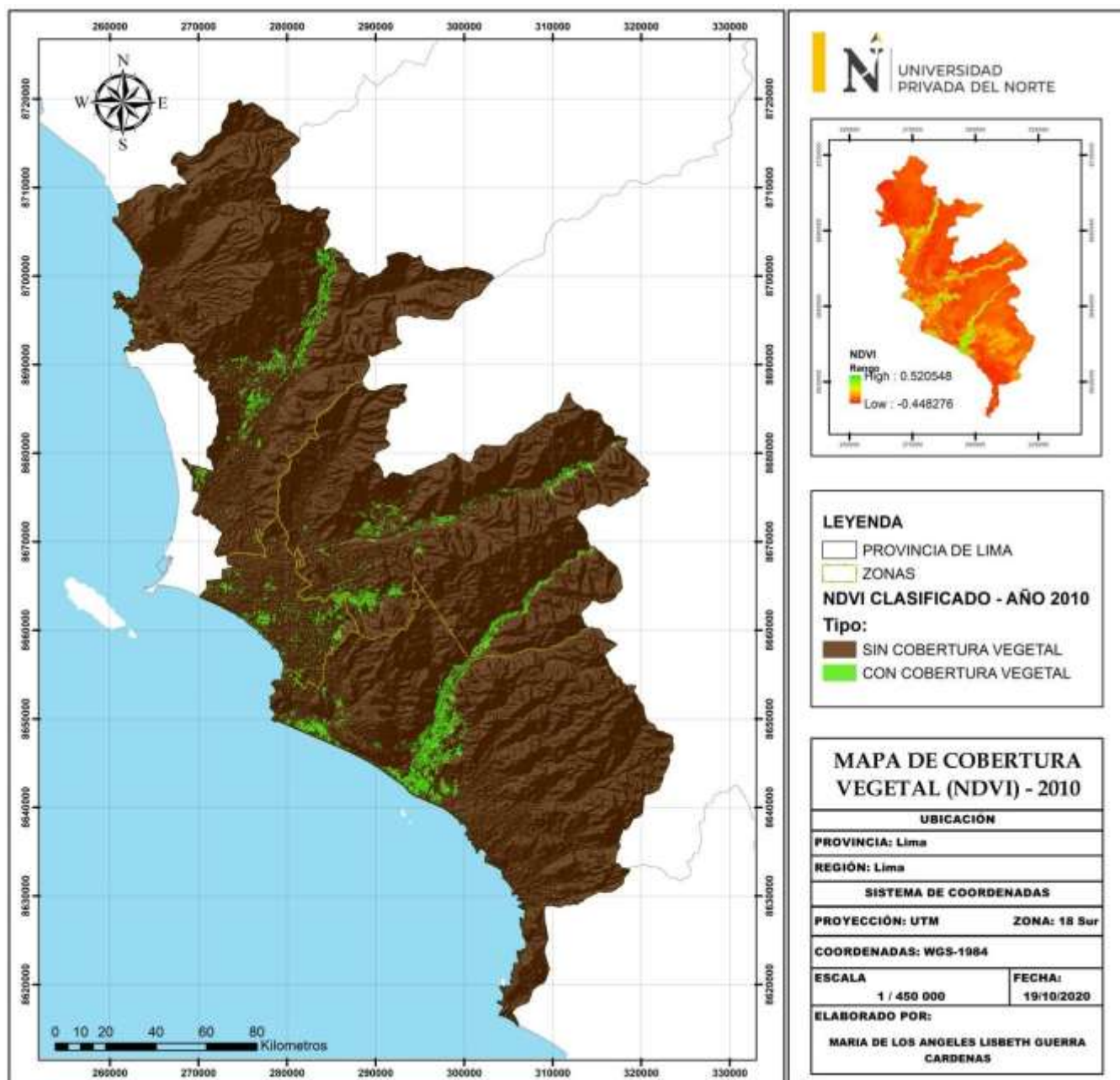
Anexo 12. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2008



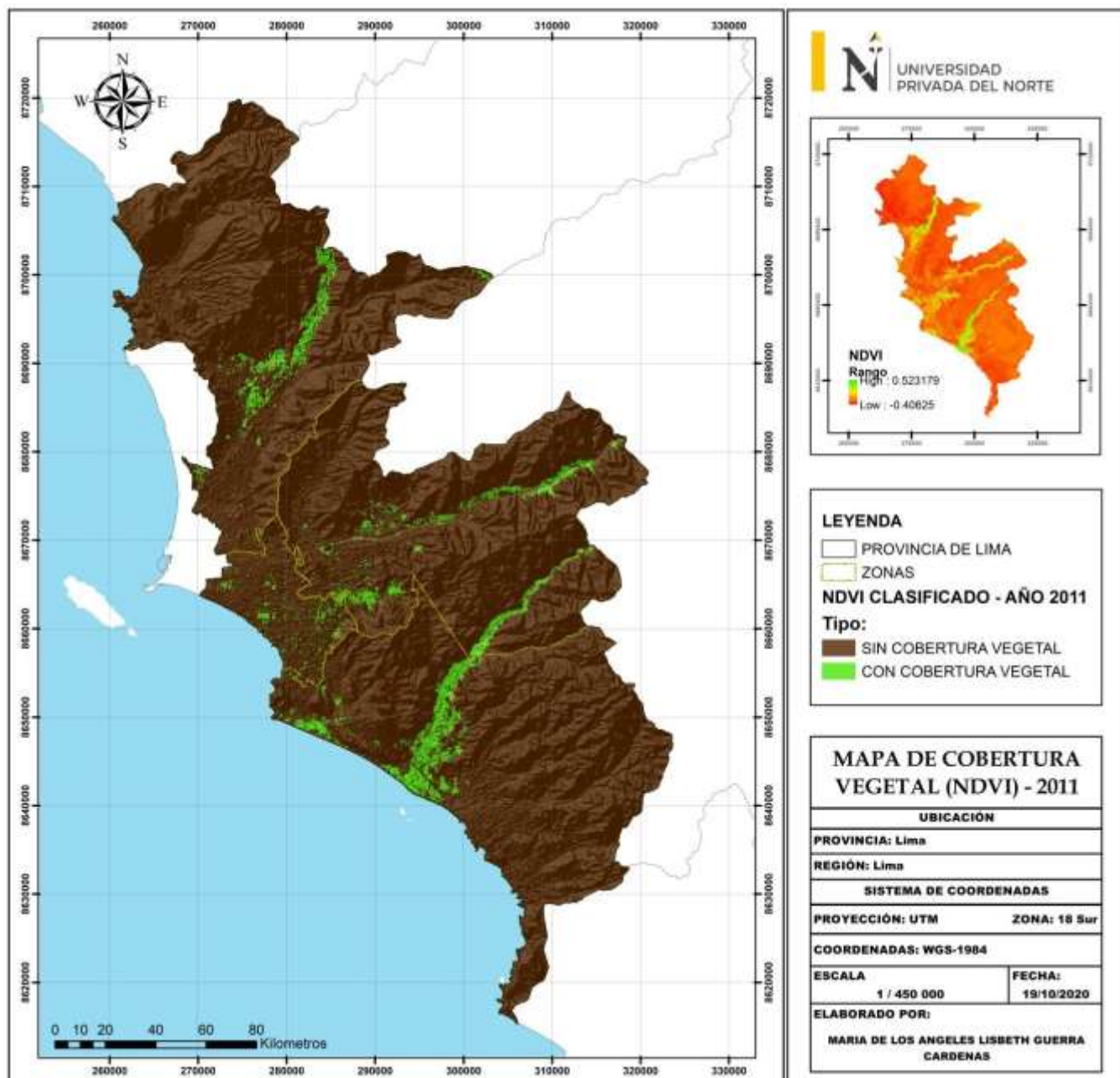
Anexo 13. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2009



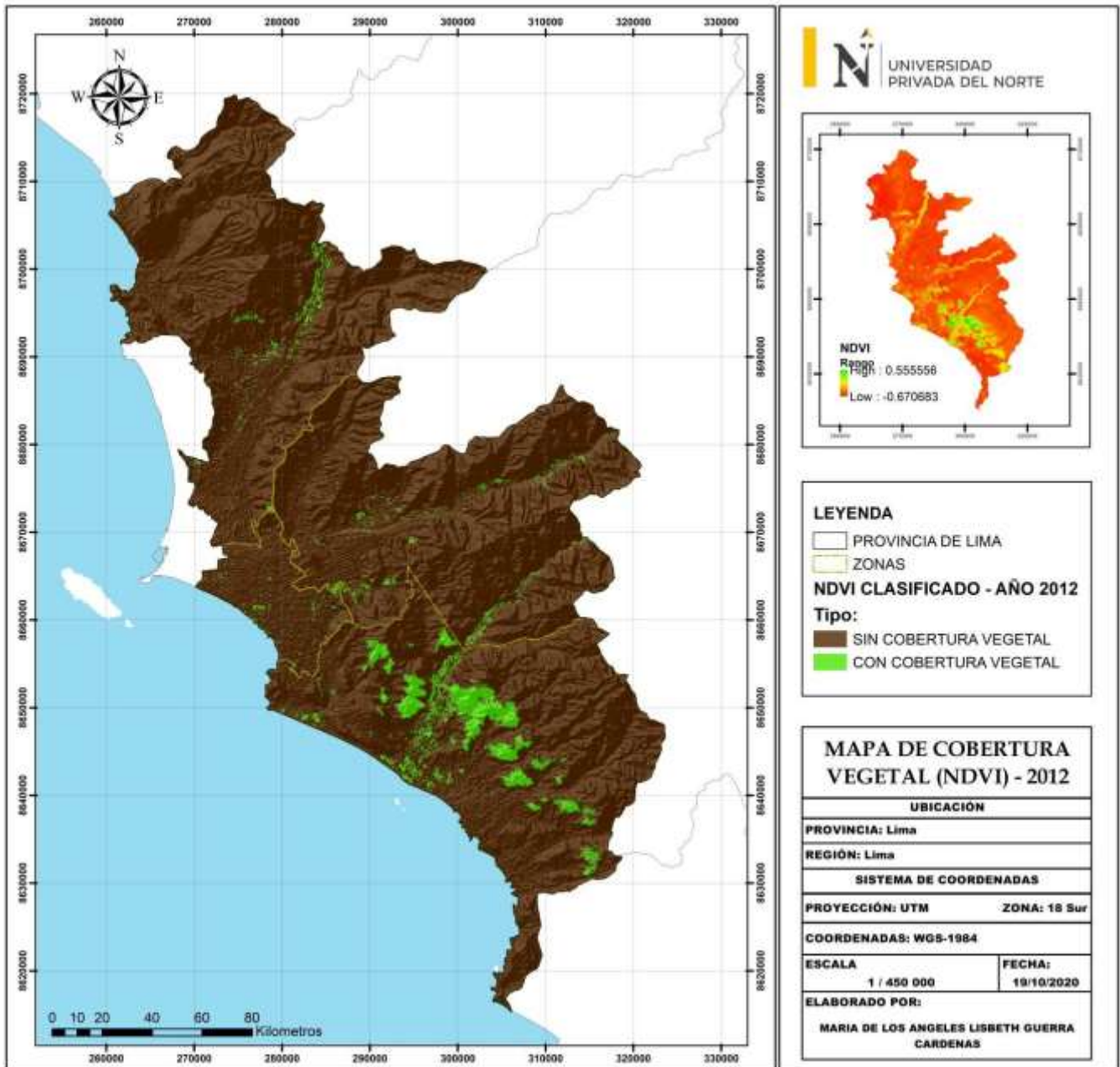
Anexo 14. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2010



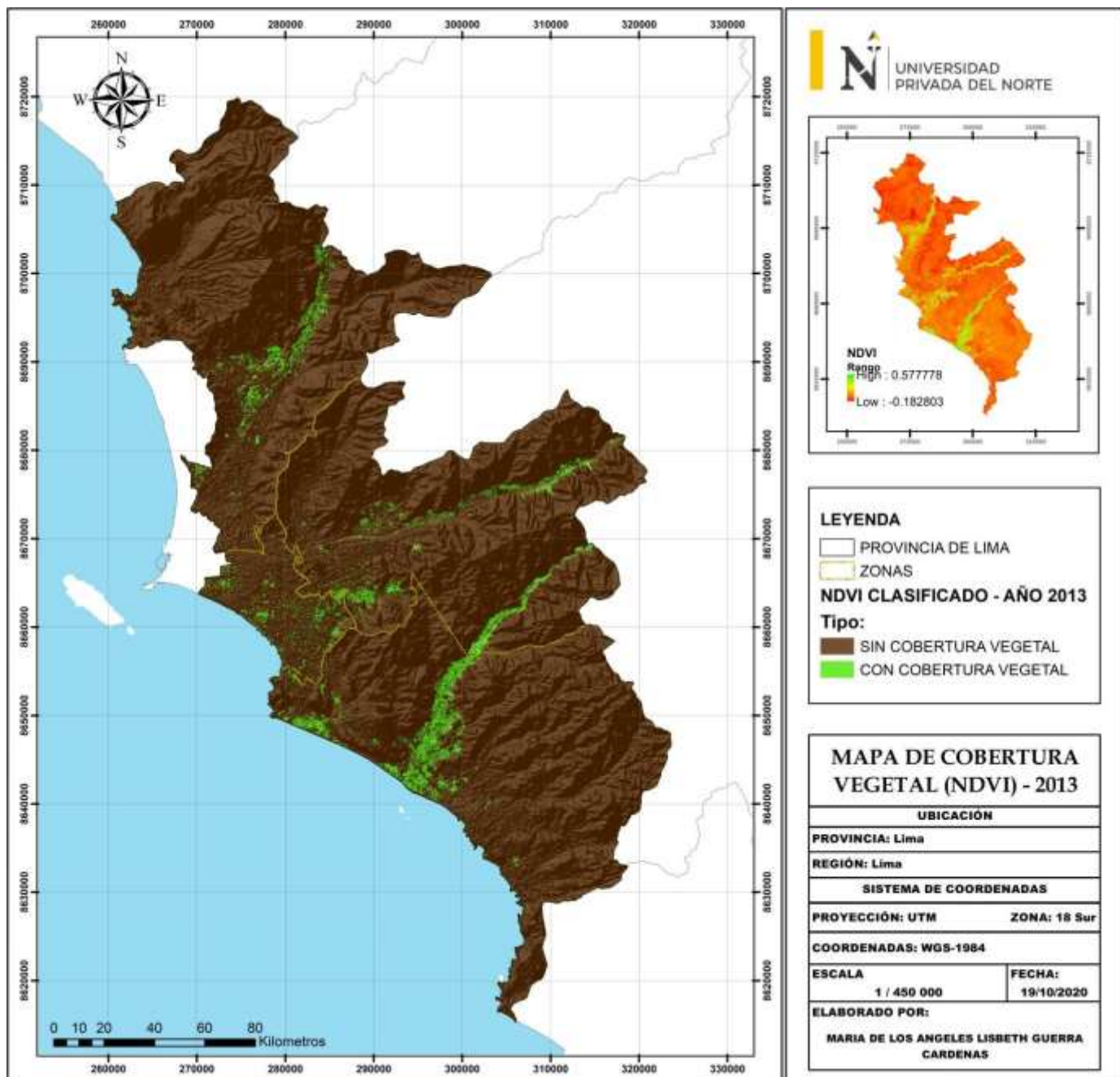
Anexo 15. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2011



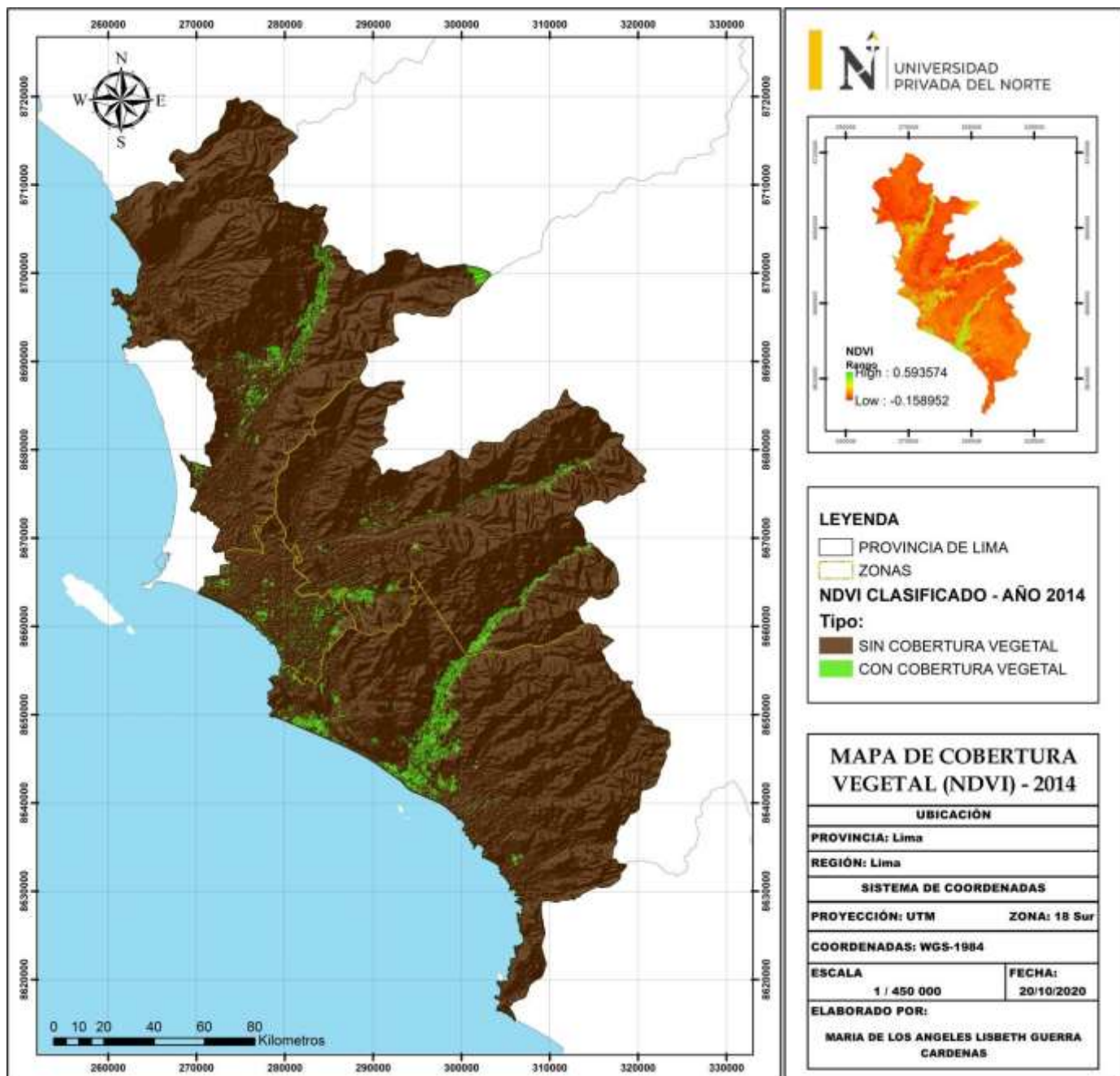
Anexo 16. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2012



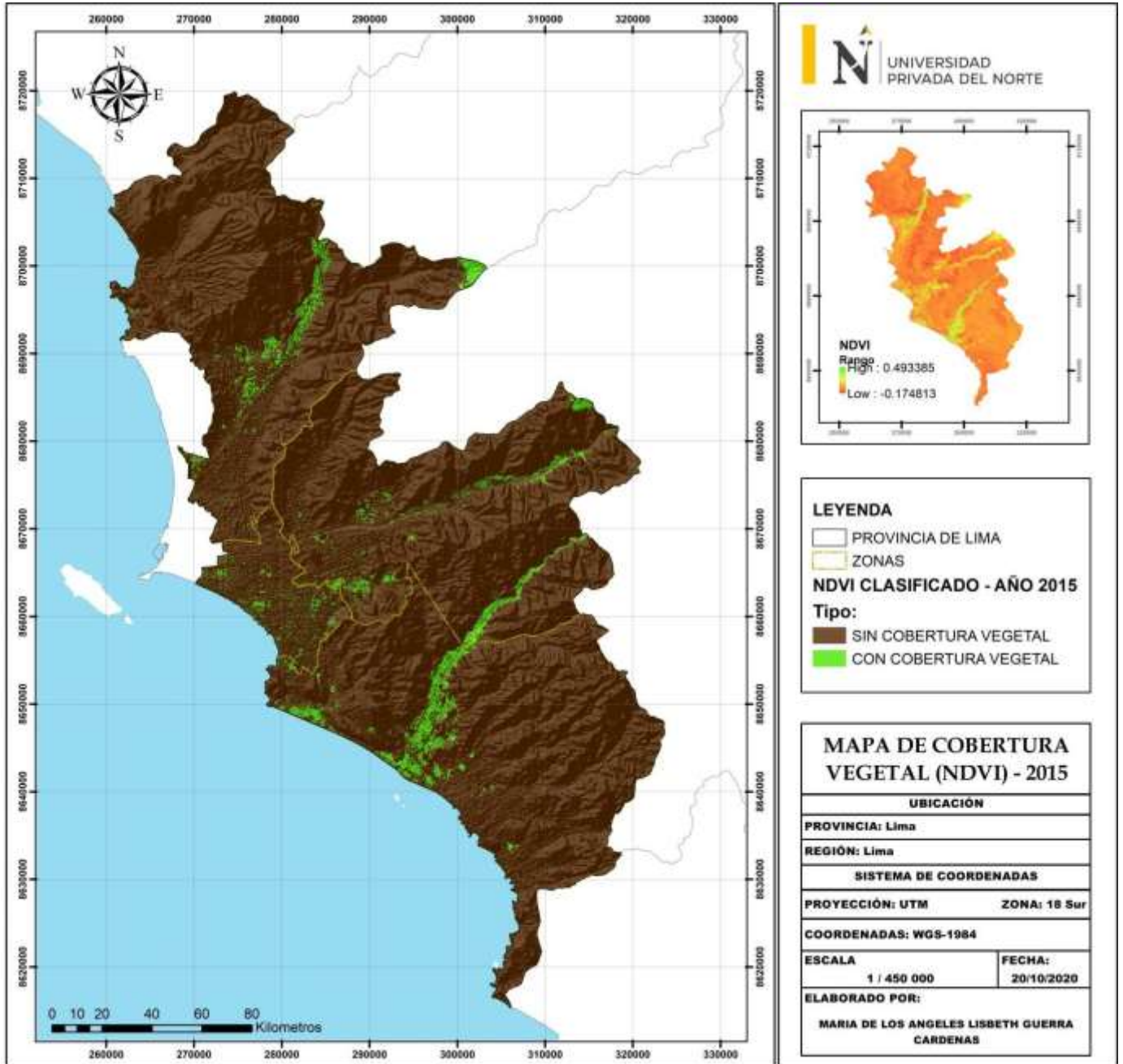
Anexo 17. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2013



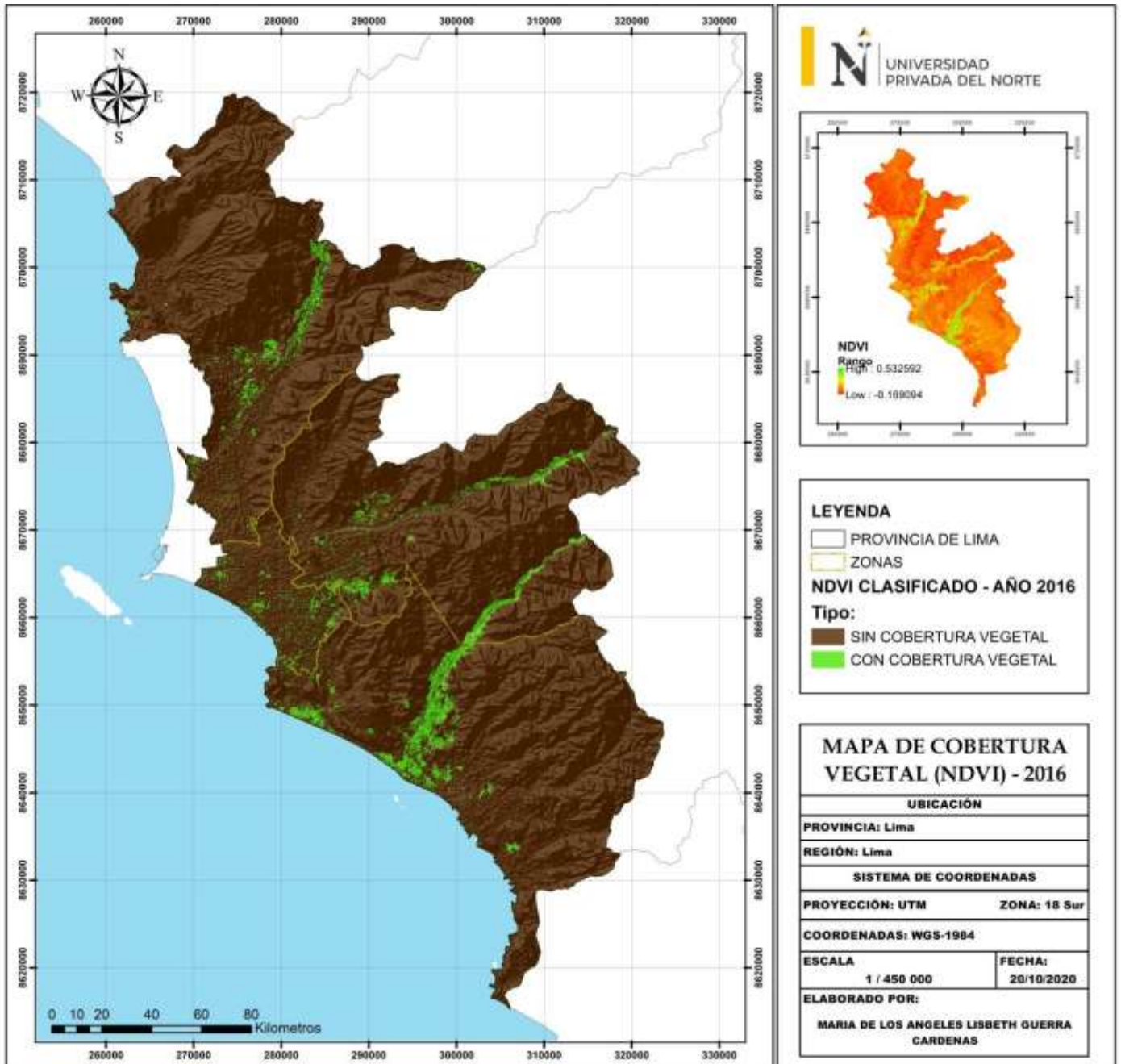
Anexo 18. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2014



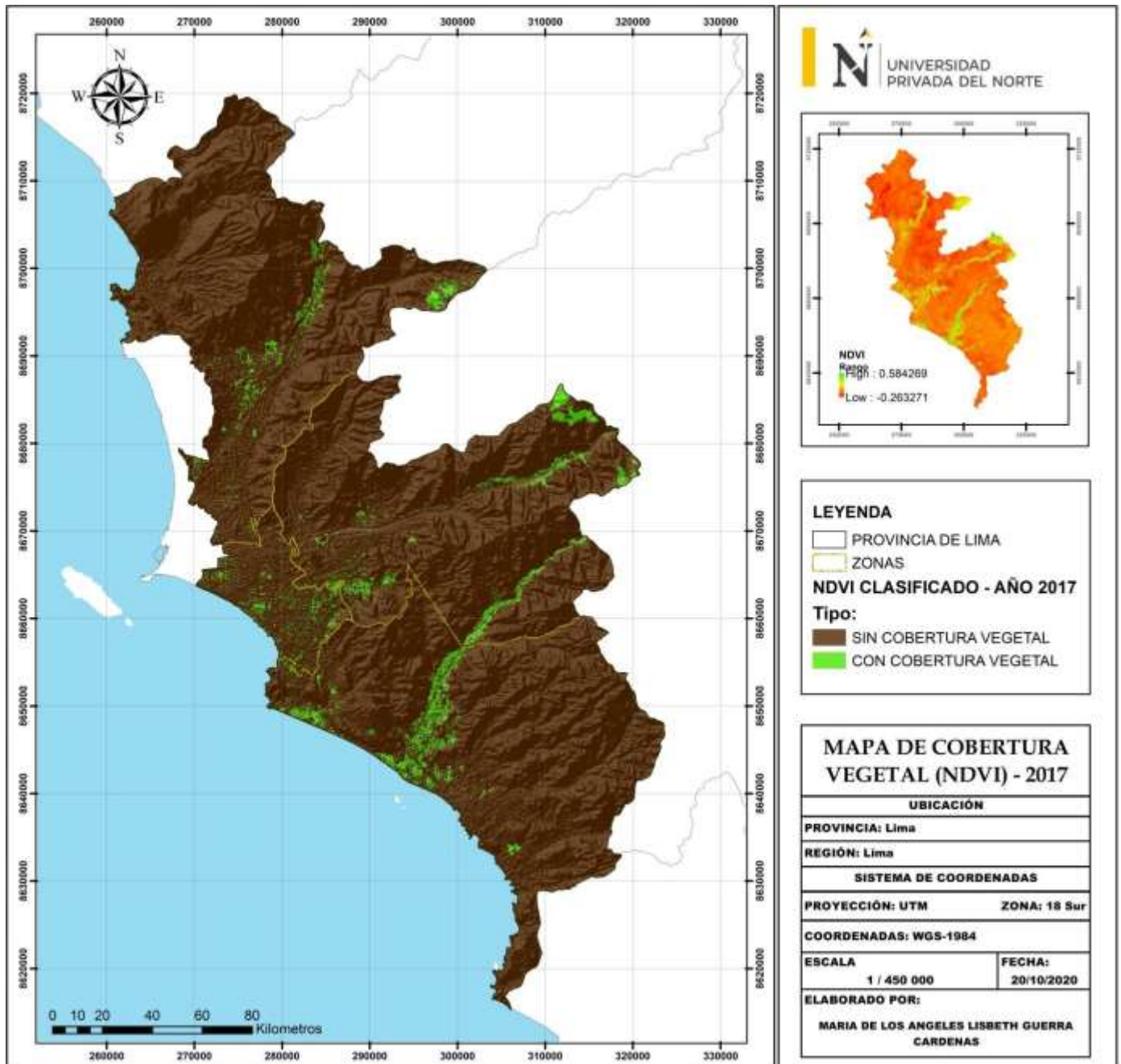
Anexo 19. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2015



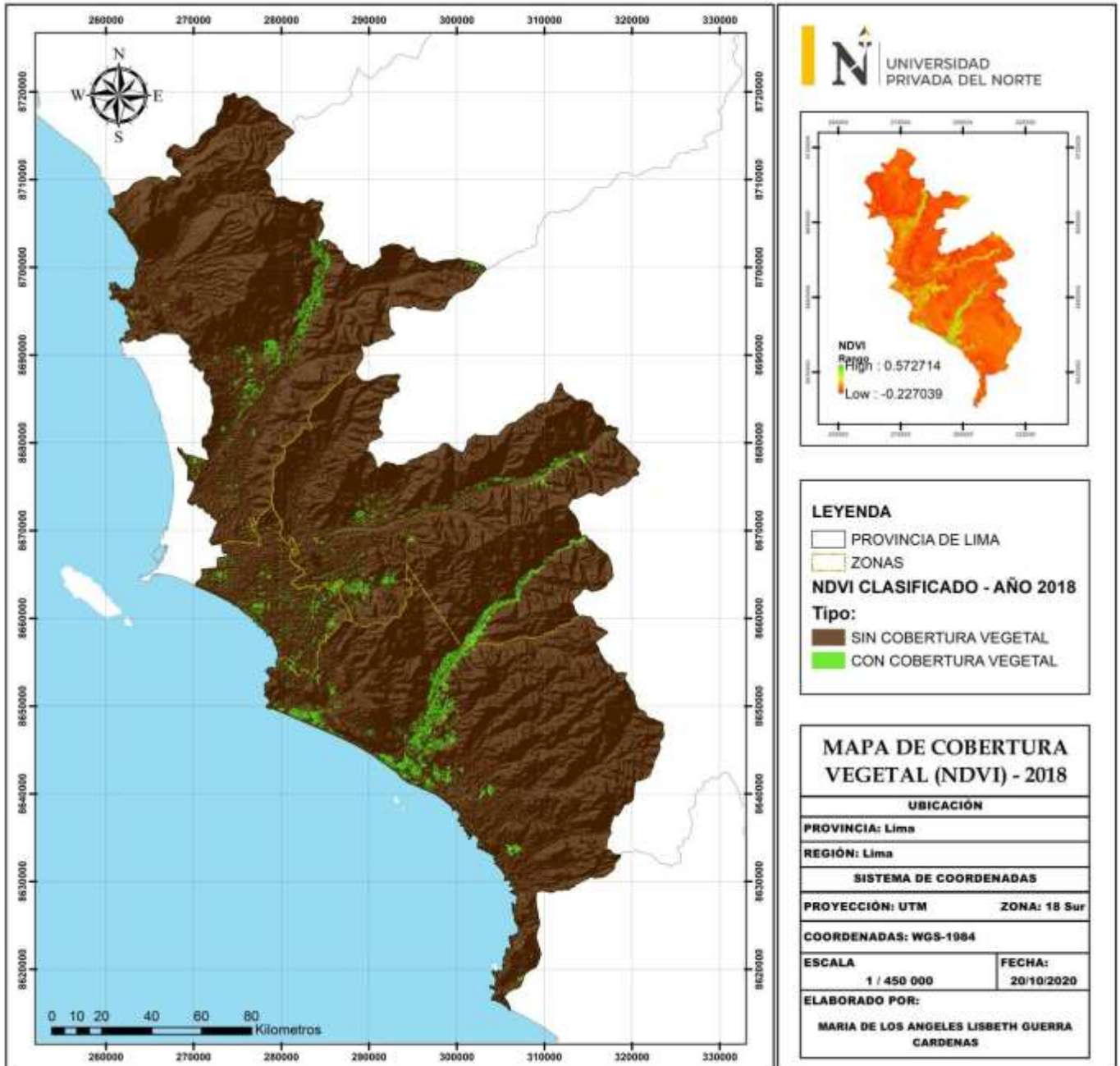
Anexo 20. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2016



Anexo 21. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2017



Anexo 22. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2018



Anexo 23. Mapa de cobertura vegetal (NDVI) para el año 2019

