



UNIVERSIDAD
**SAN IGNACIO
DE LOYOLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO
MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL
CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO DEL
DISTRITO DE LURIGANCHO – LIMA - PERÚ**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero
Ambiental**

**GONZALO DANIEL HUAMAN VELA
(0000-0002-3066-2510)**

**Asesor:
Mg. ORLANDO ADVINCULA ZEBALLOS
(0000-0003-2042-7872)**

**Lima - Perú
2022**

JURADO DE LA SUSTENTACION ORAL

.....

Presidente

.....

Jurado 1

.....

Jurado 2

Entregado el: __ / __ / 20...

Aprobado por:

.....

Graduando

Gonzalo Daniel Huaman Vela

.....

Asesor de Tesis

Orlando Advincula Zeballos

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Gonzalo Daniel Huaman Vela, identificado con DNI N°73099798, Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada: “ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO DEL DISTRITO DE LURIGANCHO – LIMA - PERÚ”.

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima,de 20.....

.....
Gonzalo Daniel Huamán Vela

DNI N°73099798

EPÍGRAFE

“No hay mar que no sea navegable, ni tierra que no pueda ser habitada”.

(Daniel J. Boorstin, 1983)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ANEXOS	10
AGRADECIMIENTO	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
Identificación del problema	17
Formulación del problema	19
<i>General</i>	19
<i>Específicos</i>	19
MARCO REFERENCIAL	20
Antecedentes	20
<i>Nivel Internacional</i>	20
<i>Nivel Nacional</i>	22
Estado del arte	24
Marco Teórico	25
OBJETIVOS	48
Objetivo General	48
Objetivos Específicos	48
JUSTIFICACIÓN	48
Teórica	48
Práctica	48
Social	49
HIPÓTESIS	49
Hipótesis general	49
Hipótesis específicas	49
MATRIZ DE CONSISTENCIA	51
ALCANCES	53
LIMITACIONES	53
MARCO METODOLÓGICO	53
Metodología	53

Paradigma	53
Enfoque	54
Método	54
<i>Diseño de Investigación</i>	54
VARIABLES	55
Independiente	55
Dependiente	55
POBLACIÓN Y MUESTRA	57
Población	57
Muestra	57
UNIDAD DE ANÁLISIS	57
INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS	57
Instrumentos	57
Técnicas	57
PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE ANÁLISIS	58
Materiales, equipos y herramientas	60
Procedimiento	62
Generación de escenarios de crecimiento urbano	69
Método de análisis	86
RESULTADOS	89
DISCUSIÓN	125
CONCLUSIONES	130
RECOMENDACIONES	131
REFERENCIAS	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	28
Tabla 2	29
Tabla 3	29
Tabla 4	31
Tabla 5	39
Tabla 6	41
Tabla 7	56
Tabla 8	60
Tabla 9	61
Tabla 10	61
Tabla 11	62
Tabla 12	64
Tabla 13	74
Tabla 14	75
Tabla 15	77
Tabla 16	80
Tabla 17	83
Tabla 18	94
Tabla 19	94
Tabla 20	112
Tabla 21	113
Tabla 22	114
Tabla 23	116
Tabla 24	117
Tabla 25	118
Tabla 26	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	30
Figura 2	32
Figura 3	36
Figura 4	38
Figura 5	58
Figura 6	59
Figura 7	63
Figura 8	70
Figura 9	71
Figura 10	72
Figura 11	73
Figura 12	75
Figura 13	76
Figura 14	90
Figura 15	91
Figura 16	92
Figura 17	93
Figura 18	96
Figura 19	97
Figura 20	97
Figura 21	98
Figura 22	99
Figura 23	100
Figura 24	101
Figura 25	102
Figura 26	103
Figura 27	104
Figura 28	104
Figura 29	105
Figura 30	106
Figura 31	106
Figura 32	107
Figura 33	108
Figura 34	108
Figura 35	109
Figura 36	110
Figura 37	110
Figura 38	111
Figura 39	113
Figura 40	115
Figura 41	118
Figura 42	121
Figura 43	122
Figura 44	123
Figura 45	124

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	140
Anexo 2. PRESUPUESTO	141
Anexo 3. ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES	142
Anexo 4. PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES SATELITALES	143
Anexo 5. PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES SATELITALES	144
Anexo 6. SALIDA DE CAMPO	148

DEDICATORIA

A mis padres quienes, con su amor, cuidados y guía me convirtieron en la persona que soy, a mi madre en especial quien con su amor y dedicación sirvieron de ejemplo en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Cada etapa de mi vida son retos y situaciones de aprendizaje, con mucho esfuerzo y sacrificio la universidad fue una de ellas; ahora en mi profesión veo mi vida con mucho afán y ambiciones por lo que viene a futuro.

RESUMEN

La acelerada y descontrolada urbanización en el distrito de Lurigancho surge exclusivamente a expensas de las áreas agrícolas y es reflejado en la agravación y degradación de la cobertura del suelo. La presente investigación tiene como objetivo analizar la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo (CUS) en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 - 2018 y con el propósito específico de identificar las herramientas óptimas para analizar el CUS, determinar el área de CUS ocasionado por las actividades antropogénicas, realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano al año 2030 y proponer medidas de ordenamiento territorial a partir del cambio de cobertura y uso del suelo.

La metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada para el Perú empleada muestra resultados eficientes y fidedignos al aplicar el algoritmo Random Forest en el proceso de clasificación supervisada, pudiendo analizar 11 clases de cobertura y uso de suelo. Los productos cartográficos obtenidos mediante la metodología CLC obtuvieron valores de validación estadística superiores a 95% de precisión global y valores del índice de Kappa 0.9644, 0.9450, 0.9749 y 0.9702 de las imágenes satelitales de los años 1986, 1998, 2013 y 2018 respectivamente. Se tuvo como principales resultados que: la metodología CLC adaptada para el Perú y softwares de ArcGIS, Envi, R Studio son herramientas óptimas para analizar el CUS, el área de cambio en el periodo 1986-2018 representa un 42.74% donde las actividades antropogénicas (tejido urbano) incrementaron en un 11.89%, la metodología también permitió pronosticar escenarios de crecimiento urbano (tendencial, concertado y óptimo) al 2030 y proponer medidas de ordenamiento territorial del distrito de Lurigancho. La metodología empleada en el presente trabajo de investigación puede ser una alternativa ideal y precisa para clasificar imágenes satelitales de sensores pasivos (Landsat) con posibilidad de aplicación a nivel distrital de otras zonas del país.

Palabras Clave: CORINE Land Cover, Random Forest, Cobertura y uso del Suelo, Landsat, Teledetección

ABSTRACT

The accelerated and uncontrolled urbanisation in Lurigancho is exclusively at the expenses of agricultural areas and is reflected in the aggravation of their land use degradation. The objective of this research is to analyse the evolution of land use and land cover (LULC) change in the district of Lurigancho, during the period between 1986 – 2018 and specifically to identify the optimal tools to analyse the LULC change, determine the area of LULC change caused by anthropogenic activities, forecast urban growth scenarios to the year 2030 and propose land use planning measures based in changes of LULC.

The CORINE Land Cover (CLC) methodology adapted for Peru, shows efficient and reliable results when applying the Random Forest algorithm in the supervised classification process, being able to analyse 11 classes of LULC. The cartographic products obtained using CLC methodology got higher statistical validation values than 95% of Global precision index and values of the Kappa index: 0.9644, 0.9450, 0.9749 and 0.9702 of the satellite images of the years 1986, 1998, 2013 and 2018 respectively. According to the results of the research those are: CLC methodology adapted for Peru and the ArcGIS, Envi, R Studio software are optimal tools for analysing LULC, the area of land change in the period of 1986-2018 represents 42.74% where anthropogenic activities increased by 11.89%, the methodology also made it possible to forecast urban growth scenarios (trend, concerted and optimal) by 2030 and propose land use planning measures for the Lurigancho district. The methodology used in this research work can be an ideal and precise alternative to classify passive sensor satellite images (Landsat) with the possibility of application at the district level in other areas of the country.

Key words: CORINE Land Cover, Random Forest, land cover and use, Landsat, satellite remote sensing

INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización usualmente es considerado un factor local, sin embargo, los impactos globales de una proyección del crecimiento urbano requerirán cambios significativos en las políticas para minimizar los efectos en la biodiversidad global. Globalmente para el año 2030, 1.2 millones de km² de suelo tienen altas probabilidades (>75%) de convertirse en áreas urbanas, de las cuales, mediante un modelado basado en las regiones de las Naciones Unidas, se espera un incremento de 134,050 km² de áreas urbanas en Sudamérica (Seto et al., 2012).

En la actualidad se ha masificado las herramientas digitales y sistemas de información geográfica utilizados para obtener información fiable y actualizada en tiempo real de las coberturas del suelo y de esta forma obtener datos para diversos estudios multidisciplinarios. La automatización de los sistemas de información geográfica y los avances en la teledetección espacial mediante la disposición de imágenes satelitales de alta resolución de acceso libre, hacen que los estudios sean más factibles y menos costosos de realizar (Chuvieco, 2002).

Las ventajas de la teledetección espacial resultan de enorme trascendencia para poder conocer los procesos que afectan al medio ambiente de la tierra, siendo ciertos fenómenos como el deterioro de la capa de ozono, el calentamiento global o los procesos de desertización. Por ejemplo, una imagen satelital del sensor Landsat-TM permite visualizar 34,000 km² en una sola adquisición sin alterar las propiedades de la cobertura de la tierra; ya que, es una observación multiescala y no destructiva consistente en el tiempo (Chuvieco, 2010).

Para los estudios de cobertura de la tierra, la metodología CORINE Land Cover se ha mantenido con gran aceptación científica desde 1985 desde su implementación contando con la participación de 39 países europeos (European Environment Agency, 2006). El objetivo principal de la metodología es brindar un inventario de la cobertura del suelo teniendo un primer resultado denominado CLC1990, con un total de 5.85 millones de km² mapeados y sus posteriores actualizaciones, CLC2000, CLC2006, CLC2012 y CLC 2018 son reconocidas como referencias esenciales para el análisis espacial y territorial (proceso de urbanización) (European Environment Agency, 2017).

Durante las últimas décadas, las actividades humanas han alcanzado cierta intensidad que representan el factor modificante más grande del planeta, de las cuales el proceso de urbanización tiene un papel importante (Gardi, 2017). El proceso de urbanización es determinado por diferentes factores como el crecimiento urbano, inmigración, emigración, crecimiento económico entre otros. De esta manera, la población urbana incrementa en 200,000 cada día, sumando un total de 70 millones de personas diariamente que forman parte de los

centros urbanos, teniendo un impacto elevado en el proceso de cambio de cobertura y uso del suelo (Gardi, 2017).

La presente investigación inicia con la formulación del problema mediante el análisis de los antecedentes internacionales y nacionales, y plantea 5 hipótesis a analizar. Se presenta un marco metodológico completo con bases científicas para proceder con el desarrollo del método de análisis con la metodología CORINE Land Cover adaptada para el Perú.

El estudio de investigación tiene como objetivo general: analizar la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo (CUS) en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018, y como objetivos específicos: identificar las herramientas óptimas para analizar el CUS, determinar el área de CUS ocasionado por las actividades antropogénicas, realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano al año 2030 y proponer medidas de ordenamiento territorial a partir del cambio de cobertura y uso del suelo. El estudio aporte al campo científico mediante el pronóstico de crecimiento urbano al 2030 recopilando información de escenarios climáticos de entidades gubernamentales para establecer 3 escenarios: tendencial, concertado y optimista del distrito de Lurigancho.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Identificación del problema

El crecimiento mundial exponencial y la expansión urbana han afectado la superficie del suelo poniendo en riesgo la fertilidad de éstos y el almacenamiento de aguas subterráneas para las generaciones futuras (European Commission, 2011). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) al analizar la base de datos global, la masa de la Tierra estaba ocupada en 0.6 % por superficies artificiales debido a la población en expansión que al 2014 representaban un 54 % viviendo en centros urbanos y se espera un incremento al 66 % hacia el 2050 (FAO y ITPS, 2015). Así mismo, se considera un incremento de 200,000 personas cada día, sumando un total de 70 millones de habitantes en los centros urbanos de la Tierra (Gardi, 2017) originando un cambio de uso de suelo (CUS) significativo.

El CUS y sus consecuencias ambientales son retos globales que afectan indirectamente a los procesos climáticos, almacenamiento de carbono y emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2001). El CUS originado por la expansión de las ciudades se ha ido incrementado sin una planificación adecuada generando degradación conocida como sellado del suelo definido como el recubrimiento permanente de la superficie del suelo con material impermeable (FAO y ITPS, 2015). El sellado del suelo comprende dos problemas: primero, el construir sobre terrenos que previamente eran suelos abiertos (suelos agrícolas) y segundo, cubrir esos terrenos con superficies impermeables como el asfalto u hormigón (Comisión Europea, 2013). Las Naciones Unidas establece la degradación del suelo como un desafío de una dimensión global, particularmente, para los países en vías de desarrollo (UN, 2012). Así mismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), estableció en el año 2015, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con el objetivo de tomar acciones globales y, en particular, el ODS 15: “Vida de Ecosistemas Terrestres” que hace un llamado a la comunidad internacional a revertir la degradación del suelo al 2030. Es importante recalcar que, restaurar tierras degradadas, mejorar la calidad del suelo y la gestión del agua, contribuye con mitigar los efectos de la desertificación y degradación del suelo (UN, 2012).

Durante los últimos años, la ciencias terrestres han intentado entender la relación del desarrollo urbano y los ecosistemas, integrando diversas disciplinas como sensores remotos y los sistemas de información geográfica (SIG) para el estudio del CUS (Verburg et al., 2013) y la degradación del suelo. En general, los sensores remotos miden la energía emitida por la Tierra de una manera pasiva o activa, colocados en satélites donde captan la radiación electromagnética a diferentes rangos (bandas espectrales) (Richards y Jia, 2006). Las

aplicaciones terrestres, como sensores remotos e imágenes satelitales, han sido utilizadas en diferentes iniciativas europeas para el monitoreo de la cobertura del suelo desde 1990 (Gardi, 2017). Como iniciativa de la Comisión Europea (CE), desde 1985 a 1990 se empezó a implementar el proyecto Corine Land Cover (CLC), contando con la participación de 38 países europeos. El objetivo principal es brindar un inventario de la cobertura del suelo (mediante interpretación visual de imágenes satelitales de alta resolución) dividido en 44 clases. La CE obtuvo un primer resultado denominado CLC1990, con un total de 5.8 millones de km² mapeados y sus posteriores actualizaciones, CLC2000, CLC2006, CLC2012 y CLC 2018 son reconocidas como referencias esenciales para el análisis espacial y territorial (European Environment Agency, 2007; Mozaffaree Pour y Oja, 2020). El Ministerio del Ambiente del Perú también implementó la metodología de CLC para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra según las características nacionales (Arnillas et al, 2012).

Al año 2014, existían 488 ciudades (que albergaban más de 1 millón de habitantes) de las cuales 28 eran clasificadas como megaciudades caracterizadas por contar con más de 10 millones de habitantes y, se esperaba que, dentro de 15 años, la ciudad de Lima iba a ser agregada a esta lista (UN-DESA, 2014). En el Perú, si bien es cierto existen documentos dirigidos a proteger los suelos dentro de un territorio, estos no se adoptan de forma rigurosa. Estos documentos describen un ordenamiento territorial que cuente con las condiciones ambientales, sociales y económicas para el uso y aprovechamiento de los recursos nacionales (MINAM, 2015). De acuerdo con esta realidad, es necesario contar con un Plan de Desarrollo Concertado (PDC) a nivel local mediante el pronóstico de escenarios para alcanzar el bienestar de la población, considerando una imagen actual y una imagen deseada del territorio (CEPLAN, 2019a). Gracias a los SIG y a la información geoespacial, se puede generar data actualizada para realizar un análisis territorial de distintos servicios públicos mediante una mirada sistémica y holística (CEPLAN, 2019b) pudiendo proponer mejoras en las políticas públicas.

La problemática de la investigación abarca el área total del distrito de Lurigancho, provincia de Lima, Perú; la cual es afectada por la expansión urbana que impacta en las áreas agrícolas productoras de alimentos. En el área de interés, se procederá a identificar la dinámica del cambio de cobertura y uso del suelo en el periodo comprendido entre los años 1986 al 2018 considerando la utilización de imágenes satelitales Landsat para un estudio multitemporal, las que serán analizadas mediante un SIG y la metodología CLC adaptada para el Perú, que

permitirá examinar donde se producen los cambios de suelo y analizar las potenciales causas del por qué se producen dichos cambios de suelo.

Formulación del problema

General

¿Cómo se ha desarrollado la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?

Específicos

¿Qué herramientas serán las óptimas para analizar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?

¿Cuál es el área de cambio de cobertura y uso del suelo ocasionado por las actividades antropogénicas en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?

¿Cuáles serían los escenarios de crecimiento urbano futuro al 2030 a partir del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?

¿Qué medidas de ordenamiento territorial ambiental se pueden establecer a partir del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030?

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes

Nivel Internacional

En junio del 2019 en la provincia del Guayas, Ecuador, Alvarado (2019) desarrollo su tesis de maestría titulada: “Análisis multitemporal de una serie de imágenes Sentinel-1 y detección de cambios del uso de suelo para la evaluación de la reserva ecológica Manglares Churute y sus alrededores en Guayas-Ecuador”. El objetivo principal consistió en analizar los cambios de uso de suelo en los alrededores de la Reserva Manglares Churute (REMCh) y, los objetivos específicos fueron: el de ejecutar el procesamiento de imágenes Sentinel-1 en modo “Interferometric Wide Swath Mode (IW)”, realizar la clasificación supervisada mediante el algoritmo “Random Forest”, determinar los cambios de uso de suelo entre el 2015 y 2018 e interpretar cómo los cambios en el uso del suelo pueden modificar la conservación de recursos naturales de la REMCh. El autor concluye que con el uso de las imágenes radar se puede determinar los cambios en el uso del suelo, mediante la obtención de las imágenes, procesamiento, clasificación de cultivos, análisis multitemporal y detección de cambios en diferentes fechas; sin embargo, este análisis requiere de trabajo de campo para validar la información generada. Con este estudio se determinó que entre los años 2015 y 2018 se han producido importantes cambios en el uso del suelo que podrían influir de forma negativa en la conservación de los recursos naturales del área natural protegida analizada.

En junio del 2018 en Vehari – Pakistán, Hussain (2018) sustentó su tesis de maestría titulada: “Land Use/Land Cover Classification by Using Satellite NDVI Tool for Sustainable Water and Climate Change in Southern Punjab”. El objetivo principal fue obtener el mapa de cambio de cobertura y uso de suelo a partir de imágenes satelitales utilizando el proceso de clasificación NDVI en el sureste de Punjab (Pakistán) y estimar los cambios por intervalos de temporada de los años 2000, 2007, 2013 y 2017. El resultado de la investigación establece que ha habido cambios abruptos en la cobertura y uso de suelo particularmente en las áreas forestales y de vegetación. La vegetación se redujo en un 0.58 % durante el periodo de 2000 al 2013 y en un 2.7% durante el 2000 al 2017, siendo transformada por carreteras e infraestructura.

En diciembre del 2017 en Ankara - Turquía, Demirkan (2017), sustentó la tesis: “Hierarchical Land Use and Land Cover Classification of Sentinel 2-A Images and its Use for Corine System”. Demirkan plantea como objetivo principal el desarrollo de mapas de cambio

de cobertura y uso de suelo, y evaluar las capacidades del satélite Sentinel-2 recientemente lanzado para la observación de la Tierra. Además, como objetivos secundarios se encuentra el comparar la efectividad de los métodos jerárquicos de la clasificación supervisada en dos grandes ciudades de Turquía: Ankara e Izmir y obtener una clasificación básica en el sistema Corine Land Cover. El autor concluye que para la observación de la Tierra se debe considerar solo la información multiespectral del satélite Sentinel-2, ya que se obtiene una alta precisión durante la elaboración del mapa de cambio de cobertura y uso de suelo de Ankara al 85.24 % e Izmir con un 84.00 %, con los índices de Kappa de 0.821 y 0.827 respectivamente. Consecuentemente, la alta precisión indica una buena clasificación en el sistema Corine Land Cover.

En febrero del 2014 en Madrid - España, Diaz-Pacheco y Gutiérrez (2014) publicaron la investigación titulada: “Exploring the limitations of CORINE Land Cover for monitoring urban land-use dynamics in metropolitan areas”. Teniendo como objetivo principal examinar la precisión de la base de datos CLC con respecto al análisis del uso de suelo mediante una comparación con una base de datos más precisa conocida como “Madrid Land Use (MLU)”. Los autores concluyen que CLC brinda información valiosa del uso de suelo y su evolución en países de la unión europea ya que su escala promedio de 1:100,000 es adecuada para analizar las dinámicas del uso del suelo a niveles nacionales o regionales; sin embargo, sería inapropiado para estudios locales. Por consiguiente, recomiendan que para próximas investigaciones se proceda con precaución al usar la base de datos CLC para el análisis de la dinámica urbana del uso del suelo a nivel local.

En octubre del 2011 en los Países Bajos, Sikken (2011) llevó a cabo su tesis de maestría titulada: “Assessment of a land changes dataset by volunteered geographic information”. La investigación tuvo como objetivo principal evaluar la base de datos de cambio de uso de suelo que es actualizada con información geográfica participativa considerando que esta información participativa contenga todos los atributos necesarios. El autor evaluó la base de datos derivada del programa CLC de 1990 a 2006, concluyendo que esta base de datos presentaba desviaciones al no mapear solo los cambios de suelo menores a 5 ha sino también los cambios mayores a 5 ha. Sin embargo, al actualizarse con información geográfica participativa se obtuvo un 87 % de confianza con la base de datos de CLC del 2000 a diferencia de 1990 y 2006, considerando que los atributos actualizados de variación geométrica (forma del cambio de suelo), temáticos (tabla de atributos), variación temporal requerían una evaluación detallada. Adicionalmente, se recomienda aplicar esta metodología en otros casos de estudio.

Nivel Nacional

Herrera (2019), investigó los “Cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de Llapa-Cajamarca, periodo 2003 – 2018”. Como objetivo general planteo la identificación de las variaciones de cobertura y uso del suelo del distrito de Llapa en los años 2003 – 2018. Los objetivos específicos fueron identificar la cobertura del suelo utilizando la metodología CLC y, elaborar productos cartográficos de cobertura y uso actual del suelo del distrito utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud. El autor logró identificar varias clasificaciones de cobertura y uso del suelo en la zona de estudio, utilizando imágenes satelitales mediante la metodología CLC, encontrándose diferentes categorías: minería (Min), tejido urbano (Tu), arbusto (Ar), pastos (Pa), herbazal (He), plantación forestal (Pf), cultivos transitorios (Ct), mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales (Mpce). La categoría más representativa (tejido urbano continuo) presentó una ganancia en área del 3.31%. Adicionalmente, el autor elaboró productos cartográficos de cobertura y uso de la tierra, con el algoritmo de máxima verosimilitud alcanzando una fiabilidad de 94.99 % para el año 2003 y 94.56 % para el año 2018, el cual fue validado en campo. Así también, el autor recomienda replicar este estudio en zonas como cuencas, áreas naturales protegidas y bosques; y sugiere también, tener en cuenta la calidad, nitidez, nubosidad de la imagen y guardar una secuencia o periodo similar entre los años a observar, de esta manera se apreciarán eficientemente los cambios de cobertura y uso del terreno.

Witting (2019), sustentó la tesis “Cambio de cobertura y uso del suelo en diferentes periodos a partir del uso de imágenes satelitales en el distrito de Codo del Pozuzo, Huánuco”. Planteó como objetivo principal, cuantificar el cambio de cobertura boscosa y uso del suelo durante el periodo de 1990 – 2016, a través del análisis de imágenes satelitales del distrito de Codo del Pozuzo mediante la metodología CLC. Los objetivos específicos fueron identificar las pérdidas, ganancias, transiciones del uso y cambio de cobertura boscosa del suelo. Se concluye que en el año 1990 predominaba la cobertura de bosque densos altos, mientras que para el año 2016, se presenta una disminución debido al incremento de los pastizales y suelos desnudos. La cobertura de bosques densos alto tuvo una pérdida de 93,692.27 ha con una tasa de deforestación de -0.018% entre los años 1990 y 2016 a razón del incremento de pastizales en 81,124.75 ha.

Orihuela (2019), presentó su proyecto de tesis “Clasificación de cobertura de la tierra en la cuenca del río Lurín utilizando imágenes de sensores remotos” en Lima. Planteó como objetivo general realizar la clasificación de la cobertura de la tierra en la cuenca del río Lurín,

a partir de imágenes de sensores remotos como el satélite Sentinel-2A y de un vehículo aéreo no tripulado (VANT). La investigación aporta con la identificación de trece (13) clases de cobertura de la tierra utilizando la metodología CLC, considerando un 3.35 % para la cobertura de tejido urbano continuo. Por último, el autor recomienda evaluar la dinámica de cobertura de uso a partir del procesamiento de imágenes de satélite históricas disponibles, así como contar con una cantidad razonable de baterías para realizar vuelos en partes altas de la cuenca.

Lopez (2017), sustentó la tesis “Percepción y cambio de uso de suelo en un área de conflicto, la jalca, en la microcuenca Chirimayo, Cajamarca”. El objetivo general fue analizar la percepción de la población sobre el CUS en la región de la jalca hacia la actividad agropecuaria y minera. Los objetivos específicos fueron identificar las fuerzas que ocasionan los patrones que caracterizan el CUS en la región de la jalca de la microcuenca Chirimayo en el periodo 1987-2018, analizar las percepciones de la población adulta en torno al CUS agropecuario y minero e identificar los factores que determinan los cambios en las percepciones y comportamiento de la población adulta. El autor concluyo que los principales tipos de CUS en el periodo de 1987 a 2018 se debieron a las nuevas zonas agrícolas y carreteras, de esta forma demuestra la expansión de la actividad agropecuaria y su escalamiento a terrenos de mayor altitud y pendiente desde hace más de tres décadas. Adicionalmente, el cambio abrupto del uso de suelo se asocia al inicio de operaciones del proyecto minero Conga y la construcción de nuevas autopistas, significando una relativa mejora de los ingresos de los pobladores de la zona de estudio.

Gamarra (2017), investigó el “Análisis de la cobertura y uso de la tierra utilizando imágenes de resolución espacial media para el distrito de San Ramón - Chanchamayo - Junín – Perú”. El proyecto de tesis cuyo objetivo general, es facilitar la planificación y gestión territorial mediante el análisis de la cobertura y uso de la tierra en el distrito de San Ramón al 2016, utilizando la clasificación de la metodología CLC. Como objetivo principal planteó una clasificación supervisada utilizando el algoritmo Random Forest e imágenes de resolución espacial media (Landsat 8). El autor concluye que el mapa de cobertura y uso de la tierra es un producto cartográfico útil que facilita la toma de decisiones en la gestión sostenible del territorio. Además, la metodología empleada muestra resultados validados estadísticamente de la clasificación de las imágenes satelitales mediante el algoritmo Random Forest y se considera que la validación del mapa presenta un alto grado de correlación con la realidad.

Estado del arte

Los estudios de cambio de cobertura y uso del suelo se han ido replicando en diversos países de Europa, Africa, Asia y América latina. Durante el transcurso de los últimos años desde que se lanzó el programa CLC, los análisis del cambio de cobertura y uso del suelo han tomado como referencia el inventario CLC 2000, 2006, 2012 y 2018 por niveles y tipos de suelos, para luego realizar la visualización cartográfica en el software ArcGIS.

Pukowiec-Kurda y Vavrouchová (2020), publicaron el artículo “Land cover change and landscape transformations (2000–2018) in the rural municipalities of the upper Silesia-Zagłębie metropolis” en Polonia, con el objetivo de determinar los cambios de uso de suelo en municipalidades rurales ubicadas dentro de áreas metropolitanas y detectar los procesos de cambios en el paisaje con énfasis en las dinámicas de cambio que las afectan. Al determinar el cambio de uso de suelo y los cambios en el paisaje de las áreas rurales, abarcaron 15 probables tipos de uso de suelo de las capas CLC 2000, 2006, 2012 y 2018 para luego identificar como máximo 10 de estas en las municipalidades del área de estudio. Como parte del procedimiento, se realizó el cálculo de los indicadores “index change” e “index of relative change”. Los autores concluyen que las áreas rurales de las metrópolis investigadas esta sujetas al proceso de expansión urbana, considerando un proceso habitual el abandono de tierras cultivables. Adicionalmente, se requiere un pronóstico de crecimiento para garantizar una administración sostenible del suelo en toda la metrópoli (en áreas urbanas y rurales).

Malinowski et al. (2020), realizaron la investigación titulada “Automated Production of a Land Cover/Use Map of Europe Based on Sentinel-2 Imagery”, con el objetivo principal de desarrollar una metodología de clasificación del uso y cobertura del suelo altamente automatizada y lista para su uso operacional, pudiendo ser aplicable a gran escala desde un nivel regional a global. Adicionalmente, tienen como objetivo desarrollar un método para la generación de un conjunto de datos de entrenamiento de referencia unificado desde bases de datos existentes de cobertura de suelo (CLC 2012). Al describir la metodología principalmente abarca una clasificación supervisada de imágenes Sentinel-2 del 2017 cubriendo un área de 34 países europeos. Los autores concluyen que el método es comparable con técnicas actuales que usan conjuntos de datos de entrenamiento derivados de la interpretación visual de teledetección. Así mismo, mencionan que las bases de datos antiguas con baja resolución que las imágenes clasificadas, pueden ser una fuente efectiva de muestras de entrenamiento que permite el mapeo con alta precisión temática.

Bagan y Yamagata (2012) realizaron la investigación titulada “Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years”, cuyo

objetivo principal fue investigar los cambios espaciales y temporales del uso de suelo en el espacio metropolitano de Tokio haciendo uso de grillas de cuadrícula para luego específicamente combinar mapas de cobertura del suelo para conocer el pasado, presente y las tendencias del crecimiento urbano. Por lo tanto, el objetivo general de la investigación es combinar diferentes fuentes de datos en celdas de 1 km² y mapear crecimiento urbano a alta resolución y mejorar el conocimiento, entendimiento y análisis de las dinámicas urbanas. Finalmente, ambos autores dan a concluir que la combinación de la teledetección y los censos poblacionales en grillas de cuadrículas permiten entender los patrones espaciales y temporales de las tendencias del crecimiento urbano. De esta manera, el crecimiento urbano está altamente correlacionado con el cambio de densidad poblacional a diferencia que los cambios suscitados en las tierras agrícolas.

Marco Teórico

Cobertura del suelo

El termino hace referencia a la cubierta bio-física observable en la superficie terrestre (FAO y UNEP, 1998), así como al material físico que puede ser vegetación o no vegetación, natural o antropogénica (Chotte et al., 2019).

Así mismo, Chotte et al. (2019) atribuyen que la variación de la cobertura de la tierra originado por la liberación de superficies para la cultivación es generalmente el primer paso del proceso de la degradación del suelo. Por esta razón, la cobertura del suelo provee un primer indicador del cambio de la cobertura vegetal y hasta cierto punto como el factor más importante, ocasionando la conversión del suelo y resultando con la fragmentación del hábitat (Global Mechanism of the UNCDD, 2019).

Uso del suelo

Anderson et al. (1976), establece que el uso de suelo hace referencia al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan o se desarrollaron sobre una cobertura terrestre y considera que están actividades interactúan mediante la generación de recursos naturales para la producción de servicios y bienes. Porta et al. (2003), considera que las actividades socioeconómicas dado el uso de suelo son beneficiosos para el desarrollo de un país y como contraparte se han generado problemas en las zonas periurbanas; ya que, con el crecimiento de las ciudades y el de su industria, han ocupado terrenos agrícolas de primera calidad (en muchos casos llanuras aluviales).

Cambio de la cobertura y uso del suelo

En las últimas décadas el cambio del uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global y los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del suelo y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997 citado en Bocco et al., 2001). Obedece a una serie de procesos, que actúan de manera directa con los recursos que proporciona la naturaleza, y tiene factores que son los que, de alguna manera, presionan a que se de este proceso de cambio de manera intensiva y alrededor del mundo (Maldonado, 2005).

En conclusión, en términos simples el cambio de uso de suelo hace referencia a la expresión dinámica de las actividades antropogénicas sobre un espacio que implica el cambio de un uso de suelo a otro (Platt, 2004 citado en Lopez, 2017).

Sistemas de información geográfica

Es una herramienta capaz de adoptar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para obtener una ilustración procedente del espacio de la tierra (Calvo, 1992 citado en Muñoz, 2018). Chuvieco (1995), describe a continuación con mayor detalle los sistemas de información geográfica (SIG):

“Los SIG, pueden definirse como bases informatizadas de datos con algún tipo de componente espacial. Eso significa que la información que almacenan esta referenciada geográficamente, ya se trate de mapas, estadísticas o cambios climáticos sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas. Por cuanto la información que contienen se almacena en forma digital, los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de los ordenadores, facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesibles por medios convencionales: generalización cartográfica, integración de variables espaciales, análisis de vecindad, etc. (1995, p. 397)”.

Imágenes de satélite

Una imagen de satélite es una representación visual de los datos reflejados por la superficie del suelo, que captura un sensor montado en un satélite artificial (INEGI, 2014 citado en Herrera, 2019). Las imágenes de satélite se basan en las diferencias de reflectancia o emisividad de las superficies terrestres (Porta et al., 2003). Estas imágenes están compuestas por matrices, en las que cada celda es un píxel y las dimensiones del píxel dependerán de la resolución espacial del sensor (Bravo, 2017).

Teledetección

Aquel proceso que nos permite obtener imágenes de la superficie terrestre a través de sensores instalados en plataformas espaciales (Chuvienco, 1995) y en un amplio sentido se entiende como la adquisición de información de un objeto a una distancia, donde, no se ha mantenido un contacto presencial entre el objeto o sistema observado y el observador (Sobrino, 2000 citado en Pucha et al., 2018). Fue desarrollada a partir de 1961, la cual abarca los procesos de detección, reconocimiento, identificación y evaluación de los objetos y fenómenos de la superficie terrestre (Porta et al., 2003).

La teledetección es posible suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética artificial, esta es ya sea por reflexión de la energía solar, mediante un haz energético artificial o por emisión propia. Adicionalmente, se precisa que ese haz energético recibido por el sensor se transmita a la superficie terrestre donde la señal detectada pueda almacenarse y por último ser interpretada para una determinada aplicación. En definitiva, un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos: fuente de energía, cubierta terrestre, sistema sensor, sistema de recepción-comercialización, interprete y usuario final (Chuvienco, 1995).

Programa Landsat

El programa “Landsat” es uno de los proyectos más reconocidos de teledetección desde el espacio, Chuvienco (1995) comenta que Norteamérica, a través de su agencia espacial, a fines de la década del 60 diseñó el primer proyecto de enfocado primordialmente al avistamiento de recursos terrestres poniendo en órbita el satélite pionero de la serie ERTS (Earth resource technology satellite) en julio de 1972 (Landsat-1). Dando de esta manera el inicio de una familia de satélites denominado Landsat, siendo sin duda el proyecto más galardonado de teledetección espacial desarrollado hasta el momento.

Landsat ha sido uno de los sistemas de satélites operado y estructurado para observar repetidas veces la cubierta de la tierra mediante una resolución temporal moderada. Actualmente, el programa Landsat se encuentra en su octava versión denominada: “Landsat data continuity mission (LDCM)” (IGAC, 2013 citado en Gamarra, 2017). Landsat-8 tiene incorporado un nuevo sensor (ETM+) que mejora las características, añadiendo una banda pancromática de 15 metros de resolución y aumentando la resolución de la banda térmica a 60 metros (Chuvienco, 2002 citado en Briones, 2018).

Landsat-5.

Satélite lanzado en 1984 que operaba simultáneamente en siete bandas espectrales con el sensor “Thematic Mapper (TM)” y con un tiempo en órbita de 28 años hasta el 2013 (USGS, 2019) y las imágenes cuentan con una resolución espacial de 30 metros de la banda 1 a la 5 y una resolución temporal de 16 días. Además, el tamaño aproximado de imagen es de 170 km escena norte-sur por 183 km de este a oeste (Bravo, 2017).

Tabla 1

Característica de la imagen Landsat-5

Satélite	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 5 “Thematic Mapper (TM)”	1. Azul	0.45 - 0.52	30
	2. Verde	0.52 - 0.60	30
	3. Rojo	0.63 - 0.69	30
	4. Infrarrojo cercano (NIR)	0.76 - 0.90	30
	5. Onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.55 - 1.75	30
	6. Thermal	10.40 - 12.50	120 * (30)
	7. Onda corta infrarroja (SWIR) 2	2.08 - 2.35	30

Nota: (Bravo, 2017, p. 20).

Landsat-7.

Satélite lanzado en 1999 y con un performance normal hasta que el sensor “Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)” fallara en el 2003 (USGS, 2019). Las imágenes del satélite Landsat-7 constan de ocho bandas espectrales y con una resolución espacial de 30 metros en las Bandas 1 a 5 y 7. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. El tamaño aproximado de la imagen es de 170 km escena de norte a sur por 183 km de este a oeste (Bravo, 2017).

Tabla 2*Característica de la imagen Landsat 7*

Satélite	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 7 “Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)”	1. Azul	0.45 - 0.52	30
	2. Verde	0.52 - 0.60	30
	3. Rojo	0.63 - 0.69	30
	4. Infrarrojo cercano (NIR)	0.77 - 0.90	30
	5. Onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.55 - 1.75	30
	6. Thermal	10.40 - 12.50	60 * (30)
	7. Onda corta infrarroja (SWIR) 2	2.09 - 2.35	30
	8. Pancromática	0.52 - 0.90	15

Nota: (Bravo, 2017, p. 20).

Landsat-8.

Satélite lanzado en el 2013 con el objetivo de proveer imágenes visibles de una alta calidad, imágenes infrarrojas de las masas de la tierra y las áreas cercanas a las zonas costeras, continuamente aportando a la base de datos de landsat estableciendo y manteniendo archivos de datos de encuestas globales (USGS, 2019).

Landsat-8 lleva dos sensores incorporados de procesamiento de datos: el sensor “Operational Land Imager (Imagen operacional de la tierra) - OLI” y el sensor “Thermal Infrared Sensor (térmico infrarrojo) – TIRS”. Adicionalmente está compuesto de 9 bandas espectrales con resolución de 30 metros en las bandas del 1 al 7 y la banda 9. Por otro lado, la banda 8 (pancromática) tiene una resolución de 15 metros. El tamaño aproximado de la imagen es de 170 km escena de norte a sur por 183 km de este a oeste (Bravo, 2017).

Tabla 3*Característica de la imagen Landsat-8*

Satélite	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat-8 “Operational Land Imager (OLI) and Thermal	1. Ultra azul (costero/aerosol)	0.43 - 0.45	30
	2. Azul	0.45 - 0.51	30
	3. Verde	0.53 - 0.59	30
	4. Rojo	0.64 - 0.67	30
	5. Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30

Infrared Sensors (TIRS)”	6. Onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
	7. Onda corta infrarroja (SWIR) 2	2.11 - 2.29	30
	8. Pancromática	0.50 – 0.68	15
	9. Cirrus	1.36 – 1.38	30
	10. Infrarrojo térmico (STIR) 1	10.60 – 11.19	100
	11. Infrarrojo térmico (STIR) 2	11.50 – 12.51	100

Nota: (Bravo, 2017, p. 21).

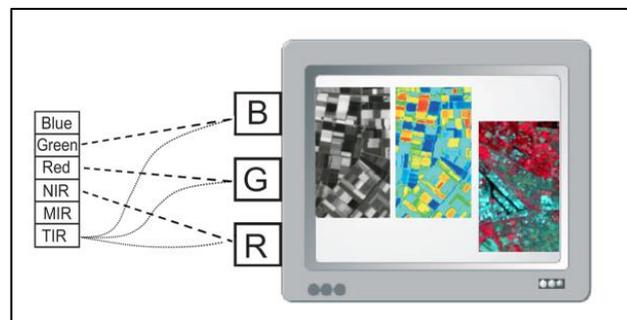
Combinación de bandas

La combinación de bandas es una imagen estructurada por la integración de tres bandas diferentes del sensor y dispuestas cada una en los tres canales de proyección: Rojo (R), Verde (G) y Azul (B). Teniendo como resultado una imagen a color RGB (Bravo, 2017).

Para la interpretación de los datos de la teledetección, al visualizar una imagen RGB el cerebro combina los estímulos y nos permite percibir todos los colores posibles del espectro visible, conocido como el principio de esquema de color adicionado (“additive colour scheme”) (Bakker et al., 2009).

Figura 1

Visualización de imágenes de una sola banda y tres bandas utilizando los canales de proyección Rojo (R), Verde (G) y Azul (B) de un monitor.



Nota: Adaptado de “Principles of Remote Sensing: An introductory textbook”, por (Bakker et al., 2009, p. 179)

Una forma alternativa de representar una banda única es establecer una escala de colores para obtener una imagen de pseudo color. En principio, toda combinación de las tres bandas puede ser utilizada como entrada para los canales RGB según la intención de su uso (Bakker et al., 2009).

Tabla 4*Combinación RGB de bandas Landsat-5, Landsat-7 y Landsat-8*

Descripción	Combinación (RGB) – Landsat 5 - 7	Combinación (RGB) – Landsat 8
Color natural	3,2,1	4,3,2
Color infrarrojo (vegetación)	4,3,2	5,4,3
Vegetación saludable	4,5,1	5,6,2
Combinación útil para diferenciar Tierra / agua	4,5,3	5,6,4
Agricultura	5,4,1	6,5,2
Análisis de vegetación	5,4,3	6,5,4
Natural con remoción atmosférica	7,4,2	7,5,3
Infrarrojo de onda corta	7,4,3	7,5,4
Falso color (urbano)	7,5,3	7,6,4
Penetración atmosférica	7,5,4	7,6,5

Nota: Combinación de bandas más común aplicado a Landsat-8 (Puentes 2010, citado en Gamarra, 2017, p. 19) y principales combinaciones de satélite Landsat 5 y Landsat 7 (Bravo, 2017, p. 85)

Combinación en color natural (3,2,1) Landsat-5.

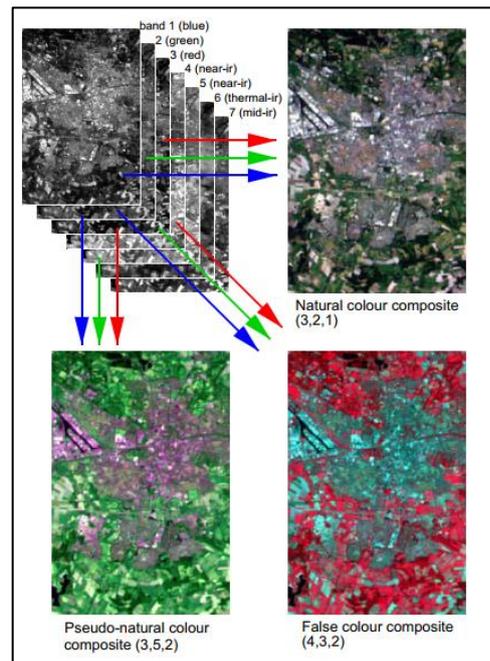
Constituye la combinación más próxima a la percepción de la tierra con nuestros ojos, conociéndose como color verdadero. En ese sentido, en el agua las bandas visibles responden a la luz penetrando más profundamente y por ende sirven para distinguir corrientes, batimetría, agua poco profunda, aguas turbias, y zonas con sedimentos (Bakker et al., 2009).

Combinación en falso color (4,3,2) Landsat-5.

La vegetación aparece en un color rojo-morado, en la parte visible del espectro las plantas reflejan mayormente luz verde, pero en la zona infrarroja la reflexión es inclusive mucho mayor, identificando vegetación saludable con una apariencia rojo brillante. Siendo útil en investigaciones sobre vegetación, crecimiento de cultivos y patrones de suelo (Bakker et al., 2009).

Figura 2

Tres diferentes combinaciones para Landsat-5



Nota: adaptado de “Principles of Remote Sensing: An introductory textbook”, por Bakker et al., 2009, p. 179

Pre-procesamiento de las imágenes

Abarca el conjunto de técnicas que se emplean previo al análisis de datos de imágenes satelitales para optimizar la calidad de los productos finales y corregir desviaciones derivadas de las características de la colección de datos y las condiciones de la imagen (Sanjurjo y Kalliola, 2004).

Corrección de imágenes.

Es un proceso que abarca la eliminación de diferentes anomalías identificadas en una imagen satelital, por ejemplo, en la radiometría de los píxeles que la componen o en su localización. Este proceso busca una adquisición idónea de los datos de una imagen por ejemplo situándolos sobre posiciones geográficas correctas o reconstruyendo la radiancia identificada por el sensor según los ND (valores numéricos llamados Nivel Digital) (Chuvienco, 2002).

Corrección radiométrica.

Es una técnica que modifica los ND debido del mal funcionamiento del sensor (ángulo de barrido o campo de visión global), calibraciones el sensor y magnitudes físicas obtenidas que provocan la aparición de algunas líneas o píxeles perdidos. La forma más utilizada para calcular los ND erróneos se utiliza el fenómeno conocido como

autocorrelación espacial (Chuvieco, 2002) y de esta manera se aproxima a los valores obtenidos en condiciones ideales.

Corrección atmosférica.

La corrección atmosférica corrige los efectos del cálculo de reflectividad producido por el espesor de la atmósfera. Considerando la irradiancia solar directa que recibe el satélite, no es la misma que sale del suelo, la cual nos interesa calcular como reflectividad de la cubierta terrestre no influenciada por la atmósfera (Chuvieco, 2002). Además, con la corrección atmosférica se reducen los efectos producidos por los aerosoles, niveles de ozono, vapor de agua, nubes y la neblina siempre y cuando conociendo el perfil del sensor del satélite y las propiedades atmosféricas (Vermote & Saleous, 2007). Adicionalmente, se hace énfasis en las correcciones e sombreado topográfico, ya que, no se debe suponer que tenemos un terreno llano debido a que los efectos derivados del gradiente y dirección de la pendiente son muy notorios, especialmente en la zonas en sombra (Chuvieco, 2002).

Corrección geométrica.

Este tipo de corrección abarca los cambios en la posición donde los píxeles forman la imagen, viéndose la necesidad de modificar las coordenadas de los ND. Al ser un formato digital, la transformación geométrica se basa en funciones numéricas que se emplean para modificar cartográficamente a la imagen o para entrelazar dos o más imágenes entre sí (Chuvieco, 2002).

Unión de bandas.

Es una técnica que permite mejorar una imagen multiespectral y así potenciar su uso en diversas aplicaciones. Este procedimiento se aplica cuando la imagen se encuentra separada por bandas como el caso de las bandas de las imágenes Landsat (MINAM, 2014).

Procesamiento de las imágenes

Etapa donde se requiere facilitar el análisis, interpretación y obtención de información de las imágenes de los sensores remotos, por ello se recurre a diversas técnicas y operaciones de clasificación (Sanjurjo y Kalliola, 2004) y en el presente estudio se basará en el protocolo de las dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en la comunidad andina (MINAM, 2014).

Segmentación.

Es una técnica de agrupación de datos, donde únicamente regiones espacialmente adyacentes (distribución espacial de los píxeles) y de características espectrales similares, pueden ser agrupadas generando polígonos de píxeles que representan áreas geográficas homogéneas de una manera rápida y eficaz (MINAM, 20014).

Según el MINAM (2014), para la segmentación de imágenes satelitales en el programa Envi 4.7 o versiones superiores, se consideran los valores de los parámetros de escala (scale: dimensión de los segmentos) y fusión (merge: nivel de unión de los segmentos) mínimos establecidos.

Áreas de referencia.

Para la construcción de áreas referencia, se utilizan polígonos que forman un ejemplar representativo por cada una de las clases existentes en la escena y deben estar distribuidas de manera homogénea.

Además, en la construcción de polígonos por clase y/o subclase como sean necesarios deben seleccionarse como mínimo 10 enmarcando en su totalidad solo la clase que desea representar y con un tamaño mínimo de 2 Ha, para garantizar un óptima representación de la clase en la escena (MINAM, 2014).

Según el MINAM (2014) luego de definir la segmentación más adecuada para la escena, se debe de asignar los tipos de área de referencia que pueden ser:

- 1.- Áreas de entrenamiento: aquellas donde la segmentación se muestra consistente (reconoce correctamente los bordes entre clases) y comprende el conjunto de información de entrada que refuerza la clasificación automática. Por ejemplo: cultivos, vegetación natural, etc. Se considera la metodología CLC adaptada para Perú.
- 2.- Áreas para seleccionar segmentos: la segmentación es consistente, pero engloban polígonos que son apartados del proceso de clasificación ya que no se ajustan o causan confusiones en el modelo. Por ejemplo: áreas urbanas, zonas quemadas, área de extracción de hidrocarburos, etc.
- 3.- Áreas de reemplazo: aquellas en donde la segmentación no es certera, la segmentación no ha permitido definir correctamente los bordes entre las clases y no hay polígonos incorporados al proceso de clasificación automática. Por ejemplo: aeropuertos, ríos, caminos, etc.

Generación de información complementaria.

La generación de información complementaria como capas e índices derivados tiene el objetivo de enriquecer el proceso de clasificación, se busca mejorar la capacidad de la computadora de interpretar atributos claves. Entre los criterios de elección de los índices a emplear se considera: sensor de la imagen, clases distinguidas en el proceso, capas topográficas, entre otros (MINAM, 2014).

Se emplea como información complementaria derivada del DEM (modelo de digital de elevación) a la curvatura y la pendiente. Además, es importante que todos los índices

sean generados con la misma extensión, tamaño de celda y proyección espacial, considerando que se almacenen un mismo directorio.

Fase de entrenamiento: Clasificación.

Implica categorizar una imagen multibanda para obtener una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio. Esta imagen multibanda se convierte en una imagen diferente donde el ND que define cada píxel no guarda relación con la radiancia manifestada por el sensor, sino que es una etiqueta que identifica una categoría asignada a ese píxel. Por ende, el ND de un píxel clasificado y es el identificador de la clase en donde se haya asignado (Chuvienco, 2002).

Clasificación supervisada

Esta clasificación está relacionada con un conocimiento previo de la zona de estudio, obtenido por experiencia previa o por trabajo de campo y de esta manera permite al interprete delimitar sobre la imagen, áreas altamente representativas de las categorías (individualmente) que comprenden la leyenda asignada. Las áreas asignadas sirven para preparar al programa de clasificación en el reconocimiento de las diferentes categorías, que están en función de la similitud de sus ND con los extraídos como referencia (Chuvienco, 2002).

Clasificación no supervisada

El principal enfoque de esta clasificación son las clases espectrales de una imagen satelital, sin implicar algún conocimiento del área de estudio y por ende la intervención humana se enfoca más en la interpretación o el significado temático de los resultados (Chuvienco, 1995). La clasificación no supervisada asume que los ND de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados, más o menos nítidos. De esta forma el método para definir los agrupamientos espectrales se basa en la selección de tres parámetros: variables intervienen en el análisis, criterio para medir la similitud o distancia entre casos y el criterio para agrupar los casos similares (Chuvienco, 2002).

Fase asignación.

Esta fase busca agregar los píxeles individualmente presentes en la imagen a una de las clases previamente seleccionadas. Esta asignación se da en función de los ND de cada píxel en cada una de las bandas que intervienen. Los criterios más empleados para este proceso desde un punto de vista estadístico definen un área de dominio en relación al centro de cada categoría por un conjunto de funciones discriminantes (Chuvienco, 2002), serán detallados a continuación:

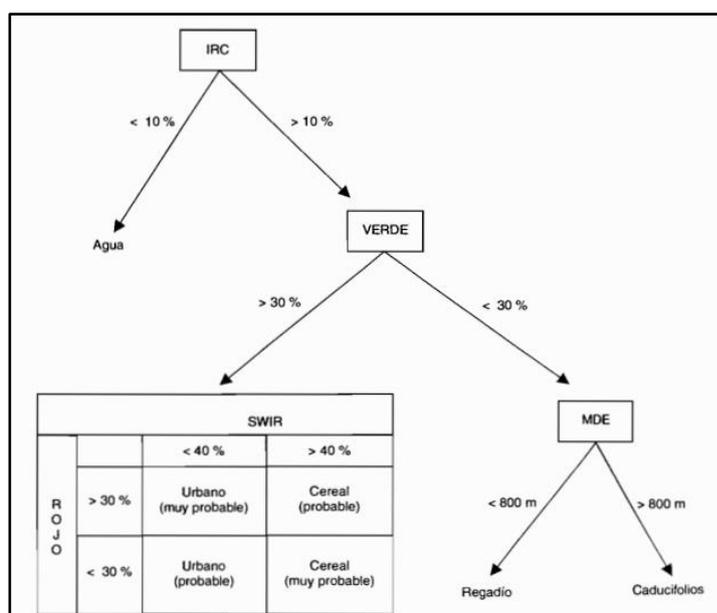
Arboles de decisión

Esta alternativa denominada clasificador en árbol, consiste en discriminar progresivamente cada una de las categorías basándose en los valores espectrales de la imagen. Puede considerar variables texturales, temporales o en información auxiliar (suelos, MDE, etc.) (Chuvieco, 2002). Además, los árboles de decisión se han utilizado en los últimos años con un éxito para asignar tipos de vegetación y cobertura del suelo, teniendo en cuenta el alcance en aplicaciones de ámbito global (Friedl et al., 1999 citado en Chuvieco, 2002).

Al discriminar las categorías, se elabora una matriz arbórea que representa diversas condiciones que se organizan jerárquicamente y se aplican continuamente desde una raíz hasta llegar a un nodo final u hoja de árbol (Breiman, 2001).

Figura 3

Ejemplo de un árbol de decisión (clasificación en árbol).



Nota: Adaptado de “Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio”, por Chuvieco, 2002, p. 406.

Algoritmos de clasificación: Random forest

Descrito como un algoritmo de clasificación no lineal y una herramienta efectiva en la predicción que permite analizar patrones de la data que se incorpora como entrada de información (Breiman, 2001). Random forest procesa varios árboles de decisión y ejecuta un sistema de votos entre el conjunto de árboles (combinación de árboles predictores) para decidir la clase y saber si cada árbol evaluado es un voto y se determina la clase en función a la cantidad de votos alcanzados en cada

una de las unidades a ser clasificadas (Breiman, 2001 citado en Arnillas et al., 2012).

Random forest aumenta la diversidad y precisión de los árboles de decisión haciéndolos crecer a partir de diversos subconjuntos de datos creados mediante un procedimiento nombrado “bagging”. Este procedimiento está diseñado para la producción de datos de entrenamiento que remuestrea aleatoriamente el conjunto de datos originales con reemplazamiento, en conclusión, sin excluir el conjunto de datos seleccionados de forma previa a la elección del siguiente subconjunto (Breiman, 2001).

Verificación estadística

La importancia de la verificación estadística radica en que el producto final de una clasificación ya sea esta visual o digital, sea un mapa temático y habitualmente se asume que el producto obtenido es completamente fiable. Sin embargo, las clasificaciones realizadas manejan cierto margen de error en función de la índole de los datos o de la rigurosidad del método empleado. De esta manera, se debe llevar a cabo un proceso de verificación, que permita cuantificar ese error y poder valorar el trabajo final y su aplicabilidad operativa (Chuvieco, 1995).

Matriz de confusión.

La matriz de confusión o de contingencia, denominada como confusión debido a que recopila los conflictos que se presentan entre categorías (Chuvieco, 1995), se trata de una matriz bidimensional (figura 4) donde las filas corresponden a las clases de referencia a partir de las imágenes base; mientras que las columnas corresponden a las clases provenientes de la clasificación (Congalton y Green, 1993). En la diagonal de la matriz se computa el número de puntos de control en campo donde se compara con ortofotos o imágenes de alta resolución espacial y los puntos fuera de la diagonal (marginales) son considerados como errores de asignación que se posicionan en el margen de la matriz ya sean errores de omisión o errores de comisión (García, J. et al., 2018). Coherentemente ambas filas y columnas tendrán el mismo número y significado, en resumen, es una matriz cuadrada $n \times n$, donde n indica el número de categorías (Chuvieco, 1995) y se puede obtener un indicador de precisión global del mapa.

Esta matriz nos permite evaluar la precisión de una clasificación obteniendo la exactitud del productor, la exactitud del usuario y la exactitud global. En el caso de las filas, los marginales indican el número de píxeles que perteneciendo a una categoría definida, no fueron incluidos en ella y esto se denomina error de omisión (Chuvieco, 1995), conocido también como exactitud del productor quien desea saber que tan bien ha

sido clasificada un área. Por otro lado, los marginales de la columna expresan el error de comisión, conocido como exactitud del usuario, este nos indica la probabilidad de que un pixel clasificado en una determinada categoría pertenezca realmente a otra (Congalton, 1991).

En la figura 4 se presenta la matriz de confusión correspondiente a una clasificación de 336 puntos muestreados.

Figura 4

Matriz de confusión

Matriz de confusión entre clases														
Clase real ↓	Clase mapa →										Total	Usuar	Error Comis	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				11
1. Edif, compacta	14											14	100,0	0,0
2. Residencial		10										10	100,0	0,0
3. Herbáceos Secano			113				3		5			121	93,4	6,6
4. Regadío				15		2						17	93,8	6,2
5. Perennifolios					45		7	1	7			60	75,0	25,0
6. Caducifolios			1		1	6						8	75,0	25,0
7. Matorral							11	6	12			29	37,9	62,1
8. Pastizal			1				1	28			1	31	90,3	9,7
9. Past-Matorral			3				4	1	32			40	80,0	20,0
10. Roquedo										1	1	2	50,0	50,0
11. Agua												4	100,0	0,0
Total	14	10	118	15	46	8	26	36	57	2	4	336		
Exac. Productor	100	100	96	100	98	75	44	78	56	50	100		(%)	
Error omisión	0	0	4	0	2	25	56	22	44	50	0		(%)	

Nota: Se detalla ejemplo de matriz de confusión, por Chuvieco, 1995, p. 390.

Índice de kappa.

El Índice de Kappa fue propuesto por Jacob Cohen en 1960 y es una medida estadística que mide la diferencia entre dos observaciones (mapa y realidad), donde se intenta delimitar el grado de ajuste debido solo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por efectos aleatorios (Chuvieco, 2002).

El índice de kappa es una herramienta capaz de medir la precisión de un producto cartográfico, que calcula todos los valores de la matriz de confusión. Este método fue detallado por Congalton (1991) y se muestra a continuación:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

Donde:

r: número de filas

x_{ii}: número de observaciones en una fila *i* y columna *i*

x_{i+}, *x_{+i}*: totales marginales de una fila *i* y columna *i*

N: total número de observaciones (tamaño de la muestra)

El estadístico Kappa (*k*) permite evaluar si la clasificación ha diferenciado las categorías de interés con precisión significativamente mayor a la que se hubiera obtenido mediante una asignación aleatoria o al azar. Además, un valor de *k* igual a 1 establece un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, sin embargo, un valor cercano al 0 manifiesta que el acuerdo observado es definitivamente debido al azar (Chuvieco, 2002).

El índice de Kappa puede tomar valores entre -1 y + 1, considerando mientras más cercano a +1 mayor es el grado de concordancia inter-observador, a diferencia si se aproxima a -1, el grado de discordancia inter-observador incrementa (Cerdea y Villarroel Del P., 2008). Landis y Koch (1977) describieron la escala utilizada frecuentemente para expresar de manera cualitativa la fuerza de concordancia la cual se observa en la tabla 5.

Tabla 5

Valorización del estadístico kappa (k)

Índice de Kappa	Fuerza de la concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Nota: Adaptado de “Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Índice de Kappa” por Cerde y Villarroel Del P., 2008, p.57.

CORINE Land Cover (CLC)

CORINE Land Cover (CLC) es utilizada para la elaboración de productos cartográficos de cobertura y uso del suelo. CLC mediante una leyenda jerárquica relaciona diferentes niveles de detalle espacial (escala) con diferentes niveles de detalle temático (niveles de la leyenda jerárquica) (Arnillas et al., 2012). CORINE (“Coordination of Information of the

Environment”), se inicia en junio de 1985 mediante decisión del Consejo de Ministros de la Unión Europea (CE/338/85), teniendo como objetivo ser un programa experimental para recopilar, coordinar y fortalecer la trazabilidad de la información del estado de los recursos naturales y el medio ambiente de la comunidad (Bossard et al., 2000).

Según la IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA (2008), las principales ventajas de la metodología CLC son las siguientes: permite establecer una capa de cobertura del suelo de una manera relativamente rápida y sencilla, facilita la comparación de datos y porcentajes de uso y ocupación del suelo entre los países europeos y aquellos de América del Sur que lo utilicen, y permite hacer análisis multitemporales de ocupación del suelo de una manera dinámica y eficaz.

Arnillas et al. (2012), obtienen como resultado metodológico para la generación de mapas de cobertura y uso de la tierra una leyenda validada y replicable en la región andina que incorpora adaptaciones necesarias para los diferentes países en una serie de clases de los niveles 1 y 2; ya que, a nivel nacional cada país tiene plena libertad de modificar la leyenda, ampliar o detallarla, con la condición que los acuerdos de reporte se puedan ejecutar. Adicionalmente, el MINAM (2018) definió la nomenclatura validada como CORINE Land Cover para construir productos cartográficos de cobertura de la tierra a nivel nacional (tabla 6).

Tabla 6

Nomenclatura estandarizada Corine Land Cover, para construir Mapas de Cobertura de la Tierra a nivel Nacional - Perú

Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV	Definición a nivel II
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo 1.1.2 Tejido urbano discontinuo	No aplica (n.a.)	Las áreas urbanizadas incluyen los espacios cubiertos por infraestructura urbana y todas aquellas áreas verdes y redes de comunicación asociadas con ella, que configuran un tejido urbano
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1 Áreas Industriales o comerciales 1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados 1.2.3 Áreas portuarias 1.2.4 Aeropuertos 1.2.5 Obras hidráulicas	n.a.	Comprende áreas cubiertas por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad.
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos 1.3.2 Áreas de disposición de residuos	n.a.	Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras e hidrocarburíferas, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen. (Incluye colas y desmontes).
	1.4. Áreas verdes artificiales no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas 1.4.2 Instalaciones recreativas	n.a.	Comprende las áreas verdes localizadas en las zonas urbanas, sobre las cuales se desarrollan actividades comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación donde los diferentes usos no requieren de infraestructura construida apreciable. En general, estas áreas verdes son el resultado de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro de la ciudad.
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	n.a.	n.a.	Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo

				ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser sólo de unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores de cielo abierto.
	2.2. Cultivos permanentes	n.a.	n.a.	Comprende los territorios dedicados a los cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a dos años, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos industriales de caña, los cultivos de herbáceas como plátano y banano; los cultivos arbustivos como café y cacao; y los cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales.
	2.3. Pastos	n.a.	n.a.	Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominado principalmente por las familias Poaceae y Fabaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un periodo de 2 o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente y en el manejo posterior que se hace.
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	n.a.	n.a.	Son unidades que se reúnen dos o más clases cobertura agrícolas y naturales. Están, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricas que hace difícil su separación en coberturas individuales; los arreglos geométricos están relacionados con el tamaño reducido de los

				predios, las condiciones locales de los suelos, las prácticas de manejo utilizadas y las formas locales de tendencia de la tierra. 70% intervenido en la UMN. Si el porcentaje (%) es menor, la cobertura continua define a la matriz.
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1. Bosque	3.1.1 Bosque denso bajo 3.1.2 Bosque abierto bajo 3.1.3 Bosque denso alto 3.1.4 Bosque abierto alto 3.1.5 Bosque fragmentado	n.a.	Altura mayor a 5m. Cobertura mayor a 10%. Umbral entre denso y abierto: 70% de cobertura. Los bosques riparios y otros ecológicamente discernibles entrarían como nivel 4. Se consideran excepciones importantes definidas por restricciones bioclimáticas y biogeográficas particularmente en Perú y Bolivia), como los bosques de <i>Polylepis</i> o <i>Prosopis</i>
	3.2. Bosques plantados	n.a.	n.a.	Son coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación y/o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1. Herbazal	3.1.1.1 Herbazal denso 3.1.1.2 Herbazal abierto	Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos, los cuales forman una cobertura densa (>70% de ocupación) o abierta (30% - 70% de ocupación). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos. Tanto subterráneos como epigeneos (Font Queur, 1982). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o sus intervenciones han sido selectivas y no ha alterado su estructura

			original y las características funcionales (IGAC, 1999)
	3.3.2. Arbustal	3.1.1.1 Arbustal denso 3.1.1.2 Arbustal abierto	Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 2, fuertemente ramificado en la base y sin copa definida (FAO, 2001)
	3.3.3 Vegetación secundaria o transición	n.a.	Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrolla en zonas desmontadas para diferentes usos, en áreas agrícolas abandonadas y en zonas donde por la ocurrencia de eventos naturales la vegetación natural fue destruida. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.
	3.3.4 Vegetación arbustiva/ herbácea	3.1.4.1 Vegetación arbustiva / herbácea densa 3.1.1.2 Vegetación arbustiva / herbácea abierta	Comprende los territorios cubiertos por una mezcla de vegetación arbustiva y herbácea, desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos.
	3.3.5 Arbustal / área intervenida 3.3.6 Herbazal / área intervenida 3.3.7 Arbustal - Herbazal /		

		área intervenida		
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales 3.4.2. Afloramientos rocosos 3.4.3. Tierras desnudas (incluyen áreas erosionadas naturales y también degradadas) 3.4.4. Áreas quemadas 3.4.5. Glaciares 3.4.6. Solares	n.a.	Comprende aquellos territorios en los cuales vegetación no existe o escasea, compuestas principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos, algunos de los cuales pueden estar cubiertos por hielo y nieve.
4. Áreas húmedas y tierras desnudas	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Áreas Pantanosas 4.1.2. Turberas y bofedales 4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	n.a.	n.a.
	4.2. Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros 4.2.2. Salitral 4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar	n.a.	n.a.
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos (50 m) 5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes 5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales 5.1.4. Canales 5.1.5. Cuerpos de agua artificiales	n.a.	n.a.
	5.2. Aguas costeras	5.2.1. Lagunas costeras 5.2.2. Mares y océanos 5.2.3. Estanques para acuicultura marina	n.a.	n.a.

Nota: (Arnillas et al., 2012, p.47)

Generación de posibles escenarios

En la generación de posibles escenarios se crean y prueban sistemáticamente futuros alternativos que consideren el conjunto más variado de las condiciones que se pueden presentar para un territorio y por ello es necesario formular escenarios alternativos a la imagen deseada del territorio (CEPLAN, 2019a). Asimismo, se identifican disrupciones que podrían generar futuros diferentes, siendo las disrupciones desastres naturales como un sismo, la erupción de un volcán o una crisis social - económica y por ende para cada disrupción le corresponde un escenario distinto (CEPLAN, 2019b).

Además, Gómez y Gómez (2013) establecen que los escenarios consisten en diseñar un modelo territorial deseable a medio o largo plazo (materializado en estructura, función, imagen y variables cuantitativas) basado en una visión compartida del futuro donde se identifican las medidas necesarias para avanzar hacia el escenario propuesto.

La generación de posibles escenarios contribuye a la toma de decisiones a nivel territorial; ya que, el diseño de políticas y la elaboración de planes que impulsen mejoras en la calidad de vida de las personas debe considerar la realidad del país (es decir la situación actual y comportamiento histórico de las variables) (CEPLAN, 2020). Además, el análisis de escenarios es una herramienta eficaz para la toma de decisiones asertivas la elaboración de planes estratégicos y ofrece información clave para el desarrollo de escenarios sólidos que cumplan con los criterios esenciales de ser plausibles (lógico, consistente y creíble), relevantes, divergentes y desafiantes (OECD, 2019 citado en CEPLAN, 2020). Por ende, los escenarios como instrumento de planificación se justifican por que identifican el futuro deseable y para elaborar un escenario, el planificador enfoca su atención en la dinámica y en las interacciones entre sectores y espacios Gómez y Gómez (2013).

Por otro lado, Grigorescu et al. (2019) nos menciona que actualmente se han desarrollado modelamientos y herramientas complementarios a la generación de escenarios posibles a diferentes escalas capaces de reproducir la generación de patrones complejos mediante reglas simples y con las herramientas asociadas a técnicas de inteligencia artificial como: análisis de regresión logística, análisis multicriterio, índices de expansión urbana, modelos multinivel (CLUE-S) de simulación relacionado con la base de datos CLC. Asimismo, Hendawy et al. (2019) hace referencia a métodos de clasificación como: máquinas de vectores de apoyo (SVMs), redes neuronales (NNs), máxima verosimilitud (ML) y modelos autómatas celulares (CA) – Markov capaces de distinguir cambios heterogéneos del uso del suelo y áreas urbanas.

Planificación territorial

Según Gómez (2008), la ordenación territorial es un proceso secuencial, orientado hacia objetivos a largo plazo, el cual se desarrolla en ciclos de tres fases: análisis territorial, planificación territorial y gestión territorial. Las dos primeras fases se engloban bajo el término planificación materializándose en un plan, el cual, es la herramienta sobre la cual se coordina la acción de los diferentes actores y sectores que son parte del sistema territorial. Gómez (2008) nos indica que el plan pasa por una serie de cuatro fases (las tres señaladas anteriormente) incluyendo operativamente una fase preparatoria que se complementa con las fases de información y diagnóstico, fase de planificación y fase de gestión.

En la fase de información y diagnóstico se considera la realidad y la evolución de un territorio y además abarca una sub-fase de prospectiva (escenarios). Gómez y Gómez, (2013) detallan que los escenarios son la descripción de una situación futura y relación coherente de sucesos, que considerando la situación actual permite avanzar hacia la futura. La sub-fase de prospectiva propone intervenir en la realidad futura, mediante escenarios divergentes: tendencial y óptimo. El escenario tendencial corresponde a un escenario sin una intervención de la planificación a diferencia del escenario óptimo, donde se refiere a aquello que se desea como región, sin restricciones materiales. Complementario al análisis se diseña un escenario concertado, un escenario intermedio y es la referencia de la imagen objetivo (Universidad Católica de Temuco, 2014).

Los tres escenarios paradigmáticos: escenario tendencial (generalmente indeseable), el escenario óptimo (generalmente inalcanzable) y el escenario concertado o de compromiso, según Gómez y Gómez (2013), se basan respectivamente en 3 predicciones:

1. Escenario tendencial: cuál es el futuro más probable en el caso donde no se interviene sobre el sistema, se considera como una extrapolación temporal de la situación actual o proyección de las tendencias (hacia dónde vamos).
2. Escenario óptimo: cuál es el futuro más deseable, ideal u óptimo, en conjunto, donde no existen restricciones de medios, recursos y voluntades (hacia donde podemos ir).
3. Escenario concertado: cuál es el futuro más viable, dadas las circunstancias que confluyen en el sistema objeto de estudio y el juego de intereses y conflictos que se dan en el sistema, siendo el más próximo que se adopta como modelo o imagen objetivo del sistema territorial (hacia dónde queremos ir).

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

Objetivos Específicos

Identificar las herramientas óptimas para analizar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

Determinar el área de cambio de cobertura y uso del suelo ocasionado por las actividades antropogénicas en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

Realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano, determinando el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al año 2030.

Proponer medidas de ordenamiento territorial a partir del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030.

JUSTIFICACIÓN

Teórica

Como aporte teórico al campo de la Ingeniería Ambiental, se contribuirá con información clave para el inventario de cobertura de suelo a nivel nacional y Latinoamérica, utilizando la metodología CLC adaptada para el Perú (Arnillas et al., 2012). Esta metodología ya viene siendo utilizada en Colombia desde el año 2004 (Corredor et al., 2011) como procedimiento de identificación del cambio de uso de suelo y el sellado del mismo. El sellado del suelo, es inducido por los procesos de urbanización y se ha convertido en un factor significativo que amenaza al suelo, el ambiente y la seguridad alimentaria (Li et al., 2018).

En ese sentido, de acuerdo con los resultados se realizará el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano en el distrito de Lurigancho al 2030. Esta será una herramienta adicional para la toma de decisiones y generación de políticas públicas, por parte de las autoridades competentes, con miras a lograr un ordenamiento territorial exitoso. Así también, se podrá conocer con mayor detalle, el comportamiento de las variables del estudio, las mismas que serán útiles para futuros estudios.

Práctica

Este estudio es importante porque a partir de los resultados que se obtengan, se podrá contar con una metodología eficiente y replicable en otros distritos, determinando una línea base en

la variación de cobertura y uso de suelo del distrito de Lurigancho durante los años 1986 al 2018. Con los resultados, se podrá elaborar o modificar herramientas de gestión para administrar el crecimiento urbano descontrolado y sin un ordenamiento territorial (MINAM, 2015). Adicionalmente, según la magnitud de los resultados, se podrá gestionar programas de concientización y sensibilización de la agricultura urbana; proponer nuevas políticas públicas para planificar adecuadamente el ordenamiento territorial distrital y, alinear los resultados según los lineamientos de los ODS que, al aplicarse, contribuirían a la solución de la problemática.

Social

Muy pocos estudios se han realizado en la provincia de Lima a nivel distrital para documentar las variaciones de cobertura y uso de suelo entre los años 1986 al 2018. La literatura disponible se concentra en estudios a nivel de cuenca (Orihuela, 2019) o estudios relacionados con cobertura boscosa y superficies agrícolas (Gamarra, 2017; Herrera, 2019; Witting, 2019). Por ello, es importante efectuar una investigación a nivel urbano para conocer la problemática del uso del suelo del distrito y realizar un trabajo prospectivo, considerando escenarios de crecimiento urbano tendenciales o negativos, escenarios concertados y escenarios optimistas. Asimismo, con los resultados de la investigación, se beneficiarían directamente las entidades del gobierno local y la población, principalmente agricultores urbanos, en el distrito.

HIPÓTESIS

Hipótesis general

Ho: No se evidencia un cambio de cobertura y uso del suelo significativo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

H1: Sí se evidencia un cambio de cobertura y uso del suelo significativo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

Hipótesis específicas

Ho: Al identificar las herramientas óptimas no se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

H1: Al identificar las herramientas óptimas se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

Ho: Las actividades antropogénicas no ocasionaron un área de cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

H1: Las actividades antropogénicas sí ocasionaron un área de cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

Ho: Al realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano no se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al año 2030.

H1: Al realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al año 2030.

Ho: Al identificar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030 no se pueden proponer medidas de ordenamiento territorial.

H1: Al identificar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030 se pueden proponer medidas de ordenamiento territorial.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología, Justificación y Marco Teórico
<p>Problema general: ¿Cómo se ha desarrollado la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?</p>	<p>General: Analizar la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.</p>	<p>General: Ho: No se evidencia un cambio de cobertura y uso del suelo significativo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018. H1: Sí se evidencia un cambio de cobertura y uso del suelo significativo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.</p>	<p>General: Variable independiente: Expansión urbana Variable dependiente: Cambio de cobertura y uso de suelo.</p>	<p>Método de investigación: Descriptivo.</p> <p>Tipo de Investigación: No experimental longitudinal y transeccional de enfoque cuantitativo</p>
<p>Problemas específicos: 1. ¿Qué herramientas serán las óptimas para analizar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?</p>	<p>Específicos: 1. Identificar las herramientas óptimas para analizar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.</p>	<p>Específicas: Ho: Al identificar las herramientas óptimas no se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018. H1: Al identificar las herramientas óptimas se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.</p>	<p>General: Variable independiente: Expansión urbana Variable dependiente: Herramientas y software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).</p>	<p>Método de análisis:</p> <p>Justificación</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Teórico 2. Practico 3. Social
<p>2. ¿Cuál es el área de cambio de cobertura y uso del suelo ocasionado por las actividades antropogénicas en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?</p>	<p>2. Determinar el área de cambio de cobertura y uso del suelo ocasionado por las actividades antropogénicas en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.</p>	<p>Ho: Las actividades antropogénicas no ocasionaron un área de cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018. H1: Las actividades antropogénicas sí ocasionaron un área de cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.</p>	<p>General: Variable independiente: Expansión urbana Variable dependiente: Actividades antropogénicas (tejido urbano)</p>	<p>Marco teórico:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cobertura del suelo 2. Uso del suelo 3. Cambio de la cobertura y uso del suelo 4. Sistemas de Información Geográfica 5. Imágenes de satélite 6. Teledetección 7. Programa Landsat

<p>3. ¿ Cuáles serían los escenarios de crecimiento urbano futuro al 2030 a partir del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018?</p>	<p>3. Realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano, determinando el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al año 2030.</p>	<p>Específicas: Ho: Al realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano no se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al año 2030. H1: Al realizar el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano se determina el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al año 2030.</p>	<p>General: Variable independiente: Expansión urbana Variable dependiente: Pronóstico de escenarios</p>	<p>8. Combinación de bandas 9. Preprocesamiento de las imágenes 10. Procesamiento de imágenes 11. Verificación estadística 12. CORINE Land Cover 13. Generación de posibles escenarios 14. Planificación territorial</p>
<p>4. ¿ Qué medidas de ordenamiento territorial ambiental se pueden establecer a partir del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030?</p>	<p>4. Proponer medidas de ordenamiento territorial a partir del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030.</p>	<p>Específicas: Ho: Al identificar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030 no se pueden proponer medidas de ordenamiento territorial. H1: Al identificar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al 2030 se pueden proponer medidas de ordenamiento territorial.</p>	<p>General: Variable independiente: Expansión urbana Variable dependiente: Medidas de ordenamiento territorial</p>	

Nota: Elaboración propia

ALCANCES

El alcance de la presente investigación descriptiva considera el análisis de imágenes satelitales Landsat multitemporal del distrito de Lurigancho, durante el periodo comprendido entre los años 1986 al 2018, mediante la metodología CLC adaptada para el Perú, el cual no se ha abordado antes en este espacio distrital; la identificación de los cambios de cobertura y uso de suelo alterados por áreas urbanizadas, áreas industriales e infraestructura, y cultivos transitorios y cultivos permanentes, poco estudiados. Así mismo, se tomará en cuenta la elaboración del pronóstico de los escenarios de crecimiento urbano tendencial, optimista y concertado, con recopilación de información característica del distrito.

LIMITACIONES

Las principales limitaciones del estudio corresponden a los fondos disponibles, de acuerdo con el presupuesto elaborado, para el análisis del problema principal de la investigación. Además, según la metodología CLC, el estudio se limita a la disponibilidad multitemporal de las imágenes satelitales de libre acceso que están sujetas a características de porcentajes de nubosidad, resolución temporal, inclinación satelital y resolución espacial según tipo de satélite y al área mínima de análisis de 25 hectáreas. Asimismo, dado el alto costo de adquisición de imágenes satelitales tipo radar de alta resolución multiespectral, estas no pueden ser consideradas como parte de la investigación.

MARCO METODOLÓGICO

Metodología

El presente trabajo de investigación se realizó aplicando el método científico, el cual consta de cuatro etapas: planteamiento del problema, formulación de hipótesis, comprobación de hipótesis y conclusiones; las cuales se desarrollan durante el proceso de investigación científica.

Paradigma

Dobles et al. (1998) sostienen que el paradigma positivista se caracteriza por afirmar que el único conocimiento verdadero es aquel que es producido por la ciencia, particularmente con el empleo de su método. Además Ricoy (2006), menciona que el paradigma positivista se califica como cuantitativo, empírico-analítico, racionalista y científico tecnológico y sustenta la investigación que tenga como objetivo comprobar una hipótesis por medios estadísticos (Citado en Ramos, 2015)

Enfoque

Esta investigación cuenta con un enfoque cuantitativo caracterizado en un conjunto de procesos de forma secuencial y probatorio, donde se plantea un problema de estudio delimitado y concreto, con preguntas de investigación sobre cuestiones específicas (Hernández et al., 2010). Hernández y Mendoza (2018), establecen que, en el enfoque cuantitativo los datos se encuentran en cantidades y por ello su recolección se fundamenta en la medición de las variables contenidas en las hipótesis, para un próximo análisis con métodos estadísticos.

En conclusión, el enfoque cuantitativo busca la mayor objetividad posible en la ruta de procesos secuenciales y los fenómenos que se observan no deben ser influenciados por el investigador, quien debe evitar que sus deseos, tendencias o creencias alteren los resultados (Weil, 2017 citado en Hernández y Mendoza, 2018).

Método

Diseño de Investigación

El diseño de investigación tiene como propósito responder las preguntas del estudio, cumplir los objetivos de la presente investigación y someter las hipótesis a prueba (Hernández et al., 2010). El tipo de investigación es no experimental ya que se realiza sin manipular las variables de estudio y se suele observar los fenómenos tal y como se manifiestan en su contexto natural para luego analizarlos (Gómez, 2006), además es empírica y sistemática ya que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido (Hernández et al., 2010).

Para analizar la variación de cobertura y uso de suelo en el distrito de Lurigancho en el periodo comprendido entre los años 1986 y 2018, se necesita un diseño no experimental longitudinal caracterizado por recolectar datos sobre sucesos, contextos, variables en diferentes momentos en el tiempo, para hacer inferencias respecto al cambio (Hernández y Mendoza, 2018). Por otro lado, el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano para el distrito, necesita un diseño no experimental transeccional donde se recolectan datos en un solo momento (Hernández y Mendoza, 2018) con una sola observación para determinar la interrelación de las variables (Hurtado y Toro, 2007). Adicionalmente, el diseño longitudinal será de carácter de tendencia que analiza cambios a través del tiempo dentro de una población en general (Hernández et al., 2010) y el diseño transeccional será de carácter descriptivo, donde se indaga la incidencia de una o más variables en una población y así proporcionar su descripción (Gómez, 2006).

VARIABLES

Independiente

La variable independiente será la expansión urbana medida en función a hectáreas que se expresarán en porcentaje (%), debido a que se requiere analizar los tipos de dimensiones que existen según la metodología CLC adaptada para el Perú.

Dependiente

La variable dependiente será el cambio de cobertura y uso del suelo, porque según el tipo de expansión urbana ya sean áreas urbanizadas, áreas industriales e infraestructura y los cultivos transitorios y permanentes, estos determinan el porcentaje de cambio de uso de suelo a través de un periodo de tiempo.

A continuación, se detalla el proceso de operacionalización de las variables para un mayor entendimiento (Tabla 7).

Tabla 7

Proceso de la Operacionalización de la Variable. Objetivo general: Analizar la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018.

Tipo de Variable	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	Expansión urbana (urban sprawl)	Comúnmente descrito como la expansión física de las áreas urbanas (European Environment Agency, 2006)	Metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada para el Perú (Arnillas et al., 2012)	Tipos de expansión urbana	Tejido urbano continuo (ha - %)
					Áreas industriales o comerciales (ha - %)
					Cultivos transitorios (ha - %)
Variable dependiente	Cambio de cobertura y uso de suelo (Land Use Change)	Es la conexión directa entre la cobertura del suelo y las acciones que las personas realizan en su ambiente y es caracterizado por arreglos, actividades e insumos que las personas emprenden en un cierto tipo de cobertura de suelo para producirla, cambiarla o mantenerla (FAO y ITPS, 2015; FAO y UNEP, 1998)	Plan Regional de Ordenamiento Territorial (Análisis prospectivo distrital mediante el pronóstico de escenarios)	Pronóstico de escenarios de crecimiento urbano mediante el cambio de cobertura y uso de suelo	Escenario tendencial
					Escenario concertado
					Escenario optimista

Nota: Elaboración propia

POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

En esta investigación se tomará como la población de estudio a la cantidad total imágenes satelitales del servidor GloVis de USGS que abarquen área total del distrito de Lurigancho durante el periodo de 1986 al 2018 para el análisis del cambio de cobertura y uso del suelo. Por otro lado, para el pronóstico de escenarios se considera la información estadística del censo del 2017 del INEI.

Muestra

La muestra tomada de la población corresponde a 4 imágenes satelitales Landsat (Landsat 5 (Mayo 1986), Landsat 5 (Junio 1998), Landsat 8 (Abril 2013) y Landsat 8 (Mayo 2018)), con mayor resolución espectral, menor porcentaje de nubosidad (0-10%) y estacionalidad similar, para el análisis del cambio de cobertura y uso del suelo.

UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis o muestreo hace referencia sobre “qué” o “quiénes” se obtendrán los datos pudiendo ser personas u otros seres vivos, colectividades de estudio, objetos, sucesos, entre otros, donde dependen del planteamiento del problema, hipótesis formuladas, alcances de la investigación y el diseño de la investigación (Hernández y Mendoza, 2018). Para la presente investigación se considera la muestra de imágenes satelitales obtenidas durante el período de 1986 al 2018 que serán analizadas mediante la metodología CLC adaptada para el Perú para luego determinar el pronóstico de escenarios.

INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS

Instrumentos

Grinnell, Williams y Unrau (2009), citado en Hernández, Fernández, & Baptista (2010), declara que un instrumento de medición apropiado es aquel que registra datos observables que representan realmente los conceptos o las variables que el investigador ha definido. Se utilizará información obtenida de la evaluación cualitativa de la percepción de los pobladores de Lurigancho del Plan de desarrollo local concertado del distrito de Lurigancho 2019-2030.

Técnicas

Análisis del cambio de cobertura y uso del suelo mediante la Metodología CORINE Land Cover adaptado para el Perú, que utiliza las técnicas de: preprocesamiento de las imágenes satelitales, procesamiento de imágenes (segmentación, áreas de referencia, generación de información complementaria, fase de entrenamiento y asignación) de manera supervisada.

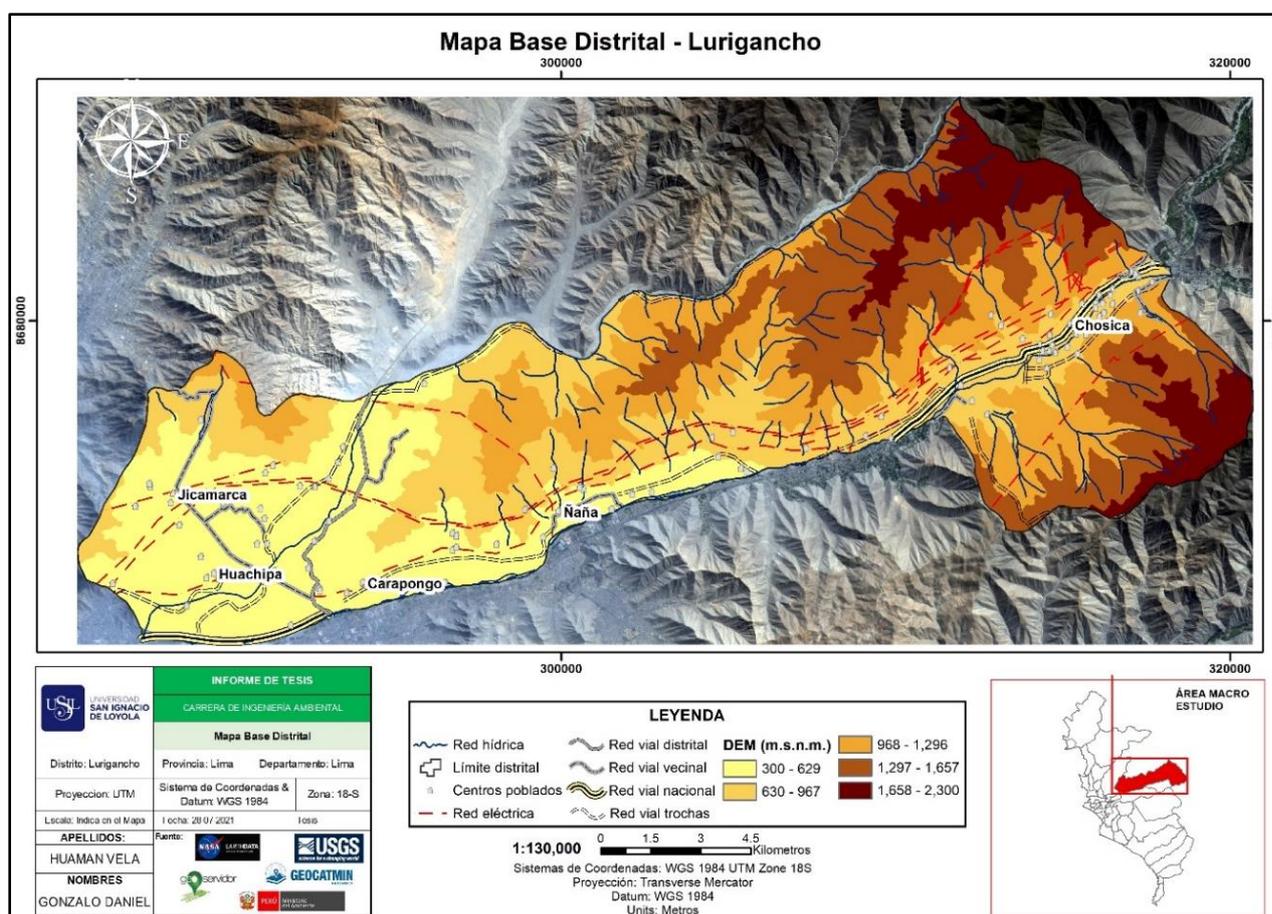
PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE ANÁLISIS

Zona de estudio

El distrito de Lurigancho abarca una superficie de 245.08 km² (24'508.45 ha) ubicado a unos 35 km de la capital de Lima en dirección este. Se encuentra ubicado a orillas del Río Rímac a entre los 300 m.s.n.m. a 2300 m.s.n.m. de altitud (figura 5). La ciudad de Chosica es la ciudad capital con coordenadas de latitud 11° 56'00" y longitud oeste es de 76°42'04" (ANA, 2010). El distrito de Lurigancho cuenta con una población urbana de 240 814 habitantes al 2017 con una tasa de crecimiento del 3.6% en comparación del año 2007 (INEI, 2018).

Figura 5

Mapa base distrital de Lurigancho



Nota: Elaboración propia

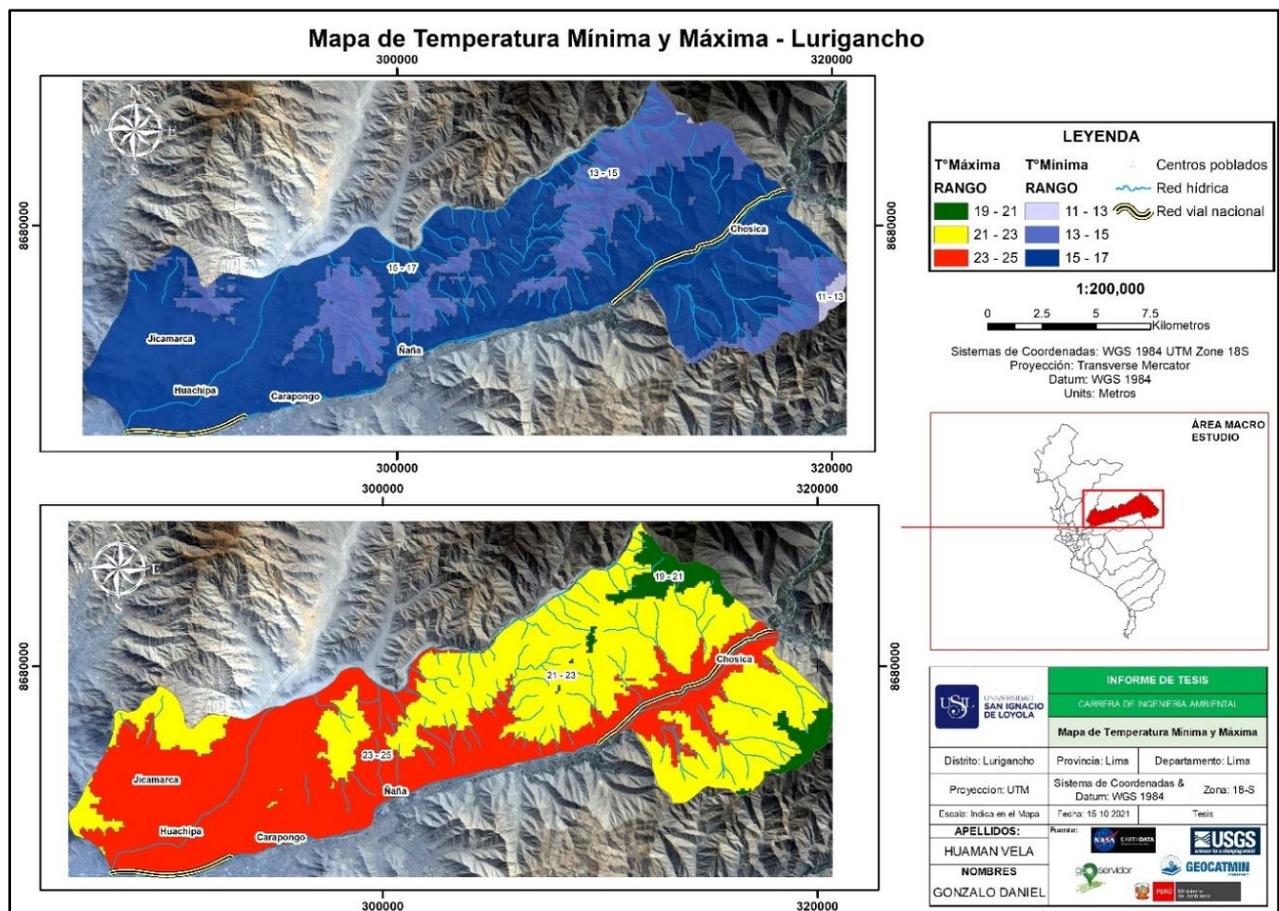
Clima

En el distrito de Lurigancho predominantemente se considera por tener un clima de tipo E(d)B' el cual cuenta con niveles deficientes de humedad y templado en todas las estaciones del año. La temperatura máxima anual oscila entre los 19°C a 25°C en promedio durante el verano y en invierno la temperatura mínima oscila entre los 11°C a 17°C (figura 6) (SENAMHI, 2021).

La precipitación alcanza unos 8 mm en forma de lloviznas anualmente con un máximo de 1 a 2 mm entre julio y septiembre, sin embargo, la influencia de “El Fenómeno del Niño” altera los valores de precipitación y descarga del río, activando las quebradas secas del distrito (Municipalidad de Lurigancho, 2018).

Figura 6

Mapa de temperatura mínima y máxima de Lurigancho



Nota: Elaboración propia

Hidrografía

La hidrografía del distrito de Lurigancho está relacionada a la cuenca hidrográfica del mismo nombre. La cual está localizada entre 76°11'05" y 77°04'36" de longitud Oeste y entre 11°36'52" y 12°05'47" de latitud Sur. Se cuenta con las subcuencas: baja río Rímac, quebrada Jicamarca, Jicamarca-Santa Eulalia, río Santa Eulalia, Santa Eulalia-Parac y quebrada Parac. Las subcuencas de los ríos Santa Eulalia y San Mateo que se unen a la altura de la ciudad de Chosica. Además, la cuenca es una de las más explotadas donde se han construido centrales hidroeléctricas como Matucana, Moyopampa, Huampani y entre otros (ANA, 2010).

Las descargas del río Rímac ubicado dentro del distrito, son irregulares y tormentosas con probabilidad de 76% de que se presente valores mínimos de 5.00 m³/s y la topografía del área es variada encañonados en los márgenes de los ríos Santa Eulalia y Rímac entre los 1000 m.s.n.m. a 3000 m.s.n.m. Asimismo, el río Rímac cuenta con una pendiente de 1.7% (ANA, 2010).

Materiales, equipos y herramientas

Para la recopilación y procesamiento de la información se utilizaron los siguientes materiales, equipos y herramientas descritos en las tablas 8, 9 y 10.

Materiales

Tabla 8

Descripción de materiales utilizados para la clasificación de la cobertura de la tierra del distrito de Lurigancho.

Proyecto: ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO DEL DISTRITO DE LURIGANCHO – LIMA - PERÚ		
Nombre del intérprete:	Gonzalo Daniel Huaman Vela	
Fecha del procesamiento (inicio - fin):	1/04/2021 20/06/2021	
Materiales	Nombre	Descripción
Imágenes trabajadas (sensor - escena - fecha):	L5TM007_68_1986-05-05	Resolución media 30 m para el año 1986
	L5TM007_68_1998-05-05	Resolución media 30 m para el año 1998
	L8CTP007_68_2013-04-29	Resolución media 15 m para el año 2013
	L8CTP007_68_2018-05-29	Resolución media 15 m para el año 2018
Modelo Digital de elevación	DEM	30 metros
Imágenes SPOT del servidor de Google Earth Pro	Periodo de verificación 1986-2018	
Scripts de R Studio	"recogiendoInfoRaster", "filtrar.tabla.todo.rf.2" y "generalizar"	Elaborados por Carlos Alberto Amillas en el año 2012

Nota: Elaboración propia

Equipos

Tabla 9

Relación de los equipos que fueron utilizados para realizar la clasificación de cobertura de la tierra de la tierra del distrito de Lurigancho.

Proyecto: ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO DEL DISTRITO DE LURIGANCHO – LIMA - PERÚ		
Equipo de computo empleado	Nombre	Descripción
Modelo de procesador:	Intel Core i5-10400	Computadora de escritorio de última generación Características óptimas para la ejecución del proyecto de investigación
Memoria RAM:	16 GB	
Velocidad de procesamiento	2.90 Ghz	
Número de núcleos	6	
Sistema operativo	Windows 10 Pro 64 bits	
Equipo	Nombre	Descripción
GPS	Garmin	GPS de campo
Smartphone	Xiaomi Mi 11 Lite	Smartphone de gama media alta

Nota: Elaboración propia

Herramientas

Tabla 10

Relación de herramientas computacionales utilizadas en el proceso de clasificación de cobertura de la tierra del distrito de Lurigancho.

Proyecto: ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO DEL DISTRITO DE LURIGANCHO – LIMA - PERÚ		
Herramientas	Descripción	
Software/algoritmo empleado	ArcGIS 10.8 Envi 5.3 R Studio 1.4.1106 yEd Graph Editor	Softwares utilizados en el procesamiento de la metodología CORINE Land Cover adaptada para el Perú
Parámetro de algoritmo empleado	Random Forest: 25	Algoritmo de clasificación no lineal y una herramienta efectiva en la predicción
Información complementaria empleada	Google Earth PRO	Software para validación de las imágenes satelitales clasificadas

Nota: Elaboración propia

Procedimiento

Análisis basado en la interpretación de las coberturas del suelo a través de imágenes de satélite Landsat 5 y 8 con resolución espacial de 30m y 15m respectivamente, las que fueron verificadas en campo mediante una selección aleatoria al azar. El procedimiento utilizado fue CLC adaptado para el Perú desarrollado por el MINAM y fue aplicado al distrito de Lurigancho. Esta metodología establece un inventario de niveles de clasificación, donde se rescataron las siguientes categorías descritas en la tabla 11.

Tabla 11

Niveles de clasificación CLC seleccionados para el distrito de Lurigancho

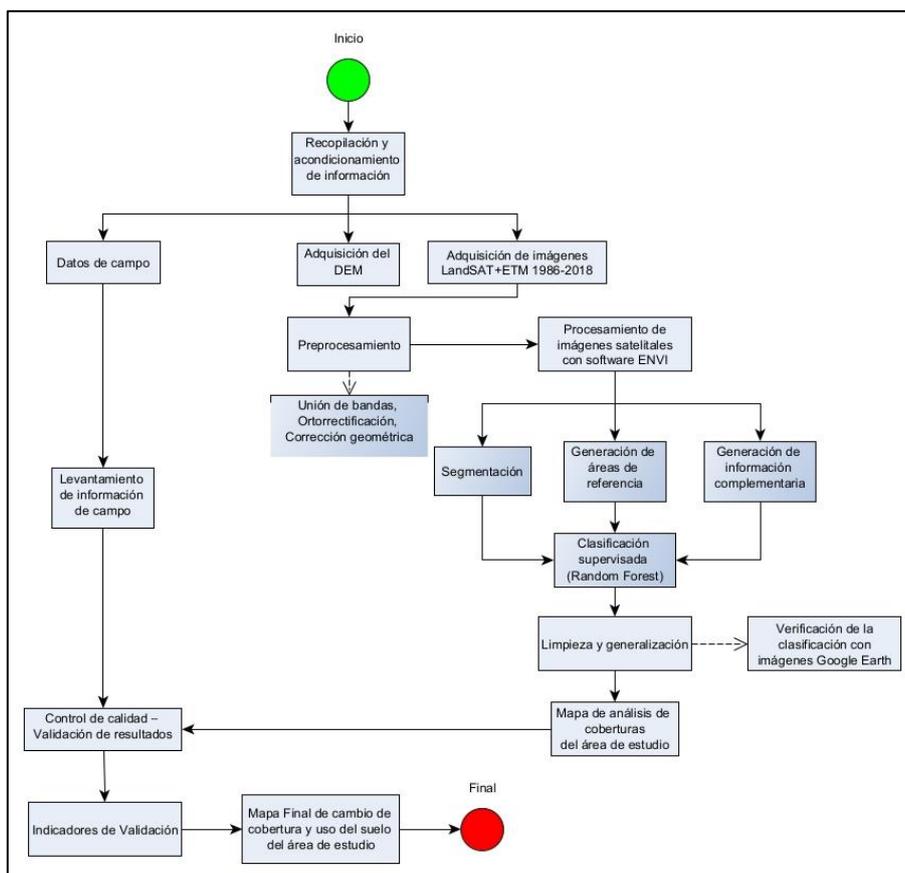
Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas Industriales o comerciales
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
1.4. Áreas verdes artificiales no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas	1.4.2 Instalaciones recreativas
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal
	3.4. Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.3. Tierras desnudas
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos

Nota: Elaboración propia

El esquema metodológico de CLC adaptado para Perú, contempla las etapas descritas en la figura 7 y se obtiene una capa temática escala 1:100.000 como resultado final (IDEAM et al., 2008). Además, se considera al sistema de georreferencia WGS84 y sistema cartográfico UTM Zona 18S.

Figura 7

Flujograma del procedimiento CLC adaptado para el Perú



Nota: Elaboración propia

Con la información generada, se obtienen coberturas o shapefiles, las cuales contienen los atributos y códigos definidos en la nomenclatura CLC; las coberturas se ensamblan en una base de datos geográfica (geodatabase), la cual permite estandarizar y articular los objetos bajo un esquema único, garantizando la portabilidad, interoperabilidad y la generación de reportes de información.

Para todo producto final de clasificación del territorio se presenta un margen de error en función de la calidad de los datos y la rigurosidad del método empleado. Debido a esto se aplica un procedimiento de verificación estadística con factores de fiabilidad o fuentes de error distinguidos en: (i) relacionados con el terreno que se analiza, (ii) con el nivel de precisión requerido en la leyenda, (iii) con la adquisición de la imagen y (iv) con factores medio-ambientales externos (Chuvieco, 2010). Como una medida de fiabilidad y análisis estadístico en una clasificación por metodología CLC a partir de la realización del muestreo, se construye

una matriz de confusión donde se resumen acuerdos y desacuerdos entre clases del mapa y del terreno (Chuvieco, 1995).

La matriz de confusión es una herramienta que permite identificar la exactitud de la clasificación CLC, contrastando los resultados con información de referencia. Está compuesta por filas y columnas. Además, se puede procesar un indicador de precisión global del producto cartográfico, que considera la relación entre el número de puntos correctamente asignados (sumatoria de la diagonal) y el total de los lugares de referencia (tabla 12).

Adicionalmente, se puede utilizar el índice de kappa para concluir el proceso de validación. La matriz de confusión considera la exactitud del usuario como el valor de una clasificación correcta y la exactitud del productor es el valor de una información real verídica. El error de comisión abarca los elementos que no perteneciendo a una clase aparecen en esta, sin embargo, lo de omisión están formados por los elementos que perteneciendo a esa clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra.

Tabla 12

Fórmula de la matriz de confusión

Clasificación	1	2	Total	Exactitud del usuario (%)	Error de comisión (%)
1	a	b	x1=a+b	a/x1	1-(a/x1)
2	c	d	x2=c+d	d/x2	1-(d/x2)
Total	y1=a+c	y2=b+d	w		
Exactitud del productor (%)	a/y1	d/y2			
Error de omisión (%)	1-(a/y1)	1-(d/y2)			

Nota: Elaboración propia

$$W = a + b + c + d$$

$$Po = \frac{(a + d)}{W} \quad Pe = \frac{(x_1 * y_1) + (x_2 * y_2)}{W^2}$$

$$K = (Po - Pe)/(1 - Pe)$$

Donde: “W” es el total de clases o total de puntos de muestreo, “Po” es la exactitud global o porcentaje correctamente clasificado, “Pe” es el cálculo generado desde la matriz de confusión y “K” es el índice de Kappa. Las denominaciones “a” y “d” hacen referencia a los puntos de verificación en donde se produce el acuerdo mientras “c” y “d” como marginales, suponen errores de asignación (Chuvieco, 1995)

Recopilación y acondicionamiento de información

Para obtener la información de coberturas de la Tierra se emplearon imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI/TIRS. Las imágenes se obtuvieron gratuitamente en formato TIFF del servidor USGS GloVIS correspondientes al área del distrito de Lurigancho.

Adquisición de imágenes Landsat.

Luego de descargar las imágenes satelitales se procede a ortorectificarlas, proceso que consiste en la transformación de la imagen en una proyección ortogonal para eliminar la inclinación de los elementos por efecto del relieve. En este proceso se utiliza el modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, por sus siglas en inglés) de 30 metros obteniendo así las ortoimágenes.

En la selección de imágenes satelitales se consideraron los siguientes aspectos:

- Imágenes Landsat con bandas RGB, banda infrarroja cercana y con resolución espacial de 15 a 30 metros.
- Un porcentaje de nubosidad menor al 10% durante los meses de verano.

Adquisición del DEM.

Modelo digital de elevación (DEM) con resolución de 10 metros de tipo ASTER GDEM obtenido gratuitamente del servidor Nasa - Earth Data Search.

Preprocesamiento de imágenes satelitales

Unión de bandas.

La unión de bandas se desarrolló mediante el programa Envi 5.3, mediante un proceso de mejoramiento utilizando el algoritmo “Pansharpening”, para lo cual se necesitó una imagen Landsat pancromática (banda 8) de 15 metros de resolución y una imagen multiespectral (bandas 1 a 7 y 9) de 30 metros de resolución. Previamente se realizó el ordenamiento de las bandas mediante la herramienta “Layer stacking” en Envi.

Corrección radiométrica.

Se requiere aplicar esta corrección por que el sensor satelital al momento de registrar datos detecta energía reflejada en la superficie terrestre y de la atmósfera almacenado de forma digital (ND). Se debe modificar los ND debido al mal funcionamiento del sensor

(ángulo de barrido o campo de visión global), calibraciones del sensor y junto a la obtención de magnitudes físicas provocando la aparición de algunos píxeles perdidos.

Corrección atmosférica.

Para trabajar el área del distrito de Lurigancho se consideró que la contribución de la atmósfera a los valores de los píxeles será la mínima. Con la corrección atmosférica se reducen los efectos producidos por los aerosoles, niveles de ozono, vapor de agua, nubes y la neblina siempre y cuando se conozca el perfil del sensor del satélite y las propiedades atmosféricas (Vermote & Saleous, 2007). Adicionalmente, se hace énfasis en las correcciones y sombreado topográfico, ya que, no se debe suponer que tenemos un terreno llano debido a que los efectos derivados del gradiente y dirección de la pendiente son muy notorios, especialmente en las zonas en sombra (Chuvienco, 2002).

Procesamiento – Segmentación

El procedimiento de procesamiento dado a su complejidad se divide en los 4 sub-protocolos de: segmentación, áreas de referencia, generación de información complementaria y clasificación.

Generación de áreas de referencia.

Las áreas de referencia son polígonos que constituyen una muestra representativa de cada una de las clases de la escena. Es clave iniciar con el reconocimiento de las clases existentes en la imagen satelital a trabajar y estas fueron identificadas gracias a los datos digitales y registros fotográficos obtenidos en la verificación de campo. Se construyeron como mínimo 10 polígonos por clase y/o subclase. En el caso que los polígonos no estén bien identificados pueden generar confusión en la clasificación obtenida.

Luego se procedió con la selección de los polígonos donde se interceptan las áreas de entrenamiento con la segmentación final mediante un “model builder” de arctoolbox con Spatial Join. Se generó el shapefile “SegSelec_A1.shp” uniendo las áreas de entrenamiento “ae_ita1” con el shapefile de la segmentación “segmento”, con el objetivo de asignar los segmentos de la clase del área de entrenamiento que se intercepta con cada uno de ellos.

Segmentación.

Es un procedimiento de agrupación de datos, donde las regiones espacialmente adyacentes y con características espectrales semejantes pueden ser agrupadas.

El procedimiento se realizó en el programa Envi 5.3, cuyo módulo empleado es el “Segment Only Feature Extraction” donde la segmentación fue evaluada según los parámetros mínimos establecidos del protocolo CLC: “scale” de 20 a 60 y “merge” de 50 a 80. Para las 4 imágenes satelitales se usaron los valores de scale 20, merge 50 y una ventana de clasificador por textura kernel 7x7 píxeles; los cuales cumplían el control de calidad de puntos correctamente segmentados. Además, se consideró información complementaria al modelo digital de elevación (DEM) y el Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) para enriquecer el procedimiento.

Los segmentos generados (shapefile de la segmentación “seg”) por medio de este procedimiento son catalogados como objetos de imágenes o pseudo-polígonos y se pueden visualizar en las figuras 14, 15, 16 y 17 según los años de estudio.

Generación de información complementaria.

Consiste de incluir en el desarrollo de la metodología capas e índices derivados que fortalezcan el proceso de clasificación. Algunos de los índices derivados en Envi 5.3 disponibles son: NDVI, brightness (bri), greenness (gree), wetness (wet). Además, las variables (información topográfica) derivadas del raster DEM como: tasseled cap (comportamiento espectral de la vegetación y el suelo), SRTM, pendiente, curvatura (máxima y mínima). Estos índices se convirtieron al formato GRID mediante la herramienta “Raster to other format” en ArcGis ya que todos deben ser generados con la misma extensión. Los parámetros como: bri, maximum curvature (curvmax), minimum curvature (curvmin), gree, NDVI, slope % (pend) y SRTM se obtuvieron del software Envi 5.3. La información generada se cargó a la carpeta “inf_comp”.

Además, en ArcGis 10.4 se obtuvo la información para la clasificación considerando el shapefile de la segmentación (segmento) para convertirlo en formato raster (seg) mediante la herramienta “Polygon to raster” priorizando el campo “Region_ID” de la tabla de atributos. La información generada se cargó a la carpeta “inf_comp”.

Luego se elaboró una base de datos en formato “.dbf” denominado “todo_seg.dbf” mediante un script desarrollado para el software R Studio 4.1. catalogado como “recogiendoInfoRaster”. Para procesar la información se instalaron las librerías: foreign, grid, irr, lpSolve, randomForest, raster, rgdal, rpart y sp.

Luego se crea la carpeta iteracion y se recopila los archivos: seg, seg.aux, seg.ovr, SegSelec_A1 y todo_seg.dbf.

Clasificación supervisada.

Para la clasificación de coberturas según la metodología CORINE Land Cover adaptada al Perú, se empleó el algoritmo de clasificación supervisada Random Forest mediante un script desarrollado para el software R Studio 4.1. denominado “Filtrar.tabla.todo.rf.2.R”. Se instalaron las librerías descritas anteriormente (proceso de generación de información complementaria) para ejecutar satisfactoriamente el proceso.

En la carpeta iteración se almacenaron los insumos requeridos: áreas de entrenamiento, segmentación, la base de datos (todo_seg.dbf), el shapefile SegSelec_A1 y el archivo Todo_seg.R generado en R Studio 4.1.

El script de este proceso de clasificación supervisada generó los archivos: predicted2.tiff (raster de la clasificación), predAEL.dbf (base de datos), conf (matriz de confusión con las métricas cuantitativas de la clasificación). Además, al finalizar el procesado del script se obtuvo los valores del índice de porcentaje correctamente clasificado (IPCC) para cada imagen Landsat clasificada.

Luego se procedió con la generación del ráster con las métricas de valores enteros (herramienta “Raster calculator”), seguidamente se convirtió este ráster en un shapefile mediante la herramienta “Raster to polygon”. Se obtuvieron 4 productos de la clasificación con polígonos por generalizar como se aprecia en las figuras 18, 19, 20 y 21. Además, se realizó una clasificación por colores mediante el campo “gridcode” de la tabla de atributos y así obteniendo las categorías.

Limpieza y Generalización (Post-clasificación - verificación de resultados)

Edición vectorial y generalización.

Luego de verificar el resultado de la clasificación, se procedió con la limpieza y generalización de los polígonos obtenidos en el shapefile por cada año. De acuerdo con

el protocolo CLC adaptado al Perú, se eliminó los polígonos menores a 5 hectáreas fusionándolos al vecino más cercano (polígonos fueron absorbidos por otros polígonos de mayor área) mediante la herramienta “Eliminate” de ArcGIS (Arnillas et al., 2012).

Para eliminar los polígonos descritos empleando ArcGIS, se abre la tabla de atributos del shapefile, para luego crear una columna de Área en hectáreas (Área_ha). Se selecciona los polígonos con la opción Select by attributes: “Area_ha <1 y así sucesivamente con los valores de 2, 3, 4 y 5.

Luego se procede con la eliminación progresiva de los polígonos menores a 5 hectáreas. Se utilizó la herramienta “eliminate” (ArcToolbox – Data management tools – Generalization) (MINAM, 2014).

Según el protocolo CLC adaptado al Perú, se recomienda para algunas imágenes realizar un suavizado automático de polígonos como paso complementario en el procesamiento y mejora visual. Se aplicó la herramienta “Smooth” (Cartography tools – generalization – smooth polygon) en ArcGIS con una tolerancia de 75 m, usando la opción “Flag errors” y mediante el método PAEK (aproximación polinomial con núcleo exponencial) obteniendo el shapefile “smooth” (Arnillas et al., 2012).

Posteriormente se procede al corte del shapefile (smooth) con la herramienta CLIP para realizar la edición vectorial final. Se revisó y categorizó adecuadamente las clases de las coberturas a una escala 1:10 000 con el objetivo de corregir errores mayores en la clasificación y se editaron los polígonos mediante “advanced editing”, donde se selecciona todos los polígonos y se aplica el proceso “explode multipart feature” (MINAM, 2014).

Luego se aplica la función “merge” para unir polígonos incorrectamente clasificados con el vecino más cercano. Esta es una opción que une polígonos y no modifica el área total de la zona de estudio (MINAM, 2014). Por ende, se obtienen 4 productos cartográficos descritos en las figuras 22, 23, 24 y 25.

Generación de escenarios de crecimiento urbano

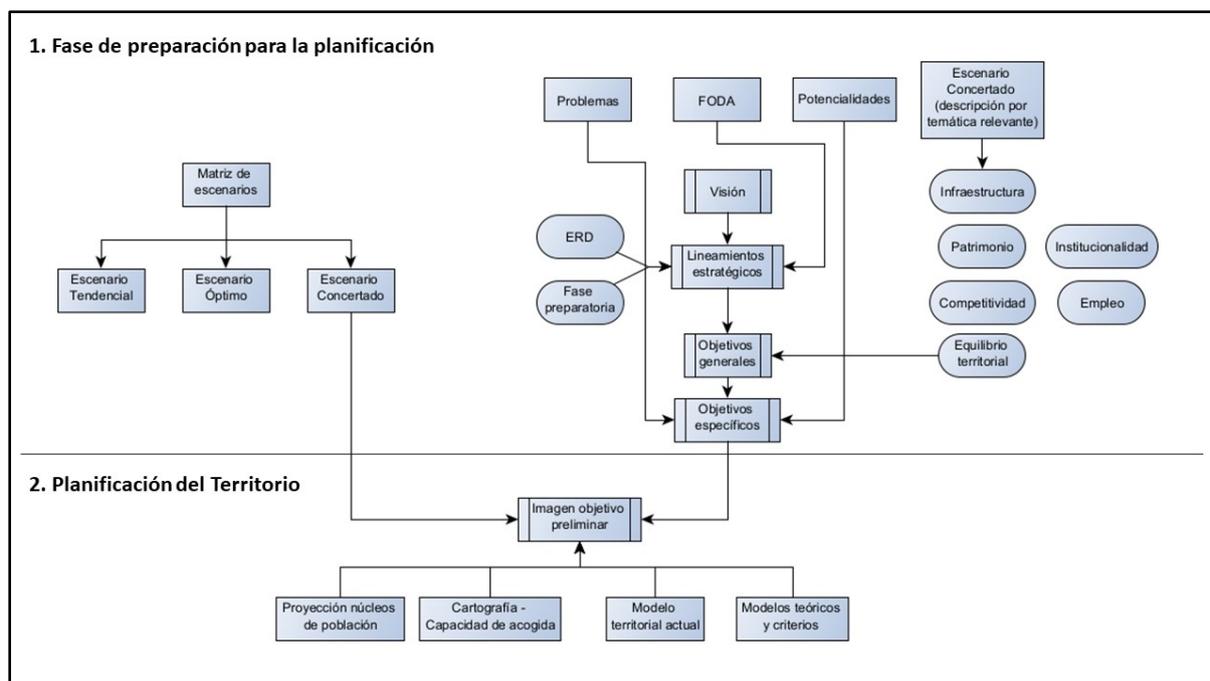
Para la generación de escenarios de crecimiento urbano del distrito de Lurigancho se empleó: una matriz de escenarios, análisis FODA, problemas y potencialidades, escenarios definidos (tendencial, óptimo y concertado). Luego se procedió con el análisis de las fases de diagnóstico

(figura 9, 10, 11 y 12), fase de planificación (tabla 13 y 14) y fase de implementación (tabla 15) (Universidad Católica de Temuco, 2014).

La metodología de esta etapa no es sucesiva; ya que, los diversos productos (escenarios, objetivos e imagen objetivo) se van desarrollando en la misma línea de tiempo. Se recomienda primero trabajar los escenarios y luego desarrollar los objetivos que permitirán obtener la “Imagen Objetivo”. El esquema general se detalla a continuación en la figura 8.

Figura 8

Esquema general de metodología



Nota: Se muestra el proceso que debe aplicarse a la metodología de pronóstico de escenarios por la Universidad Católica de Temuco, 2014.

Fase de diagnóstico.

Descripción general de la zona (localización y características generales del distrito del distrito de Lurigancho).

La capital del distrito de Lurigancho se encuentra ubicada a una altitud de 861 m.s.n.m., con latitud Sur 11°56'00" y longitud oeste 76°42'04" en la Provincia de Lima. Cuenta con vías de acceso como la Carretera Central y la Autopista Ramiro Priale que permite la conexión con el distrito de San Juan de Lurigancho (Municipalidad de Lurigancho, 2018). Además, los indicadores demográficos de Lurigancho indican una población de

240 814 habitantes como población urbana donde el 50.6% son mujeres y el 49.4% son hombres en una superficie de 245.08 km² (INEI, 2018).

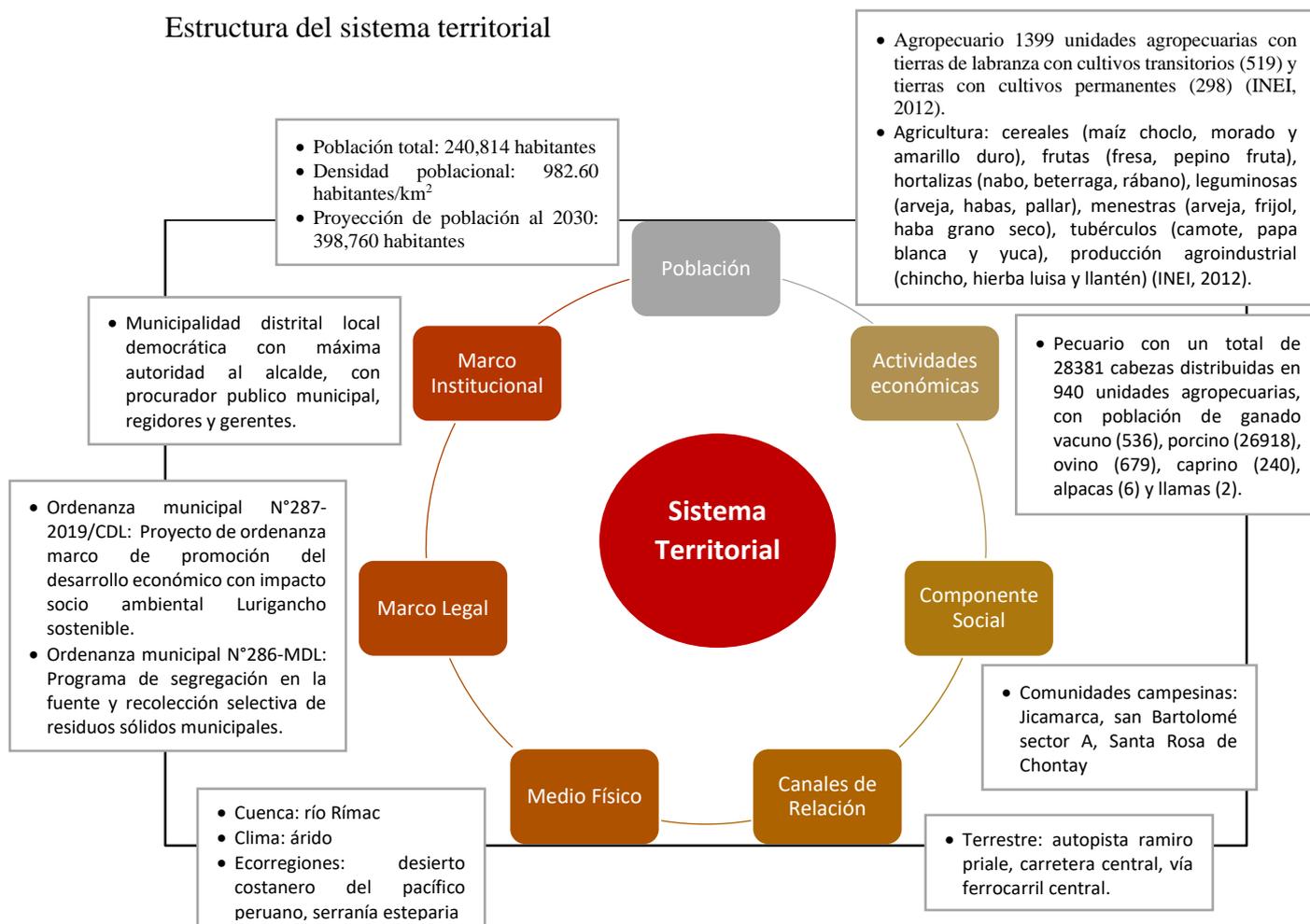
Según los parámetros de climatología, el SENAMHI clasificó al distrito de Lurigancho según las características climáticas donde para altitudes superiores a 800 msnm la precipitación se incrementa a 102 mm/año en promedio, acumulándose la mayor cantidad durante el verano. La temperatura media y la humedad relativa alcanzan valores promedios de 18 °C y 75%, respectivamente (Municipalidad de Lurigancho, 2018).

Estructura y componentes.

La estructura del sistema territorial de Lurigancho presenta siete componentes que se verá a continuación:

Figura 9

Estructura del sistema territorial



Nota: Elaboración propia

Funcionamiento, relaciones e interacciones.

Las interacciones tanto intra como interdistrital se desarrollan por las vías terrestres y ferroviaria. El distrito es habitado a lo largo de las márgenes del Río Rímac y se han establecido tres grandes polos de desarrollo: polo 1 – Chosica ciudad, polo 2 – Chosica – Ñaña- Carapongo y polo 3 – Jicamarca – Huachipa, Cajamarquilla – Nievería; como se aprecia en la figura 10.

Figura 10

Funcionamiento, relaciones e interacciones de Lurigancho



Nota: Elaboración propia

Imagen y percepción.

Se detalla el componente subjetivo del distrito, procedente de la información recabada por el Plan de Desarrollo Local Concertado (PDLC) del Distrito de Lurigancho 2019-2030 (Municipalidad de Lurigancho, 2018) en participación de población como se visualiza en la figura 11.

Figura 11

Imagen y percepción



Nota: Elaboración propia

Evolución temporal.

Para evaluar la evolución temporal se optó por el análisis de cobertura y uso de suelo con imágenes satelitales (Landsat-5 y Landsat-8) descritas en las figuras 22, 23, 24 y 25.

Diagnóstico territorial.

El distrito de Lurigancho tiene un diagnóstico basado en talleres de formulación y participación poblacional previa de las variables estratégicas que establece como imagen objetivo: competitivo y atractivo, sostenible, articulado y ordenado, seguro, concertador y preparado (Municipalidad de Lurigancho, 2018). Se realizó un FODA, el cual permitirá ver claramente las fortalezas que posee, para de alguna u otra manera sus debilidades sean superadas, con lo cual, su problemática será identificada, así el distrito de Lurigancho podrá repotenciar estos aspectos como se observa en la figura 12.

La generación de los escenarios de crecimiento ha tenido como base el Plan de Desarrollo Local Concertado (PDLC) del Distrito de Lurigancho 2019-2030, siendo aprobado el 26 de noviembre del 2018 por el CEPLAN mediante informe técnico N°007-2018-CEPLAN/DNCP.NIS.

El informe técnico cuenta con actas y listas de asistencia (como evidencia que el plan ha sido participativo y concertado) que son parte del proceso de planeamiento estratégico aprobado mediante Resolución de Alcaldía N°514-2017-MDL, siendo descritos en la tabla 13.

Tabla 13

Evidencias del proceso de planeamiento estratégico

N°	Actas	Fecha de ejecución
1	Instalación de la comisión de planeamiento estratégico del PDLC de Lurigancho Chosica.	04/12/2017
2	Coordinación de la comisión de planeamiento estratégico y equipo técnico del PDLC de Lurigancho-Chosica (se presentó, aprobó y se realizó la coordinación de los talleres participativos)	07/12/2017
3	Primer taller para el inicio de la formulación del Plan de Desarrollo Local Concertado 2018-2030, con participación de la población.	13/12/2017
4	Revisión de la formulación del Plan de Desarrollo Local Concertado 2018-2030	18/12/2017
5	Segundo taller de aprobación del proyecto "Formulación del Plan de Desarrollo Local Concertado 2018-2030" de la Municipalidad Distrital de Lurigancho con participación de la población	21/12/2017
6	Validación y presentación del Plan de Desarrollo Local Concertado 2018-2030	10/01/2018
7	Presentación del Plan de Desarrollo Local Concertado 2018-2030 al consejo de coordinación local distrital	28/03/2018
N°	Lista de asistencia a talleres	Fecha de ejecución
1	Formulación del Plan de Desarrollo Local Concertado 2018-2030	13/12/2017
2	Segundo taller de formulación del Plan de Desarrollo Local Concertado 2018-2030	21/12/2017

Nota: Adaptado del “Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lurigancho 2019-2030” por Municipalidad de Lurigancho, 2018, p.8.

Este informe técnico permitió recopilar información para la fase de planificación, mapeo de actores quienes participaron en el proceso de concertación, objetivos y metas para cada subsistema, análisis prospectivo territorial y para la definición de propuestas para la fase de implementación. El mapeo de actores se describe en la tabla 14 y el análisis de subsistemas en la figura 13.

Figura 12

Potencialidades y limitaciones de Lurigancho según el PDLC.



Nota: Elaboración propia

Tabla 14

Mapeo de actores

N°	Actores que influyen	Variable estratégica	Actores sobre los cuales la variable tiene influencia
1	INDECOPI, MINTRA, Banca Privada, Banca de fomento	Grado de competitividad de la producción, turismo, comercio y servicios	MYPES, emprendedores, inversionistas
2	MINAM, MML, ANA, MEM	Niveles de contaminación ambiental	Población en general, MINAM
3	Empresas prestadoras de servicios, Municipalidad, Programas del Gobierno central, MINEDY, MINSA	Grado del acceso de la población vulnerable a los servicios públicos esenciales	Población en situación vulnerable y/o en situación de pobreza y extrema pobreza
4	CODISEC, PNP, Poder Judicial, Ministerio Público, Municipalidad, Juntas Vecinales, UGEL	Niveles de inseguridad ciudadana	Población en general, empresa privada, inversionistas
5	Contribuyentes, Contraloría General de la República, MEF, PCM, Congreso de la República, MML	Nivel de gestión político - administrativo del Gobierno Municipal	Ciudadanía organizada y no organizada
6	MML, INDECI, ANA, Ministerio de Agricultura, SENHAMI	Niveles de vulnerabilidad por riesgos de desastres	Población en situación vulnerable ante riesgos de desastre

Nota: Mapeo de actores adaptado del “Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lurigancho 2019-2030” por Municipalidad de Lurigancho, 2018, p. 55.

Fase de planificación.

Figura 13

Análisis de subsistemas

Subsistema Ambiental	
	<ul style="list-style-type: none"> • Ecosistema: clima árido, ecorregión de desierto costanero y serranía esteparia. • Impactos ambientales: contaminación por vertimiento de aguas residuales y fuentes contaminantes (agropecuarias, domésticas, industriales, mineras, etc.) al río Rímac y quebrada Jicamarca, manejo de residuos sólidos de manera inadecuada, porcentaje de áreas verdes conservadas. • Riesgo de desastres: alto por huaicos y deslizamientos de tierra, se requiere implementación del ordenamiento territorial, fortalecer sistema de prevención e implementar capacidad instalada para la preparación y respuesta frente a emergencias. • Cambio Climático: nula disponibilidad hídrica al 2030, incremento de 1°C de temperatura máxima y mínima. • Actores: población urbana, comunidades campesinas, MINAM, Municipalidad Metropolitana de Lima, ANA, MEM, INDECI,
Subsistema Económico	
	<ul style="list-style-type: none"> • Sector comercio: 10793 empresas en Lurigancho, servicios de alojamiento, esparcimiento, recreación y servicios de comida que representar un 11.03% • Sector agropecuario: se estima que al 2018 quedan unas 3000 ha de suelo agrícola conformado en los subsectores de riesgo de Nievería, Ñaña, Huachipa y Carapongo con un 42% de área cultivable. • Sector turismo: restos arqueológicos en la Zona de Cajamarquilla y los Geoglifos de la quebrada de Yanacoto. • Actores: empresas privadas, MINTRA, INDECOPI, banca privada, EPS, MEF, PCM, Congreso de la república.

Subsistema Social	
	<ul style="list-style-type: none"> • Comunidades campesinas: 3 • Población urbana: 240 814 hab. (INEI,2017) • Población rural: No cuenta con población rural (INEI,2017) • Pobreza: incidencia de pobreza del 30 al 38% en los sectores de Cajamarquilla, Huachipa, Nievería, Carapongo, Jicamarca. • Sector socioeconómico: medio bajo (ingresos entre s/900 y s/1400 mensuales per cápita) y bajo (ingresos menores a s/900.00) • Actores: municipalidad de Lurigancho, EPS, MINEDU, MINSA, PNP, Poder judicial, Ministerio Público, juntas vecinales, UGEL

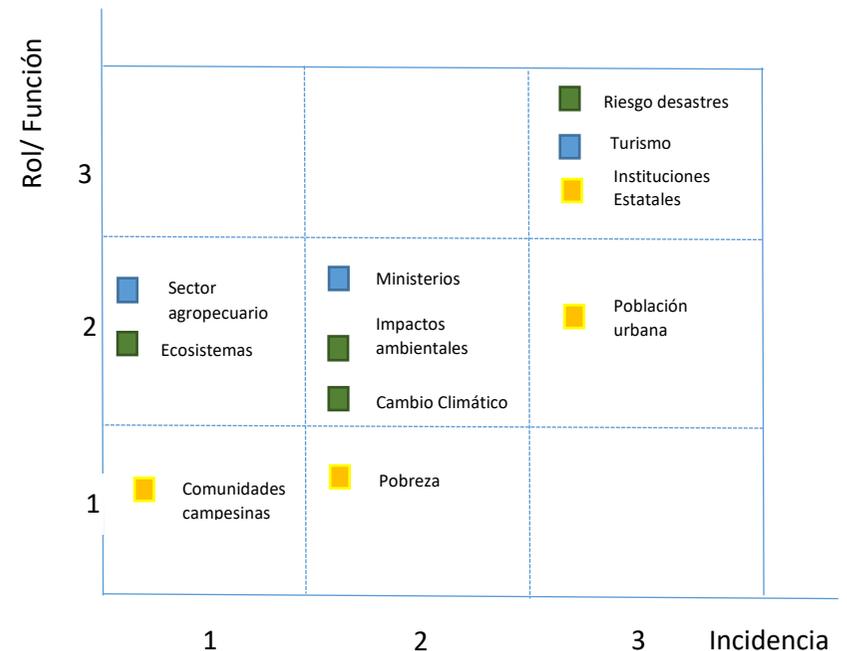


Tabla 15

Objetivos y metas para cada subsistema

OBJETIVOS	SUBSISTEMA ECONÓMICO	SUBSISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA SOCIAL
General	Incrementar la competitividad en el distrito de Lurigancho en conjunto con la gobernanza territorial.	Mejorar la calidad ambiental en el distrito y reducir los niveles de vulnerabilidad en la población.	Mejorar las condiciones de habitabilidad en el distrito y la seguridad ciudadana.
Específicos	<p>Promover la inversión privada en el distrito con una línea base de 10,793 empresas.</p> <p>Plan de acción Al 2024, incrementar el número de empresas afincadas en el distrito a 13,500. Al 2027, incrementar el número de empresas afincadas en el distrito a 15,000. Al 2030, incrementar el número de empresas afincadas en el distrito a 17,000.</p>	<p>Implementar mecanismos de gestión de residuos sólidos en el distrito considerando un manejo del 5% como línea base.</p> <p>Plan de Acción Al 2024, contar con un 50% de residuos sólidos manejados de forma adecuada. Al 2027, contar con un 80% de residuos sólidos manejados de forma adecuada. Al 2030, contar con un 100% de residuos sólidos manejados de forma adecuada.</p>	<p>Implementar el plan local de seguridad ciudadana de manera óptima en el distrito considerando un 10% de implementación como línea base.</p> <p>Plan de Acción Al 2024, alcanzar un 45% de la implementación del plan local de seguridad ciudadana en el distrito. Al 2027, alcanzar un 60% de la implementación del plan local de seguridad ciudadana en el distrito. Al 2030, alcanzar un 80% de la implementación del plan local de seguridad ciudadana en el distrito.</p>
	<p>Promover servicios turísticos de calidad en el distrito considerando un 8% de la población ocupada como línea base.</p> <p>Plan de acción Al 2024, incrementar a un 13% de la población ocupada en la prestación de servicios turísticos. Al 2027, incrementar a un 16% de la población ocupada en la prestación de servicios turísticos. Al 2030, incrementar a un 19% de la población ocupada en la prestación de servicios turísticos.</p>	<p>Fomentar el mantenimiento y conservación de las áreas verdes de uso público en el distrito considerando un 20% en estado óptimo como línea base.</p> <p>Plan de Acción Al 2024, contar con un 50% de áreas verdes en estado óptimo de mantenimiento en el distrito. Al 2027, contar con un 65% de áreas verdes en estado óptimo de mantenimiento en el distrito. Al 2030, contar con un 80% de áreas verdes en estado óptimo de mantenimiento en el distrito.</p>	<p>Implementar el programa de seguridad vecinal de manera focalizada en el distrito considerando un 10% de implementación de comités de seguridad como línea base.</p> <p>Plan de Acción Al 2024, alcanzar un 50% de comités de seguridad ciudadana conformados en el distrito. Al 2027, alcanzar un 65% de comités de seguridad ciudadana conformados en el distrito. Al 2030, alcanzar un 85% de comités de seguridad ciudadana conformados en el distrito.</p>

	<p>Promover la formalización de empresas en el distrito considerando una línea base del 30% de empresas formales</p> <p>Plan de acción Al 2024, incrementar el número de empresas formalizadas en el distrito a un 55%. Al 2027, incrementar el número de empresas formalizadas en el distrito a un 70%. Al 2030, incrementar el número de empresas formalizadas en el distrito a un 85%.</p>	<p>Controlar los vertimientos de aguas residuales al Río Rímac considerando una línea base del 0% de vertimientos líquidos tratados.</p> <p>Plan de Acción Al 2024, alcanzar un 25% de vertimiento líquidos tratados que llegan al cauce del Río Rímac. Al 2027, alcanzar un 40% de vertimiento líquidos tratados que llegan al cauce del Río Rímac. Al 2030, alcanzar un 55% de vertimiento líquidos tratados que llegan al cauce del Río Rímac.</p>	<p>Articular los actores involucrados en la prestación del servicio de seguridad ciudadana en el distrito considerando 180 cosas de violencia familiar reportados como línea base.</p> <p>Plan de Acción Al 2024, reducir a 130 casos de violencia familiar reportados en el distrito. Al 2027, reducir a 100 casos de violencia familiar reportados en el distrito. Al 2030, reducir a 70 casos de violencia familiar reportados en el distrito.</p>
<p>Específicos</p>	<p>Fomentar la participación de la población en los procesos de concertación del distrito considerando un 10% de participación como línea base.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 30% de la población que participa en los procesos de concertación. Al 2027, alcanzar un 60% de la población que participa en los procesos de concertación. Al 2030, alcanzar un 90% de la población que participa en los procesos de concertación.</p>	<p>Implementar el ordenamiento territorial distrital considerando un 0% de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 60% de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados. Al 2027, alcanzar un 80% de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados. Al 2030, alcanzar un 100% de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados.</p>	<p>Mejorar la calidad del agua para consumo humano en el distrito considerando un 58% de hogares con acceso a agua potable como línea base.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 68% de hogares con acceso a agua potable. Al 2027, alcanzar un 74% de hogares con acceso a agua potable. Al 2030, alcanzar un 80% de hogares con acceso a agua potable.</p>
	<p>Fortalecer los espacios de participación ciudadana en el distrito considerando un 20% de reuniones realizadas con participación de los vecinos como línea base</p> <p>Plan de acción</p>	<p>Fortalecer el sistema de prevención ante desastres en el distrito considerando a un 10% de la población organizada para enfrentar los desastres como línea base.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 40% de la población organizada para enfrentar los desastres.</p>	<p>Ampliar la cobertura de saneamiento en las viviendas del distrito considerando un 40% de hogares con sistemas implementados como línea base.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 52% de hogares con sistemas de saneamiento implementado.</p>

	<p>Al 2024, alcanzar un 40% de las reuniones realizadas con participación de los vecinos. Al 2027, alcanzar un 50% de las reuniones realizadas con participación de los vecinos. Al 2030, alcanzar un 60% de las reuniones realizadas con participación de los vecinos.</p>	<p>Al 2027, alcanzar un 60% de la población organizada para enfrentar los desastres. Al 2030, alcanzar un 70% de la población organizada para enfrentar los desastres.</p>	<p>Al 2027, alcanzar un 58% de hogares con sistemas de saneamiento implementado. Al 2030, alcanzar un 64% de hogares con sistemas de saneamiento implementado.</p>
	<p>Fortalecer el capital social en el distrito considerando un 30% de organizaciones sociales registradas en el distrito como línea base.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 60% de las organizaciones sociales registradas en el distrito. Al 2027, alcanzar un 65% de las organizaciones sociales registradas en el distrito. Al 2030, alcanzar un 70% de las organizaciones sociales registradas en el distrito.</p>	<p>Implementar la capacidad instalada para la preparación y respuesta frente a emergencias y desastres en el distrito considerando un 20% de capacidad instalada como línea base.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 40% de capacidad instalada frente a desastres en el distrito. Al 2027, alcanzar un 60% de capacidad instalada frente a desastres en el distrito. Al 2030, alcanzar un 80% de capacidad instalada frente a desastres en el distrito.</p>	<p>Ampliar la cobertura de energía eléctrica en el distrito considerando un 45% de la población que cuenta con servicio de energía eléctrica.</p> <p>Plan de acción Al 2024, alcanzar un 54% de la población con servicio de energía eléctrica. Al 2027, alcanzar un 60% de la población con servicio de energía eléctrica. Al 2030, alcanzar un 64% de la población con servicio de energía eléctrica.</p>

Nota: Elaboración propia

Tabla 16

Análisis prospectivo territorial

SUBSISTEMA	SITUACIÓN ACTUAL	ESCENARIO PESIMISTA	ESCENARIO CONCERTADO	ESCENARIO ÓPTIMO
Ambiental	Debido a la geografía del distrito, la existencia de zonas de laderas altamente deslizables por acción de las lluvias temporales ocasionó el incremento de la población en las quebradas más vulnerables; ya que, no existía un ordenamiento territorial adecuado.	Al 2030, la gestión para contar con una población organizada se estanca en un 40% de la población por problemas socio ambientales y se se logra alcanzar el 60% de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados por burocracia política.	Al 2030, alcanzará un 60% de la población organizada para enfrentar los desastres con formación del INDECI. Además, al 2030, alcanzar un 80% de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados contando con un gobierno distrital competente y eficaz.	Al 2030, se alcanzará un 70% de la población organizada para enfrentar los desastres. Además, se logrará un 100% de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados.
	El clima del distrito corresponde a desértico templado y húmedo, caracterizado por escasas lluvias todo el año a excepción entre enero y marzo donde se generan huaicos, inundaciones y erosión de suelos por el desborde del río Rímac.	Fomentar el mantenimiento y conservación de las áreas verdes de uso público en el distrito y al 2030, contar con un 50% de áreas verdes en estado óptimo de mantenimiento originará el incremento en 2°C las temperaturas máximas (26°C) y mínimas (10°C).	Fomentar el mantenimiento y conservación de las áreas verdes de uso público en el distrito y al 2030, contar con un 65% de áreas verdes en estado óptimo puede originar el incremento en 1°C las temperaturas máximas (26°C) y mínimas (10°C).	Fomentar el mantenimiento y conservación de las áreas verdes de uso público en el distrito y al 2030, contar con un 80% de áreas verdes en estado óptimo de mantenimiento garantiza que no se incremente en más de 1°C las temperaturas máximas y mínimas.
	Contaminación de aguas del canal de EDEGEL por conexiones clandestinas de desagüe y en las aguas del río Rímac por vertimiento de desagües y basura.	Al 2030, se alcanzará un 25% de vertimiento líquidos tratados que llegan al cauce del Río Rímac y contar con un 50% de residuos sólidos manejados de forma adecuada.	Al 2030, se alcanzará un 40% de vertimiento líquidos tratados que llegan al cauce del Río Rímac y contar con un 80% de residuos sólidos manejados de forma adecuada.	Al 2030, se alcanzará un 55% de vertimiento líquidos tratados que llegan al cauce del Río Rímac y contar con un 100% de residuos sólidos manejados de forma adecuada.
Económico	Población mayoritariamente en los estratos medio y bajo (64.8%) de acuerdo con la estratificación por NSE.	Fortalecer el capital social en el distrito al 2030, se alcanzará un 60% de las organizaciones sociales registradas en el distrito debido a elevados gastos administrativos. Además, solo se alcanzará un 30% de la población que participa en los procesos de concertación	Fortalecer el capital social en el distrito al 2030, se alcanzará un 65% de las organizaciones sociales registradas en el distrito mediante convocatorias públicas y así fomentando el capital social. Además, se alcanzará un 60% de la población que participa en los procesos de concertación,	Fortalecer el capital social en el distrito al 2030, se alcanzará un 70% de las organizaciones sociales registradas en el distrito y así fomentando el capital social. Además, se alcanzará un 90% de la población que participa en los procesos de concertación.

		debido a brechas sociales y desigualdades.	como un proceso de integración e interacción.	
	El distrito tiene un gran potencial para ser contar con una economía productiva, sin embargo, los bajos niveles de escolaridad no han generado un capital humano suficiente y calificado.	Al 2030 no se promoverán servicios turísticos de calidad en el distrito considerando y solo se logrará un 13% de la población ocupada en la prestación de servicios turísticos como restaurantes y centros de esparcimientos que impactan en el medio ambiente y no satisfacen la demanda.	Al 2030 se promoverán servicios turísticos de calidad en el distrito considerando y solo se logrará un 16% de la población ocupada en la prestación de servicios turísticos como restaurantes y centros de esparcimientos en el camino de categorizarse como sostenibles.	Al 2030 se promoverán servicios turísticos de calidad en el distrito considerando a un 19% de la población ocupada en la prestación de servicios turísticos como restaurantes y centros de esparcimientos sostenibles.
	Los ingresos per cápita ubican a la población en los estratos bajo con 64.8% (con ingresos menores a S/900) y medio bajo con 30.7% (ingresos entre S/900 y 1400 por cápita). La pobreza se encuentra en las zonas con mayor hacinamiento y tugurización (viviendas antiguas)	Al 2030, se incrementarán el número de empresas formalizadas en el distrito a un 55% debido a la baja asignación de presupuesto, pero se promoverá la inversión privada en el distrito incrementando el número de empresas afincadas a 13,500.	Al 2030, se incrementarán el número de empresas formalizadas en el distrito a un 70% considerando un presupuesto estratégico y se promoverá la inversión privada en el distrito incrementando el número de empresas afincadas a 15,000.	Al 2030, se incrementarán el número de empresas formalizadas en el distrito a un 85% y se promoverá la inversión privada en el distrito incrementando el número de empresas afincadas a 17,000.
Social	Bajos indicadores de salud y educación, calidad de vida es una de las bajas de Lima provincia y la pobreza extrema y relativa es significativa.	Al 2030, se alcanzará un 68% de hogares con acceso a agua potable, teniendo avance lento. Se ampliará la cobertura de saneamiento en las viviendas al 2030, alcanzando un 52% de hogares con sistemas implementados. Además, se ampliará la cobertura de energía eléctrica alcanzando un 54% de avance.	Al 2030, se alcanzará un 74% de hogares con acceso a agua potable, así mejorando la calidad del agua. Se ampliará la cobertura de saneamiento en las viviendas al 2030, alcanzando un 58% de hogares con sistemas implementados. Además, se ampliará la cobertura de energía eléctrica alcanzando un 60% de avance.	Al 2030, se alcanzará un 80% de hogares con acceso a agua potable, así mejorando la calidad del agua. Se ampliará la cobertura de saneamiento en las viviendas al 2030, alcanzando un 64% de hogares con sistemas implementados. Además, se ampliará la cobertura de energía eléctrica alcanzando un 64% de avance.
	Dinámica urbana presenta un proceso de densificación por el incremento de las nuevas invasiones de terrenos en zona áridas (límite con San Juan de	Al 2030, se alcanzará un 40% de capacidad instalada para la preparación y respuesta frente a emergencias y desastres	Al 2030, se alcanzará un 60% de capacidad instalada para la preparación y respuesta frente a emergencias y desastres naturales como huaicos y deslizamientos de tierras.	Al 2030, se alcanzará un 80% de capacidad instalada para la preparación y respuesta frente a emergencias y desastres naturales

	Lurigancho y en las laderas de las quebradas de Chosica).	naturales como huaicos y deslizamientos de tierras.		como huaicos y deslizamientos de tierras.
	Al no contar con un adecuado ordenamiento urbano existen centros poblados en zonas vulnerables con alto riesgo de desastres naturales, muy frecuentes, como los producidos por huaicos durante temporada de lluvias.			
	Según el censo del 2017, el 2.3% de la población no cuenta con un nivel educativo alcanzado. Además, cuenta con la tasa más alta de analfabetismo (3%).	Implementar un plan maestro de promoción de la educación de manera óptima en el distrito, pero solo se alcanza un 45% de cobertura en el distrito según los rangos etarios.	Implementar un plan maestro de promoción de la educación de manera óptima en el distrito y así alcanzar un 60% de cobertura en el distrito según los rangos etarios.	Implementar un plan maestro de promoción de la educación de manera óptima en el distrito y así alcanzar un 80% de cobertura en el distrito según los rangos etarios.

Nota: Elaboración propia

Fase de implementación.

Tabla 17

Definición de propuestas para la fase de implementación

SUBSISTEMA	ESTRATEGIAS	DEFINICIÓN
Ambiental	Proyecto para reducción de fuentes contaminantes a través de una gestión adecuada de residuos sólidos y construcción de rellenos sanitarios en el distrito de Lurigancho	<p>Construcción de por lo menos dos rellenos sanitarios, ubicados en reemplazo a los botaderos o fuentes contaminantes de tipo agropecuario, domestico, energéticas, industriales, gestión municipal y no municipal. De esta manera Lurigancho tendrá la infraestructura adecuada para una gestión adecuada de residuos, se trabajará juntamente con la Municipalidad de Lima y el MINAM.</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Reconocimiento de los botaderos en toda la provincia</i> - <i>Contratación de personas especializadas en tema de residuos sólidos</i> - <i>Estudio de tipo de suelo y mapeo de fuentes contaminantes estratégicos</i> - <i>Programa de concientización ambiental y segregación de residuos al 100% de la población del distrito</i> - <i>Implementación de infraestructura moderna, unidades vehiculares para recolección de residuos</i> - <i>Fortalecimiento del programa de recicladores</i>
	Programa de educación ambiental sobre el vertimiento de efluentes industriales	<p>Se brindará charlas en las empresas privadas y comunidades campesinas acerca del vertimiento de efluentes industriales cómo esto contamina nuestro medio ambiente.</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Elaboración de informes sobre el seguimiento puntos de vertimiento de efluentes industriales y programa de multas por OEFA.</i> - <i>Charlas brindadas por profesionales capacitados</i> - <i>Videos sobre la contaminación ambiental</i>
	Proyecto de mantenimiento y conservación de las áreas verdes de uso público en el distrito y al 2030.	<p>Seguimiento del programa de mantenimiento de áreas verdes en el distrito de Lurigancho. Además, se debe contar con más espacios públicos de áreas verdes según la recomendación de la OMS (9 a 11 m² de área verde por habitante)</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Designación de presupuesto específico para el mantenimiento de áreas verdes.</i> - <i>Desarrollar un informe que muestre la ubicación de las áreas verdes en el distrito.</i>
Económico	Mejorar las vías de interconectividad en el distrito, para el transporte de las personas y los bienes producidos.	<p>Proyecto para mejorar y reparar las principales autopistas y vías vecinales del distrito. Además, implementar medios de transporte masivo sostenible en el tiempo.</p> <p><i>Acciones:</i></p>

		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Creación de estaciones férreas modernas para el transporte por vía terrestre</i> - <i>Implementación del sistema integrado de transporte público</i> - <i>Mejoras y mantenimiento en la autopista ramiro priale</i>
	Implementar programas abiertos de capacitación a la población sobre servicios turísticos sostenibles.	<p>Proyecto para impulsar el turismo sostenible y desarrollar el potencial gastronómico característico de Chosica</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Alianzas estratégicas con PROMPERÚ y Tu qué planes para desarrollar campañas masivas de turismo</i> - <i>Capacitaciones a pobladores del distrito en turismo sostenible</i>
	Fomentar el desarrollo de la inversión privada formal en el distrito	<p>Campañas permanentes de medios de formalización de empresas privadas afincadas al distrito</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Seminarios de capacitación y fondos distritales para el apoyo de la formalización de empresas</i>
Social	Programa para fomentar el ordenamiento territorial y riesgo ante emergencias y desastres naturales en zonas vulnerables	<p>Programas permanentes de sensibilización del ordenamiento territorial y riesgo ante emergencias y desastres naturales en zonas vulnerables (laderas de cerro, quebradas, faja marginal de los ríos).</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Construcción de barreras dinámicas de protección</i> - <i>Estudios de nuevas zonas probables de activación ante desastres naturales</i> - <i>Reconocimiento de aliados estratégicos e involucramiento permanente de la población de zonas aledañas</i>
	Plan de mejora integral del sistema educativo en el distrito de Lurigancho.	<p>Se implementará un programa para reducir la deserción de estudiantes a nivel primaria y secundaria, modernizar la infraestructura, ampliar las modalidades de enseñanza y aumentar la profesionalización de estudiantes de secundaria.</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Identificación de estudiantes con riesgo a abandonar el colegio.</i> - <i>Talleres de formación profesional</i>
	Programa de ampliación de cobertura y accesibilidad a servicios sociales básicos urbano-rurales en el distrito de Lurigancho.	<p>Se ampliará la accesibilidad a servicios sociales básicos, como el agua potable, alcantarillado, saneamiento, electricidad y salud en los sectores más críticos del distrito de Lurigancho.</p> <p><i>Acciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Identificación de condiciones actuales de alcantarillado, saneamiento y electricidad.</i> - <i>Construcción de red de alcantarillado, saneamiento y electricidad, según nivel de urgencia determinada en cada proyecto.</i> - <i>Construcción de centros de salud, abastecidos con medicamentos tanto comerciales como naturales zonales.</i> - <i>Inserción de cronograma de difusión sobre enfermedades respiratorias y transmisión sexual en centros de salud.</i>

Nota: Elaboración propia

Identificación de financiamiento.

Para poder llevar a cabo las distintas propuestas, se necesita un equipo profesional multisectorial y entidades que provean el financiamiento, en este caso se presentan entidades públicas como privadas, las cuales han venido dando apoyo y podrían contribuir con las propuestas futuras en el distrito de Lurigancho.

Recursos humanos.

Para alcanzar los objetivos planteados para el distrito de Lurigancho, los recursos humanos que se necesitarán incluye, equipos conformados por ingenieros (diseño de proyectos de construcción estructurales y de vías terrestres, diseños de planes integrales ambientales), arquitectos (para la construcción de centros culturales, escuelas, red de agua, desagüe y saneamiento), profesores y asesores (para las escuelas, asesoramiento), mediadores (para la integración de comunidades, técnicas de agricultura y estrategias para promover el turismo) y abogados (aspectos legales).

Fondos Públicos.

Ministerio de cultura, Ministerio del Ambiente, Ministerio de transporte y Comunicaciones Ministerio de Educación, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social, Municipalidad de Lurigancho, Gobierno Regional de Lima.

ONG's y Fondos Internacionales

Banco Mundial, Fondos UNESCO, Giz Alemania, PRONABEC, ONU

Método de análisis

Evaluación de consistencia

Como parte de la evaluación de consistencia se requiere información verídica y así poder contrastar con la información considerada de la clasificación, por eso se emplearon los índices de Exactitud Global y el índice de Kappa.

Tamaño de la muestra de segmento de control.

Según Hernández et al. (2010), el tamaño de la muestra probabilística con tendencia a una distribución normal se calcula considerando el tamaño de población finita (número total de polígonos de la clasificación) de 9948, el margen de error (e) del 11%, un nivel de confianza (p) del 95% y con una puntuación Z de 1.96 como se muestra en la siguiente función:

$$n = \frac{\left(\frac{Z^2 * p * (1 - p)}{e^2} \right)}{\left(1 + \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{e^2 * N} \right)} = 79$$

Obtención de la muestra y puntos de control.

Posterior al cálculo del tamaño de la muestra se procedió a identificar los puntos de control de forma aleatoria en el área total de evaluación. Se empleó una grilla de 1km x 1km, siendo los puntos de intersección de la grilla los puntos a interpretar (herramienta “Hawth’s tools” sugerida por el (MINAM, 2014), sin embargo, se utilizó la herramienta “fishnet” debido a incompatibilidades con la versión 10.8 de ArcGIS.

El cálculo del producto final de la clasificación del año 2018 se generó mediante el software ArcGIS, para luego obtener el producto vectorial que contendrá los puntos de control. Se obtiene una cantidad 246 de puntos de control respectivamente con el área de cada cobertura (MINAM, 2014) (Figura 26), de los cuales 79 serán validados a detalle y en campo se verificarán los de mayor duda.

Los 79 puntos de control son elegidos aleatoriamente como áreas de control previo al trabajo de inspección visual y se enfatizará los puntos donde se tenga mayores dudas de la clasificación en comparación con las imágenes satelitales de alta resolución.

Durante el proceso de inspección visual se modifica la tabla de atributos del shapefile donde se añade el campo “Clase_Inte” que contendrá el tipo de cobertura y uso del suelo según la nomenclatura CLC en cada punto en base al mapa interpretado.

Cálculo de error.

Para el cálculo del error se calcula el Índice de Exactitud Global y el Índice de Kappa utilizando el método de la matriz de confusión de los errores de comisión y omisión. Para la clasificación del distrito de Lurigancho se llevó a cabo mediante el tratamiento de la información recopilada y la información complementaria descrita anteriormente. Como primer paso, este proceso se llevó a cabo mediante el software R Studio y la generación de puntos de control de los segmentos obtenidos.

El segundo paso abarca la edición de la tabla de atributos de los puntos de control, donde se crearon 2 columnas llamadas “Classified” y “GrndTruth”. Classified se llenó con los datos de las clases asignadas y para la columna GrndTruth los valores de la columna Predict.

Como último paso, se retiran del proceso todas las columnas del archivo de puntos menos Classified y GrndTruth. Para luego alinear la información de entrada, y ejecutar toolbox “Compute Confusion Matrix” para seleccionar los puntos de control y archivar la tabla con extensión “.dbf”. Por ende, se obtuvo la matriz de confusión que sirvió para el cálculo del índice de exactitud global y el índice de Kappa.

Levantamiento de información de campo

Verificación del mapa y levantamiento de información.

Durante el trabajo de campo se verificaron las categorías de cobertura clasificadas con énfasis en las de mayor incertidumbre (identificación y delimitación). Se desarrolló mediante la interpretación de las imágenes de satélite con el objetivo de verificar y ejecutar las correcciones necesarias para garantizar calidad de los resultados. El trabajo de campo se realizó en dos etapas, las cuales fueron:

Preparación de trabajo de campo.

En esta etapa fue necesario el uso de un vehículo, GPS, leyenda de los niveles de clasificación del inventario CLC, impresión del área de estudio (imagen Landsat 8), cartografía básica (redes viales, red hidrográfica, data poblacional) con el mayor detalle

posible. Se hizo la evaluación de las condiciones de acceso, seguridad en la zona y permisos necesarios y se formuló la ruta del recorrido para verificación.

Verificación de campo.

Una vez definida la ruta de verificación en campo, el empleo de GPS de un Smartphone permitió la incorporación de las rutas y así obtener la información cartográfica de los puntos de muestreo a lo largo del recorrido utilizando Google Maps.

Control de calidad – Validación de resultados

La validación del mapa se realizó mediante el indicador de precisión global el cual establece el nivel de correlación del mapa de cambio de cobertura y uso de suelo para el distrito de Lurigancho, contrastando lo observado en campo y los puntos aleatorios verificados con imágenes de alta resolución en la plataforma Google Earth Pro.

Además, se consideró la disponibilidad temporal (años de comparación) de las imágenes Landsat 5 y Landsat 8 de la zona de estudio interpretada. Posteriormente se realizaron los ajustes necesarios para los segmentos incorrectamente interpretados.

Además, se procedió con la validación de las propuestas del escenario concertado mediante la matriz de objetivos, acciones estratégicas y metas rescatado del Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lurigancho 2019-2030.

RESULTADOS

Clasificación actual de cobertura de la tierra en el distrito de Lurigancho según categorías de leyenda CORINE Land Cover (CLC)

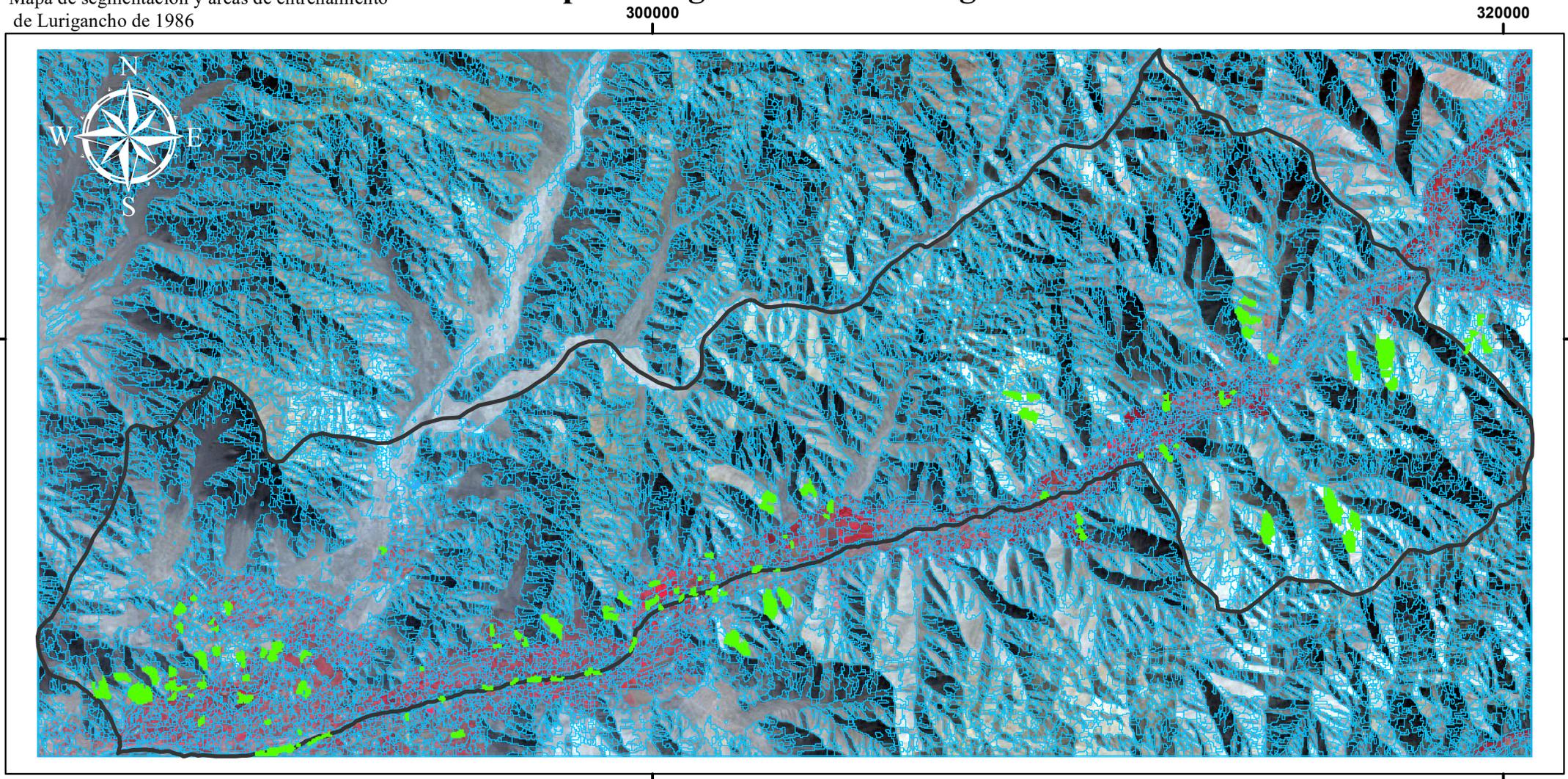
El distrito de Lurigancho cuenta con un área total de 245.08 km² la cual fue evaluada para determinar el inventario de cambio de cobertura y uso de suelo basado en la metodología CLC adaptado al Perú. Se analizaron 11 categorías las cuales fueron clasificadas en nivel II y nivel III. Cada resultado fue útil para el análisis cuantitativo y cualitativo (multitemporal) y para la elaboración del mapa actual de cobertura de la tierra mediante la interpretación de 4 imágenes satelitales.

Los resultados se muestran en orden como parte del procedimiento CLC adaptado al Perú, empezando con los resultados de segmentación y áreas de entrenamiento que sirvieron para poder ejecutar la clasificación supervisada (figuras 14, 15, 16 y 17).

Luego se obtuvieron los resultados de la matriz de confusión (tabla 16) y los valores IPCC (tabla 17) mediante el software R Studio antes de proceder a generalizar.

Figura 14
 Mapa de segmentación y áreas de entrenamiento
 de Lurigancho de 1986

Mapa de Segmentación - Lurigancho 1986



UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Segmentos		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyección: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL	Ministerio del Ambiente	

LEYENDA

IMG Landsat 5 1986

RGB

- Red: Layer (Band 4:LT05_L1TP_007068_19860505)
- Green: Layer (Band 3:LT05_L1TP_007068_19860505)
- Blue: Layer (Band 2:LT05_L1TP_007068_19860505)

- Segmentación
- SegSel - Áreas de entrenamiento
- Límite distrital

1:130,000

0 2 4 6 Kilómetros

Sistemas de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros

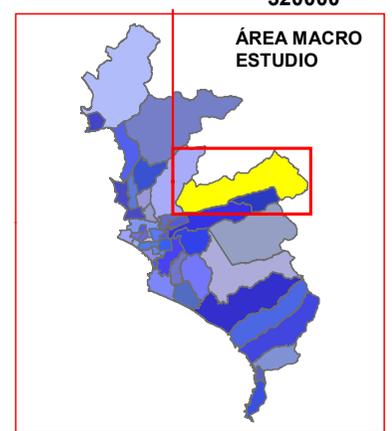
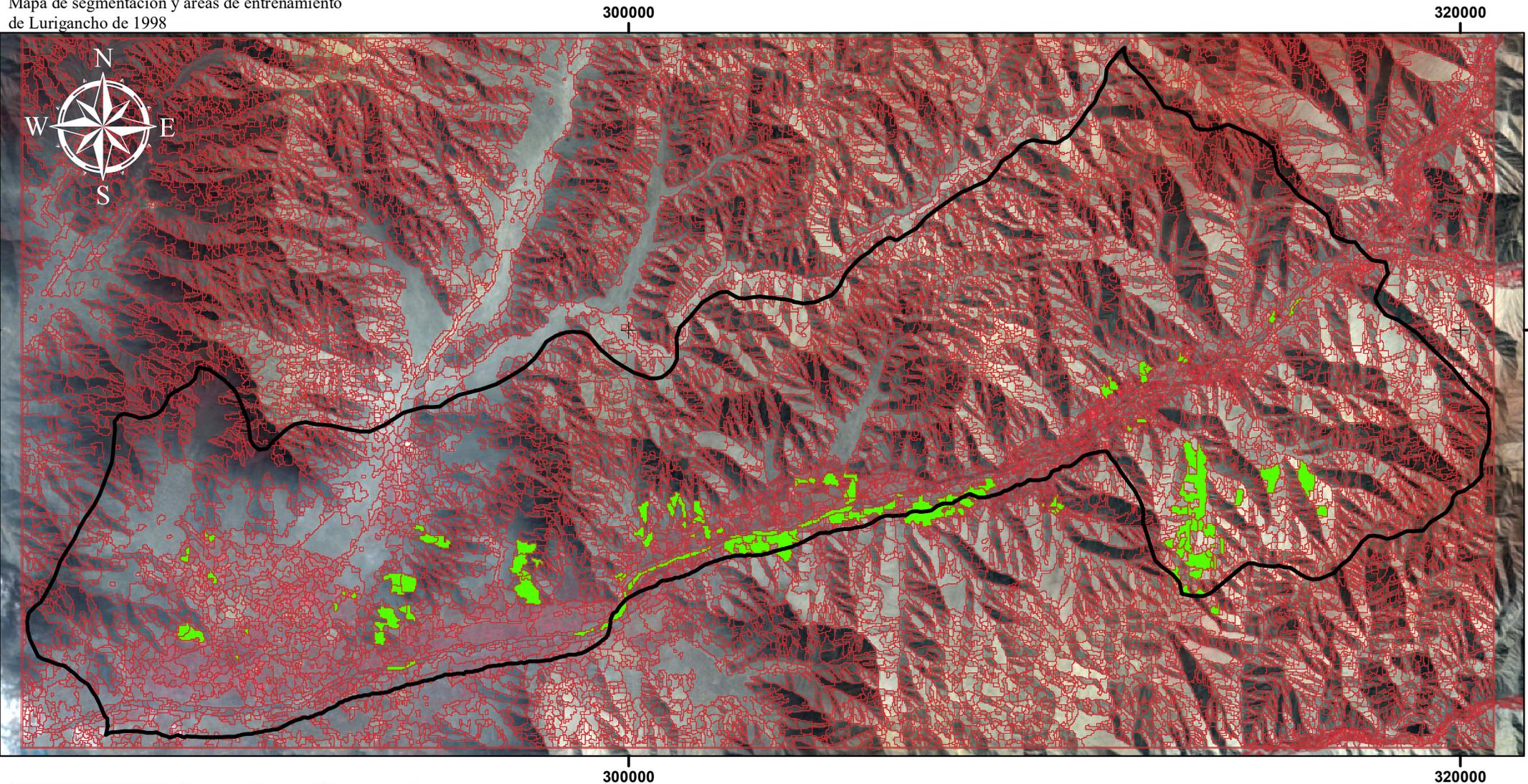


Figura 15

Mapa de segmentación y áreas de entrenamiento de Lurigancho de 1998

Mapa de Segmentación - Lurigancho 1998



 UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Segmentos		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyeccion: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA	 	
NOMBRES	 	
GONZALO DANIEL	 	

LEYENDA

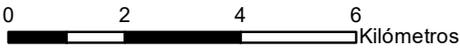
IMG Landsat 5 1998

RGB

- Red: Layer (Band 1:LT05_L1TP_007068_19980522)
- Green: Layer (Band 1:LT05_L1TP_007068_19980522)
- Blue: Layer (Band 1:LT05_L1TP_007068_19980522)

Segmentación
 SegSel - Áreas de entrenamiento
 Límite distrital

1:130,000



Kilómetros

Sistemas de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 19S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros

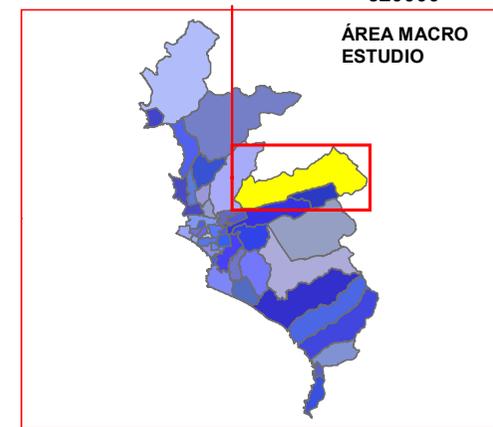
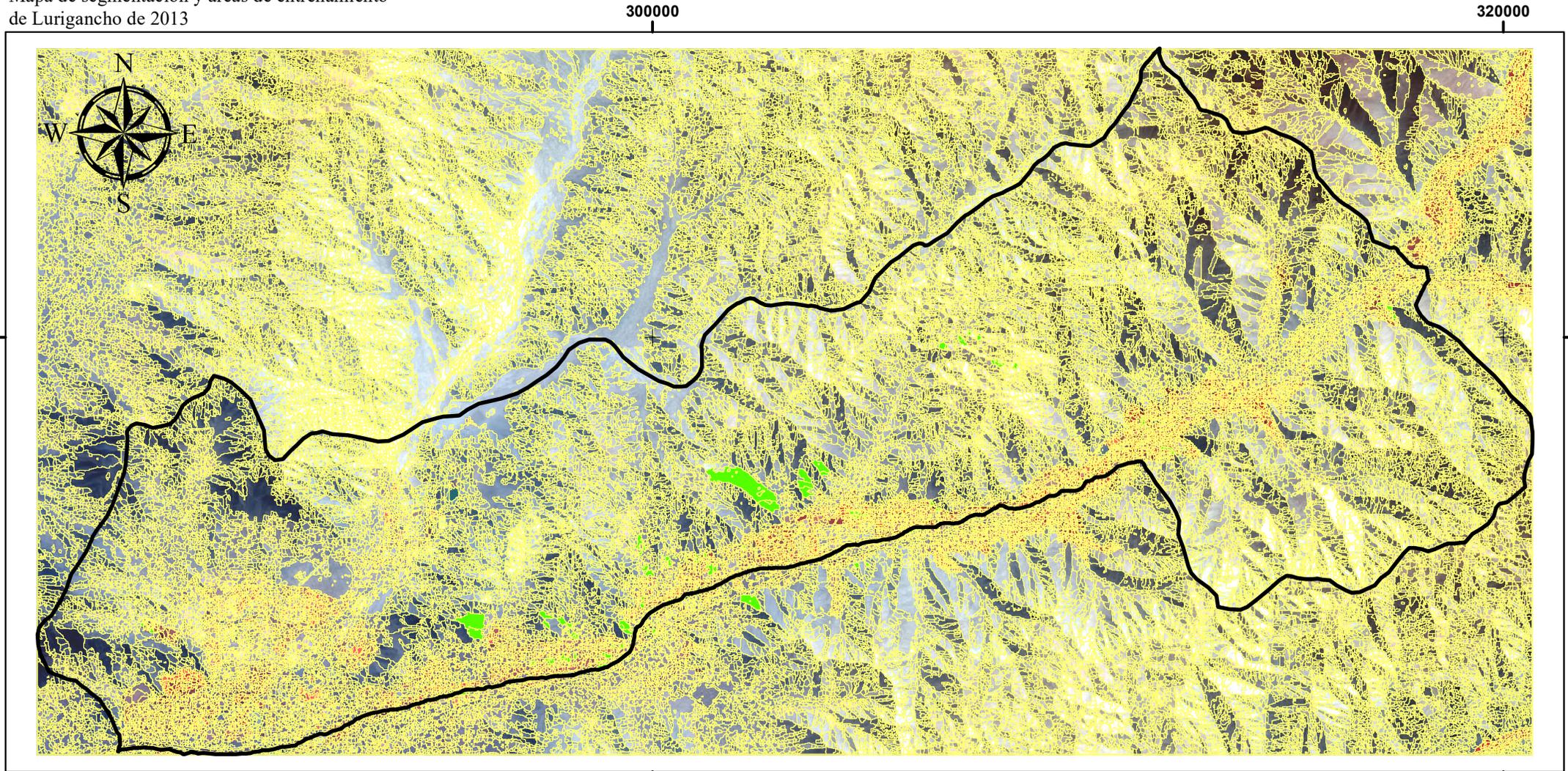


Figura 16
 Mapa de segmentación y áreas de entrenamiento
 de Lurigancho de 2013

Mapa de Segmentación - Lurigancho 2013



 UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Segmentos		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyección: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA	 	
NOMBRES	 	
GONZALO DANIEL	 	

LEYENDA

IMG Landsat 8 2013

- Red: Layer (Band 5:182013pansh.dat) (0.864600 Micrometers)
- Green: Layer (Band 3:182013pansh.dat) (0.561300 Micrometers)
- Blue: Layer (Band 2:182013pansh.dat) (0.482600 Micrometers)

- Segmentación
- SegSel - Áreas de entrenamiento
- Límite distrital

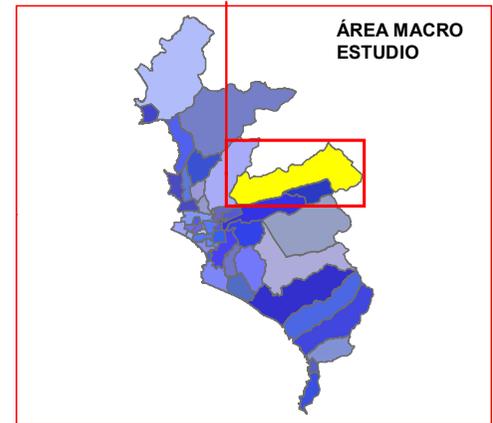
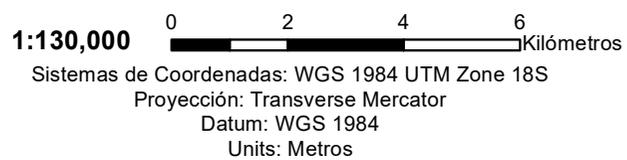
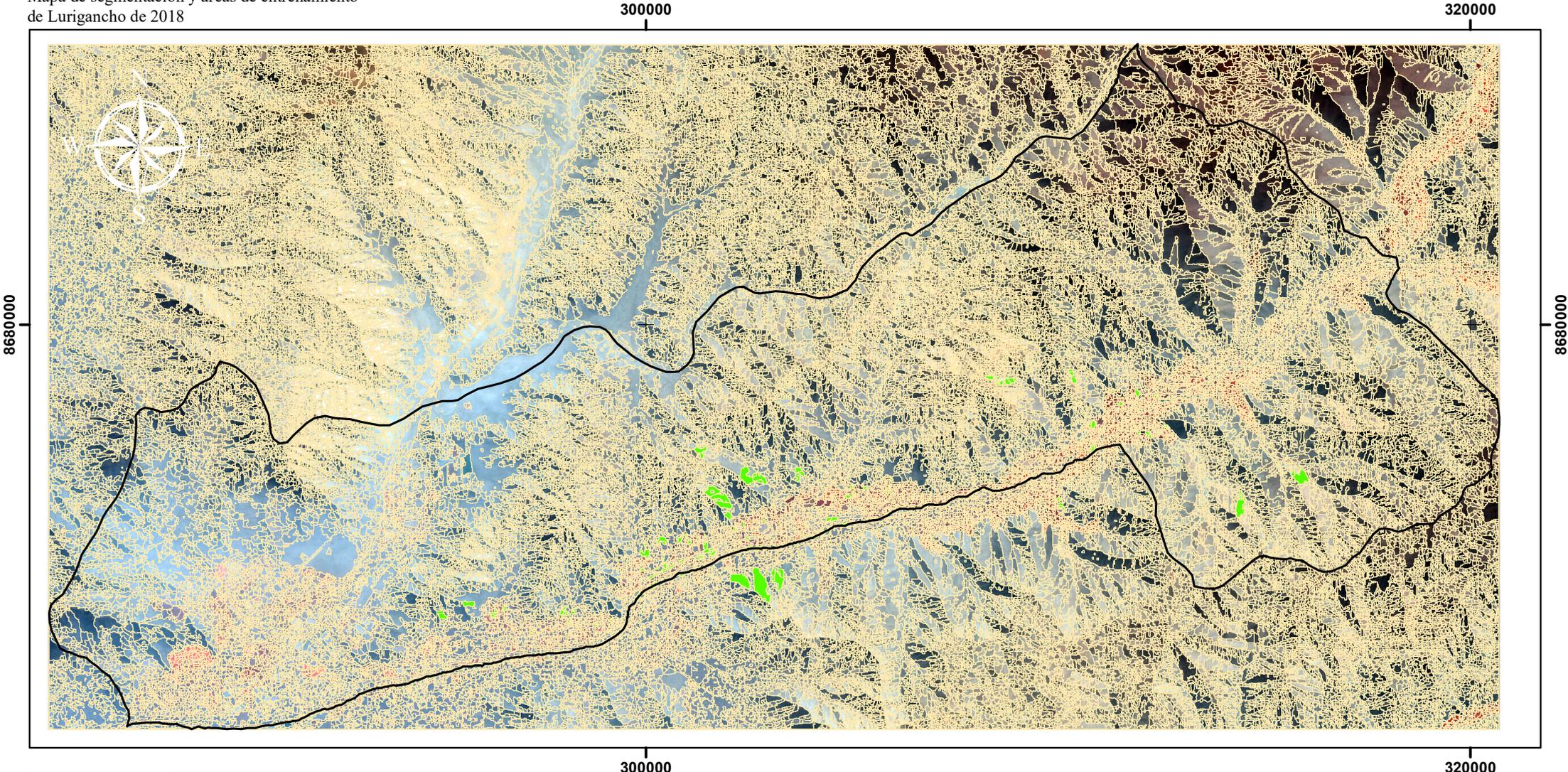


Figura 17
 Mapa de segmentación y áreas de entrenamiento
 de Lurigancho de 2018

Mapa de Segmentación - Lurigancho 2018



UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Segmentos		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyección: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		

LEYENDA

Red: Layer (Band 5:182018pansh.dat) (0.864600 Micrometers)	Límite distrital
Green: Layer (Band 3:182018pansh.dat) (0.561300 Micrometers)	Segmentación
Blue: Layer (Band 2:182018pansh.dat) (0.482600 Micrometers)	SegSel - Áreas de entrenamiento

1:130,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros

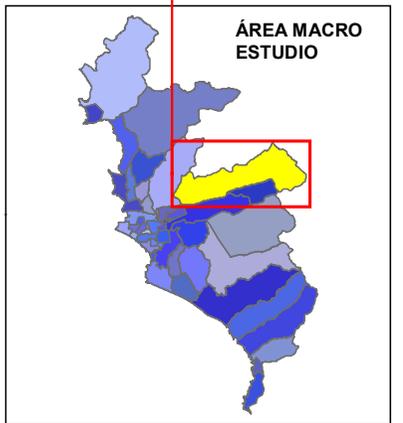


Tabla 18

Matriz de confusión de la clasificación supervisada obtenida mediante el software R Studio

Clase real	111	14	21	332	341	343	511	class.error
111	10	0	0	0	0	1	0	0.09090909
14	0	19	1	0	0	0	0	0.05
21	0	0	20	0	0	0	0	0
332	0	0	1	15	0	0	1	0.11764706
341	0	0	0	0	20	0	0	0
343	0	0	0	0	0	21	0	0
511	0	0	0	0	0	0	23	0

1986								
Clase Real	111	14	21	332	341	343	511	class.error
111	20	0	0	0	0	0	0	0
14	0	22	0	0	0	0	0	0
21	0	0	21	0	0	0	0	0
332	0	0	0	20	0	0	0	0
341	0	0	0	0	18	0	2	0.1
343	0	0	0	0	0	14	0	0
511	0	0	0	0	1	0	22	0.04347826

1998									
Clase Real	111	122	14	21	332	341	343	511	class.error
111	19	1	0	0	0	0	0	0	0.05
122	1	12	0	0	0	0	0	0	0.07692308
14	0	0	21	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	18	0	0	0	0	0
332	0	0	0	0	21	0	0	0	0
341	0	0	0	0	1	18	0	0	0.05263158
343	0	0	0	0	0	0	20	0	0
511	0	0	0	0	1	0	0	21	0.04545455

2013								
Clase Real	111	14	21	332	341	343	511	class.error
111	20	0	0	0	0	0	0	0
14	0	22	0	0	0	0	0	0
21	0	0	21	0	0	0	0	0
332	0	0	0	20	0	0	0	0
341	0	0	0	0	18	0	2	0.1
343	0	0	0	0	0	14	0	0
511	0	0	0	0	1	0	22	0.04347826

2018									
Clase Real	111	122	14	21	332	341	343	511	class.error
111	19	1	0	0	0	0	0	0	0.05
122	1	12	0	0	0	0	0	0	0.07692308
14	0	0	21	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	18	0	0	0	0	0
332	0	0	0	0	21	0	0	0	0
341	0	0	0	0	1	18	0	0	0.05263158
343	0	0	0	0	0	0	20	0	0
511	0	0	0	0	1	0	0	21	0.04545455

Nota: Elaboración propia

Tabla 19

Valores del índice de porcentaje correctamente clasificado (IPCC) de la clasificación supervisada obtenida mediante el software R Studio.

```

49 rf.form <- as.formula(paste("ID_Leyenda ~ ", paste(variables, collapse = " + "),
50 tbc1cal.rf <- randomForest(rf.form, data = tabla.sub, proximity=TRUE)
51
52 ## guardar el rf original, con todas las variables
53 if (length(variables) == length(variables.o)) tbc1cal.rfo <- tbc1cal.rf
54
55 #generando la matriz de confusión y la tabla.sub de importancias
56 importance(tbc1cal.rf)
57 tbc1calmatriz <- tbc1cal.rf$confusion
58 #tbc1calmatriz <- edit(tbc1cal.rf$confusion)
59 # generando estadísticos de prueba
60 cat("\n-- Porcentaje correctamente clasificado:",
61 sum(diag(tbc1calmatriz[, -ncol(tbc1calmatriz)]))/sum(tbc1calmatriz[, -ncol(tbc1calmatriz)]))
62
63 #kappa2(tabla.sub[,c("ID_Leyenda", "predicted")])
64
65 ## antes de guardar el modelo, regresar a la línea 54
66 ## y hacer la segunda corrida filtrando las variables poco importantes.
67
68

```

```

-- Porcentaje correctamente clasificado: 0.969697

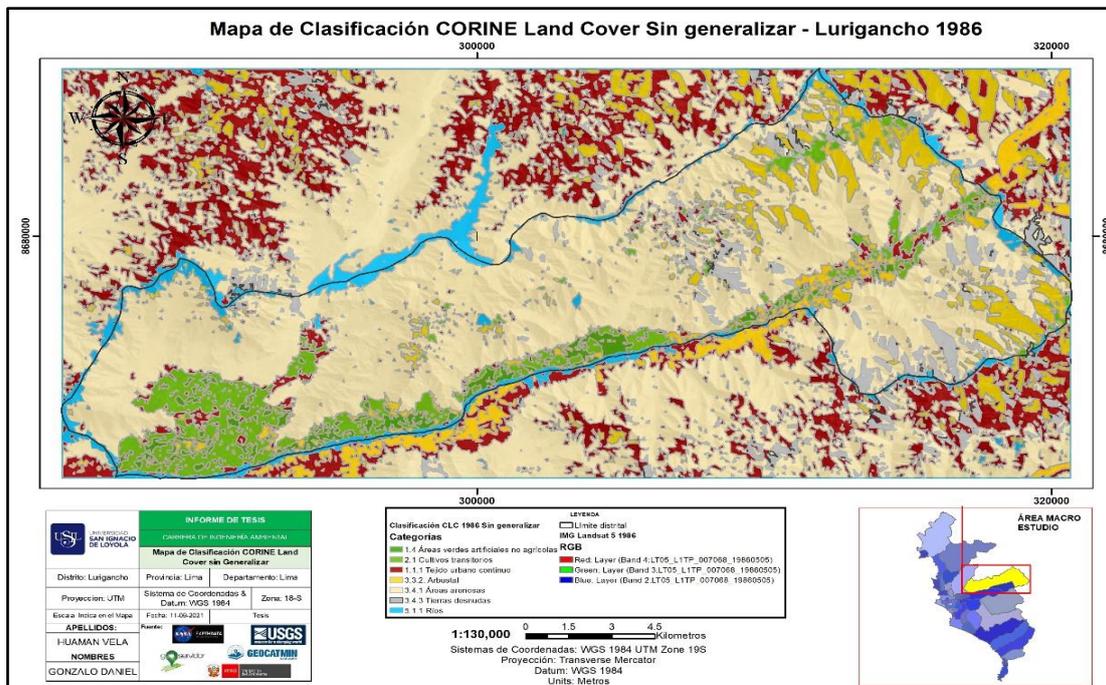
```

1986 – IPCC 0.969697

Posteriormente con los valores obtenidos, mediante el software ArcGIS se procedió con la edición de los 4 productos cartográficos sin generalizar (figura 18, 19, 20 y 21)

Figura 18

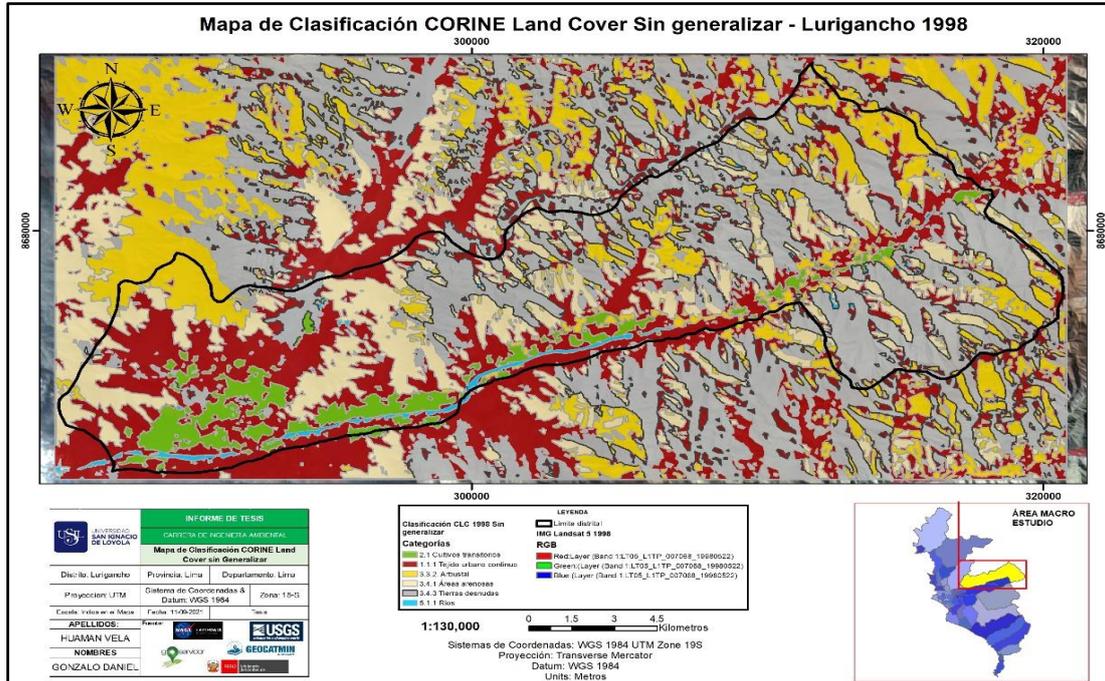
Mapa de clasificación CORINE Land Cover del distrito de Lurigancho 1986 sin generalizar



Nota: Elaboración propia

Figura 19

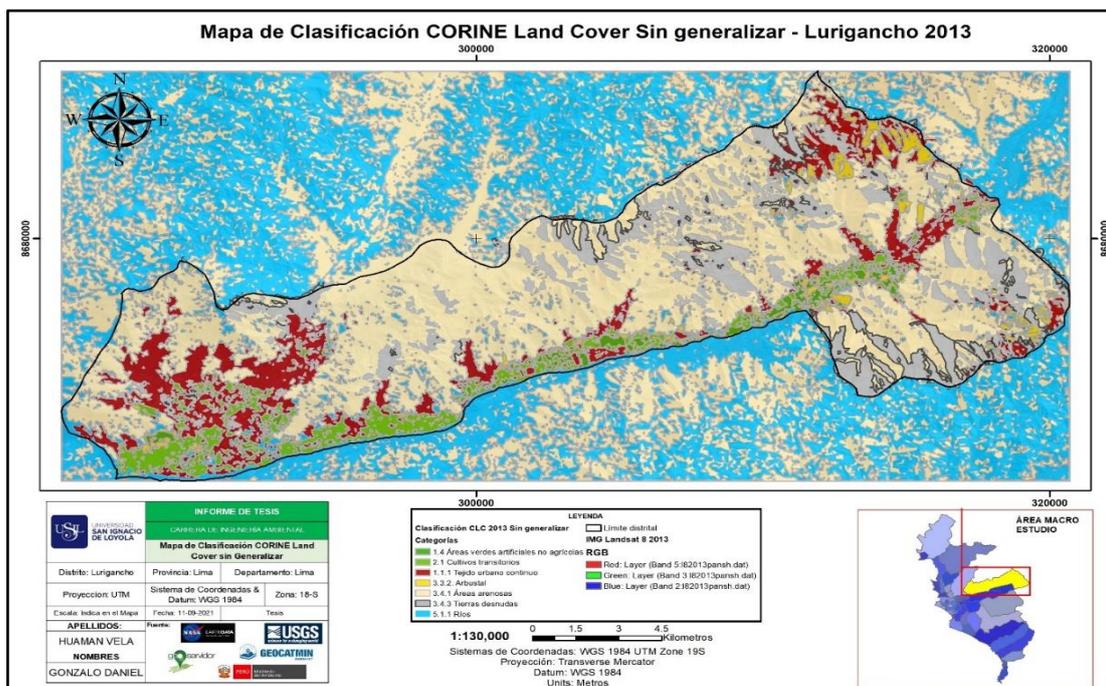
Mapa de clasificación CORINE Land Cover del distrito de Lurigancho 1998 sin generalizar



Nota: Elaboración propia

Figura 20

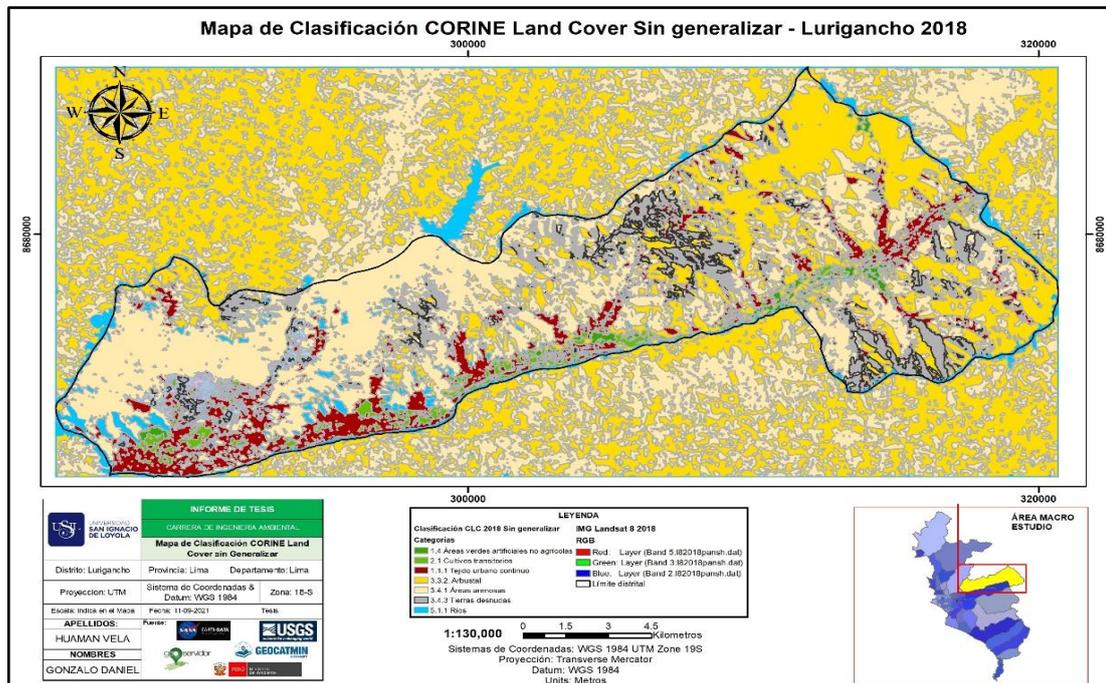
Mapa de clasificación CORINE Land Cover del distrito de Lurigancho 2013 sin generalizar



Nota: Elaboración propia

Figura 21

Mapa de clasificación CORINE Land Cover del distrito de Lurigancho 2018 sin generalizar



Nota: Elaboración propia

Posteriormente a la limpieza y generalización se obtienen 4 productos cartográficos descritos en las figuras 22, 23, 24 y 25 que servirán para la cuantificación del cambio de cobertura y uso de suelo según las 11 categorías CLC.

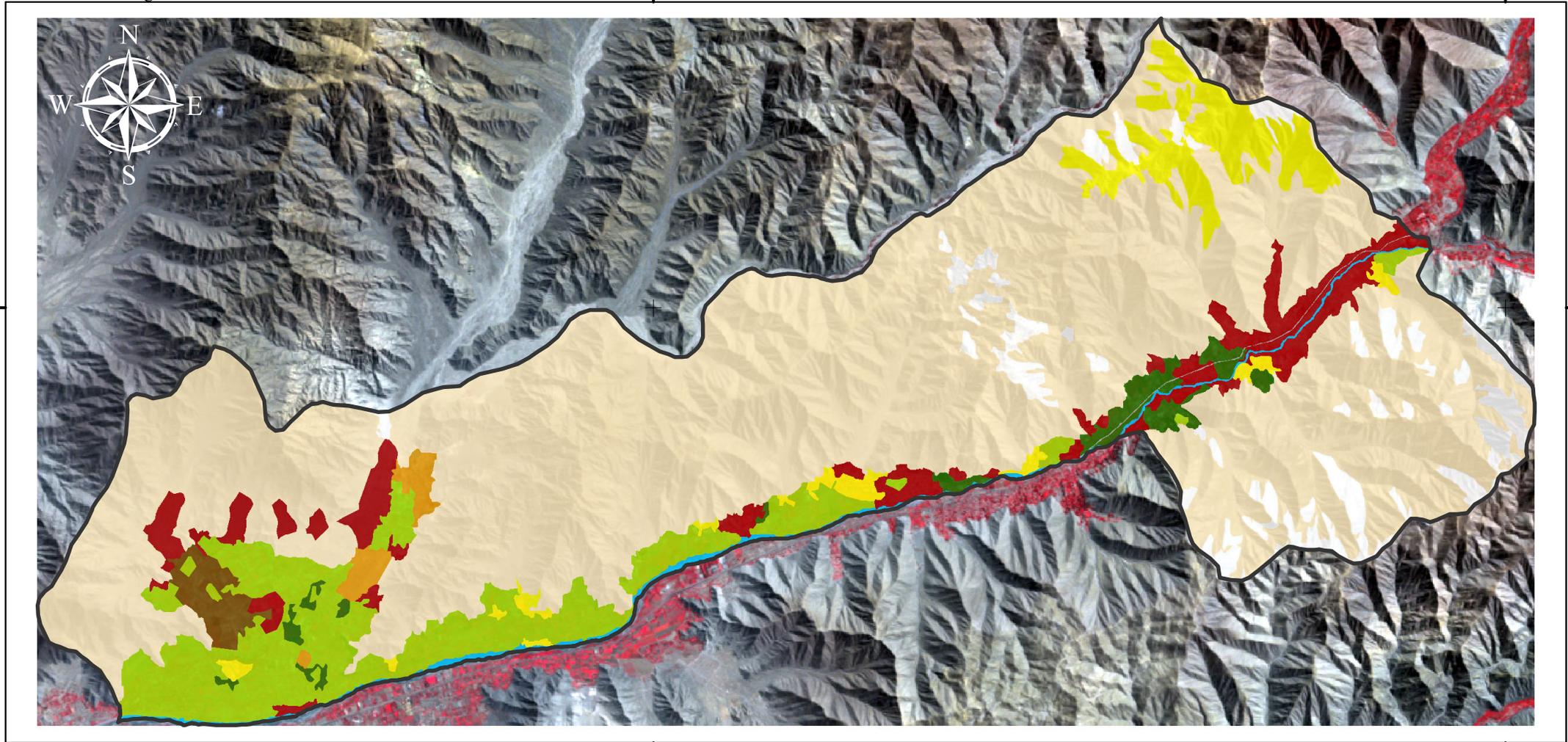
Figura 22

Mapa de Clasificación CORINE Land Cover - Lurigancho 1986

Mapa de clasificación CORINE Land Cover del distrito de Lurigancho 1986

300000

320000



300000

320000

<p>UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA</p>	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Clasificación CORINE Land Cover		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyeccion: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		

Clasificación CLC 1986		LEYENDA		IMG Landsat 5 1986
■ 2.1 Cultivos transitorios	■ 1.4.1 Áreas verdes urbanas	■ 1.4.2 Instalaciones recreativas	■ Red: Layer (Band 4:LT05_L1TP_007068_19860505)	RGB
■ 1.1.1 Tejido urbano continuo	■ 3.3.2 Arbustal	■ 3.4.1 Áreas arenosas	■ Green: Layer (Band 3:LT05_L1TP_007068_19860505)	
■ 1.2.1. Áreas Industriales o comerciales	■ 3.4.3 Tierras desnudas	■ 5.1.1 Ríos	■ Blue: Layer (Band 2:LT05_L1TP_007068_19860505)	
■ 1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	■ Límite distrital			
■ 1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos				

1:130,000 0 2 4 6 Kilómetros

Sistemas de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros

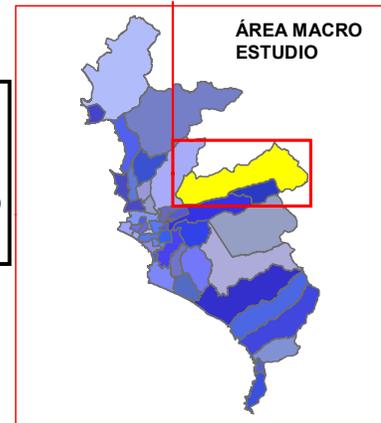
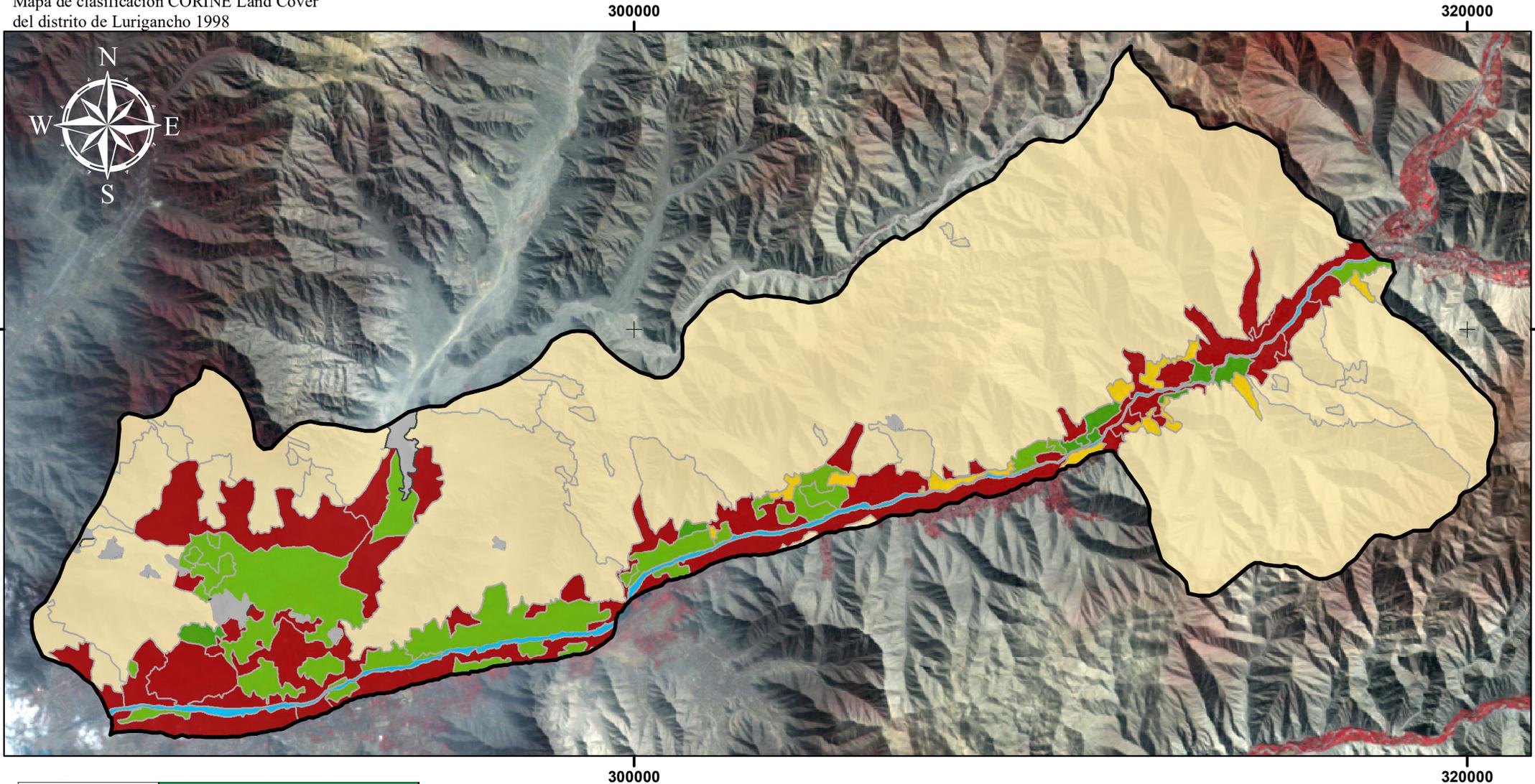


Figura 23
 Mapa de clasificación CORINE Land Cover
 del distrito de Lurigancho 1998

Mapa de Clasificación CORINE Land Cover - Lurigancho 1998



UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Clasificación CORINE Land Cover		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyeccion: UTM	Sistema de Coordinadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		

LEYENDA

Clasificación CLC 1998	3.3.2. Arbustal	IMG Landsat 5 1998
Categorías	3.4.1 Áreas arenosas	RGB
1.4 Áreas verdes artificiales no agrícolas	3.4.3 Tierras desnudas	Red: Layer (Band 1:LT05_L1TP_007068_19980522)
2.1 Cultivos transitorios	5.1.1 Ríos	Green: Layer (Band 1:LT05_L1TP_007068_19980522)
1.1.1 Tejido urbano continuo		Blue: Layer (Band 1:LT05_L1TP_007068_19980522)
		Límite distrital

1:130,000

Sistemas de Coordinadas: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros

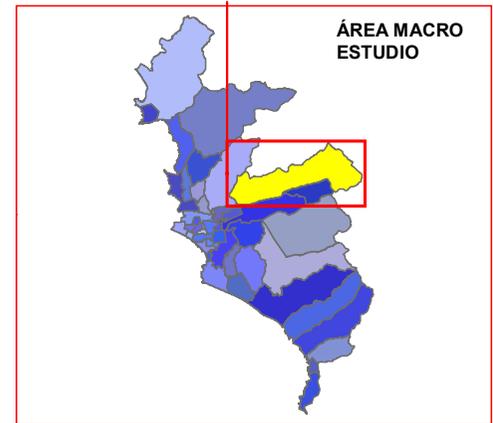
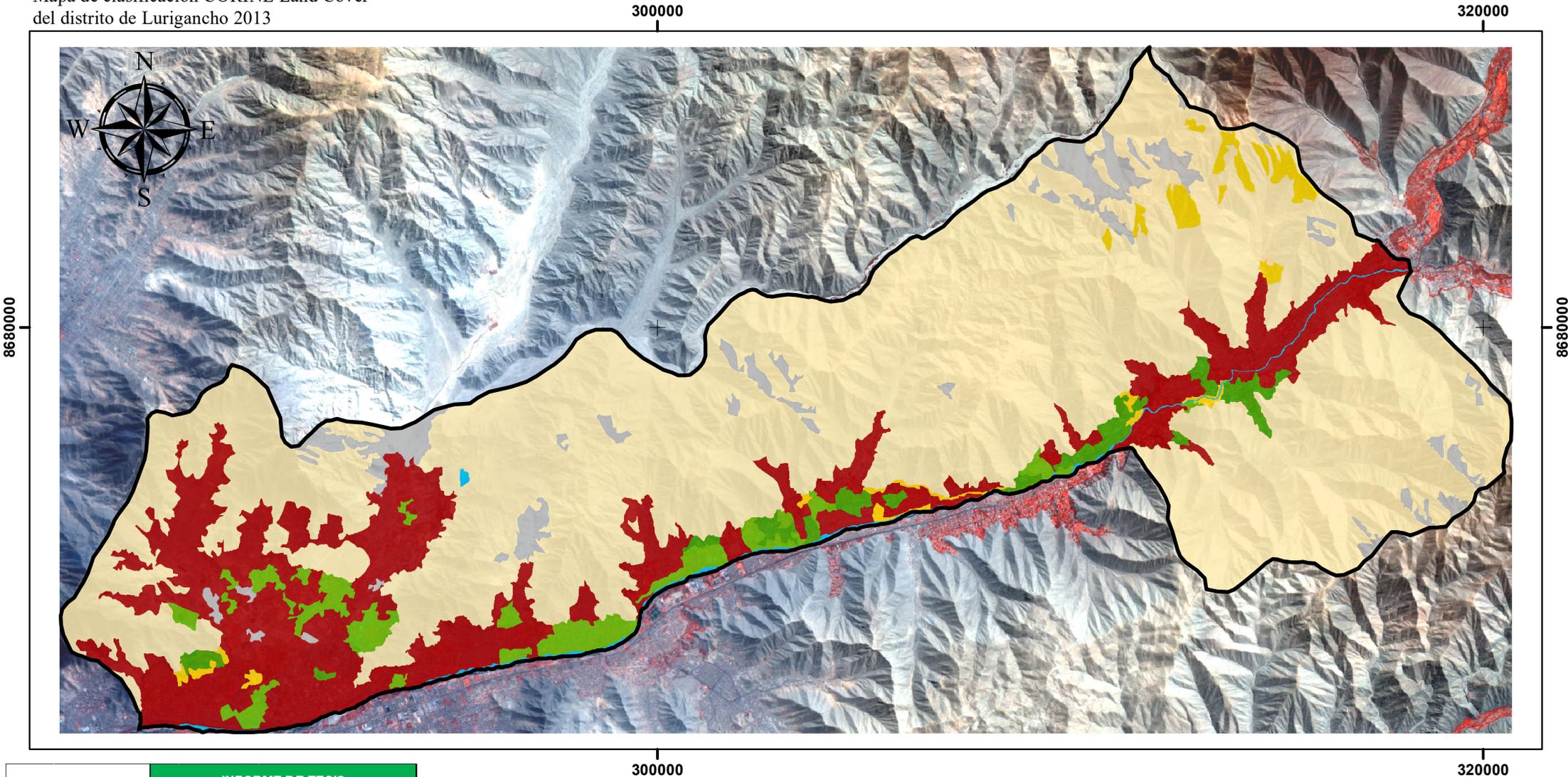


Figura 24
 Mapa de clasificación CORINE Land Cover
 del distrito de Lurigancho 2013

Mapa de Clasificación CORINE Land Cover - Lurigancho 2013



UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Clasificación CORINE Land Cover		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyección: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		

LEYENDA

Clasificación CLC 2013

■ 1.1.1 Tejido urbano continuo	■ 3.3.2. Arbustal	■ Red: Layer (Band 5:182013pansh.dat) (0.864600 Micrometers)
■ 1.4 Áreas verdes artificiales no agrícolas	■ 3.4.1 Áreas arenosas	■ Green: Layer (Band 3:182013pansh.dat) (0.561300 Micrometers)
■ 2.1 Cultivos transitorios	■ 3.4.3 Tierras desnudas	■ Blue: Layer (Band 2:182013pansh.dat) (0.482600 Micrometers)
	■ 5.1.1 Ríos	 Límite distrital

1:130,000

0 2 4 6 Kilómetros

Sistemas de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros

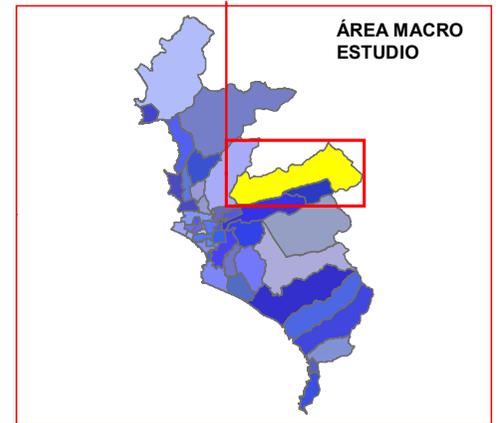


Figura 25
 Mapa de clasificación CORINE Land Cover
 del distrito de Lurigancho 2018

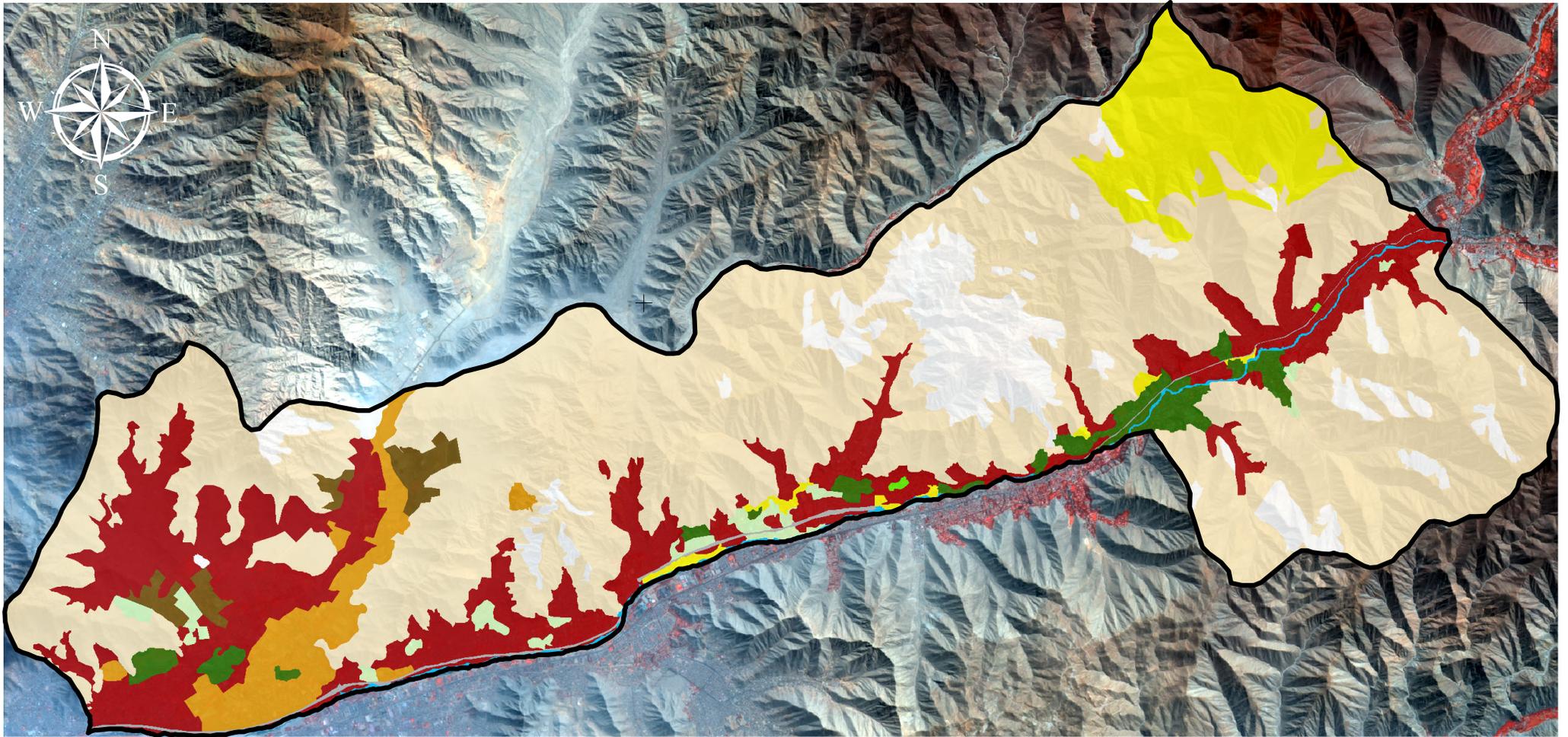
Mapa de Clasificación CORINE Land Cover - Lurigancho 2018

300000

320000

300000

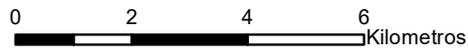
320000



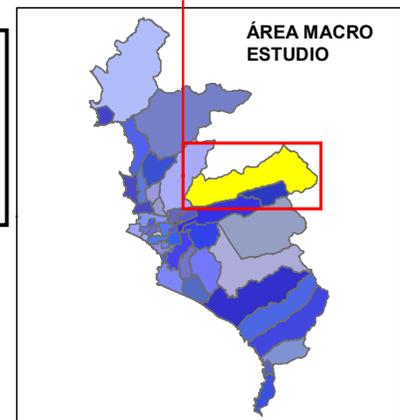
UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Clasificación CORINE Land Cover		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyección: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		

Clasificación CLC 2018		LEYENDA		IMG Landsat 8 2018	
■ 2.1 Cultivos transitorios	■ 1.4.1 Áreas verdes urbanas	■ Red: Layer (Band 5:182018pansh.dat)	■ 3.3.2. Arbustal	■ Green: Layer (Band 3:182018pansh.dat)	■ Blue: Layer (Band 2:182018pansh.dat)
■ 1.1.1 Tejido urbano continuo	■ 1.2.1. Áreas Industriales o comerciales	 Límite distrital	■ 3.4.1 Áreas arenosas		
■ 1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	■ 1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos		■ 5.1.1 Ríos		
■ 1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados			■ 3.4.3 Tierras desnudas		

1:130,000



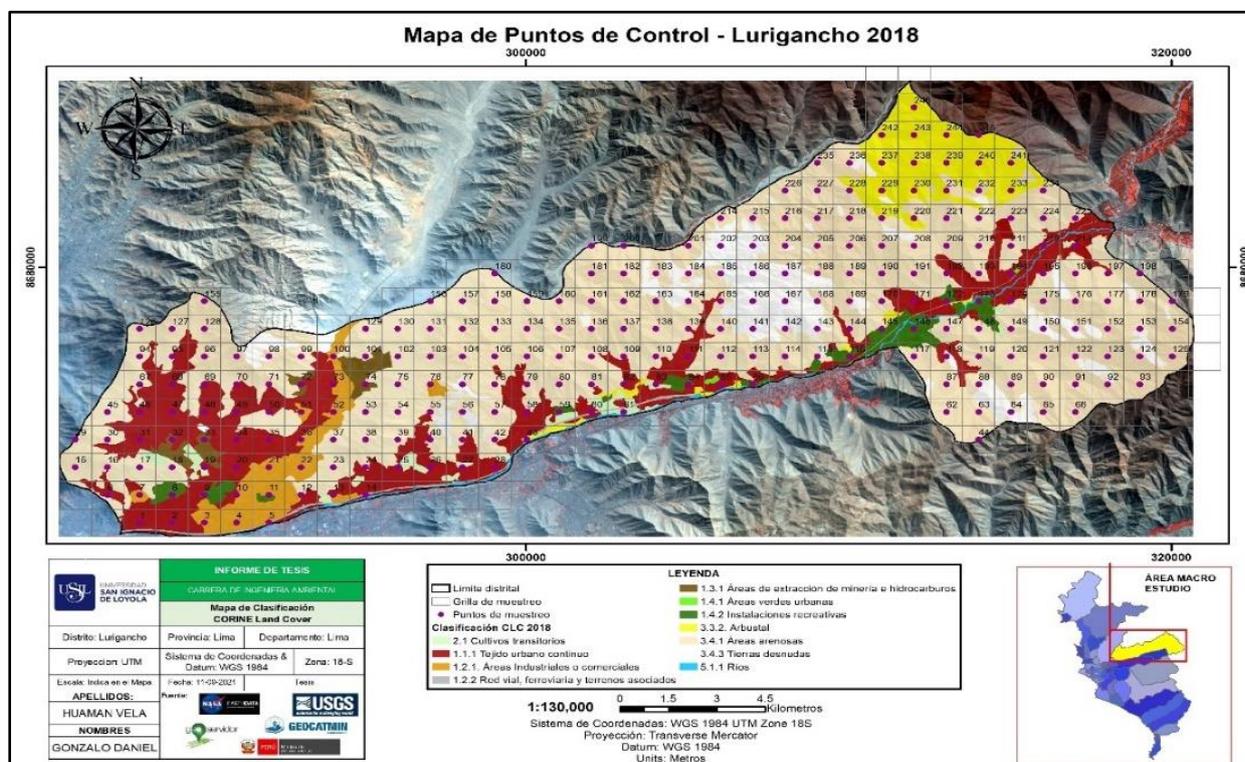
Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros



Para validar los puntos de control con mayores dudas sobre la clasificación en comparación con las imágenes satelitales de alta resolución, se presenta el mapa respectivo en la figura 26.

Figura 26

Mapa de puntos de control



Nota: Elaboración propia

Para un mayor análisis de los resultados según nivel III de la metodología CLC se detalla a continuación:

Tejido urbano continuo (1.1.1) - (Tu)

Esta categoría está conformada por edificaciones y áreas adyacentes a la infraestructura edificada como vías y superficies cubiertas artificialmente en más del 80%, vegetación y suelo desnudo representando una baja proporción del área. La superficie de la unidad debe ser mayor a 5 ha (IDEAM et al., 2008). Las áreas urbanizadas incluyen infraestructura urbana, todas aquellas áreas verdes y redes de comunicación asociadas con ella, que forman un tejido urbano (Arnillas et al., 2012). Comprende las ciudades (Chosica, Ñaña, Carapongo, Huachipa y Jicamarca) y centros poblados en la parte de baja y central del valle de Lurigancho (Figura 27). Este tipo de categoría abarca una superficie de 4142.94 ha al 2018.

Figura 27

Análisis supervisado de las escenas de tejido urbano continuo



Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Áreas Industriales o comerciales (1.2.1) – (Ai)

Comprende áreas cubiertas por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones (Arnillas et al., 2012). Son las áreas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados o estabilizados), sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales (IDEAM et al., 2008). Comprende los sectores industriales de Jicamarca y Huachipa (Empresas Dinet, Nexa, Sedapal) (Figura 28). Este tipo de categoría abarca una superficie de 876.43 ha al 2018.

Figura 28

Análisis supervisado de las escenas de áreas industriales o comerciales



Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Red vial, ferroviaria y terrenos asociados (1.2.2) – (Rv)

Comprende áreas cubiertas por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad (Arnillas et al., 2012). Esta categoría abarca espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexas. La superficie debe ser mayor o igual a una hectárea y el ancho de la vía debe ser mínimo de 25 metros para la escala 1:25:000 (IDEAM et al., 2008). Se consideró la capa de redes viales nacionales, distritales y vecinales donde principalmente se encuentra la Carretera central y la Autopista Ramiro Priale (Figura 29). Este tipo de categoría abarca una superficie de 123.11 ha al 2018.

Figura 29

Análisis supervisado de las escenas de red vial, ferroviaria y terrenos asociados



Imagen Landsat 8 - 2018

Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Áreas de extracción de minería e hidrocarburos (1.3.1) – (Amh)

Comprende las áreas donde se extraen o acumulan materiales asociados con actividades mineras e hidrocarburíferas, de construcción, producción industrial y vertimiento de residuos de diferente origen. (Incluye colas y desmontes) (Arnillas et al., 2012). Se evidencia zonas de canteras y extracción de minerales en la zona de Jicamarca (Figura 30). Este tipo de categoría abarca una superficie de 302.22 ha al 2018.

Figura 30

Análisis supervisado de las escenas de áreas de extracción de minería e hidrocarburos



Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Áreas verdes urbanas (1.4.1) – (AV)

Comprende las zonas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano, incluyendo parques urbanos y cementerios (IDEAM et al., 2008). Se evidencia áreas urbanas en la ciudad de Chosica que constituyen los principales parques distritales (Figura 31). Este tipo de categoría abarca una superficie de 10.46 ha al 2018.

Figura 31

Análisis supervisado de las escenas de áreas de áreas verdes urbanas



Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Instalaciones recreativas (1.4.2) – (Ir)

Abarca las áreas verdes localizadas dentro de zonas urbanas donde se presentan actividades recreacionales, comerciales, de conservación y amortiguación donde los diversos usos no

requieren de infraestructura construida apreciable. En general, estas áreas verdes son el resultado de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro de la ciudad (Arnillas et al., 2012). Se evidencia clubes campestres y cementerios con una vasta extensión de áreas verdes (Figura 32). Este tipo de categoría abarca una superficie de 549.27 ha al 2018.

Figura 32

Análisis supervisado de las escenas de áreas de instalaciones recreativas

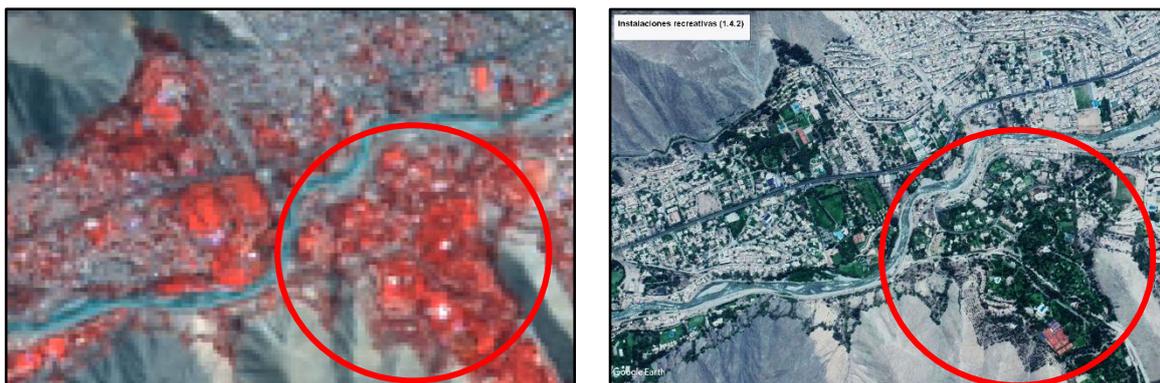


Imagen Landsat 8 - 2018

Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Cultivos transitorios (2.1) – (Ct)

La característica fundamental de esta clasificación es que después de la cosecha se requiere volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Abarca las áreas utilizadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es generalmente corto (hasta 2 años), llegando incluso a ser sólo de unos pocos meses, como por ejemplo los cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), los tubérculos (papa y yuca), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), la mayor parte de las hortalizas, algunas especies de flores de cielo abierto (Arnillas et al., 2012) (Figura 33). Esta categoría cuenta con una superficie de 286.32 ha al 2018.

Figura 33

Análisis supervisado de las escenas de áreas de cultivos transitorios



Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Arbustal (3.3.2) – (Ar)

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos (IDEAM et al., 2008). Un arbusto es una planta con una altura entre 0.5 y 2m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (Arnillas et al., 2012). Este tipo de categoría está ubicada en la parte alta del distrito de Lurigancho, por la ciudad de Chosica (Figura 34). Este tipo de categoría abarca una superficie de 1598.58 ha al 2018.

Figura 34

Análisis supervisado de las escenas de arbustal



Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Áreas arenosas naturales (3.4.1.) – (Aa)

Son terrenos constituidos principalmente por suelos arenosos y pedregosos, por lo general desprovistos de vegetación o cubiertos por una vegetación de arbustal ralo y bajo (IDEAM et al., 2008). Se evidencia las laderas de los cerros presente en todo el distrito (Figura 35). Este tipo de categoría abarca una superficie de 14419.50 ha al 2018.

Figura 35

Análisis supervisado de las escenas de áreas arenosas naturales



Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Tierras desnudas (3.4.3) – (Td)

Son las superficies de terreno carentes de vegetación o con escasa cobertura vegetal, por la ocurrencia de procesos de característica natural y antrópica (de erosión, degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas). Se consideran las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas (IDEAM et al., 2008). Este tipo de categoría abarca una superficie de 2029.54 ha al 2018 (Figura 36).

Figura 36

Análisis supervisado de las escenas de áreas tierras desnudas

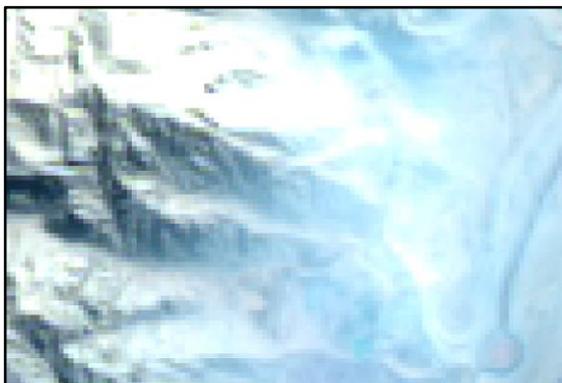


Imagen Landsat 8 - 2018



Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

Ríos (5.1.1) – (Ri)

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Se tiene en consideración a la unidad mínima cartografiable a aquellos ríos que presenten un ancho del cauce mayor o igual a 25 metros (IDEAM et al., 2008) (Figura 37). Esta categoría abarca una superficie de 170.07 ha al 2018.

Figura 37

Análisis supervisado de las escenas de ríos



Imagen Landsat 8 - 2018



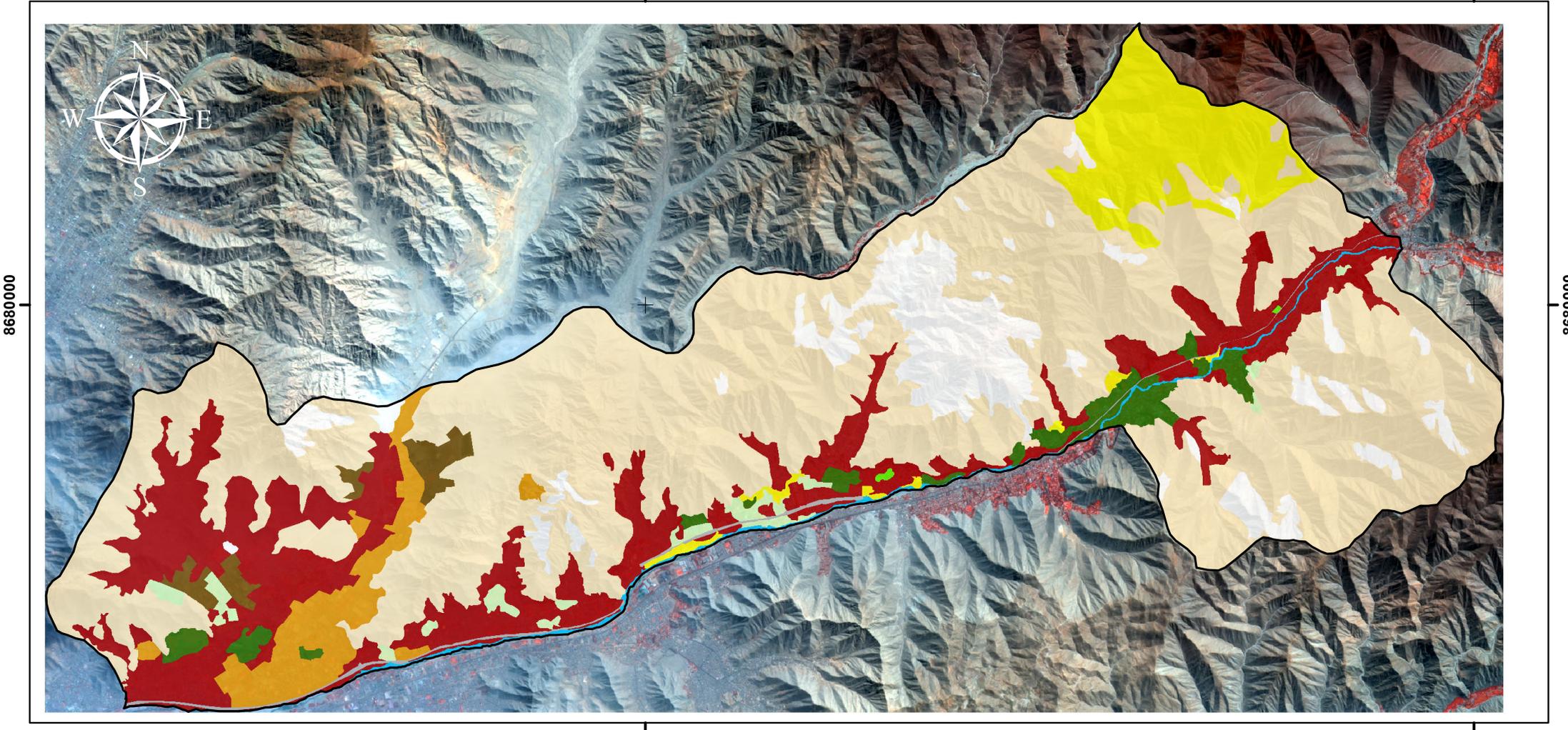
Imagen Maxar – 2018 (Google Earth)

Nota: Elaboración propia

El resultado de la clasificación actual de la cobertura de la tierra en el distrito de Lurigancho se puede apreciar en la figura 38 donde se contemplan las 11 categorías de georreferenciadas en el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 18S a una escala de 1:130 000.

Figura 38
 Clasificación actual de la cobertura de la tierra
 del distrito de Lurigancho al 2018

Mapa de Clasificación CORINE Land Cover - Lurigancho 2018



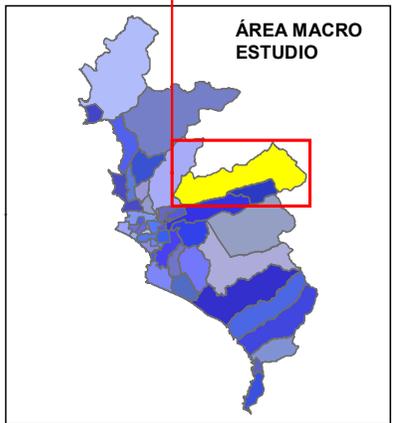
LEYENDA

Límite distrital	1.4.1 Áreas verdes urbanas
Clasificación CLC 2018	1.4.2 Instalaciones recreativas
2.1 Cultivos transitorios	3.3.2. Arbustal
1.1.1 Tejido urbano continuo	3.4.1 Áreas arenosas
1.2.1. Áreas Industriales o comerciales	3.4.3 Tierras desnudas
1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	5.1.1 Ríos
1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	

1:130,000

0 1.5 3 4.5
 Kilometros

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Units: Metros



UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Clasificación CORINE Land Cover		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyección: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 11-09-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		

Análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo en el periodo de 1986 al 2018

Del procesamiento de las imágenes satelitales, se obtuvieron los productos cartográficos de cobertura y uso de suelo para el año 1986 y 2018, donde se analizó los cambios ocurridos.

Cobertura y uso de suelo en el año 1986

Las principales categorías encontradas en mayo de 1986 se muestran en la tabla 18.

Tabla 20

Clasificación CLC en el año 1986 según niveles expresado en hectáreas

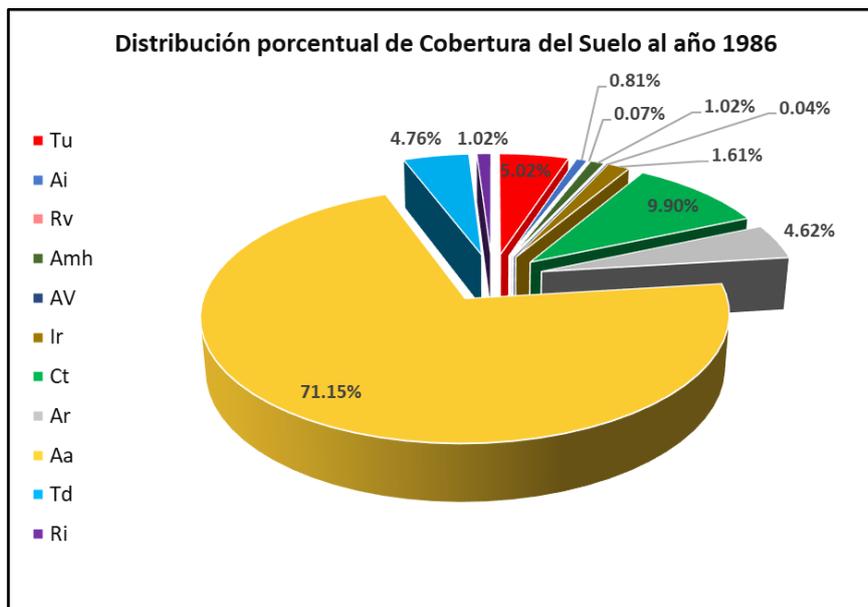
1986					
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Simbología	Área	
				ha	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano	Tu	1229.85	5.02
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas Industriales o comerciales	Ai	197.51	0.81
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Rv	17.21	0.07
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Amh	248.78	1.02
	1.4. Áreas verdes artificiales no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas	AV	9.64	0.04
		1.4.2 Instalaciones recreativas	Ir	394.48	1.61
2. áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios		Ct	2425.25	9.90
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal	Ar	1131.14	4.62
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	Aa	17438.16	71.15
	3.4. áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	1166.00	4.76
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	250.44	1.02
Total				24508.45	100.00

Nota: Elaboración propia

Según la tabla 18 se observan 11 clases de cobertura las cuales están distribuidas porcentualmente en la figura 39 donde el tejido urbano continuo (Tu) representa el 5.02% de toda el área del distrito de Lurigancho. Las áreas Industriales o comerciales (Ai) representa un 0.81%. La clase red vial, ferroviaria y terrenos asociados (Rv) representa un 0.07%. Las áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Amh) representa un 1.02%. Las áreas verdes urbanas (AV) un 0.04%. Las instalaciones recreativas (Ir) abarcan un 1.61%. Los cultivos transitorios (Ct) llegan a un 9.90%. La categoría Arbustal (Ar) abarca un 4.62%. La categoría Áreas arenosas naturales (Aa) con un 71.15%. Las Tierras desnudas (Td) un 4.76% y la categoría Ríos (Ri) un 1.02%. El gráfico final de la clasificación se puede visualizar en la figura 22.

Figura 39

Distribución porcentual de cobertura del suelo al año 1986



Nota: Elaboración propia

Matriz de confusión para el año 1986.

Se obtuvo la matriz de confusión para el año 1986, donde se calculó la fiabilidad del productor y del usuario como se muestra en la tabla 19. Este análisis de la matriz de confusión se obtiene luego de haber realizado la generalización, limpieza y validación de los puntos de control en campo.

Tabla 21

Matriz de confusión de clasificación CLC 1986

Clase real	111	121	122	131	141	142	21	332	341	343	511	Total	Exactitud del usuario	Error de comisión (class.error)
111	42	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	45	0.93333333	0.06666667
121	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	1
122	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
131	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
141	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
142	8	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	19	0.57894737	0.421052632
21	4	0	0	0	4	0	37	0	0	0	0	45	0.82222222	0.17777778
332	1	0	0	0	1	0	2	27	0	0	0	31	0.87096774	0.129032258
341	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	24	1	0
343	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	46	1	0
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Total	62	0	0	0	5	11	40	27	27	46	1	219		
Exactitud del productor	0.67741935	0	0	0	0	1	0.925	1	0.88888889	1	1			
Error de omisión	0.32258065	1	1	1	1	0	0.075	0	0.11111111	0	0			

Nota: Elaboración propia

En la columna de exactitud del usuario, se evidencia 31 áreas colocadas erróneamente con otras coberturas por tener alguna similitud espectral clasificado por el software durante el procesamiento de información y la digitalización de las zonas de

entrenamiento. En la columna de exactitud del productor, contrasta lo obtenido con lo verificado en campo donde se evidencia 31 áreas colocadas erróneamente con otras coberturas por tener alguna similitud espectral. Además, se obtuvo 188 áreas en las diagonales catalogados como las áreas de entrenamiento correctamente digitalizadas.

Índice de Kappa.

Cálculo del índice de kappa para el año 1986

Po: 0.85844749

Pe: 0.1752674

$$k = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} = \frac{0.85844749 - 0.1752674}{1 - 0.1752674} = 0.83$$

El índice de kappa obtenido fue de 0.83 y según la fuerza de concordancia corresponde a casi perfecto.

Porcentaje correctamente clasificado.

El porcentaje correctamente clasificado para el año 1986 es 85.85 %.

Cobertura y uso de suelo en el año 2018

Las principales categorías encontradas en mayo de 2018 se muestran en la tabla 20.

Tabla 22

Clasificación CLC en el año 2018 según niveles expresado en hectáreas

2018					
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Simbología	Área	
				ha	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano	Tu	4142.94	16.90
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas Industriales o comerciales	Ai	876.43	3.58
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Rv	123.11	0.50
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Amh	302.22	1.23
	1.4. Áreas verdes artificiales no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas	AV	10.46	0.04
1.4.2 Instalaciones recreativas		Ir	549.27	2.24	
2. áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios		Ct	286.32	1.17
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal	Ar	1598.58	6.52
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	Aa	14419.50	58.83
	3.4. áreas sin o con poca vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	Td	2029.54	8.28
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	170.07	0.69
Total				24508.45	100.00

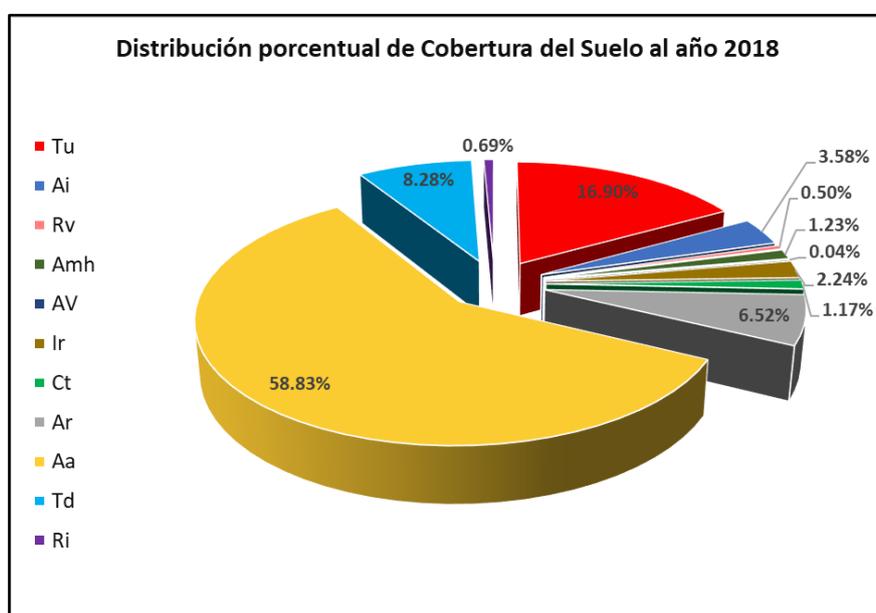
Nota: Elaboración propia

Según la tabla 20 se observan 11 clases de cobertura las cuales están distribuidas porcentualmente en la figura 40 donde el tejido urbano continuo (Tu) representa el 16.90% de toda el área del distrito de Lurigancho. Las áreas Industriales o comerciales (Ai) representan

un 3.58%. La clase red vial, ferroviaria y terrenos asociados (Rv) representa un 0.50%. Las áreas de extracción de minería e hidrocarburos (Amh) representa un 1.23%. Las áreas verdes urbanas (AV) un 0.04%. Las instalaciones recreativas (Ir) abarcan un 2.24%. Los cultivos transitorios (Ct) llegan a un 1.17%. La categoría Arbustal (Ar) abarca un 6.52%. La categoría Áreas arenosas naturales (Aa) con un 58.83%. Las Tierras desnudas (Td) un 8.28% y la categoría Ríos (Ri) un 0.69%. El gráfico final de la clasificación se puede visualizar en la figura 38.

Figura 40

Distribución porcentual de cobertura del suelo al año 2018



Nota: Elaboración propia

Matriz de confusión para el año 2018.

Se obtuvo la matriz de confusión para el año 2018, donde se calculó la fiabilidad del productor y del usuario como se muestra en la tabla 21. Este análisis de la matriz de confusión se obtiene luego de haber realizado la generalización, limpieza y validación de los puntos de control en campo.

Tabla 23*Matriz de confusión de clasificación CLC 2018*

Clase real	111	121	122	131	141	142	21	332	341	343	511	Total	Exactitud del usuario	Error de comisión (class.error)
111	51	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	52	0.98076923	0.019230769
121	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	1
122	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0
131	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	0	1
141	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0.5	0.5
142	3	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	22	0.86363636	0.136363636
21	1	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	16	0.9375	0.0625
332	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0	8	0.875	0.125
341	0	0	1	0	0	0	0	0	86	2	0	89	0.96629213	0.033707865
343	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	46	1	0
511	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Total	66	0	4	0	1	19	18	7	87	48	1	251		
Exactitud del productor	0.77272727	0	0.75	0	1	1	0.83333333	1	0.98850575	0.95833333	1			
Error de omisión	0.22727273	1	0.25	1	0	0	0.16666667	0	0.01149425	0.04166667	0			

Nota: Elaboración propia

En la columna de exactitud del usuario, se evidencia 22 áreas colocadas erróneamente con otras coberturas por tener alguna similitud espectral clasificado por el software durante el procesamiento de información y la digitalización de las zonas de entrenamiento. En la columna de exactitud del productor, contrasta lo obtenido con lo verificado en campo donde se evidencia 22 áreas colocadas erróneamente con otras coberturas por tener alguna similitud espectral. Además, se obtuvo 229 áreas en las diagonales catalogados como las áreas de entrenamiento correctamente digitalizadas.

Índice de Kappa.

Cálculo del índice de kappa para el año 2018

Po: 0.912350598

Pe: 0.224758337

$$k = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} = \frac{0.912350598 - 0.224758337}{1 - 0.224758337} = 0.89$$

El índice de kappa obtenido fue de 0.89 y según la fuerza de concordancia corresponde a casi perfecto.

Porcentaje correctamente clasificado.

El porcentaje correctamente clasificado para el año 2018 es 91.24 %

Análisis de cambio y no cambio de uso de suelo

Para obtener el análisis se evaluó la variación de los polígonos de forma general entre los años 1986 y 2018.

Tabla 24

Ganancia y pérdida de la cobertura y uso de la tierra para los años 1986 y 2018.

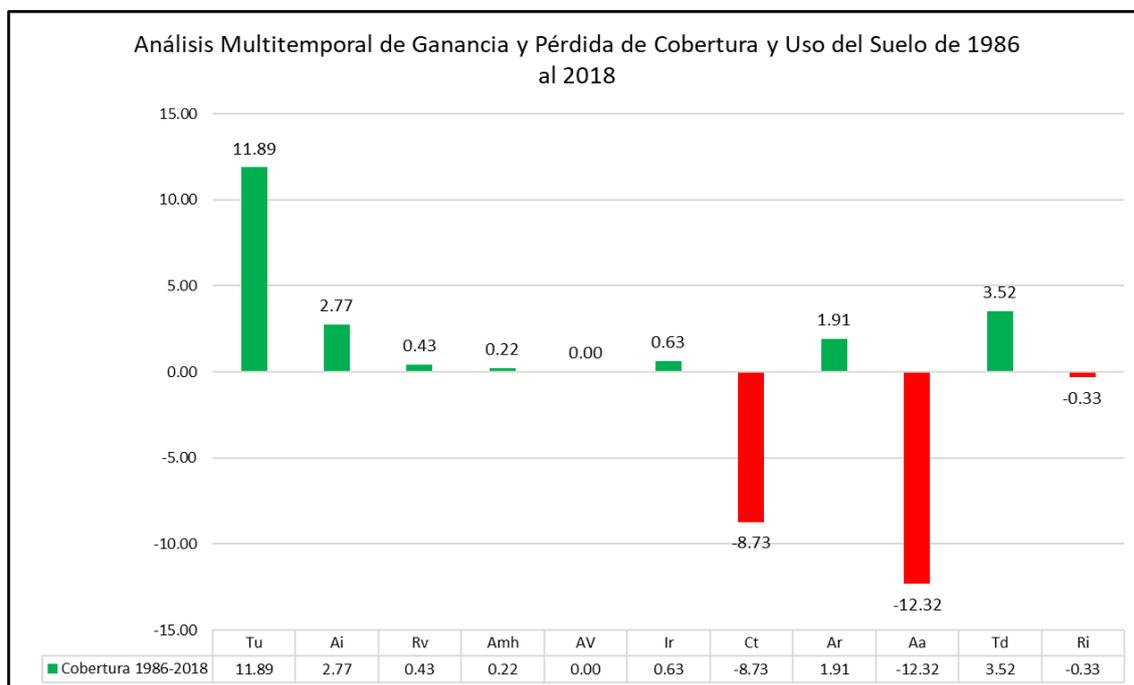
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Simbología	Cobertura 1986		Cobertura 2018		Cobertura 1986-2018	
				Área		Área		Área	
				ha	%	ha	%	ha	%
1. Áreas artificializadas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano	Tu	1229.85	5.02	4142.94	16.90	2913.09	11.89
	1.2. Áreas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas Industriales o comerciales	Ai	197.51	0.81	876.43	3.58	678.92	2.77
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	Rv	17.21	0.07	123.11	0.50	105.90	0.43
	1.3. Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	Amh	248.78	1.02	302.22	1.23	53.44	0.22
	1.4. Áreas verdes artificiales no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas	AV	9.64	0.04	10.46	0.04	0.83	0.00
1.4.2 Instalaciones recreativas		Ir	394.48	1.61	549.27	2.24	154.79	0.63	
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios		Ct	2425.25	9.90	286.32	1.17	-2138.93	-8.73
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.2. Arbustal	Ar	1131.14	4.62	1598.58	6.52	467.44	1.91
	3.4. áreas sin o con poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales	Aa	17438.16	71.15	14419.50	58.83	-3018.66	-12.32
		3.4.3. Tierras desnudas	Td	1166.00	4.76	2029.54	8.28	863.54	3.52
5. Superficies de agua	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	Ri	250.44	1.02	170.07	0.69	-80.37	-0.33
Total				24508.45	100.00	24508.45	100.00		

Nota: Elaboración propia

En la tabla 22 se describe las áreas (ha) de las coberturas según nivel y con sus respectivos porcentajes. Se determinó que las ganancias de área fueron en las categorías de tejido urbano continuo en 2913.09 ha, áreas Industriales o comerciales en 678.92 ha, red vial, ferroviaria y terrenos asociados en 105.90 ha, áreas de extracción de minería e hidrocarburos en 53.44 ha, áreas verdes urbanas en 0.83 ha, instalaciones recreativas en 154.79 ha, arbustal en 467.44 ha y tierras desnudas en 863.54 ha y las pérdidas están relacionadas con cultivos transitorios en -2138.93 ha, áreas arenosas naturales en -3018.66 ha y ríos en -80.37 ha. La representación gráfica se observa en la figura 41.

Figura 41

Análisis multitemporal de ganancia y pérdida de cobertura y uso del suelo de 1986 al 2018



Nota: Elaboración propia

Cuantificación general del cambio de cobertura

Según el análisis realizado en el presente estudio, los cambios de la cobertura y uso de la tierra en el periodo 1986-2018 representan un 42.74% como se muestra en la tabla 23.

Tabla 25

Detalle del área de cambio y no cambio en el distrito de Lurigancho

Cambio	Área (Ha)	%
No cambio	14033.54	57.26
Sí cambio	10474.91	42.74
Total	24508.45	100.00

Nota: Elaboración propia

Escenarios de crecimiento urbano generados

Como parte del procedimiento establecido por la Universidad Católica de Temuco (2014), la información obtenida de las fases de diagnóstico, fase de planificación y fase de implementación sirvieron como data para poder obtener los 3 escenarios de crecimiento urbano a partir del escenario actual del distrito de Lurigancho (figura 42). La validación de cada escenario se dio mediante la matriz de objetivos, acciones estratégicas y metas descrito en la

tabla 26. Además, se visualizan los escenarios tendencial, concertado y óptimo en las figuras 43, 44, y 45 respectivamente.

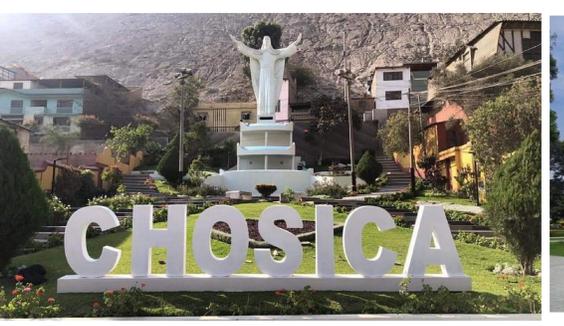
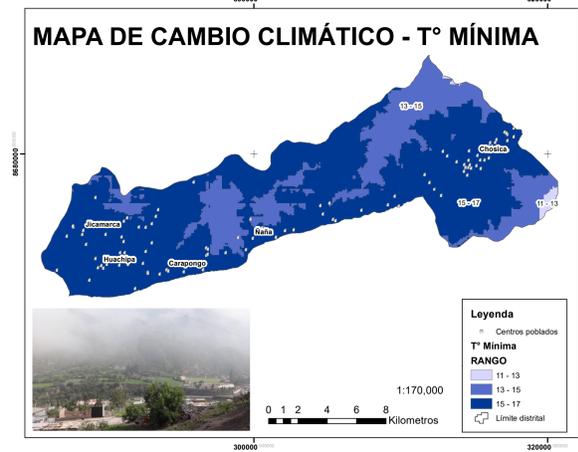
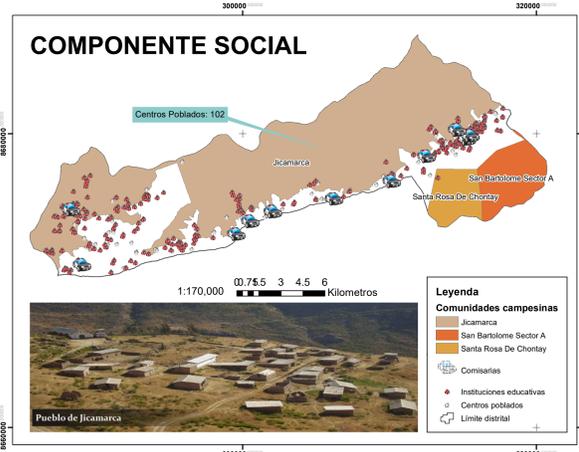
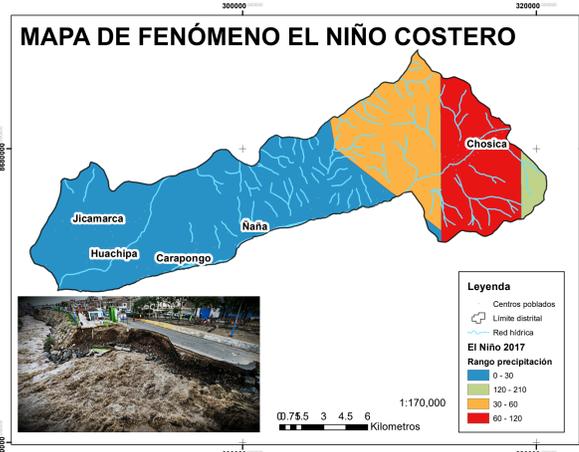
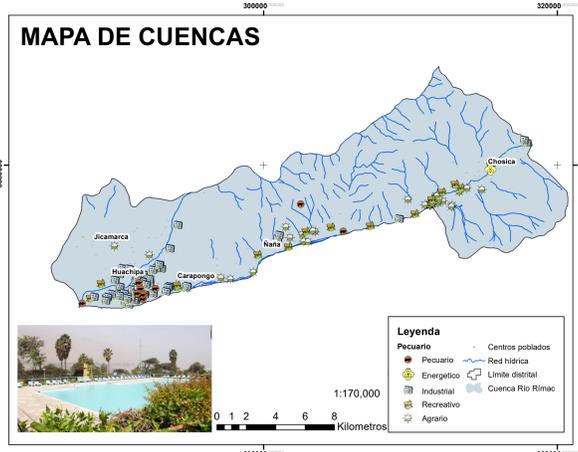
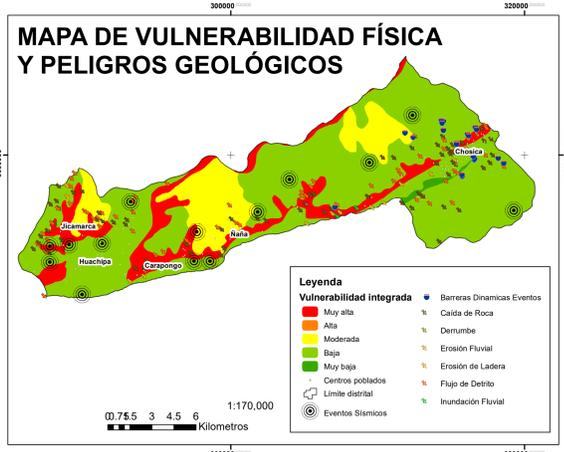
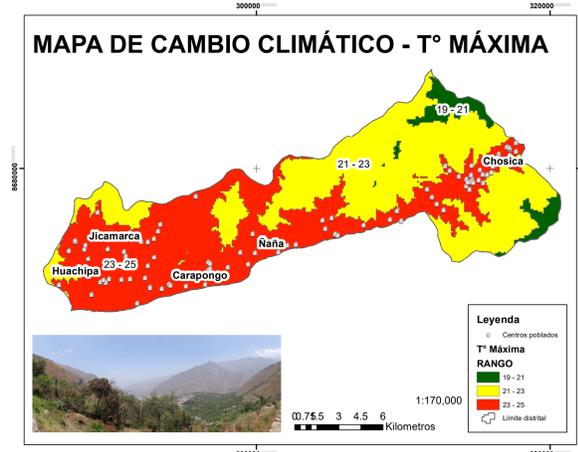
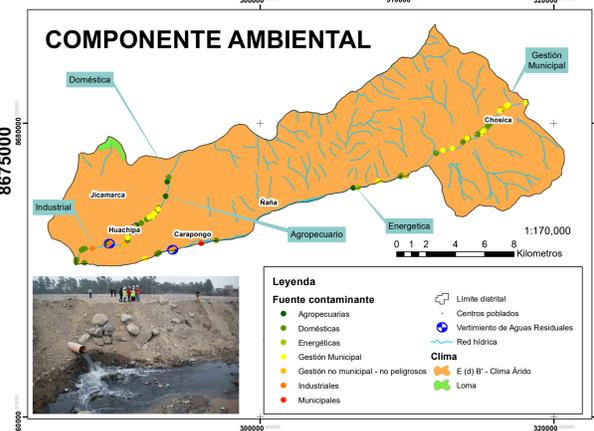
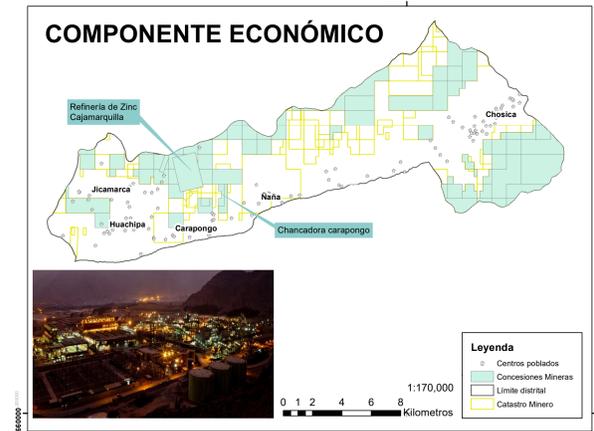
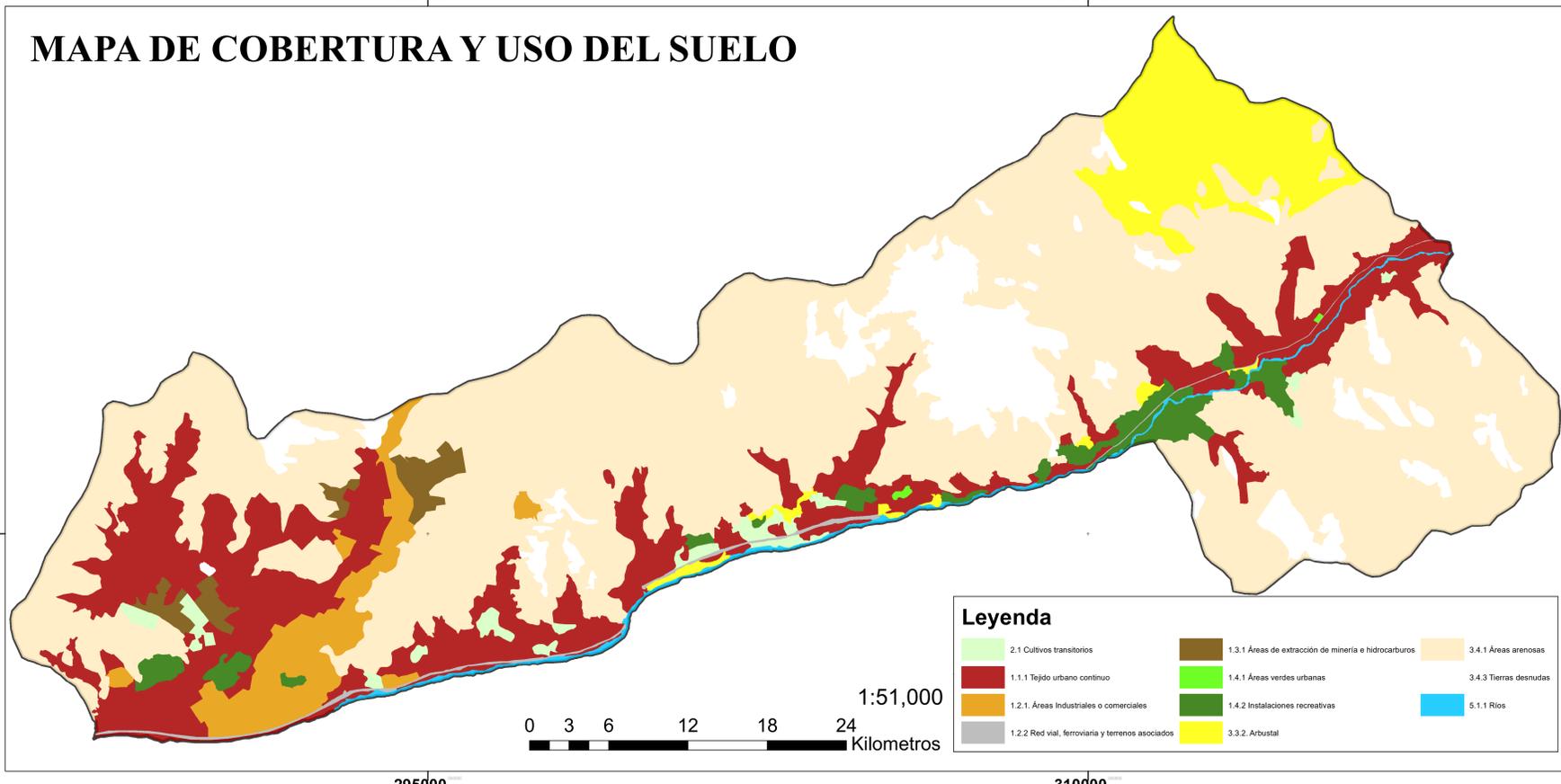
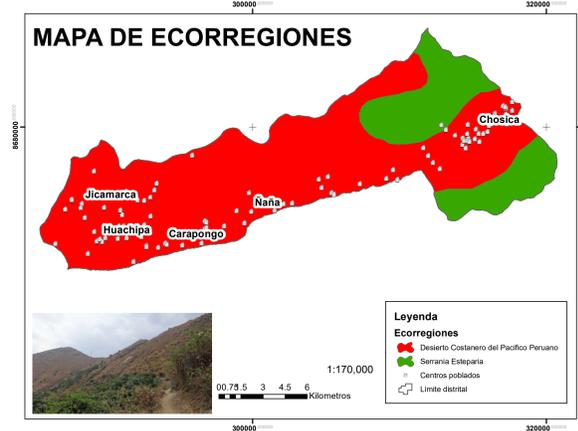
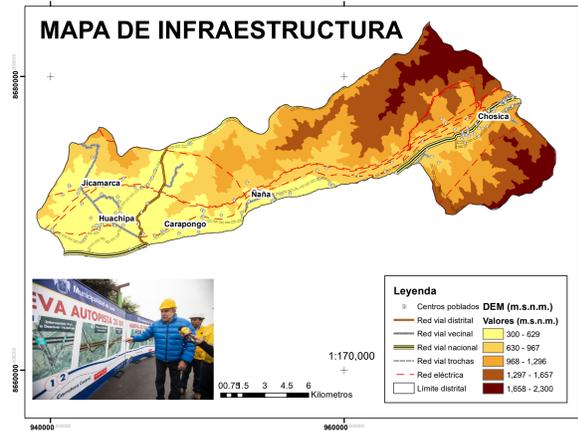
Tabla 26

Matriz de objetivos, acciones estratégicas y metas por escenario

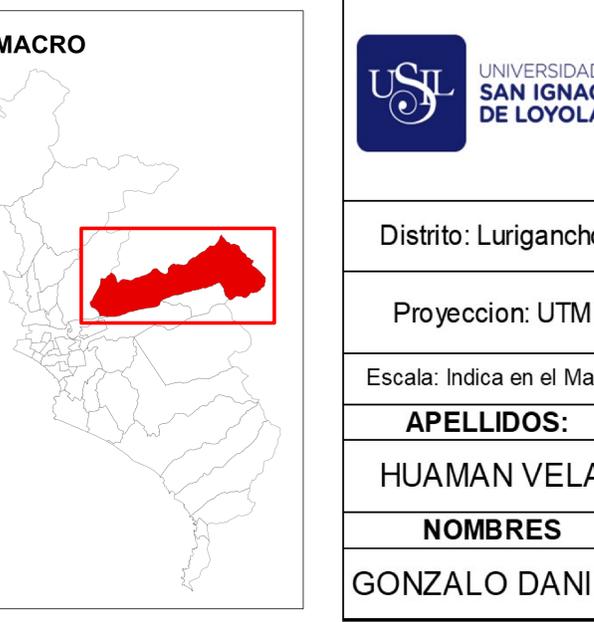
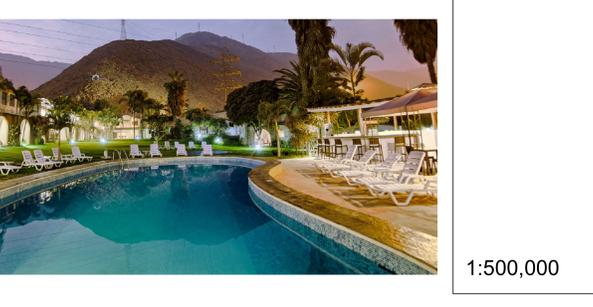
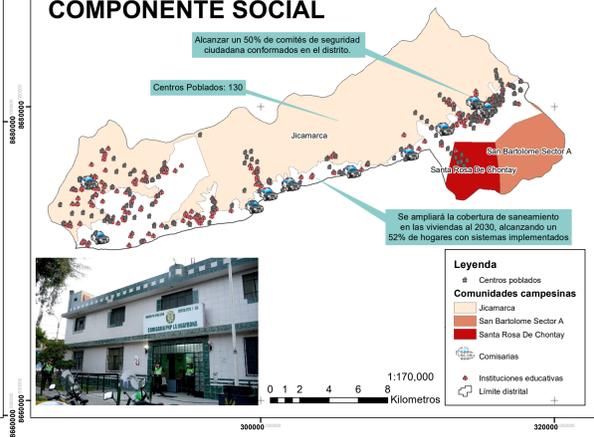
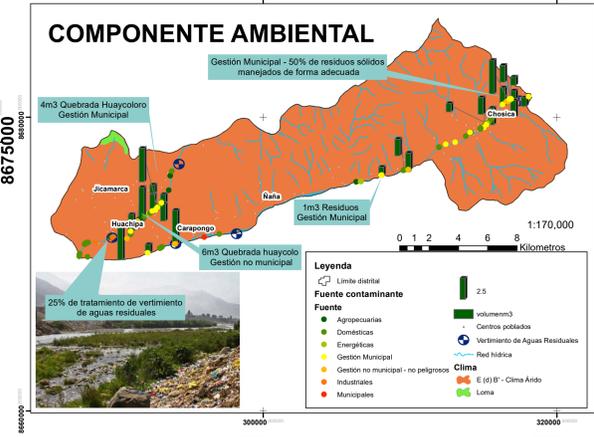
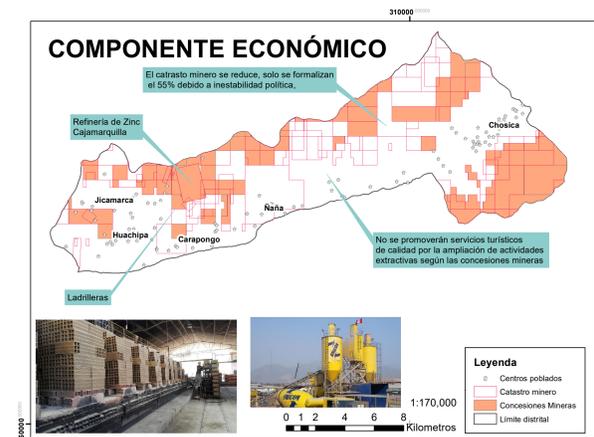
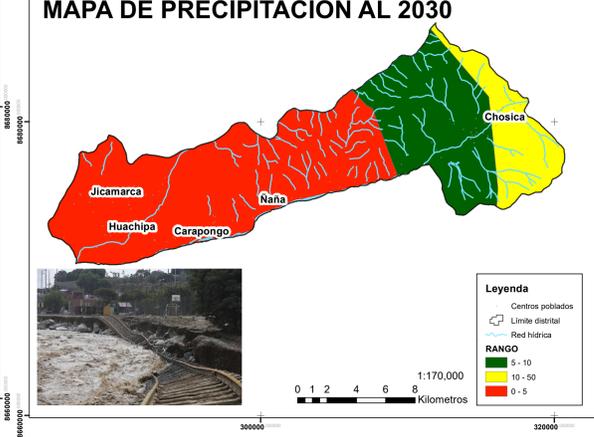
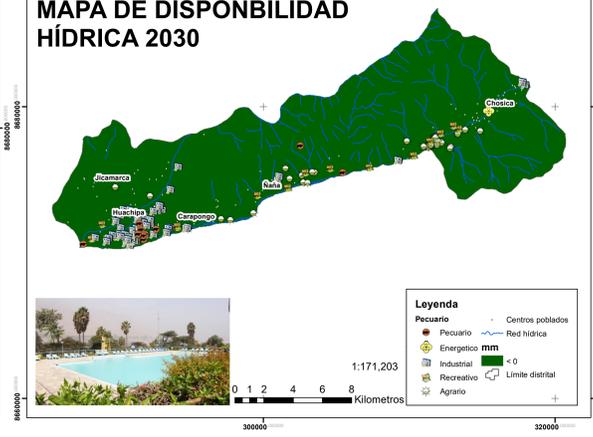
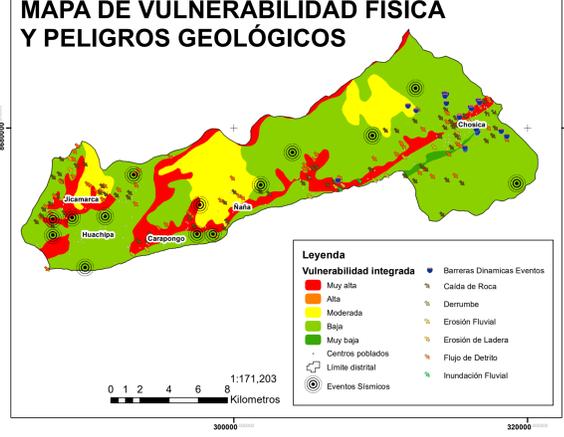
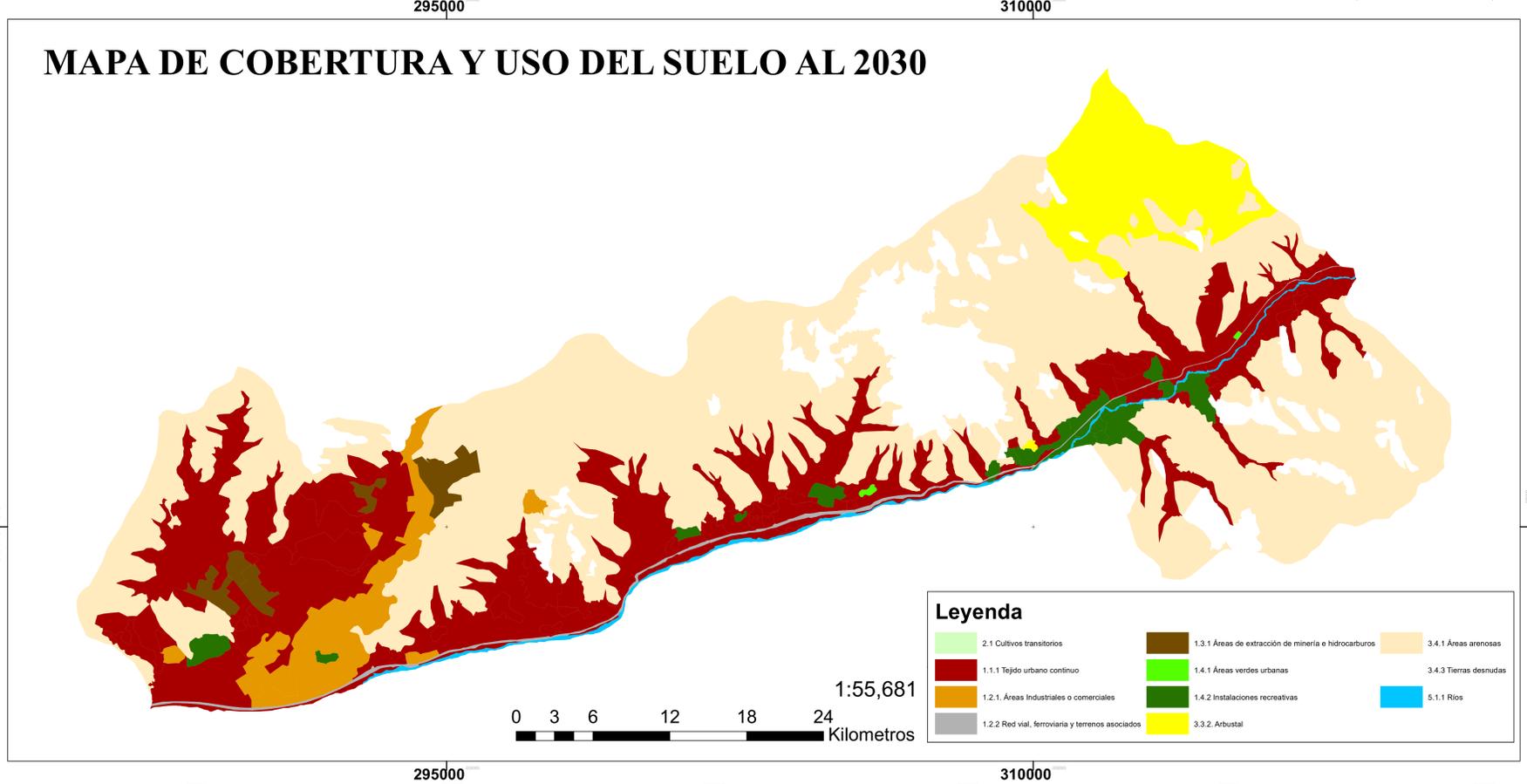
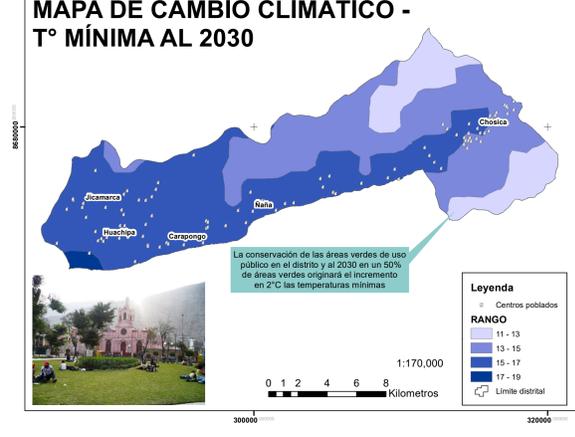
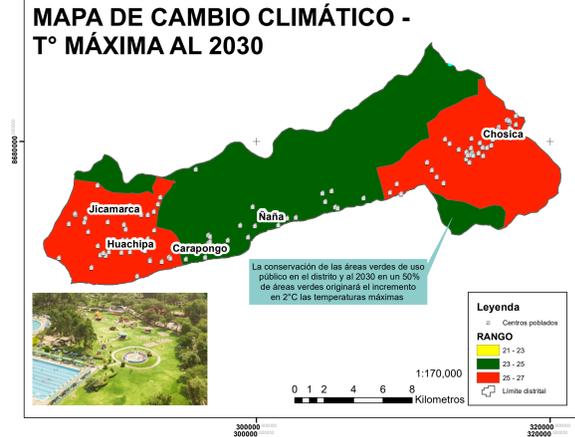
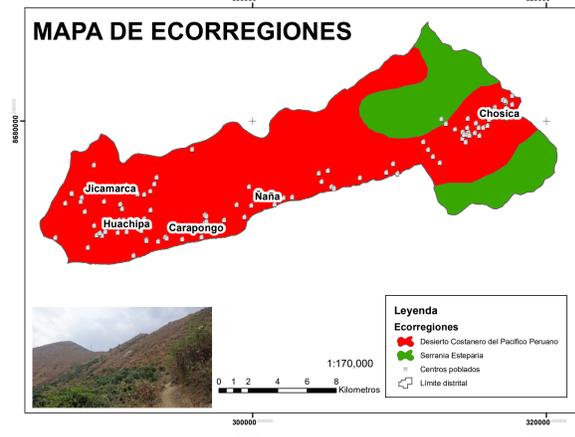
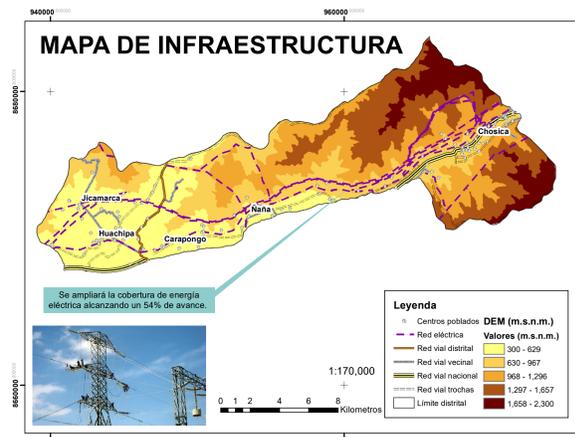
Subsistema	Objetivo Estratégico/Acciones estratégicas	Indicador	Línea Base	Metas											
				2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027 (Concertado)	2028	2029	2030 (Óptimo)
Económico	Objetivo Estratégico 1: incrementar la competitividad en el distrito	% de la población con ingresos menores a S/900 per cápita	64.8% (2016) INEI	84.8%	62%	60%	58%	56%	54%	52%	50%	48%	46%	44%	40%
	AE1.1 Promover la inversión privada en el distrito	número de empresas afincadas en el distrito	10793 (2014) INEI	11200	11500	12000	12500	13000	13500	14000	14500	15000	16000	16500	17000
	AE1.2 Promover servicios turístico de calidad en el distrito	% de la población ocupada en la prestación de servicios turísticos	8% (2016) INEI	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%
	AE1.3 Promover la formalización de empresas en el distrito	% de empresas formalizadas	30% (2018) MDL	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%
Económico	Objetivo Estratégico 2: Fortalecer la gobernanza territorial en el distrito	% de percepción de la transparencia de la municipalidad de chosica en el uso de recursos públicos	6.32% (2017) CIUDAD NUESTRA	6.5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
	AE2.1 Fomentar la participación de la población en los procesos de concertación del distrito	% de la población que participa en los procesos de concertación	10% (2018) MDL	15%	17%	20%	22%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	AE2.1 Fortalecer los espacios de participación ciudadana en el distrito	número de reuniones realizadas con participación de los vecinos	20% (2018) MDL	30%	30%	30%	40%	40%	40%	50%	50%	50%	60%	60%	60%
	AE2.1 Fortalecer el capital social en el distrito	% de organizaciones sociales registradas en el distrito	30% (2016) MDL	40%	45%	50%	55%	55%	60%	60%	65%	65%	65%	70%	70%
Ambiental	Objetivo Estratégico 3: Mejorar la calidad ambiental en el distrito	% de contaminación ambiental en el distrito	60% (2016) INEI	60%	57%	55%	52%	50%	48%	45%	42%	38%	35%	32%	30%
	AE3.1 Implementar mecanismos de gestión de residuos sólidos en el distrito	% de residuos sólidos manejados de forma adecuada	5% (2018) MDL	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	85%	90%	100%
	AE3.2 Fomentar el mantenimiento y conservación de las áreas verdes de uso público en el distrito	% de áreas verdes en estado óptimo de mantenimiento en el distrito	20% (2018) MDL	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%
	AE3.3 Controlar los vertimientos de aguas residuales al Río Rímac	% de vertimientos líquidos tratados que llegan al cauce del río rímac	0% (2018) ANA	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%
Ambiental	Objetivo Estratégico 4: Reducir los niveles de vulnerabilidad y sus medios de vida ante riesgos de desastres en el distrito	% de población en condición de riesgo ante desastres	45% (2016) INDECI	45%	40%	40%	35%	35%	35%	30%	30%	30%	20%	20%	15%
	AE4.1 Implementar el ordenamiento territorial distrital	% instrumentos de ordenamiento territorial del distrito aprobados	0% (2018) MDL	5%	10%	20%	40%	50%	60%	65%	70%	80%	85%	90%	100%
	AE4.2 Fortalecer el sistema de prevención ante desastres en el distrito	% de la población organizada para enfrentar los desastres	10% (2018) MDL	20%	20%	30%	30%	40%	40%	50%	50%	60%	60%	70%	70%
	AE4.3 Implementar la capacidad instalada para la preparación y respuesta frente a emergencias y desastres en el distrito	% de capacidad instalada frente a desastres en el distrito	20% (2018) MDL	20%	20%	30%	30%	40%	40%	50%	50%	60%	60%	70%	70%

	Objetivo Estratégico 5: Mejorar las condiciones de habitabilidad en el distrito	n° de viviendas con acceso a servicios básicos	puesto 54 a nivel nacional - 2013 PNUD	puesto	puesto											
				52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	
Social	AE5.1 Mejorar la calidad del agua para consumo humano en el distrito	% de hogares con acceso a agua potable	58% (2018) INEI	58%	60%	62%	64%	66%	68%	70%	72%	74%	76%	78%	80%	
	AE5.2 Ampliar la cobertura de saneamiento en las viviendas del distrito	% de hogares con sistemas de saneamiento implementado	40% (2018) MDL	42%	44%	46%	48%	50%	52%	54%	56%	58%	60%	62%	64%	
	AE5.3 Ampliar la cobertura de energía eléctrica en el distrito	% de la población con servicio de energía eléctrica	45% (2017) Luz del sur	46%	47%	48%	50%	52%	54%	56%	58%	60%	60%	62%	64%	
Social	Objetivo Estratégico 6: Fortalecer la seguridad ciudadana en el distrito	% de personas que se sienten inseguras en el distrito	89.2% (2016) CODISEC	85%	83%	82%	80%	78%	76%	74%	72%	70%	68%	60%	58%	
	AE6.1 Implementar el plan local de seguridad ciudadana de manera óptima en el distrito	% implementación del plan local de seguridad ciudadana del distrito	10% (2018) CODISEC	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	80%	
	AE6.2 Implementar el programa de seguridad ciudadana vecinal de manera focalizada en el distrito	% de comités de seguridad ciudadana conformados en el distrito	10% (2018) CODISEC	12%	15%	20%	30%	40%	50%	55%	60%	65%	70%	80%	85%	
	AE6.3 Articular a los actores involucrados en la prestación del servicio de seguridad ciudadana en el distrito	número de casos de violencia familiar reportados en el distrito	100 (2017) CODISEC	175	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	

Nota: Adaptado del “Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lurigancho 2019-2030” por Municipalidad de Lurigancho, 2018, p.27.



UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA	INFORME DE TESIS	
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
Mapa de Escenario Actual		
Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyeccion: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 15-10-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente:	
HUAMAN VELA		
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		



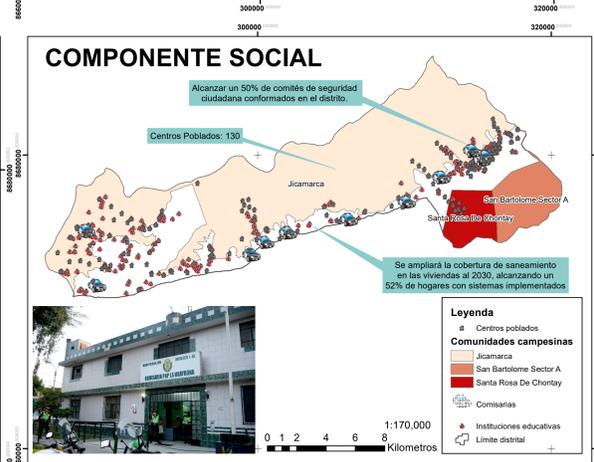
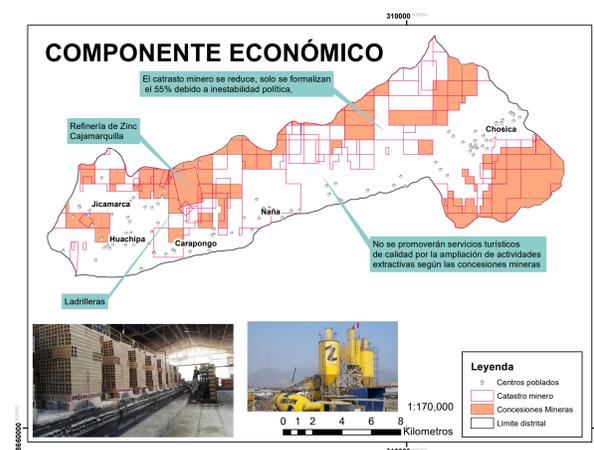
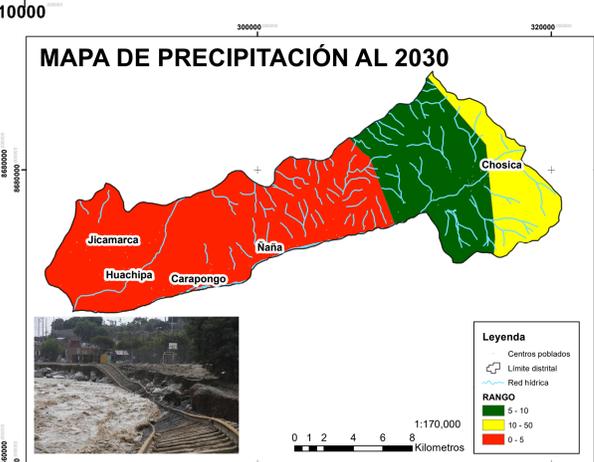
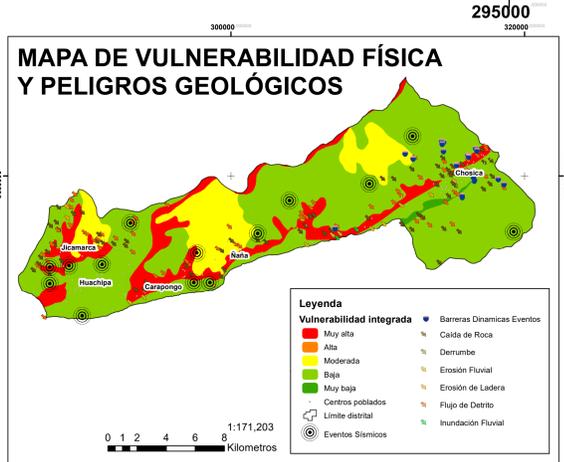
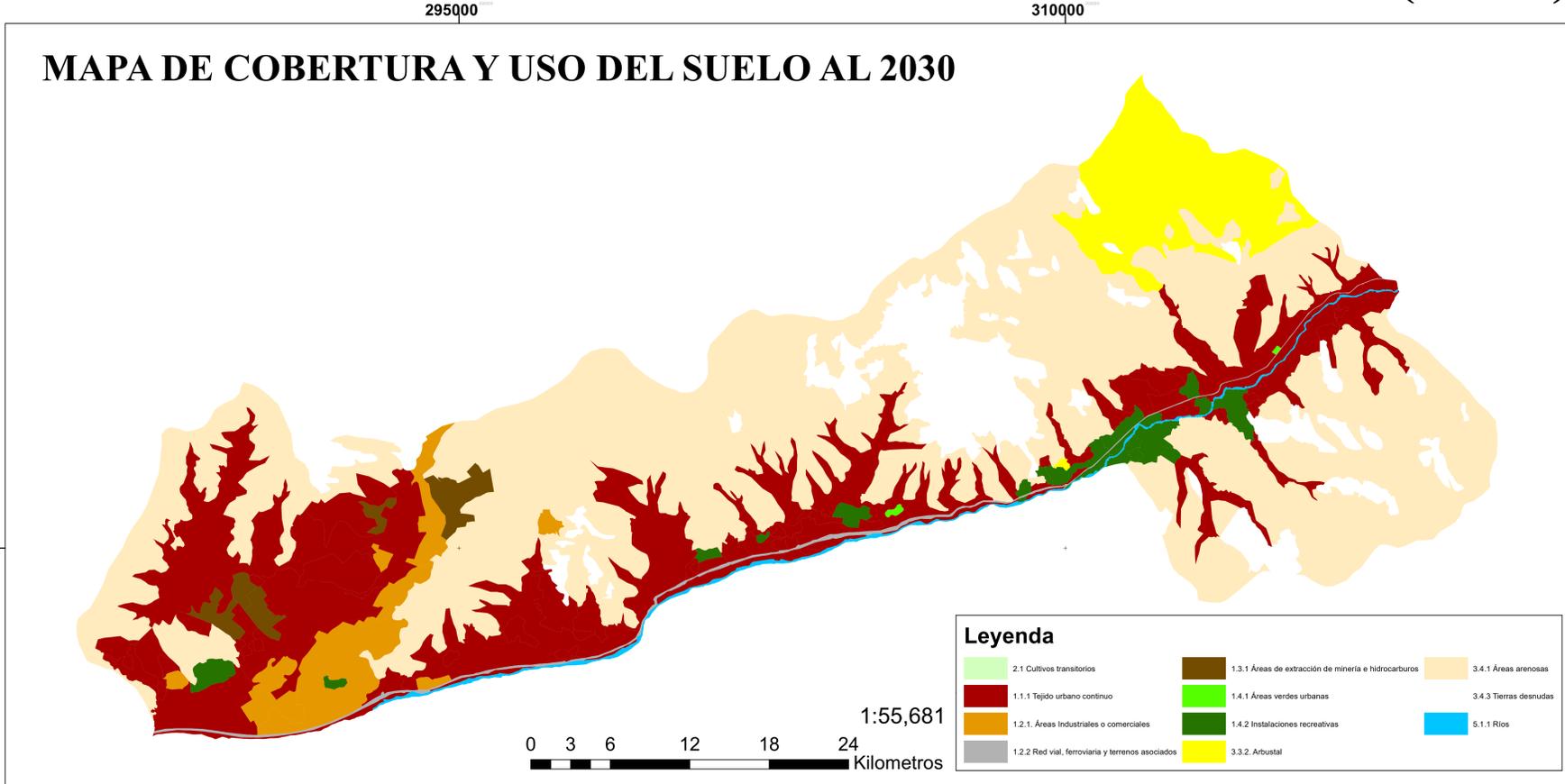
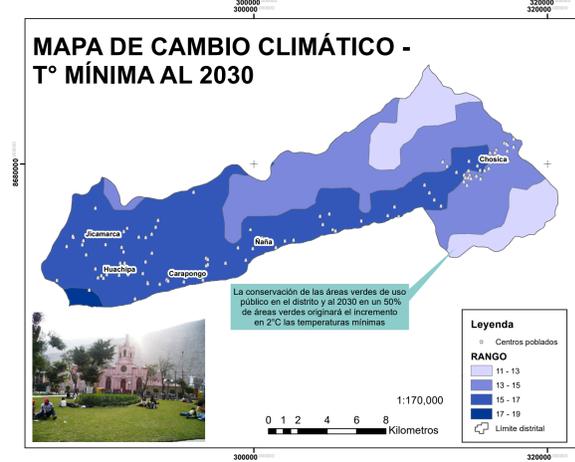
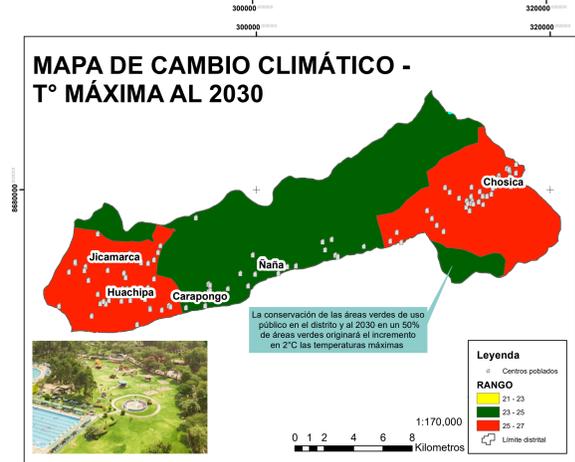
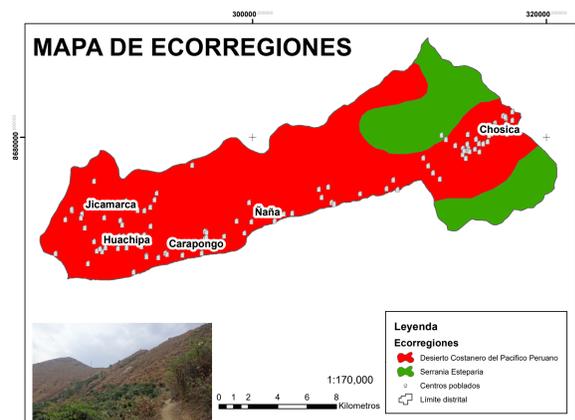
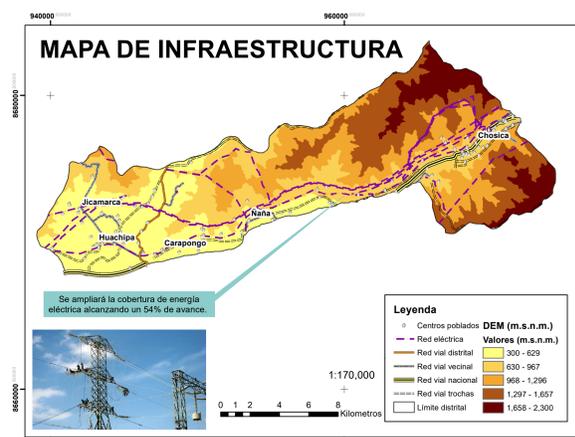
USI UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

INFORME DE TESIS

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Mapa de Escenario Tendencial

Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyeccion: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	Zona: 18-S
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 15-10-2021	Tesis
APELLIDOS:	Fuente: NASA EARTHDATA, USGS science for a changing world, geoservidor, GEOCATMIN INCEMNET	
HUAMAN VELA	PERÚ Ministerio del Ambiente	
NOMBRES		
GONZALO DANIEL		





UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

INFORME DE TESIS

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Mapa de Escenario Concertado

Distrito: Lurigancho	Provincia: Lima	Departamento: Lima
Proyeccion: UTM	Sistema de Coordenadas & Datum: WGS 1984	
Escala: Indica en el Mapa	Fecha: 15-10-2021	Zona: 18-S
Tesis		
Fuente:		
 		
 		
 		

APELLIDOS:

HUAMAN VELA

NOMBRES

GONZALO DANIEL

DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación denominado “Escenarios de crecimiento urbano mediante análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de suelo del distrito de Lurigancho – Lima – Perú” se siguieron los pasos establecidos por la metodología CLC adaptada para el Perú, donde en relación con las variables de estudio, el procedimiento y los resultados obtenidos presentan similitudes o diferencias con los trabajos de diversos investigadores.

Según diversos estudios sobre cobertura de suelos llevado a cabo entre 1990 y 2006, la ocupación del suelo ha superado los 1000 km² al año, ocupando cada año una superficie más grande que la ciudad de Berlín y adicionalmente las zonas urbanas crecieron un 9% (Comisión Europea, 2013). Entre el 2011 y 2050, la población mundial se espera que incremente de 7 billones a 9.3 billones (UN DESA, 2014) ocasionando un alto impacto en el CUS. En los países en vías de desarrollo las zonas urbanas están proyectadas a incrementar hasta 1,200,000 km² al 2050 de 300,000 km² estimados en el 2000 (Seto et al., 2012) ocasionando una reducción significativa de las áreas agrícolas (Li et al., 2018). Según las Naciones Unidas, 79.8% de la población de Latinoamérica vive en áreas urbanas y se proyecta que al 2050 existirá un incremento al 86.2% originando un grado de urbanización superior al 54% en los países de Brasil, Argentina y México (FAO; ITPS, 2015). Es por ello, que la incipiente planificación urbana y el incumplimiento de las legislaciones del uso del suelo ocasionarán la pérdida de suelos fértiles y el incremento de la degradación (García & Pérez, 2016). En el presente trabajo de investigación se obtuvo resultados similares; ya que, se generó un incremento de 11.89% en el tejido urbano, aumentando 2913.09 ha la cobertura del suelo en zonas urbanas en el periodo de 1986 – 2018. Además, la población del distrito es netamente urbana (INEI, 2018) sumando un total de 240,814 al 2017 y con una proyección estimada de 398,760 habitantes al 2030, lo cual se alinea con las estimaciones a futuro descritas líneas arriba.

De acuerdo con los resultados, se tiene como objetivo general analizar la evolución del cambio de cobertura y uso del suelo significativo en el distrito de Lurigancho durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018, siguiendo la metodología CLC adaptada para el Perú la cual se compara con los resultados de Niño (2020) quien realizó un análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos para la determinación del cambio de uso de suelo en el municipio de San Francisco de Sales, Cundinamarca (Colombia) entre los años 1988 y 2018 con la metodología CLC adaptada para Colombia y obtuvo entre los cambios más significativos

el incremento de los territorios artificializados (tejido urbano discontinuo y zonas industriales). Además, Muñoz (2018) quien analizó los cambios de cobertura y uso de la tierra mediante imágenes satelitales obtuvo resultados significativos donde se analizó la tendencia del cambio de cobertura y uso de la tierra en el distrito de Jose Manuel Quiroz, Cajamarca y Witting (2019) indica que la metodología aplicada en el distrito de Codo del Pozuzo, Huánuco, también permite dar un panorama sobre la transición significativa de los procesos de cambio de cobertura y uso de suelo en el periodo de 1990 y 2016.

Primer objetivo específico

Considerando el primer objetivo específico del presente trabajo de investigación, como la identificación de las herramientas óptimas para determinar la variación de cobertura y uso del suelo (CUS) en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018, se usó la metodología CLC adaptada para el Perú la cual de manera óptima permitió obtener 11 clase de suelo para el año 2018. Esta metodología también fue utilizada por Gamarra (2017) concluyendo que muestra resultados verídicos para la clasificación de las imágenes satelitales mediante el algoritmo Random Forest, pudiendo así obtener 13 clases para el año 2016. Además, Orihuela (2019) considera una herramienta óptima la metodología CLC utilizada para poder diferenciar entre coberturas del uso de suelo, permitiendo así una segmentación y clasificación adecuada con 13 clases de suelo al año 2018. Por otro lado, Niño (2020) usó la metodología CCL adaptada para Colombia la cual le permitió identificar espacialmente la distribución de la cobertura de los suelos contando con 13 de clases para el año 2018. Como resultado del primer objetivo se obtuvo que la metodología CLC y los software: ArcGIS, Envi y R Studio; son herramientas óptimas para determinar el CUS, sin embargo, Sikken (2011) difiere; ya que, indica que la metodología CLC de Europa cuenta con un área de mapeo mínimo de 5 hectáreas y permite que varios cambios pequeños del CUS no sean identificados. Sikken (2011) comparó la metodología CLC con la clasificación de suelo del IPCC (5 clases) para el análisis en la provincia de Drenthe en el periodo de 1989 – 2006 y buscó cuales serían las 4 soluciones (Google Maps, Google Earth, ArcGIS API y OpenLayers) para mejorar una clasificación del suelo mediante la Información Geográfica Voluntaria (VGI) concluyendo que OpenLayers cumple mejor con lo especificado por ser una alternativa de tecnología abierta (código y estándares abiertos) y de bajo costo de inversión (libre de costo con tecnología HTML y CSS), lo cual difiere con los resultados del presente trabajo de investigación que se optó por la herramienta ArcGIS como principal plataforma de análisis.

Segundo objetivo específico

Considerando el segundo objetivo específico en el presente trabajo de investigación, se pudo determinar el área de cambio de cobertura y uso del suelo ocasionado por las actividades antropogénicas en el distrito de Lurigancho, durante el período comprendido entre los años 1986 y 2018. Se analizaron 6 clases de suelos correspondiente a áreas artificializadas donde el tejido urbano como parte de la expansión de actividades antropogénicas representa el mayor porcentaje de cambio de uso de suelo (11.89%). Orihuela (2019) indica que la categoría con mayor predominancia es el tejido urbano continuo con 3.35% ya que existe la mayor cantidad de población; sin embargo, Muñoz (2018) obtuvo un mayor cambio de porcentaje en en la categoría de áreas agrícolas, donde los cultivos transitorios incrementaron en un 10.93% en comparación de las áreas artificializadas (tejido urbano continuo) con un 0.15%. Por otro lado, Niño (2020) sí determino cambios significativos para los territorios artificializados (tejido urbano continuo, discontinuo, zonas industriales, zonas de extracción minera) obteniendo un incremento de más del 300% de 1988 a 2018 (27 ha a 134 ha). Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se alinean con lo obtenido por otros autores porque se evidencia incrementos en las coberturas de tejido urbano.

Por el contrario, Alvarado (2019) determinó variaciones en el CUS en el período de 2015 a 2018 y analizó tendencias a corto y mediano plazo enfocado a los tipos cultivos presentes mediante clasificación supervisada con Random Forest pero no analizó los cambios originados por actividades antropogénicas en la Reserva Ecológica Manglares Churute y sus alrededores, lo cual difiere con los resultados del presente trabajo de investigación. Además, si bien García y Pérez (2016) no utilizaron la metodología CLC para cuantificar el suelo sellado del Municipio de Madrid entre los años 1984 y 2013, realizaron un análisis mediante clasificación semiautomática con el índice de edificaciones (NDBI), el cual es un buen indicador para encontrar suelo mal conservado que incluye los que han desaparecido por la expansión urbana y los que han sido altamente degradados y no hay edificaciones. En el presente trabajo de investigación no se utilizó el índice NDBI pero sí, el índice NDVI como parte del procesamiento de imágenes satelitales. Así mismo García y Pérez (2016) obtuvieron una clasificación del 86% de confiabilidad y determinaron que en los últimos 30 años, el sellado del suelo casi se ha duplicado pasando de 14.67% a 23.75% en el Municipio de Madrid. Esta metodología también permitiría poder cuantificar el sellado del suelo y cambios de cobertura a nivel distrital, considerando una metodología replicable para futuros estudios. A pesar que García y Pérez (2016) utilizaron otra metodología, los resultados del sellado del suelo son

similares a lo obtenido en el presente trabajo de investigación donde incrementó el tejido urbano del 5.02% al 16.90% sobre el territorio del distrito de Lurigancho.

Tercer objetivo específico

Considerando el tercer objetivo específico en el presente trabajo de investigación, se realizó el pronóstico de escenarios de crecimiento urbano y se obtuvo el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho al año 2030, con 3 escenarios de crecimiento urbano (tendencial, concertado y óptimo) donde se puede interpretar los componentes ambientales, sociales y económicos según el cambio de cobertura y uso de suelo. La Universidad Católica de Temuco (2014) generó 3 escenarios de crecimiento urbano a futuro de acuerdo a 7 temáticas relevantes (infraestructura y servicios de transporte, equipamientos y servicios para el desarrollo, distribución poblacional, recursos naturales, actividades productivas, normativa territorial y producción energética) y subsistemas a describir para cada escenario de planificación a diferencia del presente informe de tesis donde se considera 3 subsistemas generales (ambiental, social y económico). Por otro lado, Perez (2021) realizó 3 proyecciones a futuro con 2 escenarios en el 2037 mediante el módulo Land Change Modeler del software IDRISI Selva (recomendado por el IPCC) para estimar la cobertura del uso de suelo del Santuario Histórico Bosque de Pomac y su zona de amortiguamiento donde obtuvo porcentajes altos de deforestación de bosques secos que se contaba en el año 2001, lo cual hubiera sido una herramienta útil para el presente informe. Los resultados obtenidos en esta investigación están alineados a la metodología de análisis prospectivos realizada por CEPLAN (2020), quienes generaron un listado de tendencias nacionales que abarcan 5 ámbitos mediante el análisis STEEP: social, tecnológico, económico, ecológico/ambiental y político, lo cual contribuye a la toma de decisiones a nivel territorial. Estos resultados son muy similares a los obtenidos porque siguen un mismo objetivo que es generar propuestas de ordenamiento territorial donde intervienen diversos factores en el CUS para la generación de escenarios de crecimiento.

Factores naturales

Actualmente en el distrito Lurigancho existen eventos naturales como huacos y deslizamientos de tierras que han afectado la cobertura del suelo durante los últimos 40 años. El distrito ha pasado por los efectos del niño en los años 1982-1983, niño 1997-1998 y el fenómeno del niño costero en el 2017 (ANA, 2010) y los niveles de descarga del río Rímac superaron el promedio originando desbordes del mismo e inundaciones en las zonas urbanas y agrícolas. Además, el último evento del niño generó grandes niveles de precipitación (incremento de vegetación) en

las zonas altas del distrito lo cual se consideró para la generación de escenarios de crecimiento urbano.

Factores antrópicos

El crecimiento urbano exponencial afecta en grandes proporciones el cambio de cobertura y uso de suelo en el distrito de Lurigancho. Desde el 2007 al 2017 ha ocurrido un incremento del 42.2 % de habitantes de 169 359 a 240 814 respectivamente (INEI, 2018). El crecimiento de la población y el boom de la construcción ha generado cambios evidentes de las zonas agrícolas (cultivos transitorios) por urbanizaciones y condominios (tejido urbano continuo) y esto sirvió para poder generar los escenarios de crecimiento urbano.

Cuarto objetivo específico

Considerando el cuarto objetivo específico en el presente trabajo de investigación, se propusieron medidas de ordenamiento territorial a partir del cambio de cobertura y uso de suelo en el distrito de Lurigancho dado que la imagen objetivo del distrito, nos permite tener mayor claridad de las principales necesidades de ordenamiento territorial según 3 subsistemas (ambiental, económico y social) para el 2030. A continuación se realiza la comparación con otras investigaciones de autores que consiguieron el mismo resultado como Lopez (2017), donde gracias al análisis de la percepción de la población local de Agua Blanca propone medidas hacia el desarrollo sostenible y una revalorización de las estrategias para un ordenamiento territorial adecuado. Además, Witting (2019) concluye que la metodología CLC utilizada permite tener una visión amplia de la transición de los procesos de cambio de cobertura y uso de suelo y así poder proponer medidas de intervención en función de medidas conservacionistas en el ámbito distrital, provincial y regional. Los resultados anteriormente descritos se alinean con lo obtenido en el presente trabajo de investigación. Así mismo, Hussain (2018) al determinar los cambios del CUS durante el periodo del 2000 al 2017 evidenció una reducción significativa de vegetación agrícola al ser transformada por edificaciones y carreteras. Hussain (2018) propone medidas que permitirán mejorar la capacidad del gobierno local para implementar mejores estrategias de conservación agrícola por ende indica que es esencial poder entrenar a diversos profesionales con las últimas metodologías de GIS. De esta manera, se evidencia que diversos autores luego de mapear el CUS en el área de estudio, proponen medidas de ordenamiento territorial lo cual se alinea con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados alcanzados en la presente investigación en base a la metodología CLC adaptada para el Perú, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

El mapa de cobertura y uso del suelo del distrito de Lurigancho para el año 2018 es un producto fiable donde se evidencia una clara evolución y cambios de la cobertura desde el año 1986 al 2018. De las 11 categorías interpretadas, se obtuvo una ganancia (un incremento porcentual) de cobertura de suelo en 8 de estas y se obtuvo una pérdida (disminución) en los 3 restantes, que hacen referencia a la clasificación de cultivos transitorios, áreas arenosas naturales y ríos. Estos resultados son altamente confiables por que se obtuvo un valor de 0.89 de índice de kappa que indica una clasificación casi perfecta.

Se concluye que las herramientas óptimas para analizar el cambio de cobertura y uso del suelo en el distrito de Lurigancho son las utilizadas en el presente informe de investigación. Las herramientas y software de ArcGIS, Envi y R Studio mediante la aplicación de la metodología CORINE Land Cover adaptada para el Perú, permitieron lograr el objetivo planteado.

El área de cambio de cobertura y uso del suelo originado por actividades antropogénicas representa ganancias en hectáreas con un resultado de 3906.98 Ha. Las categorías relacionadas con actividades antropogénicas fueron: tejido urbano (2913.09 Ha), áreas Industriales o comerciales (678.92 Ha), red vial, ferroviaria y terrenos asociados (105.90 Ha), áreas de extracción de minería e hidrocarburos (53.44 Ha), áreas verdes urbanas (0.83 Ha) e instalaciones recreativas (154.79 Ha).

Se concluye que a través de la metodología utilizada y considerando una imagen objetivo del distrito de Lurigancho se puede obtener un pronóstico de escenarios de crecimiento urbano al 2030 adecuados con 3 escenarios (tendencial, concertado y óptimo) por cada subsistema identificado (ambiental, social y económico).

Los resultados del presente estudio y la prospectiva a través de los escenarios de crecimiento urbano permiten proponer medidas de ordenamiento territorial por cada subsistema analizado. Esto permitirá fortalecer la gestión distrital y adecuado uso de la cobertura y uso del suelo de Lurigancho.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que para el análisis del cambio de cobertura y uso del suelo a nivel distrital se utilice imágenes satelitales de alta resolución espacial y acceso libre menores a 15m como las Landsat-8 y menores a 10m como las Sentinel-2. Estas imágenes deben tener un mínimo de nubosidad y se debe seleccionar minuciosamente las áreas de entrenamiento. De esta manera se podrá realizar un mayor análisis de categorías a interpretar según el inventario CLC adaptado para el Perú. Además, estas pueden ser complementadas con imágenes de drones.

Se recomienda utilizar herramientas más sofisticadas de análisis multitemporal para reducir los tiempos de pre-procesamiento y procesamiento de las imágenes satelitales. Estas herramientas pueden ser las que derivan de programación y conocimientos avanzados de teledetección como el uso del software Google Earth Engine, Python y entre otros.

Se recomienda realizar un contraste del catastro distrital del área de estudio, verificando la zonificación urbana y así poder determinar con mayor precisión las áreas de cambio de cobertura y uso de suelo originado por actividades antropogénicas.

Se recomienda poder utilizar software de modelado de escenarios de crecimiento (IDRISI Selva – Módulo Land Change Modeler) recomendado por organizaciones internacionales como el IPCC.

REFERENCIAS

- Alvarado, D. (2019). Análisis multitemporal de una serie de imágenes Sentinel-1 y detección de cambios del uso de suelo para la evaluación de la reserva ecológica Manglares Churute y sus alrededores en Guayas-Ecuador. In *UPNA. Universidad Publica de Navarra*.
- Alvarado, J. M. G., Rodríguez, M. P. G., & González, M. E. P. (2018). Assessment and measurement of soil sealing in the north of Madrid (Spain). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2018(76), 1–19. <https://doi.org/10.21138/bage.2513>
- ANA. (2010). Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. *Ministerio de Agricultura Perú*, 226. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf
- Anderson, J., Hardy, J., Roach, J., & Witmer, R. (1976). *A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data*.
- Arnillas, C., Barrena, V., Llactayo, W., Ortíz, H., Regal, F., Rubín de Celis, E., Vásquez, P., Drenkhan, F., Llerena, C., Espino, P., García, V., Gonzáles-Zúñiga, S., Gushiken, E., López, D., & Vásquez, R. (2012). *Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. Componente Nacional Perú – Primera Etapa*. 02, 56.
- Bagan, H., & Yamagata, Y. (2012). Landsat analysis of urban growth: How Tokyo became the world's largest megacity during the last 40 years. *Remote Sensing of Environment*, 127, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.011>
- Bakker, W. H., Feringa, W., Gieske, A. S. M., Gorte, B. G. H., Grabmaier, K. A., Hecker, C. A., Horn, J. A., Huurneman, G. C., Janssen, L. L. F., Kerle, N., Meer, F. D. Van Der, Parodi, G. N., Pohl, C., Reeves, C. V, Ruitenbeek, F. J. Van, Schetselaar, E. M., Tempfli, K., Weir, M. J. C., Westinga, E., & Woldai, T. (2009). Principles of Remote Sensing: An introductory textbook. In T. Klaus, K. Norman, G. C. Huurneman, & L. L. F. Janssen (Eds.), *The international Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*. ITC.
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo

- en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44, 18–38.
<https://doi.org/10.14350/rig.59133>
- Bossard, M., Feranec, J., & Otahel, J. (2000). *CORINE land cover technical guide: Addendum 2000*.
- Bravo, N. (2017). Teoría - Teledetección espacial Landsat, Sentinel-2, Aster L1T y MODIS. En *Facultad De Recursos Naturales Renovables (Geomatica)*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(5), 5–32.
<https://doi.org/10.1201/9780429469275-8>
- Briones, P. (2018). *Análisis De Cambio De Cobertura Y Uso De La Tierra Con Imágenes Satelitales Del Distrito De Namora Períodos 2000 - 2016*. 1–76.
- CEPLAN. (2019a). *Guía para la formulación o actualización del Plan de Desarrollo Regional Concertado (PDRC) Para la mejora de políticas y planes en el territorio*.
https://www.ceplan.gob.pe/documentos_/proyecto-de-guia-para-la-formulacion-o-actualizacion-del-plan-de-desarrollo-regional-concertado-pdrc/
- CEPLAN. (2019b). *La información geoespacial en el planeamiento estratégico: análisis territorial de los servicios básicos*.
- CEPLAN. (2020). Perú 2050 : tendencias nacionales. *Ceplan.Gob.Pe*, 456.
https://www.ceplan.gob.pe/documentos_/peru-2050-tendencias-nacionales/
- Cerda Lorca, J., & Villarroel Del P., L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54–58. <https://doi.org/10.4067/s0370-41062008000100008>
- Chotte, J. L., Aynekulu, E., Cowie, A., Campbell, E., Vlek, P., Lal, R., Kapović-Solomun, M., Maltitz, G. von, Kust, G., Barger, N., Gastrow, S., & Varga, R. (2019). *Realising the Carbon Benefits of Sustainable Land Management Practices*.
https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2019-10/191016_EN_UNCCD_SPI_2019_Report_1_1_Web.pdf
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial. En (*Fundamentals of remote sensing from space*) (2nd ed.). Ediciones RIALP, S.A.

- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio* (Ariel S.A.). Ariel Ciencia.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel.
- Comisión Europea. (2013). *Los costes ocultos del sellado del suelo*.
<https://doi.org/10.2779/16773>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Congalton, R. G., & Green, K. (1993). Practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(5), 641–644.
- Corredor, L., Cárdenas, E., & Ordóñez, J. (2011). Aplicación de la Metodología Corine Land Cover en la determinación de los cambios de cobertura en el Parque Natural los Flamencos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 153–167.
- Demirkan, D. (2017). Hierarchical Land Use and Land Cover Classification of Sentinel 2-A Images and its Use For Corine System. En *Middle East Technical University*. Middle East Technical University.
- Diaz-Pacheco, J., & Gutiérrez, J. (2014). Exploring the limitations of CORINE Land Cover for monitoring urban land-use dynamics in metropolitan areas. *Journal of Land Use Science*, 9(3), 243–259. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.761736>
- Dobles, C., Zúñiga, M., & García, J. (1998). El paradigma positivista y la concepción dialéctica del conocimiento. En *EUNED* (1st ed., Vol. 1, Issue 1).
- European Commission. (2011). *Report on best practices for limiting soil sealing and mitigating its effects* (H. J. and A. S. Gundula Prokop & E. A. Austria (eds.); Issue April).
<https://doi.org/10.2779/15146>
- European Environment Agency. (2006). *Urban Sprawl in Europe: The Ignored Challenge* (Issue 10).
- European Environment Agency. (2007). *CLC2006 technical guidelines* (Issue 17).
- FAO; ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*.

- FAO y UNEP. (1998). *Terminology for Intergrated Resources Planning and Management* (Vol. 1, Issue February).
- Gamarra, S. (2017). *Análisis de la cobertura y uso de la tierra utilizando imágenes de resolución espacial media para el distrito de San Ramón - Chanchamayo - Junín - Perú*. Universidad Agraria La Molina.
- García, P., & Pérez, E. (2016). Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain). *Geoderma*, 268, 100–107.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.012>
- Gardi, C. (2017). Urban Expansion, Land Cover and Soil Ecosystem Services. In *Urban Expansion, Land Cover and Soil Ecosystem Services*.
<https://doi.org/10.4324/9781315715674>
- Global Mechanism of the UNCDD. (2019). *Land Degradation Neutrality Transformative Projects and Programmes: Operational Guidance for Country Support* (UNCCD).
- Gómez, D. (2008). *Ordenación territorial* (Segunda). Mundi-Prensa.
- Gómez, D., & Gómez, A. (2013). *Ordenación territorial* (Tercera). Mundi-Prensa.
- Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación* (1st ed.). Brujas.
- Grigorescu, I., Kucsicsa, G., Popovici, E. A., Mitrică, B., Mocanu, I., & Dumitrașcu, M. (2019). Modelling land use/cover change to assess future urban sprawl in Romania. *Geocarto International*, 0(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1624981>
- Hendawy, E., Belal, A. A., Mohamed, E. S., & Elfadaly, A. (2019). *The Prediction and Assessment of the Impacts of Soil Sealing on Agricultural Land in the North Nile Delta (Egypt) Using Satellite Data and GIS Modeling*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2010). *Metodología de la Investigación : Quinta edición* (5th ed.). McGRAW-HILL.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGRAW-HILL.
- Herrera, W. (2019). *Cambios de Cobertura y Uso del Suelo con Imágenes Satelitales del Distrito de Llapa-Cajamarca Periodo 2003 – 2018*. Universidad Nacional de Cajamarca.

Hurtado, I., & Toro, J. (2007). *Paradigmas y Métodos de Investigación en tiempos de cambio* (1st ed.). Los Libros de el Nacional.

Hussain, S. (2018). *Land Use / Land Cover Classification by Using Satellite NDVI Tool for Sustainable Water and Climate Change in Southern Punjab Master of Science in Environmental Sciences*. 1–59.

https://www.researchgate.net/profile/Sajjad_Hussain35/publication/339091070_Land_UseLand_Cover_Classification_by_Using_Satellite_NDVI_Tool_for_Sustainable_Water_and_Climate_Change_in_Southern_Punjab/links/5e3d4135299bf1cdb9151328/Land-Use-Land-Cover-Class

IDEAM, IGAC, & CORMAGDALENA (2008). *Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000*.

INEI (2018). *CENSO 2017: Provincia de Lima - Resultados definitivos*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaes/Est/Lib1583/

IPCC (2001). Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. *Choice Reviews Online*, 39(06). <https://doi.org/10.5860/choice.39-3433>

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.

<https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2529310>

Li, X., Yang, L., Ren, Y., Li, H., & Wang, Z. (2018). Impacts of urban sprawl on soil resources in the changchun–jilin economic zone, china, 2000–2015. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1–16.

<https://doi.org/10.3390/ijerph15061186>

Lopez, A. (2017). *Percepción y cambio de uso de suelo en un área de conflicto, la jalca en la microcuenca Chirimayo, Cajamarca*. PUCP.

Maldonado, P. (2005). *Demografía / Demography: conceptos y técnicas fundamentales*. Plaza y Valdes, S.A. de C.V.

Malinowski, R., Lewinski, S., Rybicki, M., Gromny, E., & Jenerowicz, M. (2020).

Automated Production of a Land Cover / Use Map of Europe Based on Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, 12, 1–25.

- MINAM (2014). Protocolo: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la tierra en la Comunidad Andina. En *Dirección General de Ordenamiento Territorial*.
- MINAM (2015). *Compendio Normativo de OT Perú*.
- MINAM (2018). *Cambio de cobertura y uso actual de las tierras*. Geoservidor MINAM.
- Municipalidad de Lurigancho (2018). *Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Lurigancho 2019 - 2030*. [https://www.gob.pe/busquedas?categoria\[\]=5-medio-ambiente&contenido\[\]=normas&institucion\[\]=munilurigancho&sheet=1&sort_by=None](https://www.gob.pe/busquedas?categoria[]=5-medio-ambiente&contenido[]=normas&institucion[]=munilurigancho&sheet=1&sort_by=None)
- Muñoz, R. (2018). *Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Jose Manuel Quiroz período 2000-2018*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Niño, Y. (2020). Análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos para la determinación de los cambios de uso de suelo en el municipio de San Francisco de Sales, Cundinamarca (Colombia) entre los años 90's y 2018. En *Universidad Nacional de la Plata* (Issue Diciembre). Universidad Nacional de la Plata.
- Orihuela, D. (2019). *Clasificación de cobertura de la tierra en la cuenca Lurín utilizando imágenes de sensores remotos*. Universidad Agraria La Molina.
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. En *Ambiente, EDAFOLOGÍA para la agricultura y el medio*.
- Pour, N. M., & Oja, T. (2020). A comparative analysis of “urban expansion” using remotely sensed data of CORINE Land cover and global human settlement layer in Estonia. *GISTAM 2020 - Proceedings of the 6th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, Gistam*, 143–150. <https://doi.org/10.5220/0009195101430150>
- Pukowiec-Kurda, K., & Vavrouchová, H. (2020). Land cover change and landscape transformations (2000–2018) in the rural municipalities of the upper Silesia-Zagłębie metropolis. *Sustainability (Switzerland)*, 12(23), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12239911>
- Ramos, C. (2015). Los Paradigmas de la Investigación Científica. *Av.Psicol.*, 23(1), 9–17.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). Remote sensing digital image analysis: An introduction.

- Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*, February, 1–439.
<https://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>
- Sanjurjo Vílchez, J., & Kalliola, R. (2004). *Manual para la elaboración de mosaicos de imágenes de satélite Landsat TM para la selva baja peruana*.
- SENAMHI. (2021). Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional. In *Ministerio del Ambiente* (Vol. 53, Issue 9).
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40), 16083–16088.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Sikken, A. (2011). *Assessment of a land changes dataset by volunteered geographic information*. 89. <https://edepot.wur.nl/239741>
- UN. (2012). The future we want: Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development. *Rio+20 United Nations Conference on Sustainable Development*, 41. <https://doi.org/10.1126/science.202.4366.409>
- UN DESA. (2014). *World Urbanization Prospects, the 2011 Revision*.
- Universidad Católica de Temuco. (2014). Análisis Territorial para la Elaboración del Plan Regional de Ordenamiento Territorial (PROT) de la Región de Los Ríos. En *LPT* (Vol. 1, Issue 1).
- USGS. (2019). Landsat 8 Data Users Handbook. En *Department of the Interior U.S. Geological Survey* (Vol. 5, Issue 5).
- Verburg, P. H., Erb, K. H., Mertz, O., & Espindola, G. (2013). Land System Science: Between global challenges and local realities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5), 433–437. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.08.001>
- Vermote, E., & Saleous, N. (2007). LEDAPS surface reflectance product description. *College Park: University of ...*, January, 1–21.
http://ledaps.nascom.nasa.gov/docs/pdf/SR_productdescript_dec06.pdf
- Witting, N. (2019). *Cambio de cobertura y uso del suelo en diferentes periodos a partir del*

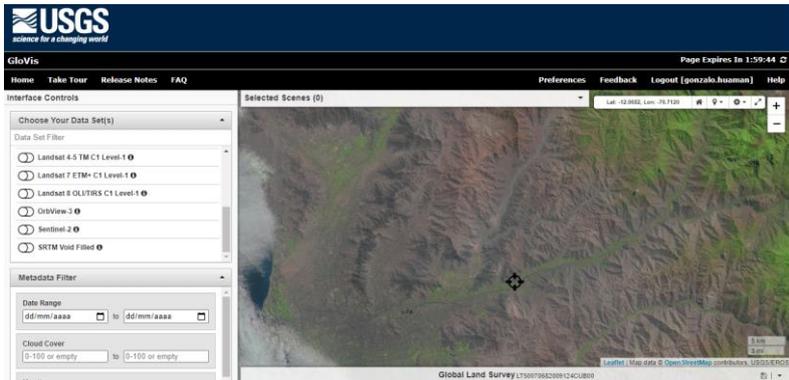
uso de imágenes satelitales en el distrito de codo del Pozuzo, Huánuco. Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Anexo 2. PRESUPUESTO

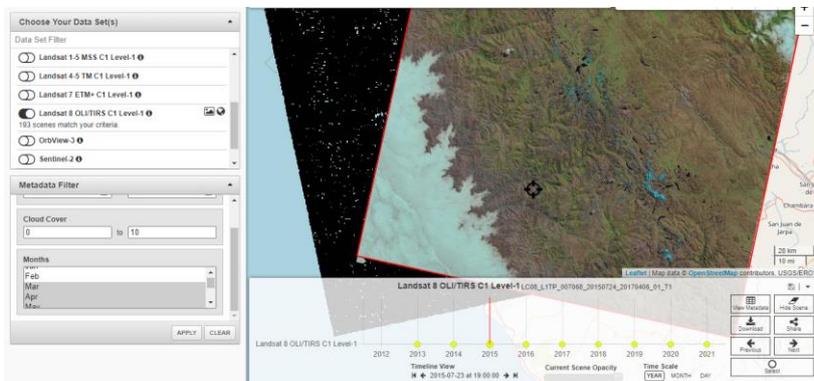
PROYECTO: ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO MEDIANTE ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO DEL DISTRITO DE LURIGANCHO – LIMA - PERU							
Partida presupuestal financiable	Nombre del artículo	Descripción	Especificaciones técnicas	Costo Unitario (S./)	Cantidad	Precio (S./)	Unidad de medida
Recurso humano (Incentivo)	Desarrollo del proyecto de Tesis	Desarrollo del proyecto de Tesis	Desarrollo del proyecto de Tesis	1000	1	1000	N.A.
Equipos y bienes duraderos	Laptop Intel Core i5, 8GB RAM, 128 GB SSD	Especificaciones recomendadas para ArcGis 10.4 y Envi 5.3	2.2 Ghz Velocidad de CPU, 2 GB Memoria RAM, Resolución de pantalla 1024 x 768 (96 ppp), 1 GB de tarjeta de video con soporte de OpenGL 2.0	2299	1	2299	UN
	GPS Portatil	Garmin	eTrex 10, Satellite GPS & Glonass, autonomía de 25 horas	499.9	1	499.9	UN
	Camara fotografica	Camara compacta digital	20 MPX	499	1	499	UN
Materiales e insumos (Material biológico, perecible, proteínas)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	N.A.
Materiales e insumos (productos químicos)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	N.A.
Servicios de terceros (Consultorías, adecuación de laboratorio, construcción, mantenimiento)	Consultoria en procesamiento de imágenes satelitales	Metodología Corine Land Cover adaptada para el Peru	Area del distrito de Lurigancho	499	2	998	Hora de servicio (h)
Movilidad local	Traslado de tesista y asesor	Verificación in situ de resultados obtenidos	Visualización del area	80	4	320	Salidad de campo
Pasajes (Tickets aéreos y terrestres)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	N.A.
Viáticos	Viaticos de tesista y asesor	Verificación in situ de resultados obtenidos	Visualización del area	30	4	120	SOLES
Materiales bibliográficos (Libros, papers)	Imágenes satelitales de alta resolución*	Land Viewer EOS	Pleiades 1A 2018 0 a 10% nubosidad, 50cm resolución pancromática, 2 m resolución multispectral	6	300	1800	KM2
	Imágenes satelitales de resolución media de libre acceso	GloVis USGS	Imágenes Landsat 5, 7 y 8, 15 m de resolución pancromática, 30 m resolución multispectral	N.A.	N.A.	-	KM2
	Fundamentals of Satellite Remote Sensing An Environmental Approach, Third Edition	Libro	eBook (\$84.47)	290	1	290	UN
Actividades de difusión de los resultados/ capacitación	Solicitud de permisos a entidades gubernamentales	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	N.A.
Otros gastos	Impresiones	Entregables del plan de tesis	Hojas A4 y anexos complementarios de productos cartograficos	50	3	150	UN
	Publicación en revista científica	Asesoría en redacción, traducción técnica, etc.	Taylor & Francis Online: Journal of Environmental Planning and Management, Journal of European Planning Studies, Journal of Geocarto International, Journal of Land Use Science	300	2	600	UN
Total				8,575.90			
* Opcional: se sustituirá en caso de obtener imágenes satelitales de alta resolución de PeruSAT-1 suministrada por el CONDA							

Anexo 3. ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES

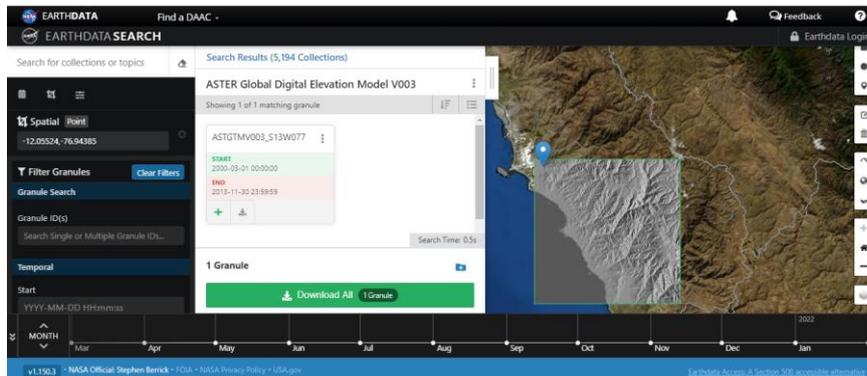
A. Servidor GloVis USGS.



B. Adquisición de imágenes Landsat

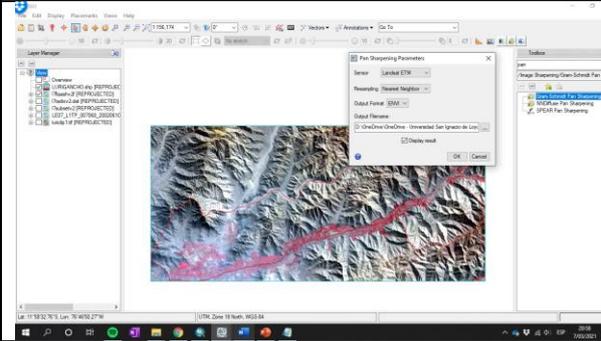
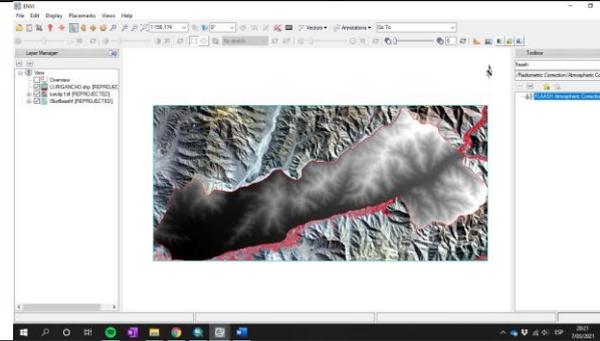
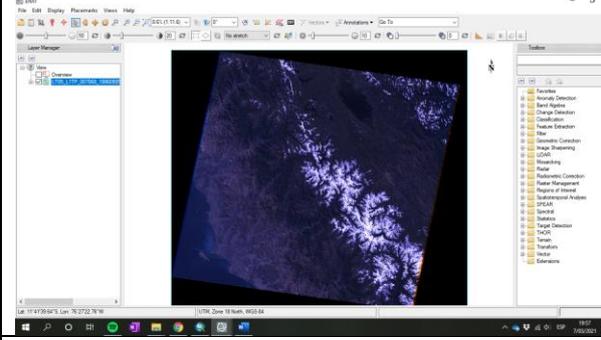
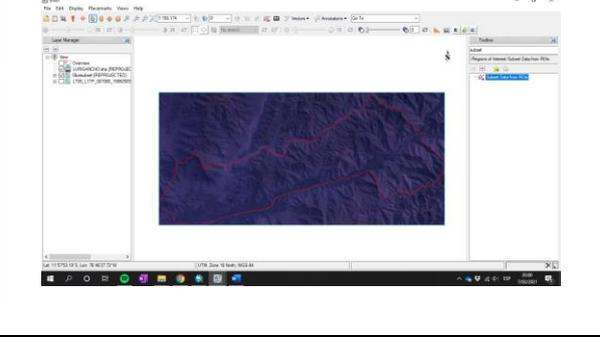
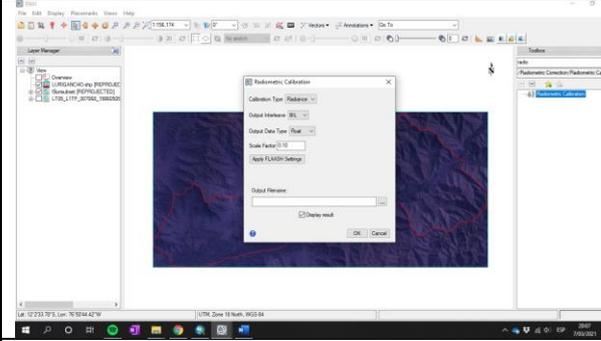
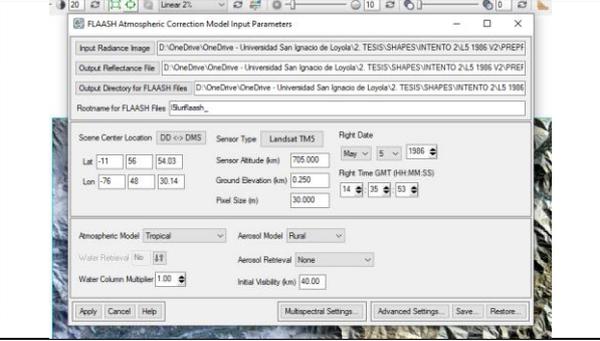
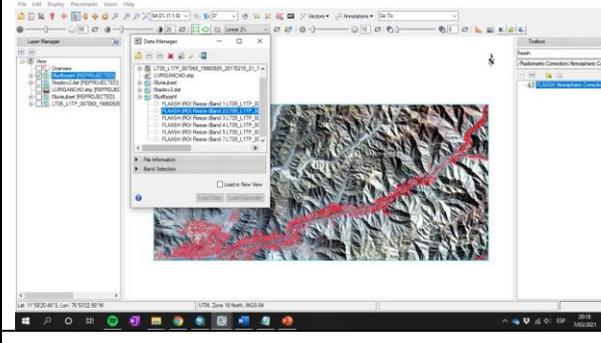
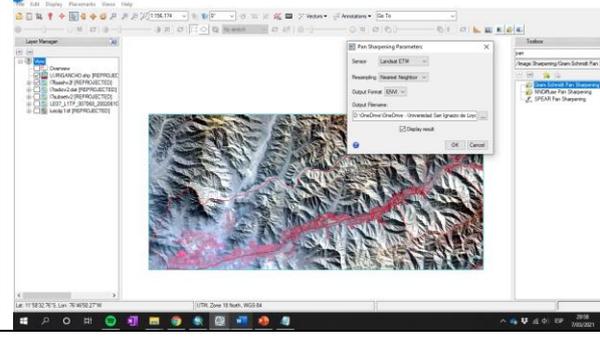


C. Adquisición del DEM



D. Imágenes Satelitales Landsat descargadas (combinación RGB).

Anexo 4. PRE-PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES SATELITALES

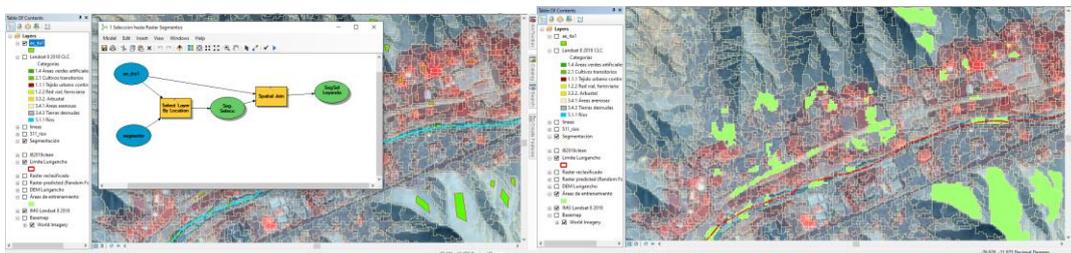
<p>1. Unión de bandas</p>	<p>2. Con la imagen preprocesada abrir el aster cortado al shape</p>
	
<p>3. Abrir archivo “. mtl” de la imagen Landsat en el software Envi</p>	<p>4. Realizar un recorte de la imagen mediante la herramienta “Subset data from ROIs” (área de interés).</p>
	
<p>5. Aplicar la corrección radiométrica (“Radiometric calibration”)</p>	<p>6. Aplicar la corrección atmosférica (“FLAASH”)</p>
	
<p>7. Cargar la imagen corregida en la combinación de bandas RGB 432</p>	<p>8. Herramienta “Pan Sharpening” para mejorar la resolución espacial (de 30 m a 15 m)</p>
	

Nota: elaboración propia

Anexo 5. PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES SATELITALES

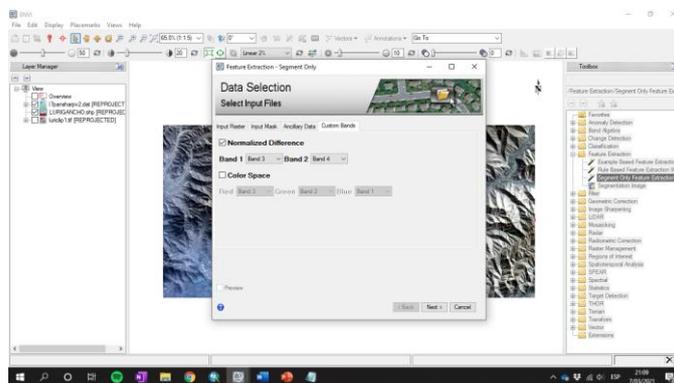
1. Generación de áreas de referencia

a. Intersección de las áreas de referencia

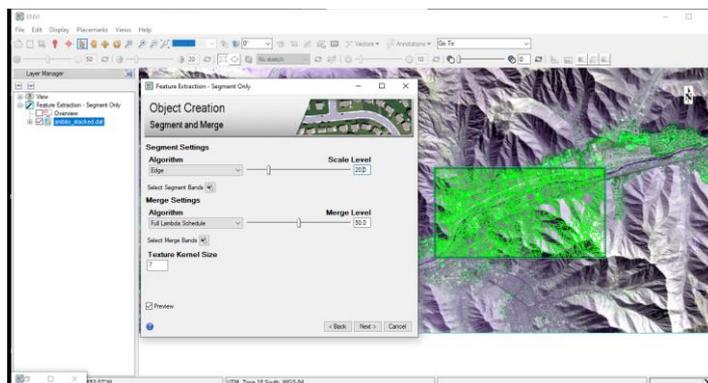


b. Segmentación

b.1. Ventana del proceso de segmentación “Feature extraction – segment only” en Envi 5.3.

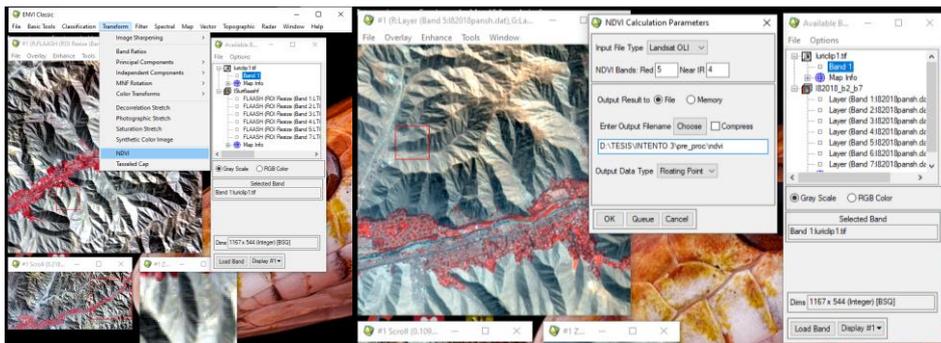


b.2. Procesamiento con scale 20, merge 50 y kernel 7

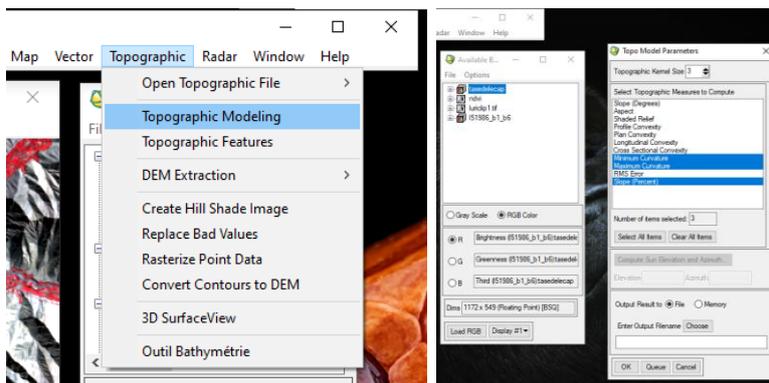


c. Generación de información complementaria: información complementaria de índices derivados como

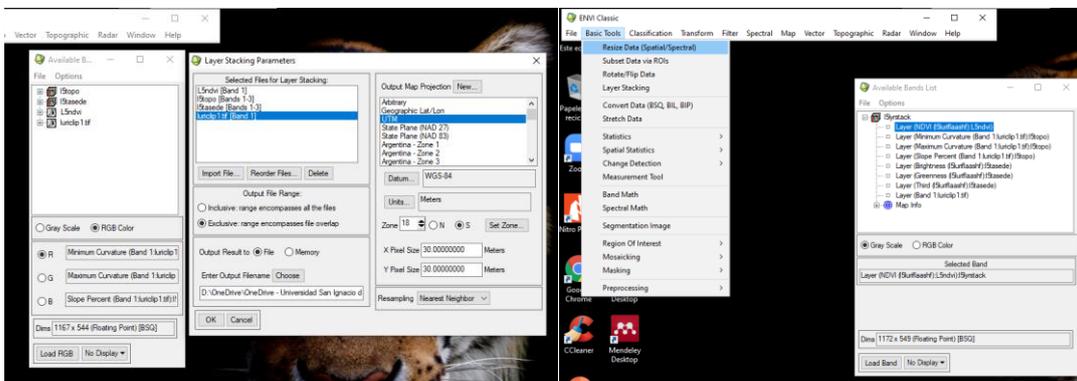
c.1. NDVI y TASELEDECAP



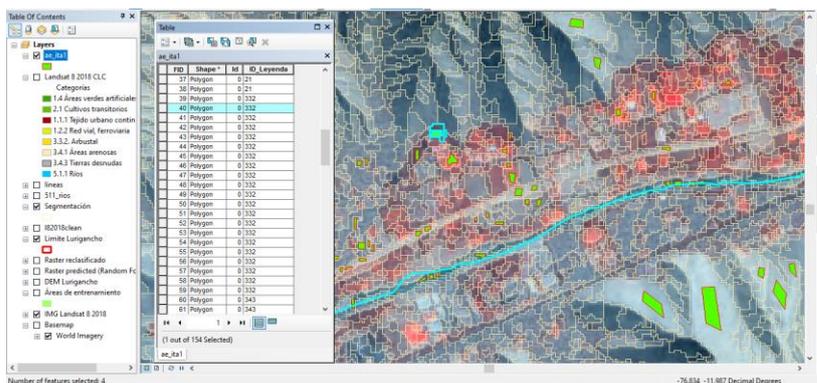
C.2. Información topográfica: curvatura máxima, curvatura mínima y pendiente (%)



C.3. Usar el NDVI como spatial subset para el layer stacking de los parámetros “Brightness, Wetness, Greenness” para obtener la misma extensión, tamaño de celda y proyección espacial.

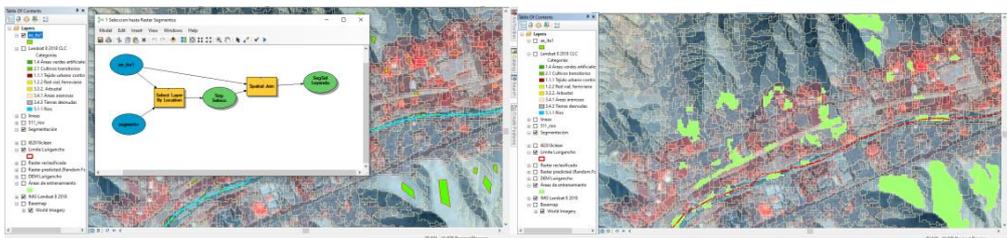


d. Generación de áreas de entrenamiento y estructura de la tabla de atributos

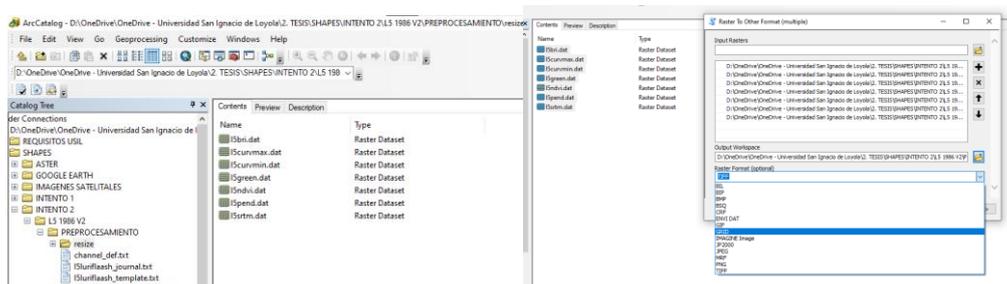


e. Clasificación

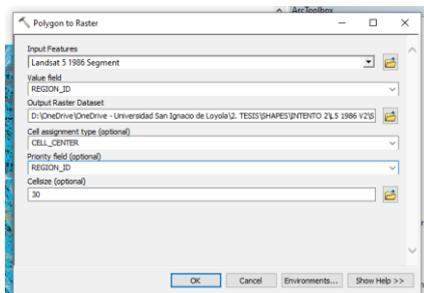
e.1. Se interceptan las áreas de entrenamiento con la segmentación final



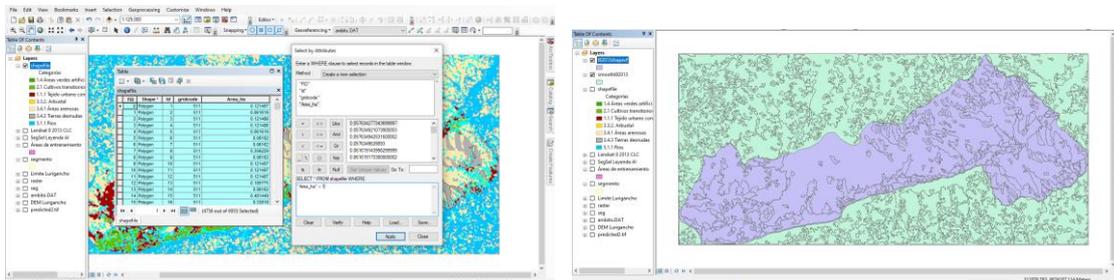
e.2. Convertir la información complementaria en formato GRID (“Raster to other format”).

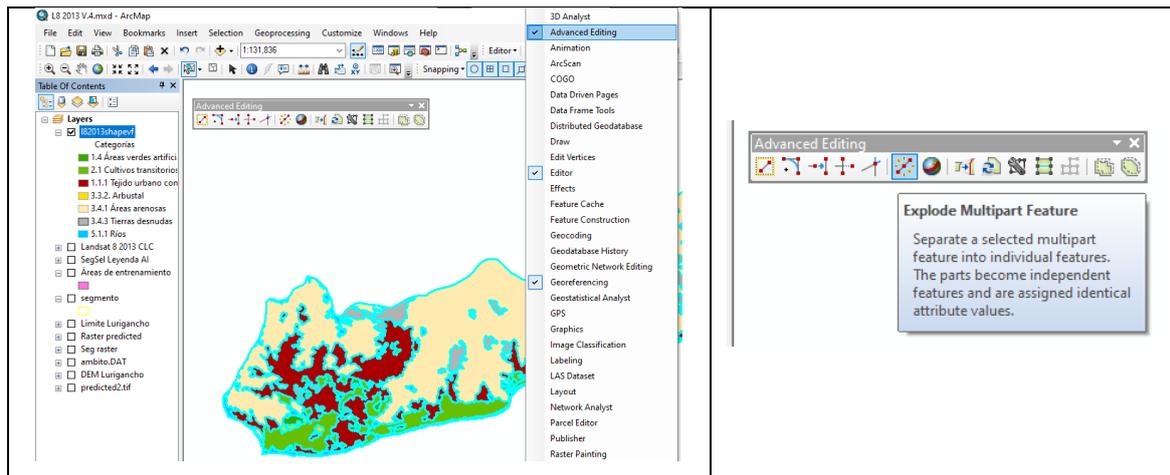


e.3. Editar datos para celda 30, 30 metros por píxel

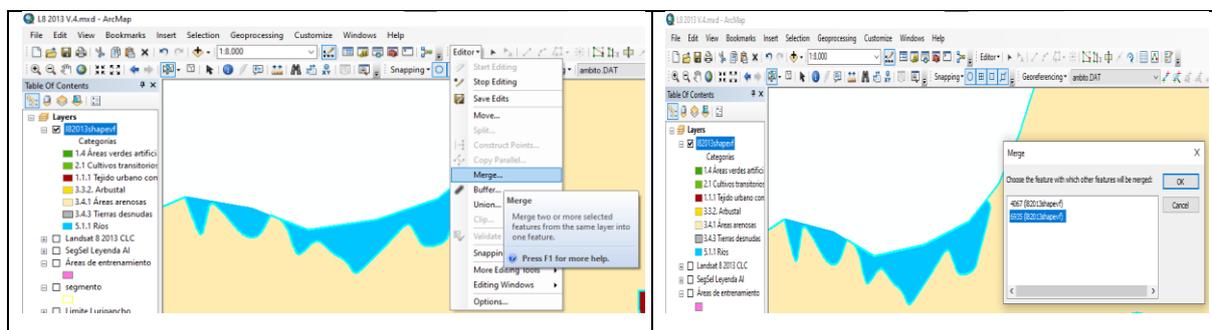


2. Edición vectorial y generalización.

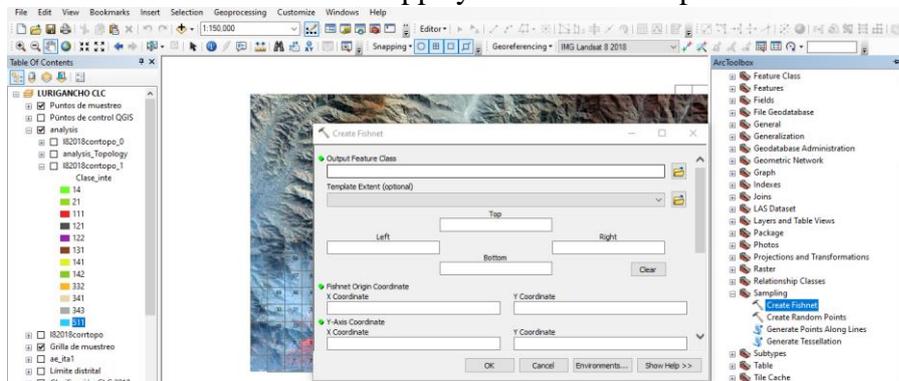




a. Generalización mediante herramienta “merge”



b. Generar el índice de kappa y matriz de error para la validación



c. Generar el fishnet – data management tools – sampling

Anexo 6. SALIDA DE CAMPO

1. Validación de puntos de control con mayores dudas

Punto 79. Nueva autopista Ramiro Priale cerca de la Universidad Peruana Unión (UPEU)	
	
Punto 24. Áreas arenosas dentro de la UPEU	Punto 12. Áreas arenosas de centro poblado La Era
	
Punto 37. Nueva autopista Ramiro Priale en Los Girasoles	
	
Punto 39. Entrada a Los Girasoles cruza el Río Rímac	Punto 63. Tejido urbano continuo en Los Girasoles
	

Punto 72. Áreas arenosas naturales en Los Girasoles



Punto 3. Ingreso a quebrada La Cantuta



Punto 9. Tejido urbano con arbustales en Chacacayo



Punto 55. Instalaciones recreativas Club Portada del Sol



Punto 78. Tejido urbano continuo en la Urbanización Batasol en Chosica



Nota: Elaboración propia