

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**“APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN
EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE
JAÉN 2013-2023”**

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

**Autores: Bach. Abner Izai Nuñez Jaramillo
Bach. Claiter Ediño Núñez Ramírez**

Asesor: Dr. Christiaan Zayed Apaza Panca

**Línea de investigación: LI_IC_03 Gestión Organizacional de
Proyectos**

**JAÉN – PERÚ
NOVIEMBRE - 2024**

NOMBRE DEL TRABAJO

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-20

AUTOR

ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO CLAITER EDIÑO NÚÑEZ RAMÍREZ

RECuento DE PALABRAS

7834 Words

RECuento DE CARACTERES

46515 Characters

RECuento DE PÁGINAS

55 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

45.0MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 16, 2024 4:37 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 16, 2024 4:39 PM GMT-5

● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-
SUNEDU/CD



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 06 de noviembre del año 2024, siendo las 16:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente : M. Sc. MARCOS ANTONIO GONZALES SANTISTEBAN.

Secretario : Dr. ERICK MAC KEY DELGADO BAZÁN.

Vocal : Mg. WILLAM SUAREZ PEÑA, para evaluar la Sustentación del Informe

Final:

() Trabajo de Investigación

(X) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023" presentado por los tesisistas Abner Izai Nuñez Jaramillo y Claíter Ediño Núñez Ramírez de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (14) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 16:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

M. Sc. MARCOS ANTONIO GONZALES
SANTISTEBAN
Presidente del Jurado Evaluador

Dr. ERICK MAC KEY DELGADO BAZÁN
Secretario del Jurado Evaluador

Mg. WILLAM SUAREZ PEÑA
Vocal del Jurado Evaluador

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.3. ANTECEDENTES	9
1.3.1. Antecedentes Internacionales.....	9
1.3.2. Antecedentes Nacionales	10
1.3.3. Antecedentes Regionales	12
1.3.4. Antecedentes Locales	12
II. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVOS.....	13
2.1.1. General.....	13
2.1.2. Específicos	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	14
3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	15
3.2.1. Población.	15
3.2.2. Muestra.	15
3.2.3. Muestreo.	15
3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	15
3.3.1. Satélite PERÚSAT-1	15
3.3.2. Satélite LANDSAT-8 y LANDSAT-9	15
3.3.3. ESRI Satellite.....	15
3.4. INSTRUMENTOS Y MATERIALES	15
3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	16
3.5.1. Métodos	16
3.5.2. Técnicas	17
3.6. PROCEDIMIENTO.....	17
3.6.1. Preprocesamiento	17

3.6.2.	Procesamiento	19
3.6.3.	Postprocesamiento	20
IV.	RESULTADOS	21
4.1.	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	21
4.2.	COMBINACIÓN DE BANDAS	23
4.2.1.	Combinación PERUSAT	23
4.2.2.	Combinación LANDSAT	24
4.3.	CLASIFICACIÓN SUPERVISADA	26
4.3.1.	Selección de Muestras de Entrenamiento (ROI's)	26
4.3.2.	Clasificación de la imagen completa	28
4.3.3.	Validación de la clasificación	29
V.	DISCUSIÓN	34
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
6.1.	CONCLUSIONES	35
6.2.	RECOMENDACIONES	35
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	AGRADECIMIENTO	38
	DEDICATORIA	39
	ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Imágenes satelitales proporcionadas por los sensores.....	15
Tabla 2	Imágenes satelitales aptas para el estudio.....	16
Tabla 3	VARIABLES.....	17
Tabla 4	Valores del Índice Kappa (K).....	20
Tabla 5	Características de imágenes PERUSAT.....	23
Tabla 6	Características de imágenes LANDSAT.....	24
Tabla 7	Tipos de cobertura identificados.....	26
Tabla 8	Clasificación PERUSAT.....	28
Tabla 9	Clasificación LANDSAT.....	29
Tabla 10	Matriz de confusión para clasificación PERUSAT 2017-01-10.....	32
Tabla 11	Matriz de confusión para clasificación PERUSAT 2020-01-07.....	32
Tabla 12	Matriz de confusión para clasificación LANDSAT 2013-07-16.....	33
Tabla 13	Matriz de confusión para clasificación LANDSAT 2024-04-17.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación y localización del área de estudio.....	14
Figura 2	Proceso de adquisición de imágenes satelitales PERUSAT	18
Figura 3	Portal del United States Geological Survey (USGS).....	18
Figura 4	Delimitación de área de estudio	21
Figura 5	Tendencias de crecimiento 2013-2025	22
Figura 6	Combinación de bandas PERUSAT	23
Figura 7	Combinación de bandas LANDSAT	25
Figura 8	Muestras de entrenamiento (ROI's) para capturas de PERUSAT	27
Figura 9	Muestras de entrenamiento (ROI's) para capturas de LANDSAT	27
Figura 10	Clasificación PERUSAT	28
Figura 11	Clasificación LANDSAT	29
Figura 12	Muestreo aleatorio de puntos para validación de clasificación.....	30
Figura 13	Ubicación de puntos de inspección	31

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo aplicar la Teledetección Satelital para determinar la expansión urbana de la ciudad Jaén desde el año 2013 hasta la actualidad. Su aplicación implicó la recopilación y análisis de datos satelitales sobre el casco urbano de la ciudad, que permitan identificar tendencias de expansión. El tipo de investigación fue aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Se realizó el cálculo de la cobertura vegetal, cobertura urbana y cobertura sin clasificación, siendo que este último incluía cuerpos de agua, nubes y sombras de estas. Esto fue posible gracias al uso del complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) y la técnica de clasificación supervisada que trae incorporado. Las imágenes satelitales fueron obtenidas de los sensores PERUSAT-1, LANDSAT-8 y LANDSAT-9, en sus bandas multiespectrales. Los resultados de la clasificación PERUSAT arrojaron una cobertura urbana de 627.43 ha en el 2017 y 673.45 ha en el 2020, mientras que los de la clasificación LANDSAT arrojaron una cobertura urbana de 452.43 ha en el 2013 y 733.05 ha en el 2024. El índice Kappa arrojó una concordancia de 0.81 y 0.79 para las imágenes PERUSAT del 2017 y 2020; y una concordancia de 0.69 y 0.65 para las imágenes LANDSAT del 2013 y 2024, respectivamente. Se concluyó que cobertura urbana creció un 7.33% según la clasificación a partir de imágenes PERUSAT entre el 2017 hasta el 2020, y para el caso de la clasificación a partir de imágenes LANDSAT se obtuvo que la cobertura urbana creció un 62.03% desde el 2013 hasta el 2024; quedando así demostrado la utilidad de la Teledetección satelital en estudios de expansión urbana.

Palabras clave: Teledetección satelital, expansión urbana, clasificación supervisada, índice Kappa, PERUSAT, LANDSAT, banda pancromática, banda multiespectral.

ABSTRACT

The objective of this research was to apply Satellite Remote Sensing to determine the urban expansion of the city of Jaén from 2013 to the present. Its application involved the collection and analysis of satellite data on the urban area of the city, which made it possible to identify expansion trends. The type of research was applied, with a quantitative approach and non-experimental design. The calculation of vegetation cover, urban cover and unclassified cover was carried out, the latter including bodies of water, clouds and their shadows. This was possible thanks to the use of the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) and the supervised classification technique that it incorporates. The satellite images were obtained from the PERUSAT-1, LANDSAT-8 and LANDSAT-9 sensors, in their multispectral bands. The results of the PERUSAT classification showed an urban coverage of 627.43 ha in 2017 and 673.45 ha in 2020, while those of the LANDSAT classification showed an urban coverage of 452.43 ha in 2013 and 733.05 ha in 2024. The Kappa index It showed a concordance of 0.81 and 0.79 for the PERUSAT images from 2017 and 2020; and an agreement of 0.69 and 0.65 for the 2013 and 2024 LANDSAT images, respectively. It was concluded that urban coverage grew by 7.33% according to the classification based on PERUSAT images between 2017 and 2020, and in the case of the classification based on LANDSAT images, it was obtained that urban coverage grew by 62.03% from 2013 to 2024; thus demonstrating the usefulness of satellite remote sensing in urban expansion studies.

Keywords: Satellite remote sensing, urban expansion, supervised classification, Kappa index, PERUSAT, LANDSAT, panchromatic band, multispectral band.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El Banco Mundial (2023) afirma que el 56% de la población mundial vive en ciudades a día de hoy, y se espera que la población urbana aumentará más del doble para 2050.

Según Epinoza y Fort (2020) entre los años 2001 y 2018, las 43 ciudades más grandes de nuestro país añadieron 68.000 Has. de nuevo suelo urbano, donde habitan 3.5 millones de personas en 940.000 viviendas siendo este es un aumento del 47% sobre el suelo urbano existente en el año 2000.

El PDU ó Plan de Desarrollo Urbano (2013), de nuestra ciudad; muestra que a nivel poblacional, Jaén pasó de tener 4 420 hab. en el año 1961, a 89 030 hab. en el año 2013; y estima unos 126 865 hab. para el año 2025. A nivel físico, pasó de ocupar 120.74 Has. en el año 1960, a 896.76 Has. en 2013; y para el 2025 el PDU estimó que serían necesarias 469.17 Has. más, de áreas destinadas solo a uso residencial y/o vivienda.

En una ciudad con un cambio demográfico así, a criterio técnico personal se puede ver que tiende a proliferar la expansión urbana informal, que a su vez trae consecuencias negativas al entorno y calidad de vida de los residentes como por ejemplo: a) Obstaculiza el acceso a los servicios básicos como agua potable, electricidad, saneamiento, además de una infraestructura vial precaria; b) Incrementa la exclusión social por la falta de propiedad legal de las tierras, la cual limita a que los residentes puedan acceder a programas gubernamentales; c) Incita la ocupación de áreas verdes, riberas de ríos y áreas de aporte, afectando la futura construcción de proyectos de infraestructura pública.

Para tomar decisiones que cierren esas brechas, necesitamos conocer el problema, mediante el estudio del mismo, usando medios alternativos como la teledetección satelital. La teledetección satelital es una tecnología que posee una cobertura y alcance global, siendo muy útil para estudios de la expansión urbana y planificación de ésta a gran escala, pues permite obtener una amplia gama de información sin necesidad de realizar levantamientos extensivos en terreno, disminuyendo considerablemente tiempos y costos.

Expuesta la problemática, sus causas y consecuencias; concluimos que existe la necesidad de conocer si:

¿Puede aplicarse la Teledetección Satelital en el estudio de la expansión urbana Ciudad Jaén 2013-2023?

1.2. Justificación

El desarrollo del presente proyecto de tesis se justifica porque promueve el uso de tecnologías como la teledetección satelital, cuya aplicación reduce el tiempo y costo de estudios urbanos, permitiendo a instituciones como gobiernos locales y regionales e inversores privados como desarrolladores inmobiliarios, obtener información precisa, objetiva y valiosa para la toma de decisiones.

Su desarrollo servirá para contrarrestar el escaso interés en investigaciones afines a la expansión urbana que permitan contribuir al conocimiento sobre la evolución y dinámica de la ciudad de Jaén en la última década; además, el resultado y la metodología utilizada en este estudio podrá ser replicado en otras ciudades del Perú con características similares.

1.3. Antecedentes

1.3.1. Antecedentes Internacionales

Meza & Ramírez (2021) mediante la aplicación de la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, analizaron la expansión urbana de la ciudad argentina General José de San Martín, e identificaron la incidencia de los planes habitacionales estatales en la conformación de áreas de crecimiento horizontal. Concluyeron que la mancha urbana aumentó considerablemente después de 1911, y en la década del noventa registró mayores incrementos de suelo urbano principalmente al sur, exhibiendo patrones dispersos y discontinuos hacia la periferia. La intervención estatal mediante ejecución de planes de viviendas sociales, promovieron la expansión horizontal de la ciudad desde finales de la década de 1970 y con mayor fuerza en la década de 1990, evidenciando el rol protagónico del Estado en la conformación de nuevas áreas de expansión en la ciudad.

Hussam (2019) realizó un estudio espacial de la expansión urbana en la ciudad de Amman, Jordania, mediante el uso de la teledetección satelital; evaluando, monitoreando y mapeando la cobertura del suelo urbano. El uso de imágenes satelitales Landsat multitemporales, le permitió producir cuatro mapas diferentes de cobertura para periodos de diez años (1987, 1997, 2007 y 2017), además la técnica de clasificación supervisada y detección de cambios de comparación, le permitió evaluar y analizar visual y cuantitativamente la expansión urbana. Concluyó que, en las últimas tres décadas, el área urbana aumentó 90,78 km², con una tasa media de crecimiento anual de 2,03%, siendo ésta mayor en los primeros 10 años del período de estudio (1987 - 1997), cuyo incremento alcanzó el 3,33%, mientras que para las últimas dos décadas del período de estudio (1997 - 2017), fue del 2,04%.

Jiménez (2018) evaluó los cambios en la expansión del suelo urbano en el Cantón Durán, provincia del Guayas, entre 1990 y 2015, mediante la aplicación de índices espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat y técnicas de clasificación supervisada. Validó la clasificación de la imagen del año 2015 empleando la matriz de confusión con una exactitud del 100% para las áreas urbanas, con niveles de concordancia adquiridos mediante el coeficiente Kappa que mostró 62% de fiabilidad. Concluyó que, en 25 años los cambios más importantes y evidentes se presentaron en la cobertura urbana, con un aumento de 41.45 km², teniendo para el año 2015 un total de 78,23 km², lo que representa un 29.7% de incremento de territorio urbano; por otra parte, las coberturas de vegetación disminuyeron el 11.7%. Se demostró que las herramientas de teledetección resultan eficientes para identificar las dinámicas de cambios de coberturas de suelo dentro de un territorio.

1.3.2. Antecedentes Nacionales

Monterroso (2022) evaluó el cambio de cobertura por expansión urbana en Macamango, Quillabamba, entre 2007 y 2022, para cuyo análisis se apoyó en los SIG digital y análisis estadístico. Del análisis SIG digital, evaluando las imágenes satelitales, se concluyó que la cobertura urbana representa el 72.30% con una superficie de 90.07 ha, la cobertura vegetal un 14.63% con 18.23 ha, la cobertura de suelo desnudo un 1.78% con 2.22 ha, la cobertura agrícola un 2.08 % con 2.59 ha y otras coberturas menos importantes el 9.20% con 11.46 ha. Del analítico estadístico, determinando los tipos de cobertura de suelo e identificando la pérdida de éstas, se concluyó que el crecimiento urbano alcanzó una tasa de cambio anual de 19.29%, con un área inicial de 6.39 ha y final de 90.07 ha.

Condezo y Monroe (2022) aplicaron la Teledetección para medir la deforestación en el distrito de El Carmen de la Frontera, Piura entre los años 2001 al 2020. La deforestación de cobertura de bosque fue de 14.66% la cual representa 4,321.82 Ha perdidas en el área de estudio entre los años 2001-2020. Para este caso de estudio, se concluye que la Teledetección obtuvo un porcentaje de precisión general cuya efectividad fue de 97.26% con un coeficiente de Kappa igual a 1.

Allcca (2021) llevó a cabo un análisis multitemporal con imágenes satelitales para identificar los cambios por la expansión urbana en el distrito de Ayacucho entre 1990 y 2020. Los métodos de clasificación supervisada le permitieron identificar distintas coberturas, encontrando que al 2020 la cobertura urbana era 2107.0384 ha y representaba el 46.1% del total del distrito de Ayacucho, la cobertura vegetal con 512.4660 ha el 11.2%, la

cobertura del suelo con 1906.5096 ha el 41.7%. Concluyó que la tasa de cambio de cobertura urbana sufrió un incremento anual de 7.0671 % cuya medición de Kappa alcanzó una exactitud de 0.90, 0.91, 0.87 y 0.88.

Giraldo (2021) mediante su estudio, pretendió mostrar las aplicaciones posibles de imágenes satelitales PerúSAT-1 en trabajos de Teledetección e Ingeniería. Encontró que dada las características espectrales del sensor (gran resolución espacial de 2m hasta 10m), se pueden generar mapas y estimar índices de vegetación, agua, nieve, entre otros, así como un análisis de anomalías espectrales por presencia de óxidos, aunque, la realización del análisis para arcillas, carbonatos y otros minerales es limitado por la ausencia de información en el SWIR Y TIR. Al comparar con los resultados de otros productos como SENTINEL-2 (incluso ASTER), concluyó que existe una gran similitud en zonas con valores máximos, pero con diferencias en la distribución de resultados, debido al alcance espacial de cada sensor, del cual PerúSAT-1 posee una mayor resolución.

Cabello y Sotelo (2020) evaluaron el riesgo sísmico en las laderas de las colinas del distrito de Villa María Del Triunfo a través del procesamiento de imágenes satelitales multitemporales (2002 - 2020) de las zonas de ocupación urbana. Tras evaluar la zona de estudio desde diferentes plataformas satelitales, concluyeron que el 7% de viviendas se encuentran con una vulnerabilidad media, 93% con vulnerabilidad alta y el 0.35% con vulnerabilidad muy alta, además el 13% de viviendas tiene un riesgo medio, 53% riesgo alto y 34% riesgo muy alto.

Carrillo y Choquehuanca (2019) analizaron la dinámica de la expansión urbana de la ciudad de Puno, desde 1980 hasta 2017, utilizando técnicas de teledetección mediante uso de análisis multitemporal e imágenes de satélite multiespectrales Landsat 2, 5 y 8. Se aplicó el método de vectorización visual y la clasificación supervisada de máxima probabilidad basado en información espectral de la imagen satelital Landsat. Los resultados arrojaron un crecimiento urbano de 1149.3881 hás entre el periodo de 1980 y 2017, que representa el 15.58 % del total del área urbana dando como promedio el 31.0645 hás/año. Concluyeron que el nivel de exactitud temática es casi perfecto, estando el coeficiente de Kappa situado entre 0.87 a 0.99, con precisión global entre 89.81% a 99.02%, errores de omisión de 7.02% y errores de comisión 2.15 % de la clase del área urbana.

Eche et. al (2019) se propusieron identificar y explicar cuál debe ser el portafolio de productos del satélite PeruSat-1 que podría permitir la satisfacción de las necesidades de información satelital en los diferentes ministerios del Perú. Para ello analizaron el proceso

de obtención y capacidad de procesamiento digital de imágenes satelitales del PeruSAT-1. Concluyeron con una propuesta de solución que demanda un presupuesto de inversión por el valor de US\$ 1'000,000 para equipamiento y, además se propone la creación de una institución denominada “Asociación Civil Americana para el Desarrollo, Investigación, Difusión y Aprovechamiento de Imágenes Satelitales – ACADIDAIS”.

1.3.3. Antecedentes Regionales

Portal y Zambrano (2021) aplicaron la Teledetección Espectral usando el Satélite Landsat 8 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna San Nicolás – Cajamarca. Concluyeron que la reflectancia obtenida a partir del análisis multiespectral, permitió obtener resultados con un margen de error acorde al tamaño de pixel (15 m) que compone la imagen satelital. Por otra parte, los modelos matemáticos para el cálculo de los diferentes parámetros contrastados con la toma de datos en campo, arrojaron una variación de 0.1 a 0.5 en los valores de los parámetros recolectados, verificándose así la efectividad de la técnica satelital.

Guerrero y Ramirez (2020) realizaron una prospección de depósitos minerales mediante datos del Sensor Aster, en el Centro Poblado Shicuana, Cajamarca. Concluyeron que los datos ASTER y el análisis espectral si permitieron discriminar asociaciones minerales de alteración hidrotermal como son cuarzo/alunita, cuarzo/sericita y las esmectitas, pero el análisis espectral no logró identificar concentraciones anómalas de óxidos de hierro.

1.3.4. Antecedentes Locales

Según fuentes oficiales como repositorios universitarios, hasta la fecha aún no han sido encontrados y/o desarrollados proyectos de investigación sobre la aplicación de la Teledetección Satelital en estudios urbanos a nivel local.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivos

2.1.1. *General*

Aplicar la Teledetección Satelital en el estudio de la expansión urbana de la ciudad Jaén desde el año 2013 hasta el 2023.

2.1.2. *Específicos*

Determinar el crecimiento de las áreas urbanizadas de la ciudad de Jaén mediante el uso de imágenes satelitales.

Estimar la concordancia mediante el índice de Kappa de la clasificación supervisada para las imágenes satelitales PERUSAT y LANDSAT.

Medir la precisión al usar combinaciones de bandas multiespectrales para análisis urbano en ambos sistemas satelitales.

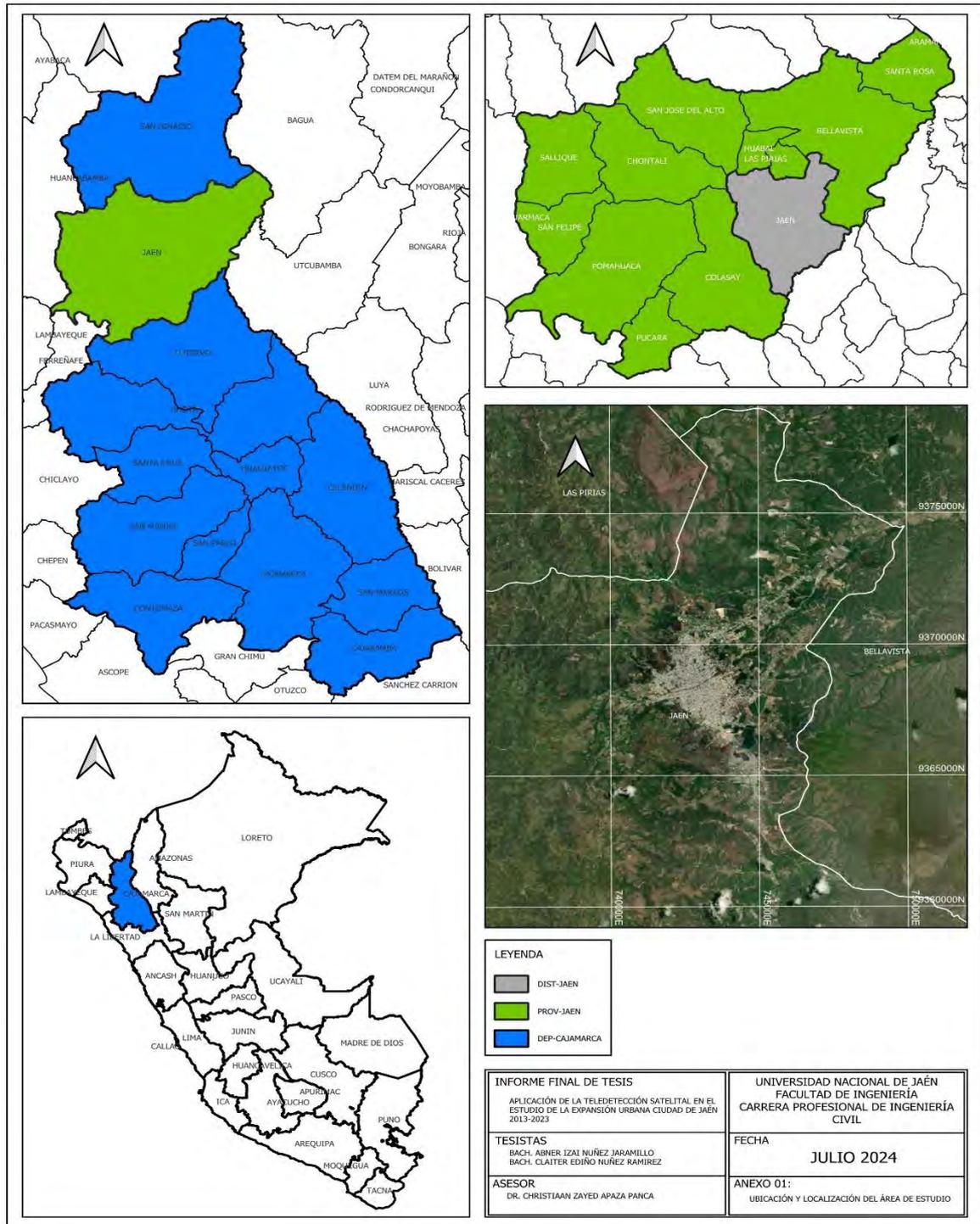
III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

A continuación, se muestra la ubicación de la ciudad de Jaén.

Figura 1

Ubicación y localización del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.2. Población, muestra y muestreo

3.2.1. Población.

La población está representada por la ciudad de Jaén.

3.2.2. Muestra.

Imágenes satelitales de la ciudad de Jaén.

3.2.3. Muestreo.

Tipo no probabilístico. Imágenes satelitales de entre los años 2013 y 2024 con nubosidad porcentual inferior al 30% de la ciudad de Jaén.

3.3. Fuentes de información

3.3.1. Satélite PERUSAT-1

Mediante solicitud de los investigadores, el INSTITUTO DE CIENCIA DE DATOS de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN (INSCID-UNJ) en coordinación con la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), proporcionó algunas imágenes satelitales de la tabla 1.

3.3.2. Satélite LANDSAT-8 y LANDSAT-9

Mediante descarga libre del portal web del United States Geological Survey (USGS), se adquirió algunas imágenes satelitales de la tabla 1.

3.3.3. ESRI Satellite

Mediante Qgis, se accedió al mapa de Environmental Systems Research Institute (ESRI Satellite) para visualizar directamente la trama urbana en color natural.

3.4. Instrumentos y materiales

Los instrumentos necesarios para adquirir la información satelital fueron el sensor PERÚSAT-1, LANDSAT-8 y LANDSAT-9. Por otra parte, el instrumento para procesar la información satelital fue el software de código abierto QGIS.

El material proporcionado por cada uno de los sensores de acuerdo a su capacidad, se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1

Imágenes satelitales proporcionadas por los sensores

SENSOR	Nº	MATERIAL
SENSOR PERÚSAT-1	1	IMG_PER1_20170110153530_ORT_MS_000041
	2	IMG_PER1_20180722154232_ORT_MS_004315
	3	IMG_PER1_20180722154232_ORT_MS_005315
	4	IMG_PER1_20200107153602_ORT_MS_000054

	5	IMG_PER1_20220710154632_ORT_MS_003528
	6	IMG_PER1_20220805154633_ORT_MS_001642
	7	IMG_PER1_20220831154637_ORT_P_001652
SENSOR LANDSAT-8	1	LC08_L2SP_009064_20130427_20200913_02_T1
	2	LC08_L2SP_009064_20130716_20200912_02_T1
	3	LC08_L2SP_009064_20130902_20200912_02_T1
	4	LC08_L2SP_009064_20130918_20200913_02_T1
	5	LC08_L2SP_009064_20181018_20200830_02_T1
	6	LC08_L2SP_009064_20181205_20200830_02_T1
	7	LC08_L2SP_009064_20230117_20230131_02_T1
SENSOR LANDSAT-9	1	LC09_L1TP_009064_20240417_20240417_02_T1
	2	LC09_L2SP_009064_20240417_20240418_02_T1
	3	LC09_L2SP_009064_20230517_20230519_02_T1
	4	LC09_L2SP_010064_20230321_20230323_02_T1

Fuente: Elaboración propia

De las imágenes satelitales listadas en la tabla 1, se seleccionó aquellas que poseen una nubosidad inferior al 30% y además el área de estudio se encuentre visible. La tabla 2 contiene el material que cumple con los requisitos anteriores.

Tabla 2

Imágenes satelitales aptas para el estudio

SENSOR	Nº	MATERIAL
SENSOR PERÚSAT-1	1	IMG_PER1_20170110153530_ORT_MS_000041
	2	IMG_PER1_20200107153602_ORT_MS_000054
SENSOR LANDSAT-8	1	LC08_L2SP_009064_20130716_20200912_02_T1
SENSOR LANDSAT-9	1	LC09_L1TP_009064_20240417_20240417_02_T1

Nota: Ver anexos 3, 4, 5 y 6

3.5. Métodos y técnicas

3.5.1. Métodos

La investigación se ejecutó aplicando el método inductivo, la cual según Arias (2020) usa la observación y análisis de datos específicos como base para desarrollar generalizaciones. Su aplicación implicó la recopilación y análisis de datos satelitales sobre áreas urbanas que permitan identificar patrones y tendencias de expansión. A partir de estos se pudo formular conclusiones, validar hipótesis y conocer los procesos y factores que influyen en la expansión urbana de la ciudad de Jaén.

3.5.2. Técnicas

El estudio de la expansión urbana mediante la teledetección satelital implica el uso de diversas técnicas que permiten la recopilación, procesamiento y análisis de datos espaciales y espectrales. A continuación, se detallan las técnicas aplicadas en este estudio:

Clasificación Supervisada: Usaremos muestras de entrenamiento para clasificar las imágenes en categorías como áreas urbanas, vegetación, agua y suelo desnudo.

Detección de Cambios: Aplicaremos el análisis de diferencia de imágenes para identificar y cuantificar las áreas de expansión urbana.

Tabla 3

Variables

	Variable	Indicador	Técnica	Instrumento
Dependiente	Expansión Urbana	Crecimiento porcentual de área urbana	Modelado y simulación digital	Software QGIS
Independiente	Teledetección Satelital	Resolución espacial y espectral de imagen satelital	Procesamiento de imagen satelital	Software QGIS y sensor de los Satélites PeruSat-1 y Landsat 8 y 9

Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimiento

Para el desarrollo de esta investigación se usó QGIS, un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de código abierto. Este a su vez, hizo necesario la instalación del complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP).

Según Congedo (2021) el Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) es un complemento para QGIS que permite la clasificación semiautomática (también conocida como clasificación supervisada) facilitando el trabajo con imágenes satelitales mediante un flujo de trabajo estructurado que incluye etapas de preprocesamiento, procesamiento y postprocesamiento, las cuales se detallan a continuación:

3.6.1. Preprocesamiento

Incluye el uso de herramientas desde la corrección atmosférica hasta el alineamiento de imágenes, mejorando la calidad de los datos y su comparabilidad a lo largo del tiempo.

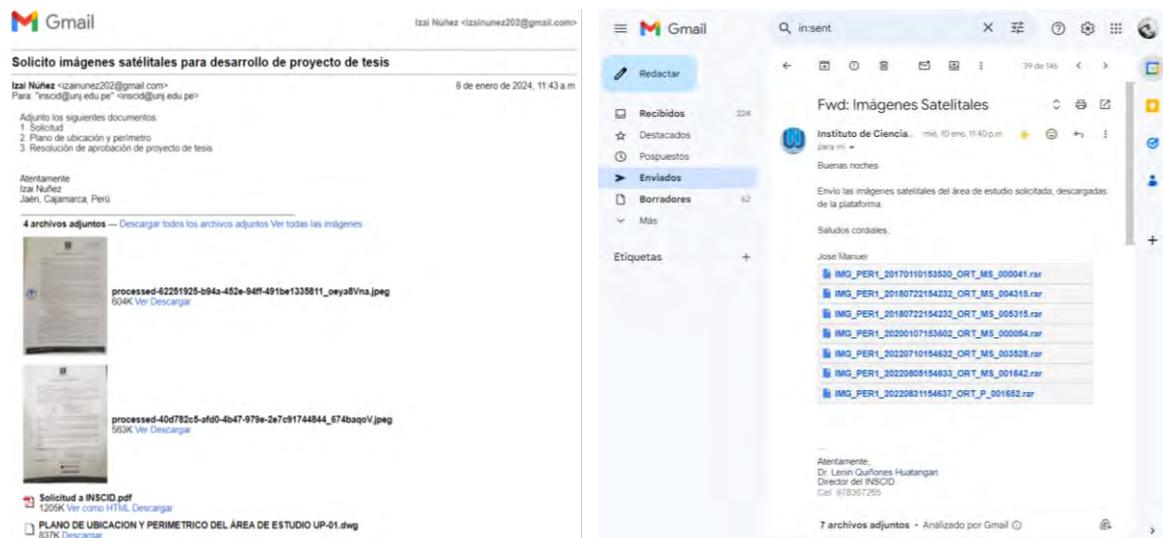
El preprocesamiento es fundamental para preparar las imágenes satelitales antes del análisis. SCP ofrece varias herramientas para esta etapa:

3.6.1.1. Adquisición de Imágenes

- ✓ Fuente de Datos: SCP permite descargar imágenes de satélites como Landsat (portal USGS), Sentinel-2 y MODIS directamente desde el plugin.
- ✓ Configuración: Selección del área de interés y las fechas específicas para obtener las imágenes relevantes.

Figura 2

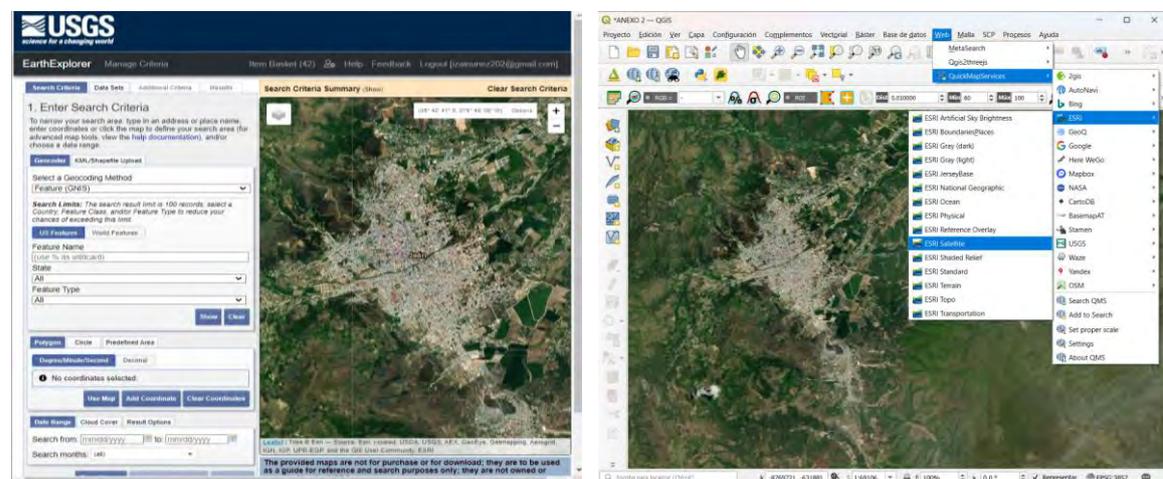
Proceso de adquisición de imágenes satelitales PERUSAT



Nota: Solicitud al INSCID-UNJ para acceder a las imágenes satelitales (izquierda) y entrega de estas (derecha).

Figura 3

Portal del United States Geological Survey (USGS)



Nota: Sitio web del portal USGS (izquierda) y acceso a ESRI Satellite en Qgis (derecha).

3.6.1.2. Corrección Atmosférica

- ✓ Corrección: Eliminación de los efectos atmosféricos que pueden distorsionar los datos espectrales.
- ✓ Métodos: SCP utiliza métodos como DOS1 (Dark Object Subtraction) para realizar la corrección atmosférica en las imágenes.

3.6.1.3. Corrección Geométrica

- ✓ Alineamiento: Asegurar que las imágenes de diferentes fechas y fuentes se alineen correctamente.
- ✓ Resampling: Utilización de técnicas de resampling para corregir diferencias en la resolución espacial y la alineación de píxeles.

3.6.1.4. Calibración Radiométrica

- ✓ Normalización: Ajustar las imágenes para que los valores de reflectancia sean comparables a lo largo del tiempo y entre diferentes sensores.
- ✓ Calibración: SCP facilita la calibración radiométrica mediante la conversión de valores de píxeles a unidades de reflectancia de superficie.

3.6.2. Procesamiento

En esta etapa se lleva a cabo la clasificación y análisis de las imágenes preprocesadas:

3.6.2.1. Clasificación de Imágenes

a) Clasificación Supervisada:

- ✓ Muestras de Entrenamiento: Selección de píxeles representativos para cada clase de cobertura del suelo (por ejemplo, áreas urbanas, vegetación, agua).
- ✓ Algoritmos: Aplicación de algoritmos de clasificación como Máxima Verosimilitud y SVM (Support Vector Machine).

b) Clasificación No Supervisada:

- ✓ Agrupamiento: Agrupación de píxeles en clases basadas en similitudes espectrales sin necesidad de conocimiento previo.
- ✓ Métodos: Algoritmos como K-means e ISODATA.

3.6.2.2. Cálculo de Índices de Vegetación

- ✓ NDVI: Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para identificar y analizar la vegetación.
- ✓ Otros Índices: EVI (Enhanced Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) para obtener información adicional sobre la vegetación.

3.6.2.3. Detección de Cambios

- ✓ Análisis Multi-temporal: Comparación de imágenes de diferentes fechas para identificar cambios en la cobertura y uso del suelo.
- ✓ Métodos: Diferencia de imágenes, análisis de componentes principales (PCA), transformada de Tasselled Cap para resaltar los cambios.

3.6.3. Postprocesamiento

El postprocesamiento incluye la validación, refinamiento y presentación de los resultados del análisis:

3.6.3.1. Validación de la Clasificación

- ✓ Matriz de Confusión: Evaluación de la precisión de la clasificación comparando las clases predichas con datos de referencia.
- ✓ Índices de Precisión: Cálculo de métricas como precisión global, precisión por clase, y coeficiente kappa.

Tabla 4

Valores del Índice Kappa (K)

Valor de K	Concordancia
0.00 – 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

Fuente: López y Pita (2001)

3.6.3.2. Refinamiento de Resultados

- ✓ Filtrado Espacial: Aplicación de filtros para eliminar el ruido y mejorar la apariencia de las clasificaciones.
- ✓ Ajuste Manual: Corrección manual de errores de clasificación utilizando herramientas de edición de QGIS.

3.6.3.3. Generación de Mapas Temáticos

- ✓ Visualización: Creación de mapas temáticos que representen las distintas clases de cobertura del suelo y los cambios detectados.
- ✓ Informes: Generación de informes detallados que incluyan mapas, gráficos y estadísticas del análisis.

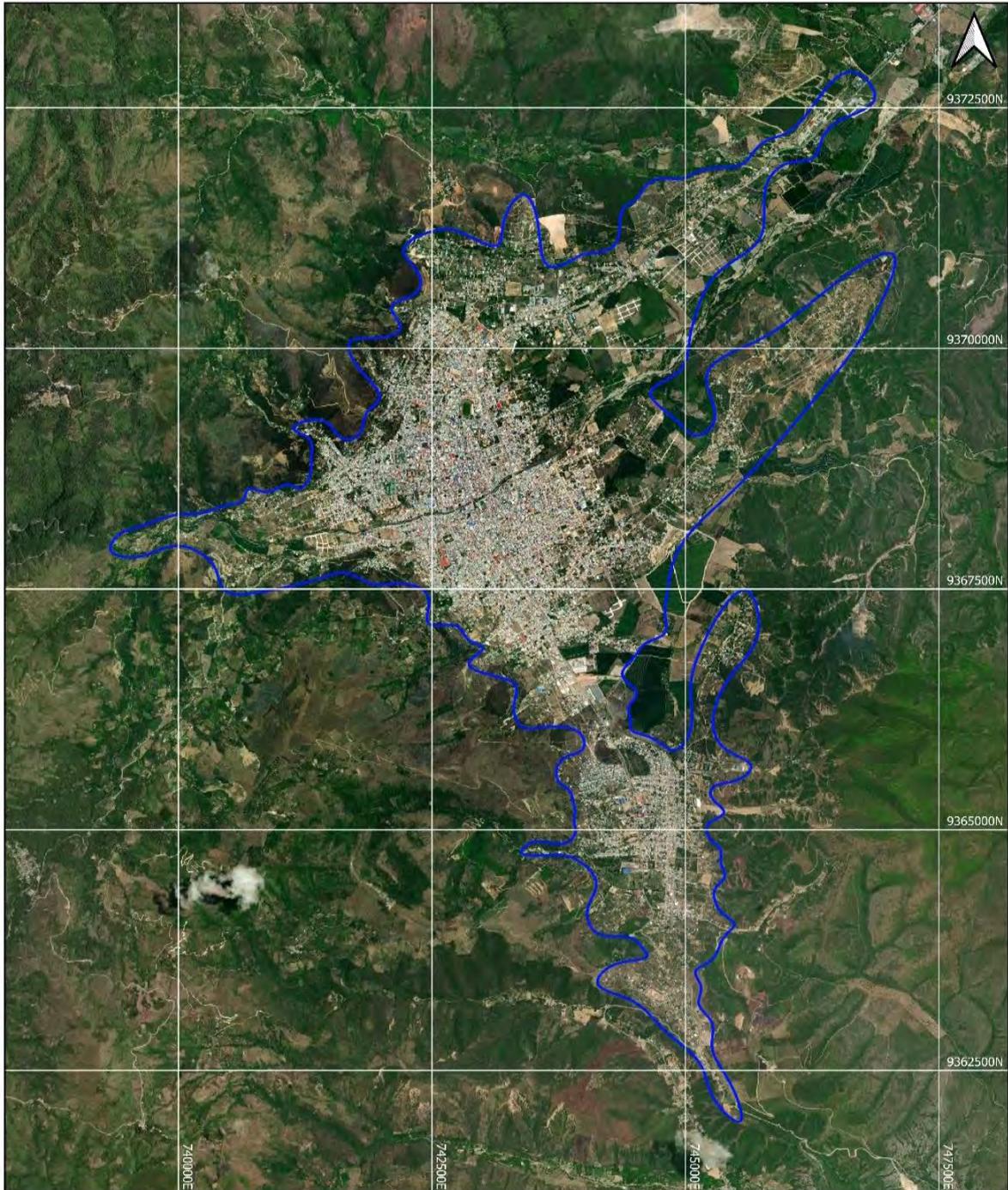
IV. RESULTADOS

4.1. Delimitación del área de estudio

Mediante revisión visual se delimito el casco urbano de la ciudad. El desarrollo de este apartado implica del uso de QGIS.

Figura 4

Delimitación de area de estudio

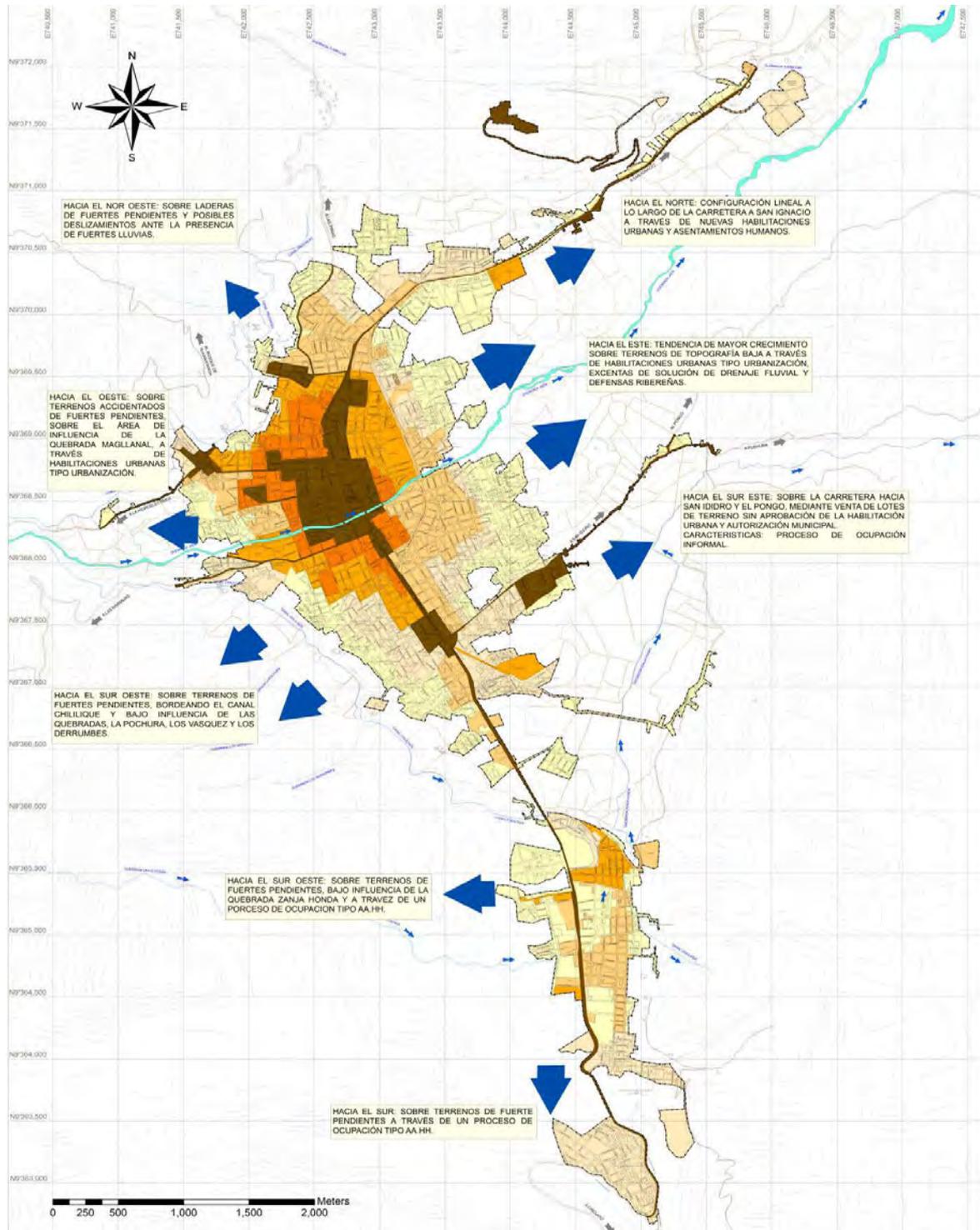


Fuente: Elaboración propia

La delimitación del casco urbano también se basó en el mapa de expansión que pronosticó el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Jaén, el cual tiene vigencia hasta el 2025, habiendo sido elaborado en el 2013.

Figura 5

Tendencias de crecimiento 2013-2025



Fuente: Plan de Desarrollo Urbano ciudad de Jaén 2025, lámina N° 05

A continuación, la descripción de combinación de bandas.

4.2.1.1. Natural Color (B3, B2, B1)

Representa una imagen similar a lo que el ojo humano vería. Se aplica para la identificación visual de áreas urbanas, vegetación y cuerpos de agua.

4.2.1.2. False Color Infrared (B4, B3, B2)

La vegetación aparece en rojo, áreas urbanas en tonos grises/azules. Se aplica en la detección y análisis de vegetación y su relación con áreas urbanas. Útil para monitorear la expansión urbana y su impacto en la vegetación.

4.2.1.3. Urban Analysis (B4, B2, B1)

Realza las diferencias entre áreas construidas y naturales. Se aplica en la identificación y delineación de áreas urbanas y no urbanas, útil para estudios detallados de expansión urbana.

4.2.2. Combinación LANDSAT

El programa de satélites LANDSAT proporciona datos en múltiples bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas ópticas y de infrarrojo.

Tabla 6

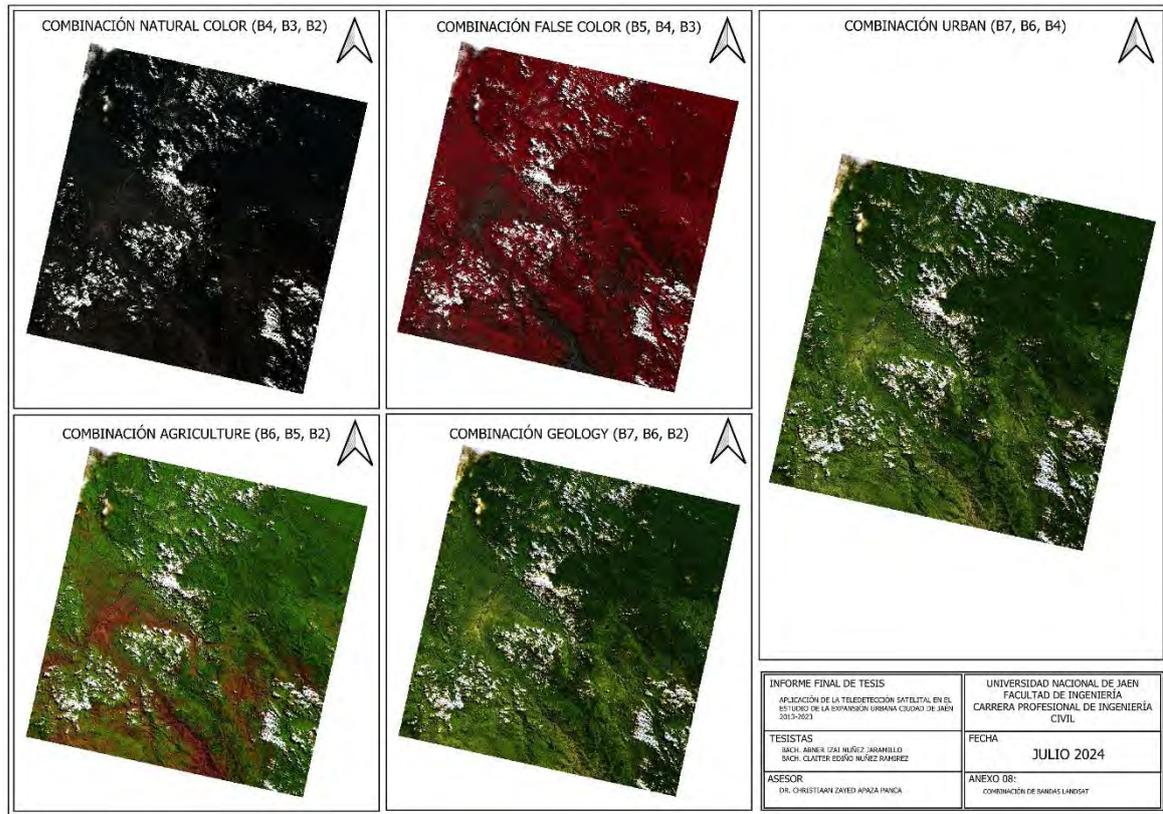
Características de imágenes LANDSAT

Bandas espectrales		Sensor	Longitud de onda (µm)	Resolución espacial (m)
Nº	Descripción			
1	Aerosol	OLI-2	0.435 – 0.451	30
2	Azul	OLI-2	0.452 – 0.512	30
3	Verde	OLI-2	0.533 – 0.590	30
4	Rojo	OLI-2	0.636 – 0.673	30
5	Infrarrojo cercano NIR	OLI-2	0.851 – 0.879	30
6	Infrarrojo de onda corta SWIR1	OLI-2	1.566 – 1.651	30
7	Infrarrojo de onda corta SWIR2	OLI-2	2.107 – 2.294	30
8	Pancromático	OLI-2	0.503 – 0.676	15
9	Cirrus	OLI-2	1.363 – 1.384	30
10	Sensor infrarrojo térmico 1	TIRS-1	10.600 – 11.190	100
11	Sensor infrarrojo térmico 2	TIRS-2	11.500 – 12.510	100
Resolución temporal: 16 días			Ancho de barrido: 180 Km	

Fuente: Servicio Geológico de EE.UU.

Figura 7

Combinación de bandas LANDSAT



Fuente: Elaboración propia

A continuación, la descripción de combinación de bandas.

4.2.2.1. Natural Color (B4, B3, B2)

Imagen similar a lo que el ojo humano vería. Se aplica para la visualización general de áreas urbanas y vegetación.

4.2.2.2. False Color (B5, B4, B3)

Vegetación en tonos rojos, áreas urbanas en grises/azules. Se aplica en el monitoreo de la vegetación y análisis de áreas urbanas. Identificación de cambios en la cobertura del suelo debido a la expansión urbana.

4.2.2.3. Urban (B7, B6, B4)

Resalta las áreas construidas en tonos brillantes. Se aplica en la identificación de áreas urbanas y su expansión. Útil para detectar y analizar áreas urbanas densas y nuevas construcciones.

4.2.2.4. *Agriculture (B6, B5, B2)*

Destaca la vegetación y áreas agrícolas. Se aplica en el análisis de la interacción entre áreas urbanas y agrícolas. Monitoreo de la conversión de tierras agrícolas en áreas urbanas.

4.2.2.5. *Geology (B7, B6, B2)*

Útil para identificar diferentes tipos de suelo y rocas. Se aplica en el análisis del impacto de la expansión urbana en diferentes tipos de suelo.

4.3. **Clasificación supervisada**

La técnica de Clasificación Supervisada es un método de procesamiento de imágenes en teledetección que implica la categorización de píxeles en una imagen satelital en distintas clases de cobertura del suelo, basándose en muestras conocidas de esas clases. Esta técnica se utiliza ampliamente en aplicaciones de estudios ambientales, monitoreo de cambios, agricultura, y expansión urbana. Aquí se detalla el proceso completo de la clasificación supervisada, incluyendo las etapas y técnicas asociadas:

4.3.1. *Selección de Muestras de Entrenamiento (ROI's)*

Se procedió con la selección de píxeles representativos para las clases de cobertura del suelo adjuntas en la tabla 4.

Tabla 7

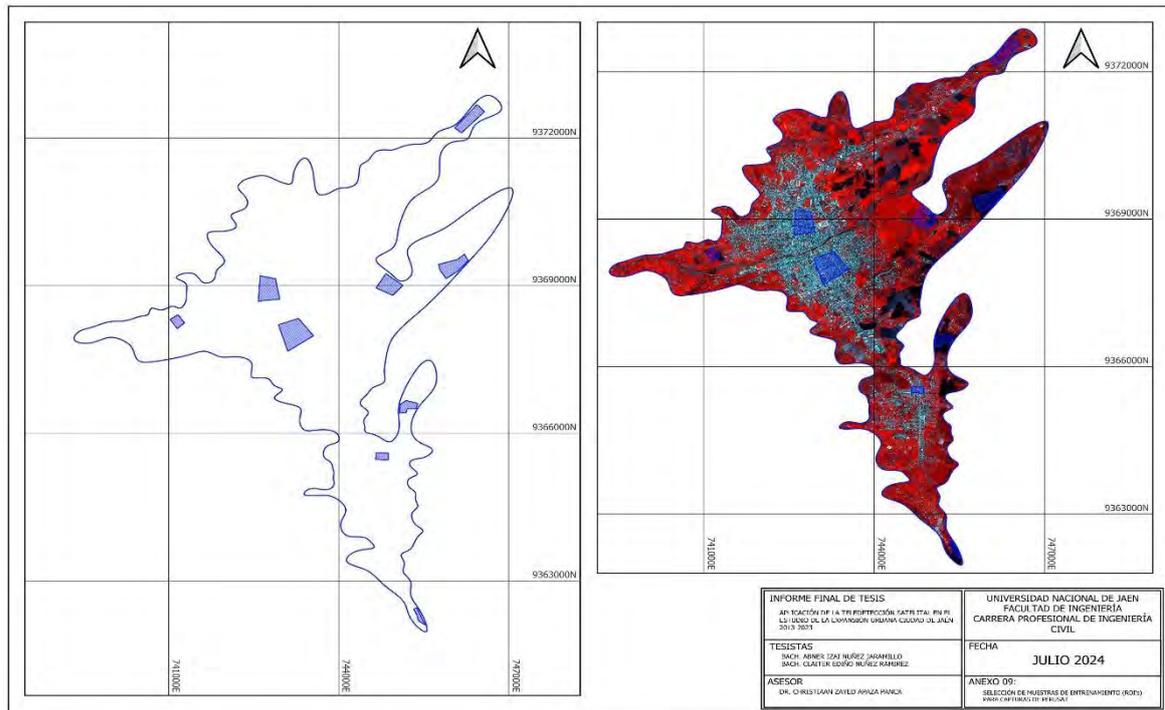
Tipos de cobertura identificados

Ítem	Clase	Nomenclatura	Descripción
1	Cobertura con vegetación	CVG	Corresponde a los arbustos y cultivos de arroz o maíz.
2	Cobertura urbana	CAU	Corresponde los lotes urbanos, rústicos y sus vías.
3	Cobertura sin clasificación	CSC	Corresponde a las áreas cubiertas por nubes o sin clasificación.

Fuente: Elaboración propia

Figura 8

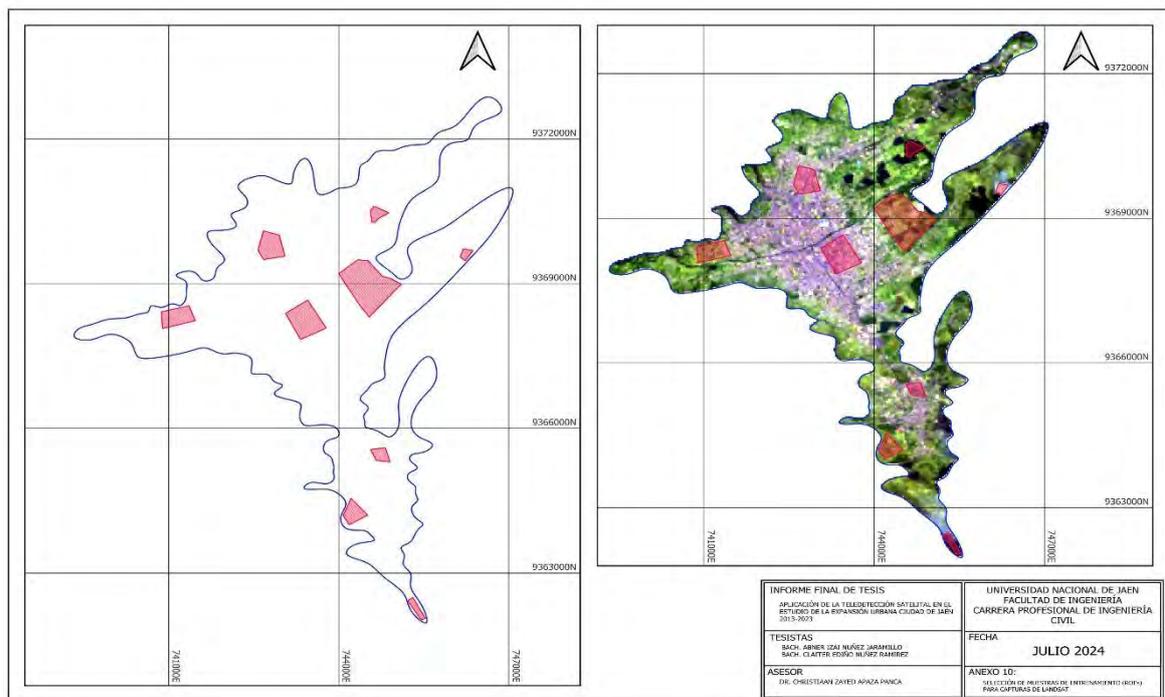
Muestras de entrenamiento (ROI's) para capturas de PERUSAT



Nota: Véase anexo 09

Figura 9

Muestras de entrenamiento (ROI's) para capturas de LANDSAT



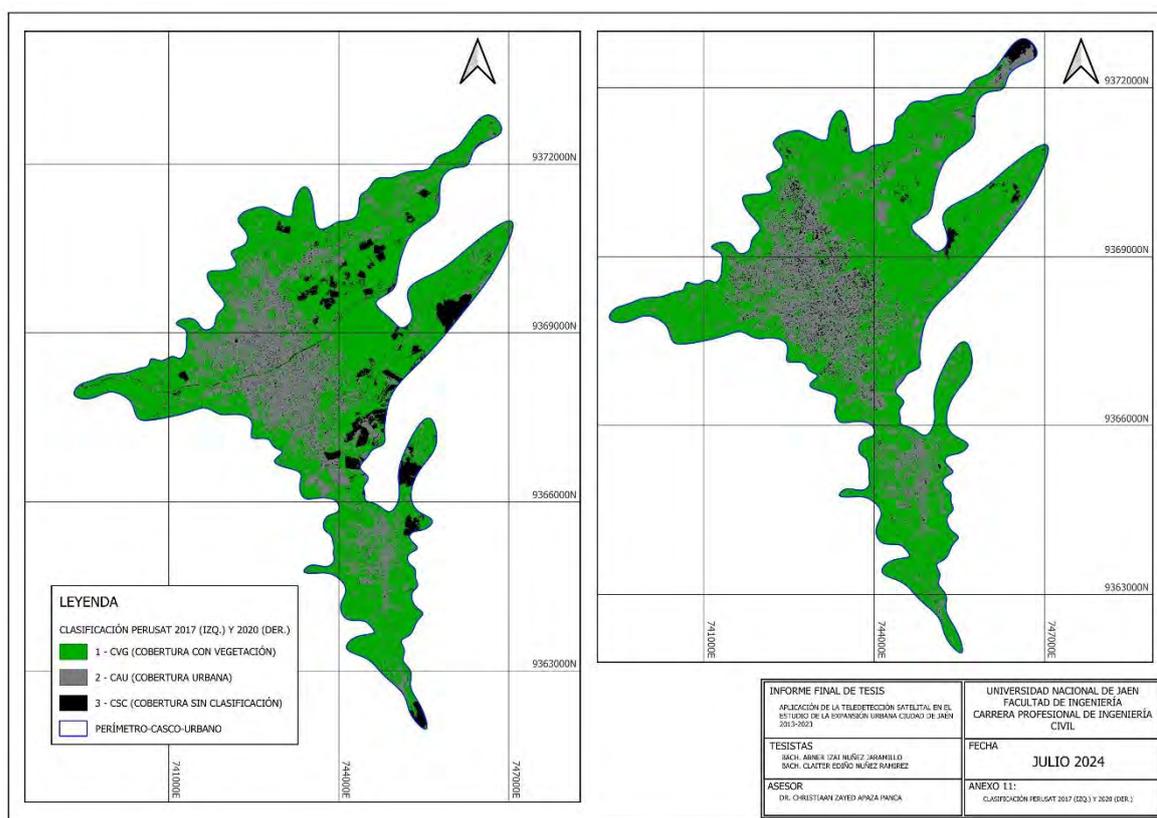
Nota: Véase anexo 10

4.3.2. Clasificación de la imagen completa

A continuación, se presentan los resultados gráficos de la clasificación PERUSAT y LANDSAT, calculados de con el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) en Qgis.

Figura 10

Clasificación PERUSAT



Nota: Véase anexo 11

Tabla 8

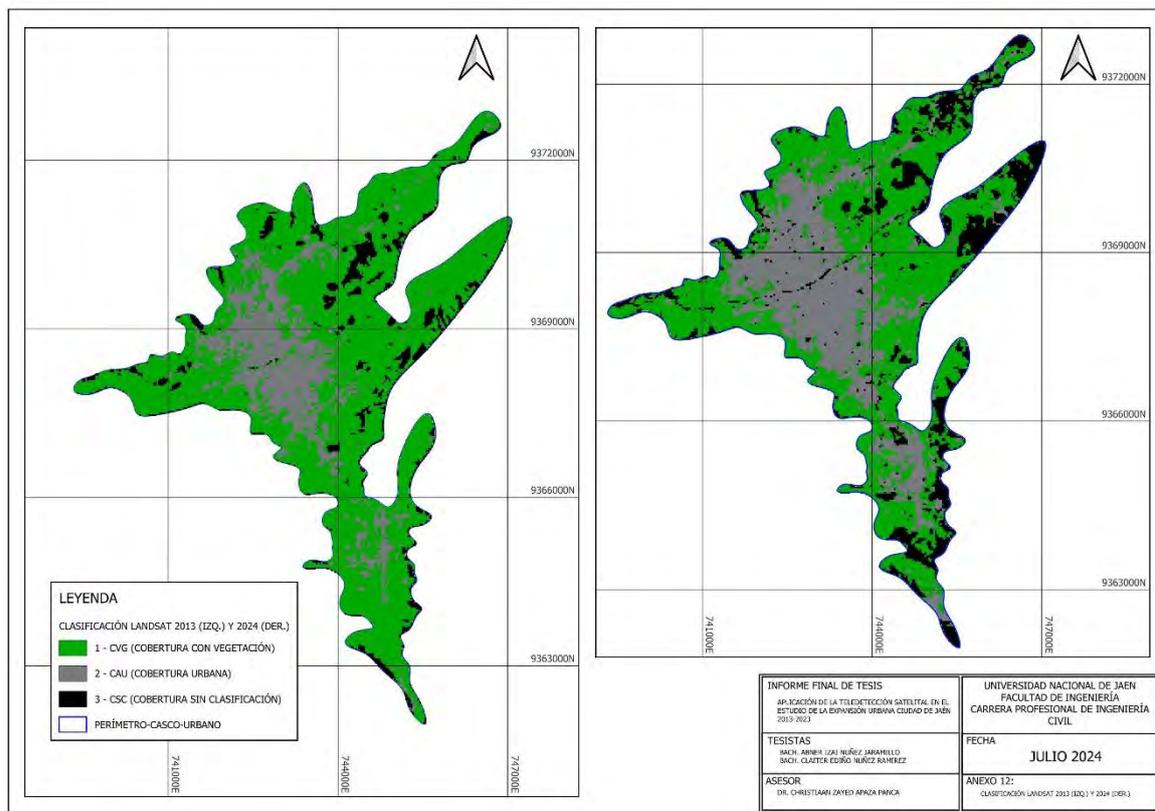
Clasificación PERUSAT

Clase	2017-01-10		2020-01-07	
	Área (Ha)	Porcent.	Área (Ha)	Porcent.
CVG (Cobertura con vegetación)	1,561.43	65.83%	1,607.89	67.79%
CAU (Cobertura urbana)	627.43	26.46%	673.45	28.40%
CSC (Cobertura sin clasificación)	182.81	7.71%	90.33	3.81%
Total	2,371.67	100%	2,371.67	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Clasificación LANDSAT



Nota: Véase anexo 12

Tabla 9

Clasificación LANDSAT

Clase	2013-07-16		2024-04-17	
	Área (Ha)	Porcent.	Área (Ha)	Porcent.
CVG (Cobertura con vegetación)	1,736.64	73.22%	1,236.96	52.15%
CAU (Cobertura urbana)	452.43	19.07%	733.05	30.90%
CSC (Cobertura sin clasificación)	182.88	7.71%	401.94	16.95%
Total	2,371.95	100%	2,371.95	100%

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Validación de la clasificación

Para la validación de la clasificación se realizó un muestreo aleatorio de puntos en el que cada uno tiene la misma probabilidad de ser seleccionado, y su distribución garantiza la representatividad de todas las clases o coberturas de interés presentes en el área de estudio.

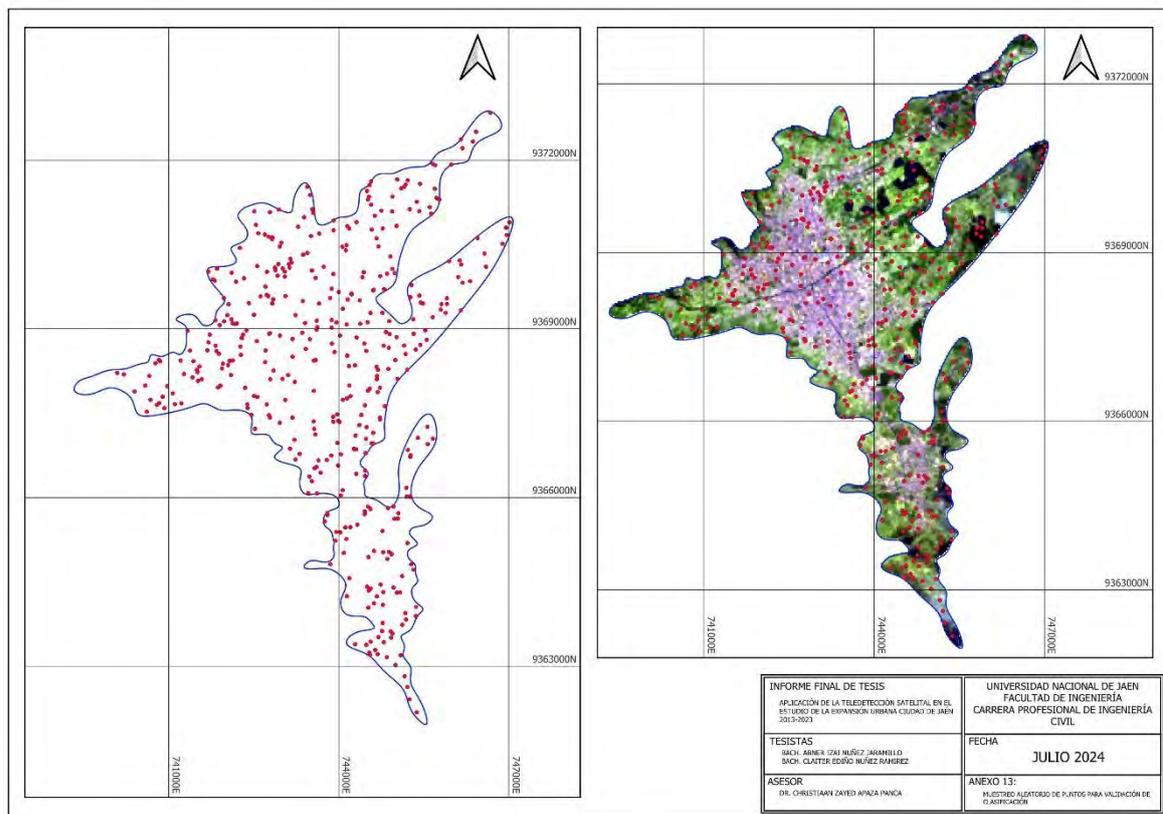
El tamaño de la muestra es de 385 como mínimo, pero en este caso se utilizó un total de 417 puntos seleccionados aleatoriamente.

$$n = \frac{(Z^2)(p)(1 - p)}{c^2} = \frac{(Z^2)(p)(1 - p)}{c^2} \cong 417$$

- Donde;
- Z: Nivel de confianza (95%)
 - c: Margen de error (0.05)
 - p: Heterogeneidad (0.50)
 - n: Tamaño de muestra (mínimo 385)

Figura 12

Muestreo aleatorio de puntos para validación de clasificación

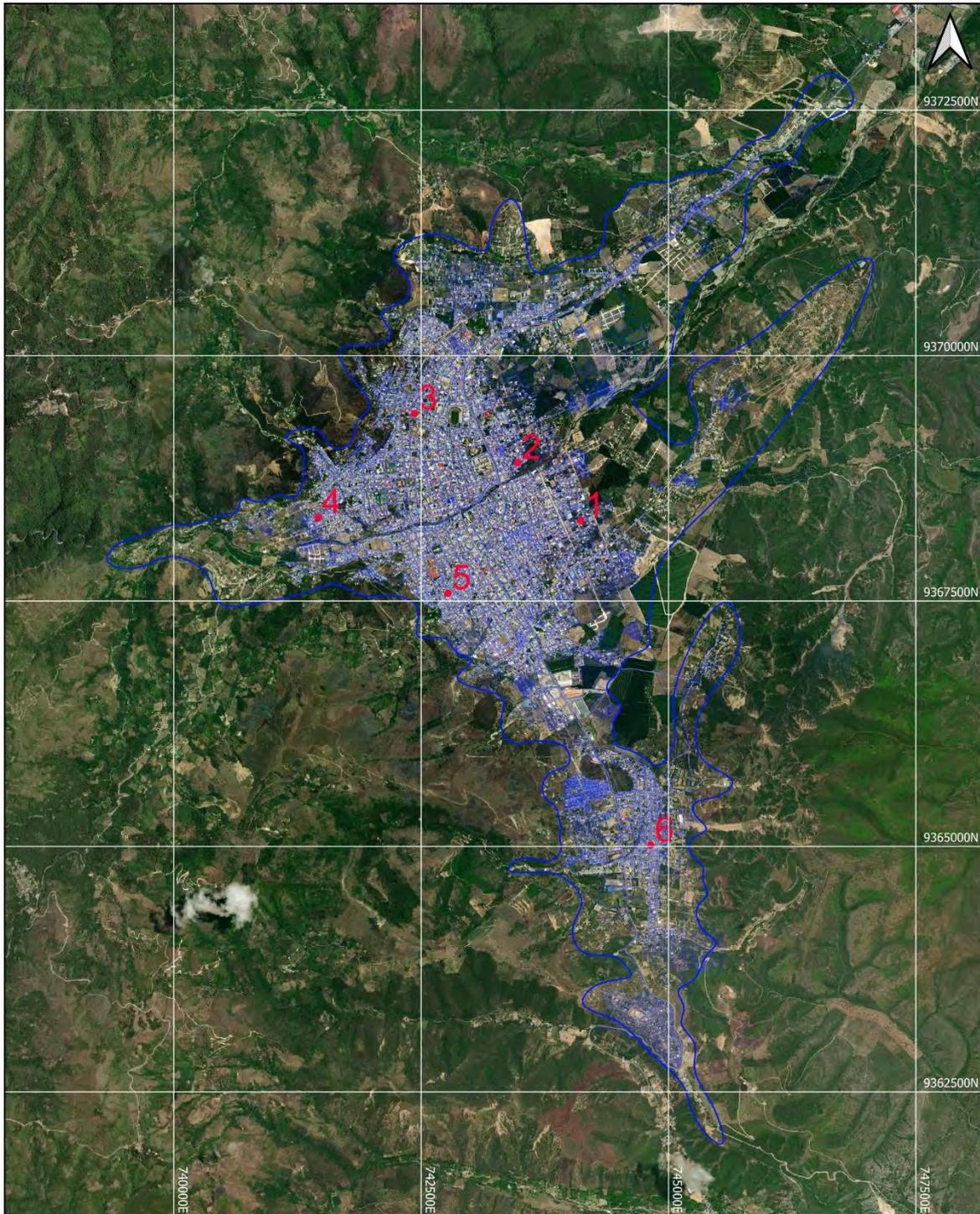


Nota: Véase anexo 13

Adicionalmente se establecieron 6 puntos de inspección en la intersección calle Mariano Melgar y Albert Einsten (punto 1), calle Las Poncianas frente a parque Las Flores (punto 2), intersección calle Tahuantinsuyo y Unión (punto 3), calle Bracamoros frente a Parque Pakamuros II (punto 4), calle San Luis entre Marañón y Cruz de Motupe (punto 5), intersección calle Victor Raul Haya de la Torre y jirón Andrés Avelino Cáceres (punto 6).

Figura 13

Ubicación de puntos de inspección



Fuente: Elaboración propia

4.3.3.1. Matriz de Confusión

La matriz de confusión permitió comparar las clases predichas por el clasificador con las clases reales (de referencia), evaluar la precisión de la

clasificación, y calcular las métricas como precisión global, precisión por clase y coeficiente kappa.

Tabla 10

Matriz de confusión para clasificación PERUSAT 2017-01-10

Clase	CVG	CAU	CSC	Total
Cobertura con vegetación (CVG)	223	10	4	237
Cobertura urbana (CAU)	13	82	1	96
Cobertura sin clasificación (CSC)	3	2	20	25
Total	239	94	25	358
Producer's accuracy (PA%)	93.22	86.94	81.64	-
User's accuracy (UA%)	94.09	85.42	80.00	-
Kappa hat	0.82	0.80	0.78	-
Precisión Total				90.71%
Clasificación Kappa				0.81

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Matriz de confusión para clasificación PERUSAT 2020-01-07

Clase	CVG	CAU	CSC	Total
Cobertura con vegetación (CVG)	270	7	1	278
Cobertura urbana (CAU)	20	94	2	116
Cobertura sin clasificación (CSC)	3	4	8	15
Total	293	105	11	409
Producer's accuracy (PA%)	92.09	89.42	73.47	-
User's accuracy (UA%)	97.12	81.03	53.33	-
Kappa hat	0.89	0.74	0.52	-
Precisión Total				90.89%
Clasificación Kappa				0.79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12*Matriz de confusión para clasificación LANDSAT 2013-07-16*

Clase	CVG	CAU	CSC	Total
Cobertura con vegetación (CVG)	477	52	6	535
Cobertura urbana (CAU)	16	127	0	143
Cobertura sin clasificación (CSC)	24	0	30	54
Total	517	179	36	732
Producer's accuracy (PA%)	92.15	70.42	83.91	-
User's accuracy (UA%)	89.16	88.81	55.56	-
Kappa hat	0.63	0.85	0.53	-
Precisión Total				86.50%
Clasificación Kappa				0.69

Fuente: Elaboración propia**Tabla 13***Matriz de confusión para clasificación LANDSAT 2024-04-17*

Clase	CVG	CAU	CSC	Total
Cobertura con vegetación (CVG)	334	34	12	380
Cobertura urbana (CAU)	31	181	2	214
Cobertura sin clasificación (CSC)	47	6	47	100
Total	412	221	61	694
Producer's accuracy (PA%)	78.65	82.14	80.45	-
User's accuracy (UA%)	87.89	84.58	47.00	-
Kappa hat	0.71	0.77	0.41	-
Precisión Total				79.94%
Clasificación Kappa				0.65

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Para el desarrollo de la presente tesis, se solicitaron múltiples imágenes satelitales PERUSAT al CONIDA, con el objetivo de estudiar detalladamente la evolución de la ciudad en espacios multitemporales más cortos, pero la mayoría poseía un alto porcentaje de nubosidad impidiendo la visibilidad total o parcial de la ciudad, con algunas excepciones.

Los resultados del estudio indicaron un crecimiento de cobertura urbana del 7.33% según la clasificación a partir de imágenes PERUSAT entre el 2017 hasta el 2020, pasando de 627.43 a 673.45 ha. Para el caso de la clasificación a partir de imágenes LANDSAT se obtuvo que la cobertura urbana creció un 62.03% desde el 2013 hasta el 2024, pasando de 452.43 a 733.05 ha. Es necesario mencionar que las áreas verdes y áreas urbanas en proceso de consolidación fueron consideradas por el algoritmo de clasificación como coberturas con vegetación y no fueron sumadas a la cobertura urbana. Esa es la razón por la que el resultado es inferior al área que menciona el Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad (PDU) en el 2013, el cual estimaba que el casco urbano era de 896.76 ha en aquel entonces.

Ha sido visto que el desempeño del índice Kappa fue superior en imágenes PERUSAT en comparación con las LANDSAT, este resultado es atribuible a la superior resolución espacial que tiene el primero, tanto en las bandas pancromáticas como en las bandas multiespectrales, aunque en este caso no fueron usadas las bandas pancromáticas. Cabe admitir que una baja resolución espacial expone los estudios a posibles errores en la clasificación. Entre las limitaciones técnicas del estudio realizado encontramos que para imágenes PERUSAT el ancho de barrido es reducido y no supera los 14.50 km; y para el caso de imágenes LANDSAT, los 30 m de resolución espacial hacen imperceptibles detalles en coberturas urbanas como medianos cuerpos de agua y vías o calles angostas.

La teledetección satelital permitió conocer cuantitativamente la expansión urbana de la ciudad, quedando de esta manera demostrada su utilidad al ser aplicada en este tipo de estudios, coincidiendo con las investigaciones de Giraldo (2021), Allecca (2021) y Monterroso (2022), quienes concluyen de la misma manera. Hasta ahora, la aplicación de la teledetección satelital ha sido limitada a cuantificar la expansión urbana de las ciudades, pero esta también puede usarse en estudios cuyo objetivo sería desarrollar modelos predictivos que logren identificar patrones de crecimiento urbano y prever futuras expansiones, y por otra parte evaluar el impacto y afectación de la expansión urbana en los ecosistemas naturales circundantes; siendo estas sugerencias de estudios futuros.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La teledetección satelital ha revelado un crecimiento urbano del 7.33% según imágenes PERUSAT desde el 2017 hasta el 2020, y un 62.03% según imágenes LANDSAT desde el 2013 hasta el 2024, permitiendo conocer el evidente aumento de áreas urbanizadas en la ciudad de Jaén.

El índice Kappa de la clasificación supervisada arroja una concordancia de 0.81 (muy buena) y 0.79 (buena) para las imágenes PERUSAT del 2017 y 2020; y una concordancia de 0.69 (buena) y 0.65 (buena) para las imágenes LANDSAT del 2013 y 2024, respectivamente.

La combinación de bandas multiespectrales PERUSAT permitió obtener una precisión del 90.71% y 90.89% en las clasificaciones del 2017 y 2020; demostrando superioridad con respecto a los 86.50% y 79.94% de precisión en las clasificaciones LANDSAT del 2013 y 2020, respectivamente.

6.2. Recomendaciones

Aplicar técnicas avanzadas de Pan-sharpening que permitan la combinación de bandas pancromáticas y multiespectrales para maximizar la resolución espacial y precisión de clasificación.

Ajustar los parámetros de la clasificación incrementando la cantidad de clases de cobertura y las muestras representativas ROI's para obtener un índice Kappa y validación aceptable.

Para estudios urbanos de mayor complejidad, se recomienda fraccionar la ciudad, debido a que por su condición geográfica se encuentra con frecuencia parcialmente cubierta por nubes que impiden analizarla en su totalidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allcca, J. (2021). *Análisis multitemporal de la expansión urbana, del distrito de Ayacucho, mediante imágenes satelitales, en el período 1990-2020*. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73287>
- Banco Mundial. (19 de 06 de 2023). *Desarrollo urbano*.
<https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/>
- Cabello, V., & Sotelo, J. (2020). *Identificación del crecimiento urbano en zonas de pendiente para evaluar el riesgo sísmico*. [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3859>
- Carrillo, A., & Choquehuanca, V. (2019). *Análisis multitemporal del crecimiento urbano de la ciudad de Puno mediante imágenes satelitales, entre los años 1980 - 2017*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12046>
- Chicchón, M. (2018). *Fusión de datos para segmentación de semántica en aplicaciones urbanas de Teledetección Aérea usando algoritmos de aprendizaje profundo*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/14459>
- Condezo, F., & Monroe, S. (2020). *Aplicación de Teledetección para medir la deforestación en el distrito de El Carmen de la Frontera, Piura 2001-2020*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/92249>
- Congedo, L. (2021). *Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing*. Journal of Open Source Software.
<https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Eche, H., Espinoza, G., Saico, F., & Zúñiga, J. (2019). *El satélite peruano PeruSAT-1 : potencial de aplicaciones para el sector público*. [Tesis de Maestría, Universidad ESAN. Escuela de Administración de Negocios para Graduados].
<https://hdl.handle.net/20.500.12640/1731>
- Epinoza, A., & Fort, R. (2020). *Mapeo y tipología de la expansión urbana en el Perú*.
https://www.grade.org.pe/wpcontent/uploads/EspinozaFort_GRADEADI_expansionurbana.pdf

- Giraldo, R. (2021). Análisis de aplicaciones espectrales derivados de imágenes satelitales PerúSAT-1. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 24(47), 75–81.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20653>
- Hussam, A.-B. (2019). Spatial Monitoring of Urban Expansion Using Satellite Remote Sensing Images: A Case Study of Amman City, Jordan. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, 11(8), 2260.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/8/2260>
- Jiménez, H. (2018). *Análisis del crecimiento urbano a partir de imágenes landsat en el Cantón Durán, provincia del Guayas, en el periodo 1990-2015*. [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3949>
- Meza, J., & Ramírez, M. (2021). Análisis espacial de la expansión urbana y la incidencia de las políticas habitacionales en la ciudad de General José de San Martín (Provincia del Chaco, Argentina). *Investigaciones Geográficas*, (76), 163-177.
<https://www.investigacionesgeograficas.com/article/view/18372>
- Monterroso, J. (2022). *Cambio de cobertura por expansión urbana a través del espacio multitemporal para mejorar el ordenamiento territorial Macamango Quillabamba 2007-2022*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/92031>
- Municipalidad Provincial de Jaén. (2013). *Plan de Desarrollo Urbano ciudad de Jaén 2025*.
<https://munijaen.gob.pe/documentos/proyecto1/RESUMEN%20EJECUTIVO.pdf>
- Portal, R., & Zambrano, E. (2021). *Teledetección espectral usando el satélite LANDSAT 8 para el monitoreo fisicoquímico del agua de la laguna San Nicolas - Cajamarca 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte].
<https://hdl.handle.net/11537/28978>
- Ramírez, C., & Guerrero, L. (2020). *Prospección de depósitos minerales mediante datos del sensor Aster, centro poblado Shicuana, Cajamarca 2020*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/25893>

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a nuestra maravillosa Universidad, porque en sus posibilidades hizo de nosotros personas capaces de asumir la responsabilidad de guiar y tallar el destino de nuestro pueblo.

Agradecemos a la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial, por su disposición de facilitarnos información satelital, contribuyendo así a la cultura de la investigación.

DEDICATORIA

A mis padres, su inquebrantable apoyo fue la columna vertebral para mi desarrollo profesional.

A mis abuelos, sus sabios consejos guiaron mi vida cuando tenía que elegir entre un camino y otro.

A Dios, su amor infinito me dio fuerzas en los días grises y noches eternas.

Izai Nuñez

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Julio y Elcira porque ellos son la razón de mi vida, por sus consejos, por su apoyo incondicional y su paciencia y por muchísimas cosas más las cuales contribuyeron para llegar a ser lo que hoy soy.

A todos mis hermanos, que más que hermanos fueron y son mis verdaderos amigos.

A cada uno de los docentes por su paciencia y perseverancia en cada clase brindada a lo largo de todos estos años de sacrificio.

A toda mi familia, amigos que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

Ediño Nuñez

ANEXOS

Anexo 01: Ubicación y localización del área de estudio

Anexo 02: Delimitación del casco urbano de la ciudad de Jaén

Anexo 03: Imagen satelital "IMG_PER1_20170110153530_ORT_MS_000041"

Anexo 04: Imagen satelital "IMG_PER1_20200107153602_ORT_MS_000054"

Anexo 05: Imagen satelital "LC08_L2SP_009064_20130716_20200912_02_T1"

Anexo 06: Imagen satelital "LC09_L1TP_009064_20240417_20240417_02_T1"

Anexo 07: Combinación de bandas PERUSAT

Anexo 08: Combinación de bandas LANDSAT

Anexo 09: Selección de muestras de entrenamiento (ROI's) para capturas de PERUSAT

Anexo 10: Selección de muestras de entrenamiento (ROI's) para capturas de LANDSAT

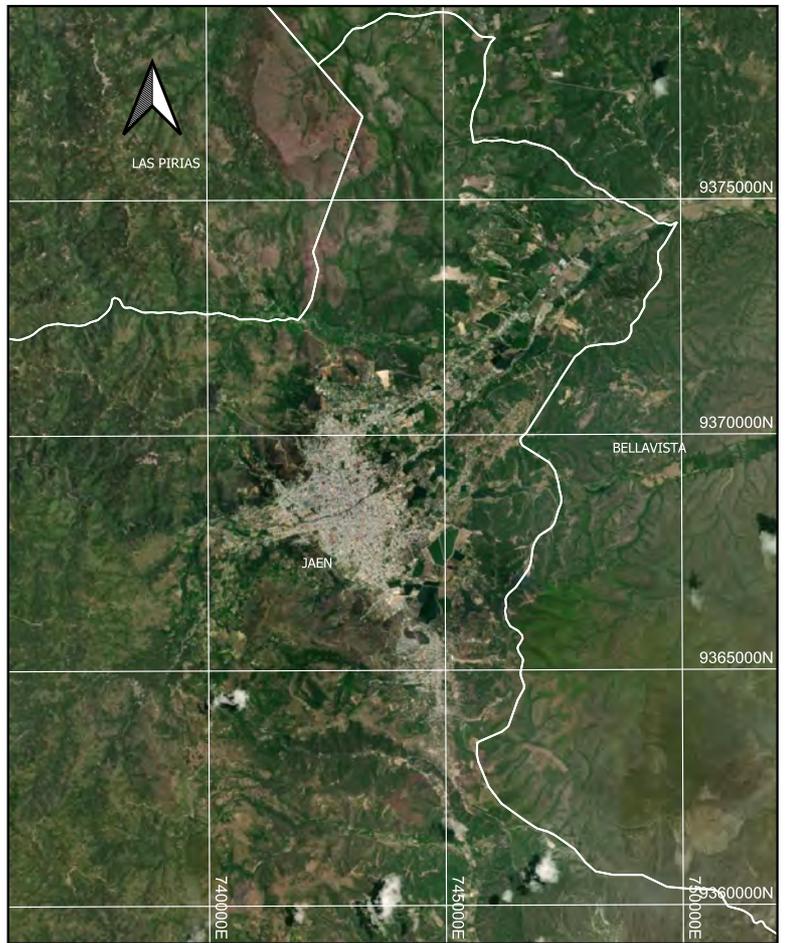
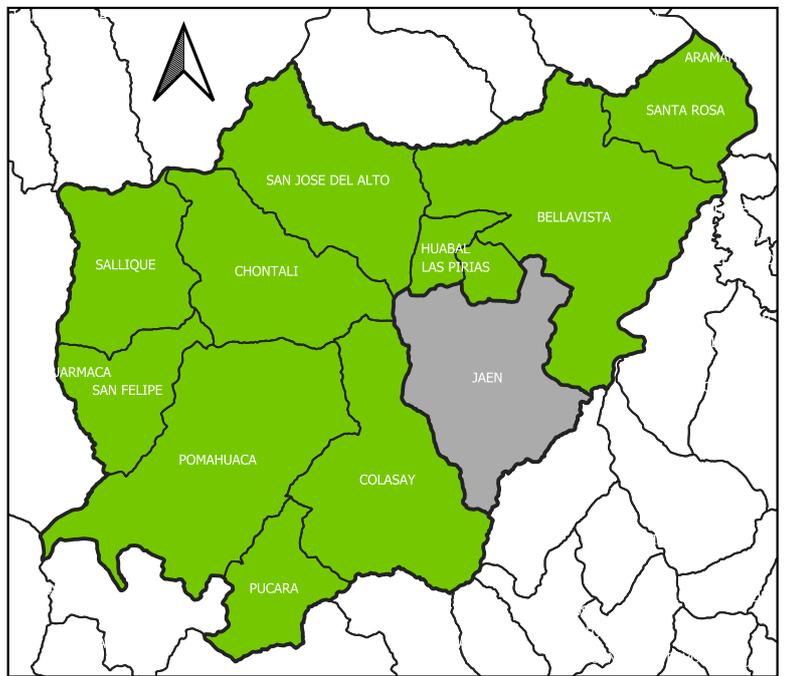
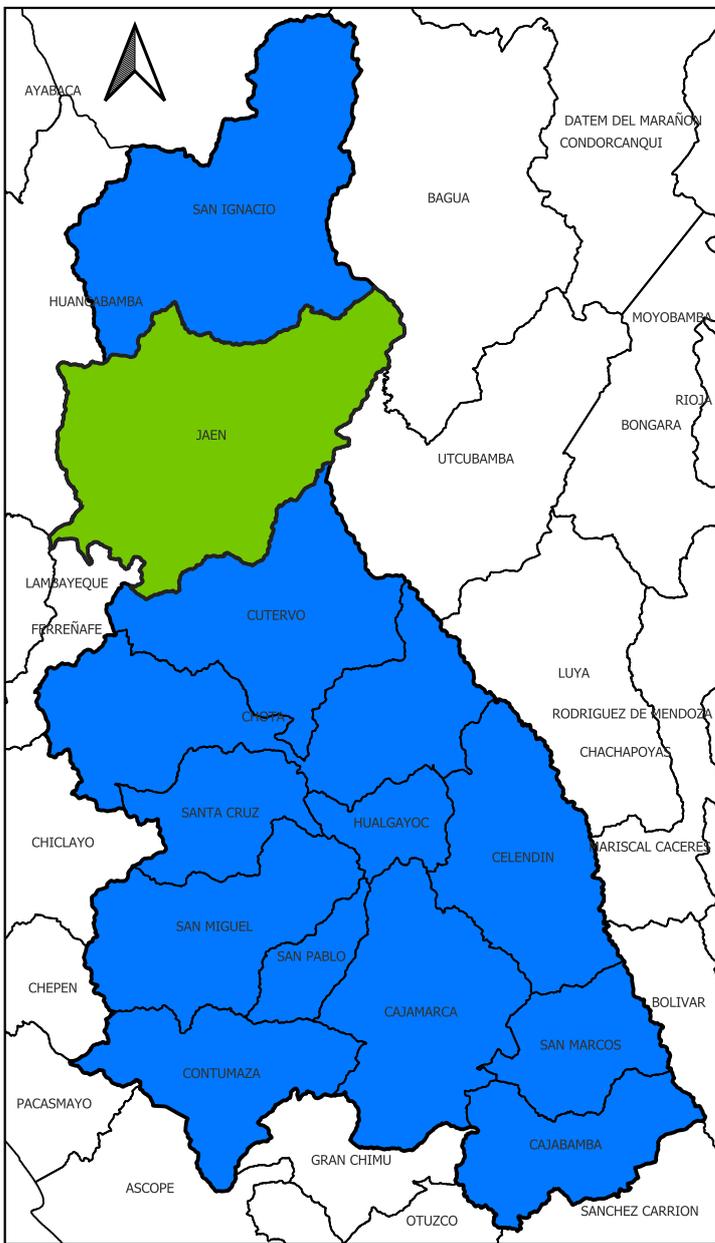
Anexo 11: Clasificación PERUSAT 2017 (izq.) Y 2020 (der.)

Anexo 12: Clasificación LANDSAT 2013 (izq.) Y 2024 (der.)

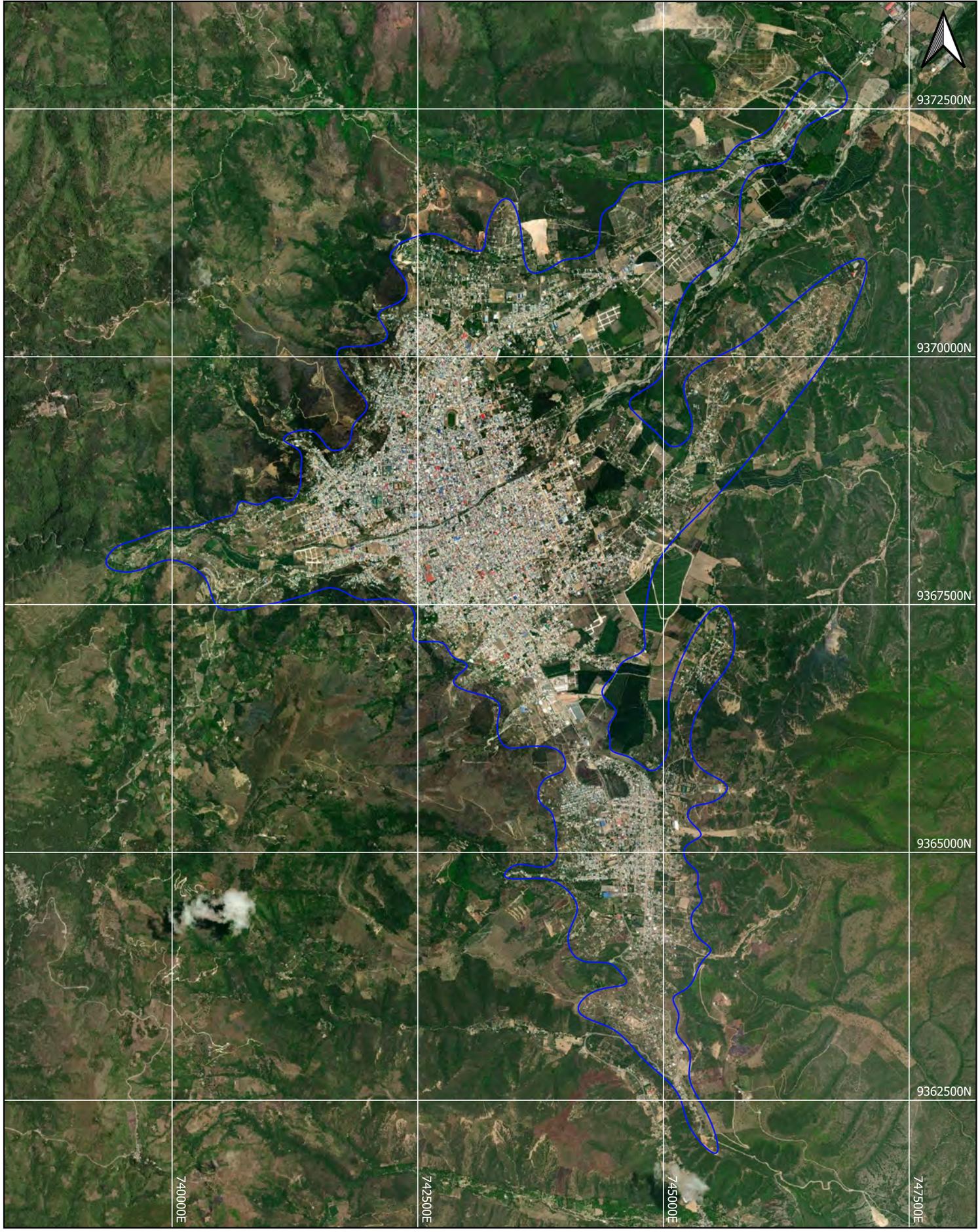
Anexo 13: Muestreo aleatorio de puntos para validación de clasificación

Anexo 14: Localización de los puntos de inspección

Anexo 15: Panel fotográfico



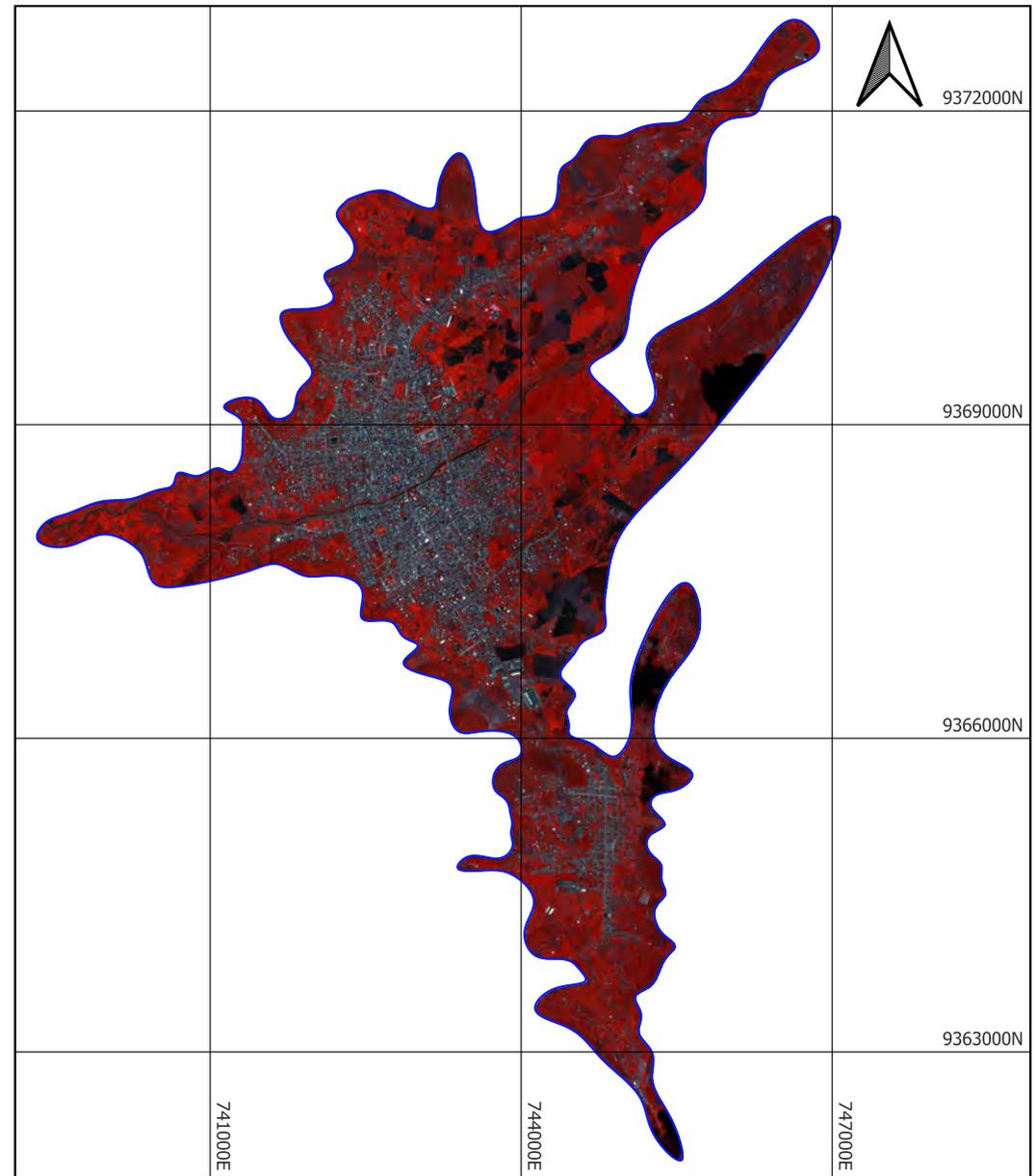
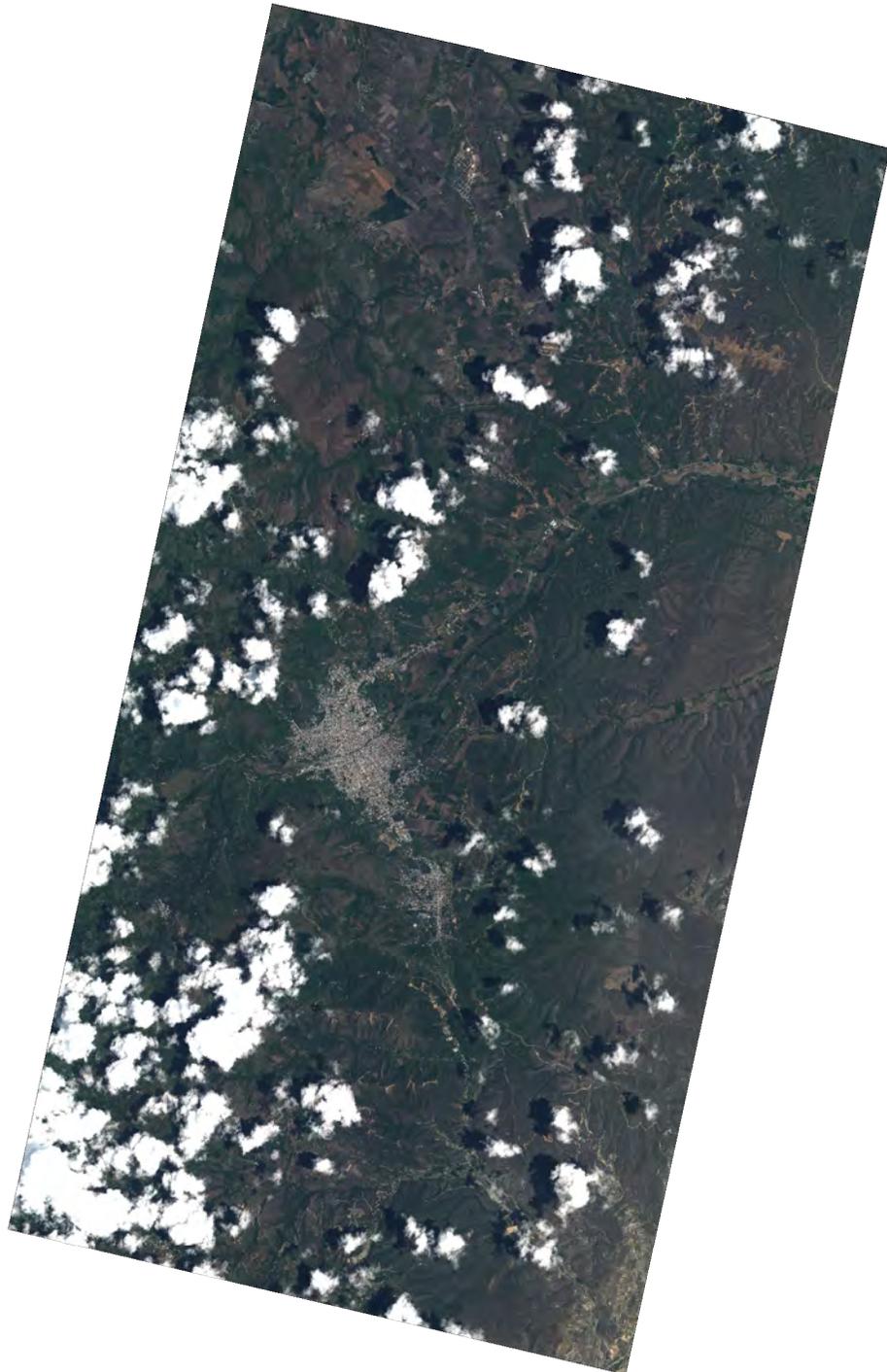
<p>INFORME FINAL DE TESIS APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>
<p>TESISTAS BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ</p>	<p>FECHA JULIO 2024</p>
<p>ASESOR DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA</p>	<p>ANEXO 01: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</p>



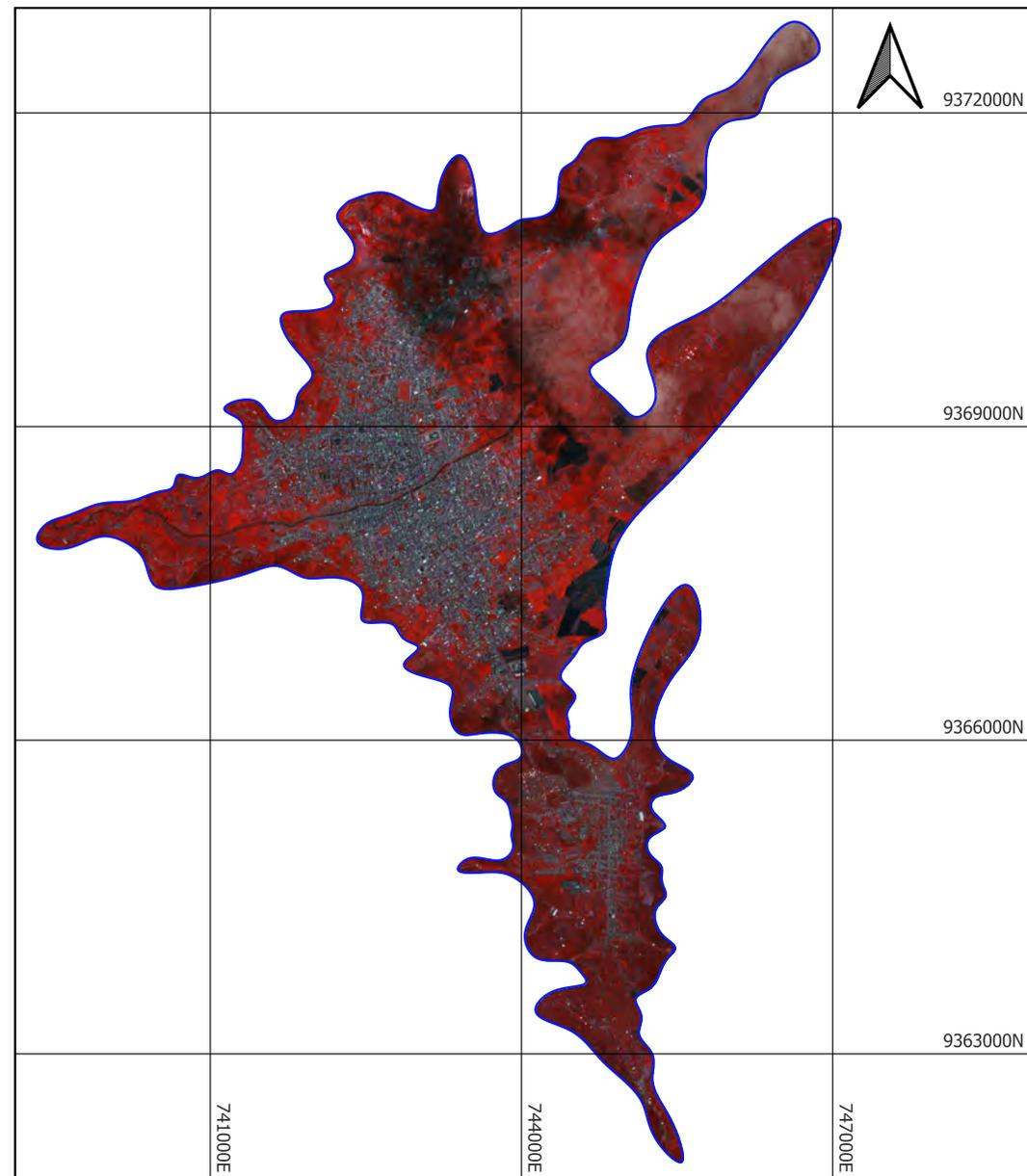
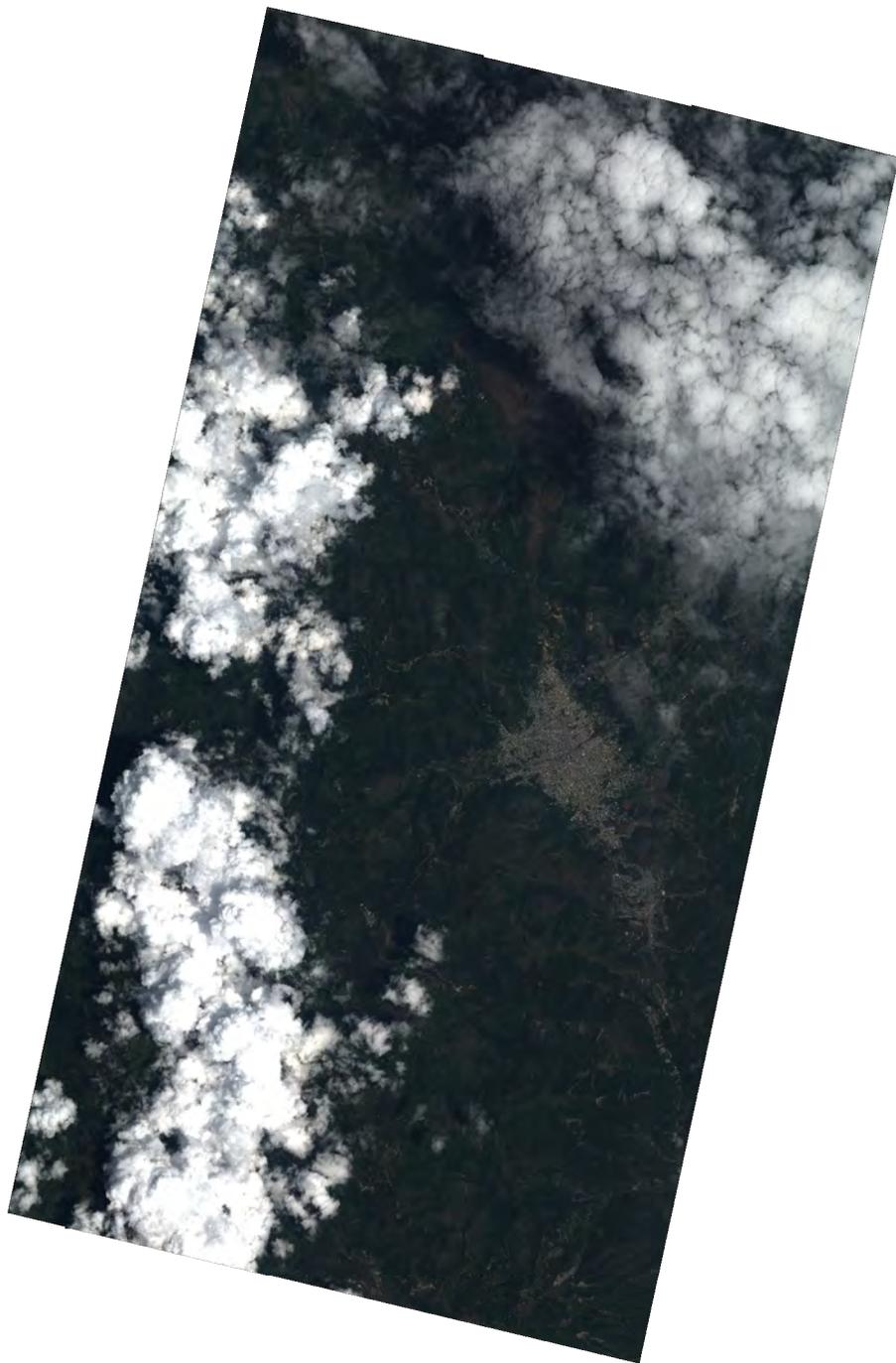
LEYENDA

 PERÍMETRO-CASCO-URBANO

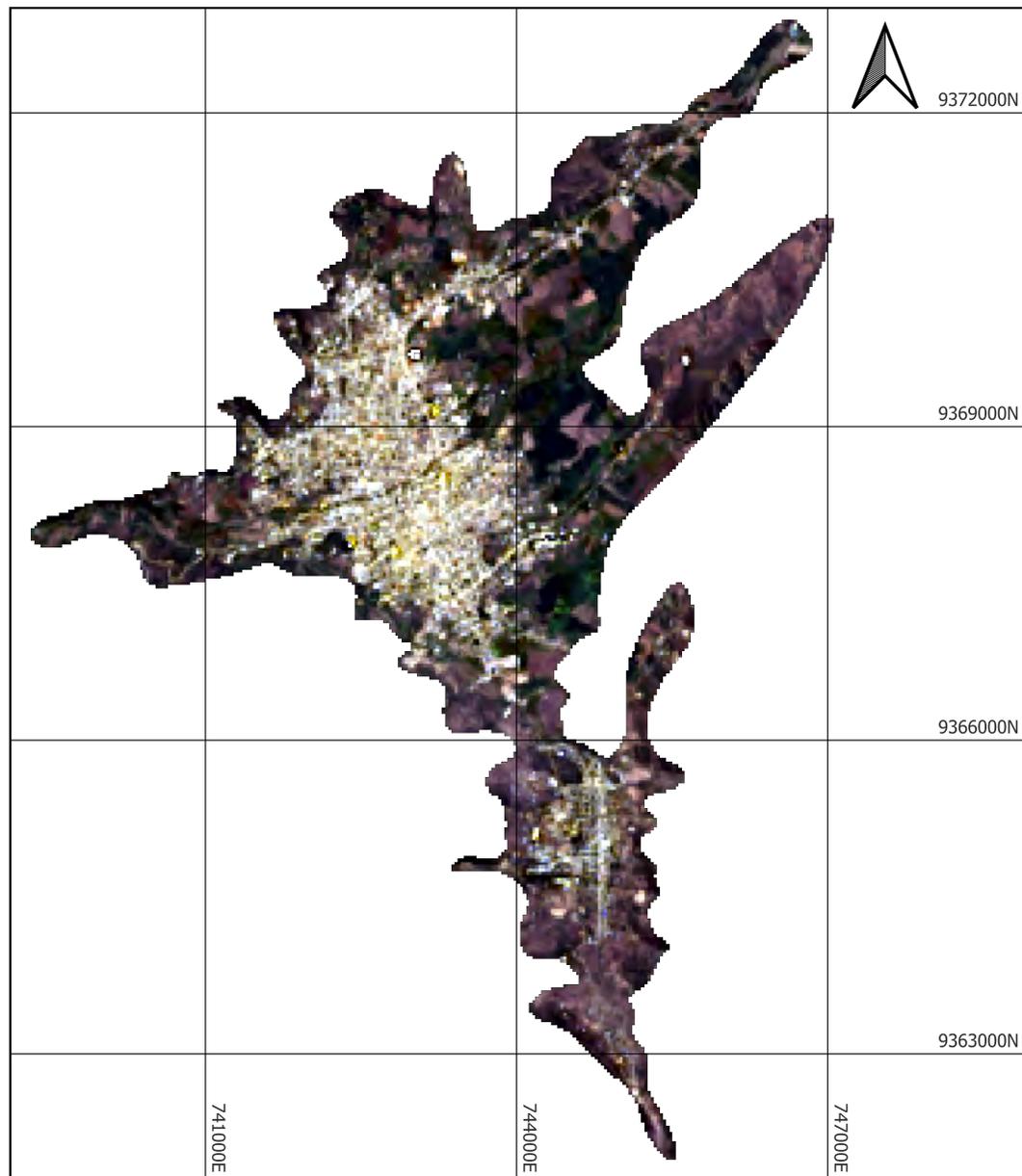
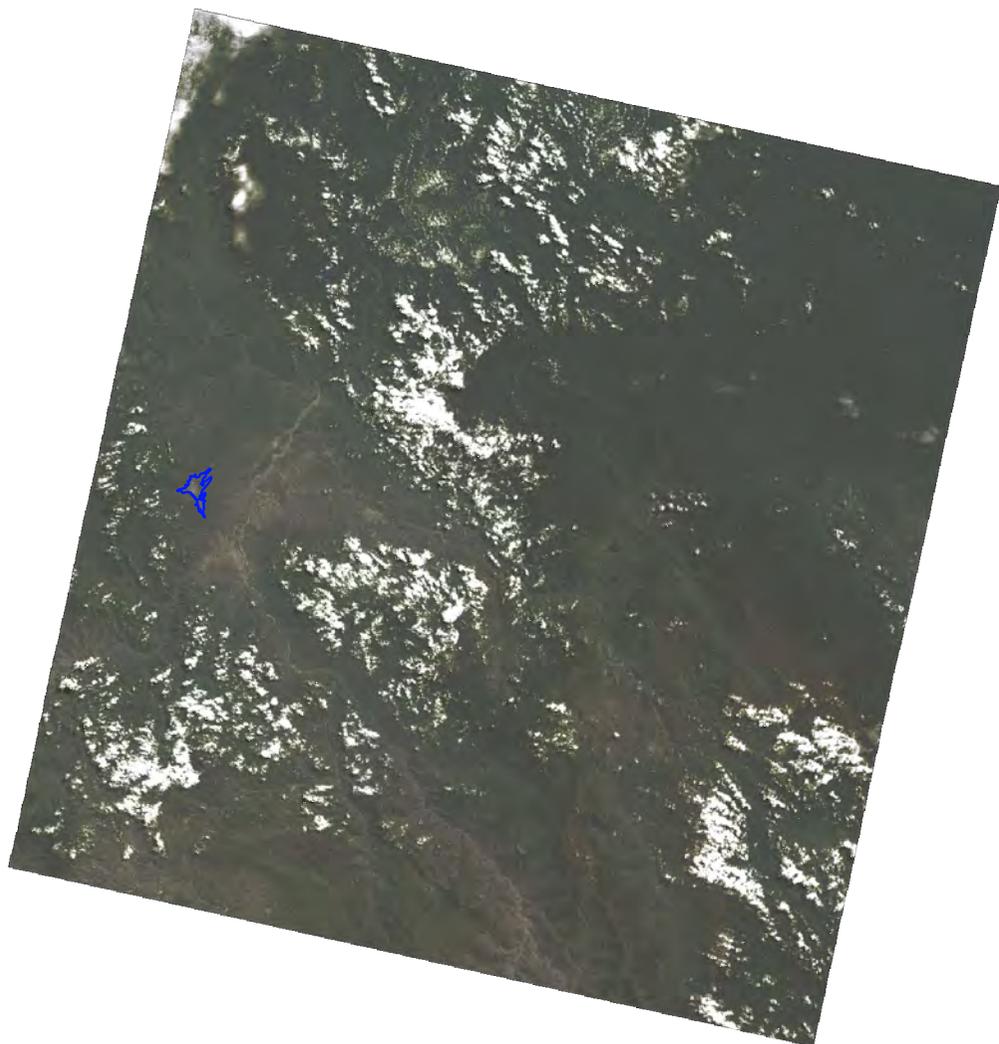
<p>INFORME FINAL DE TESIS</p> <p>APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>
<p>TESISTAS</p> <p>BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ</p>	<p>FECHA</p> <p>JULIO 2024</p>
<p>ASESOR</p> <p>DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA</p>	<p>ANEXO 02: DELIMITACIÓN DEL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE JAÉN</p>



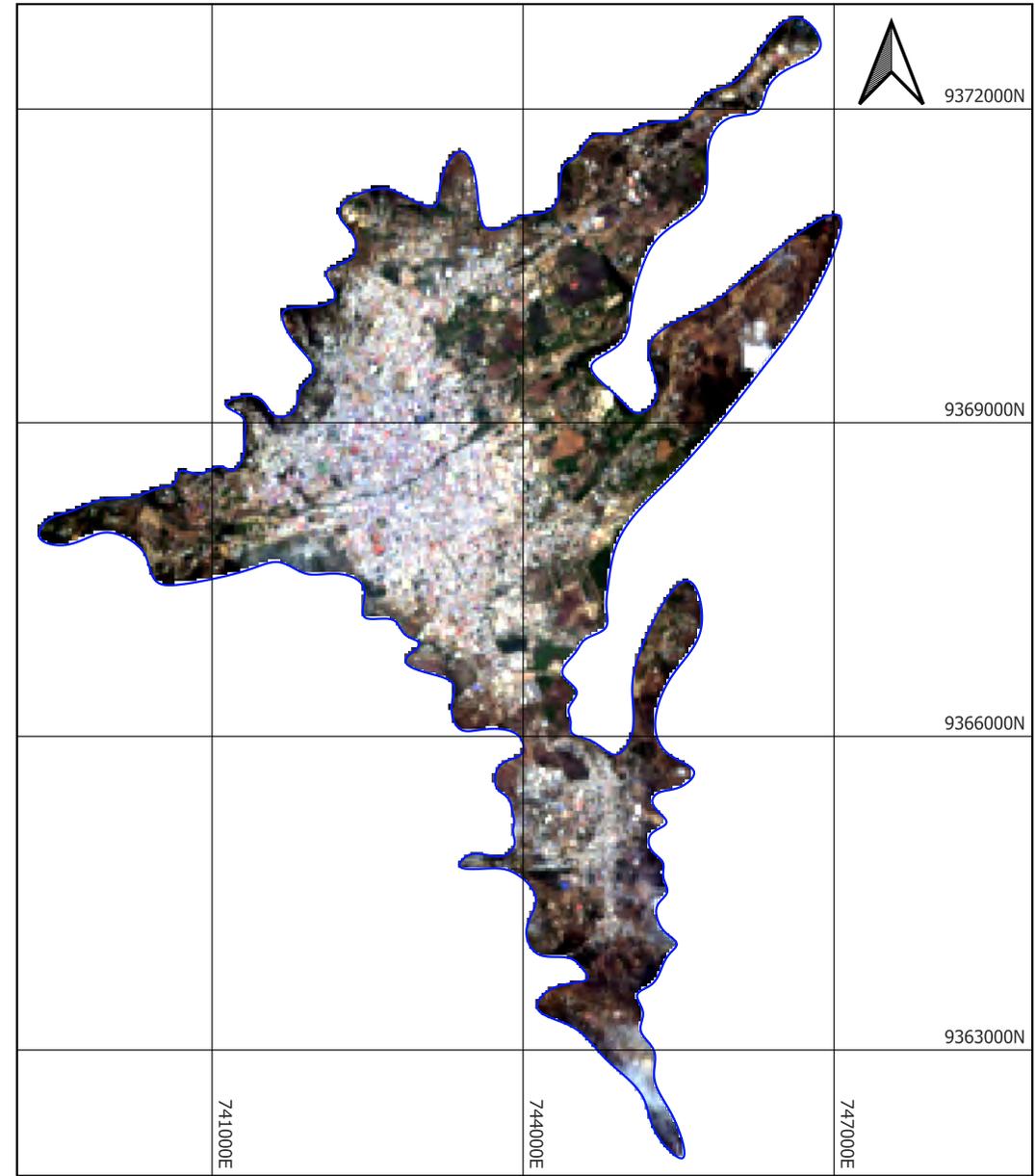
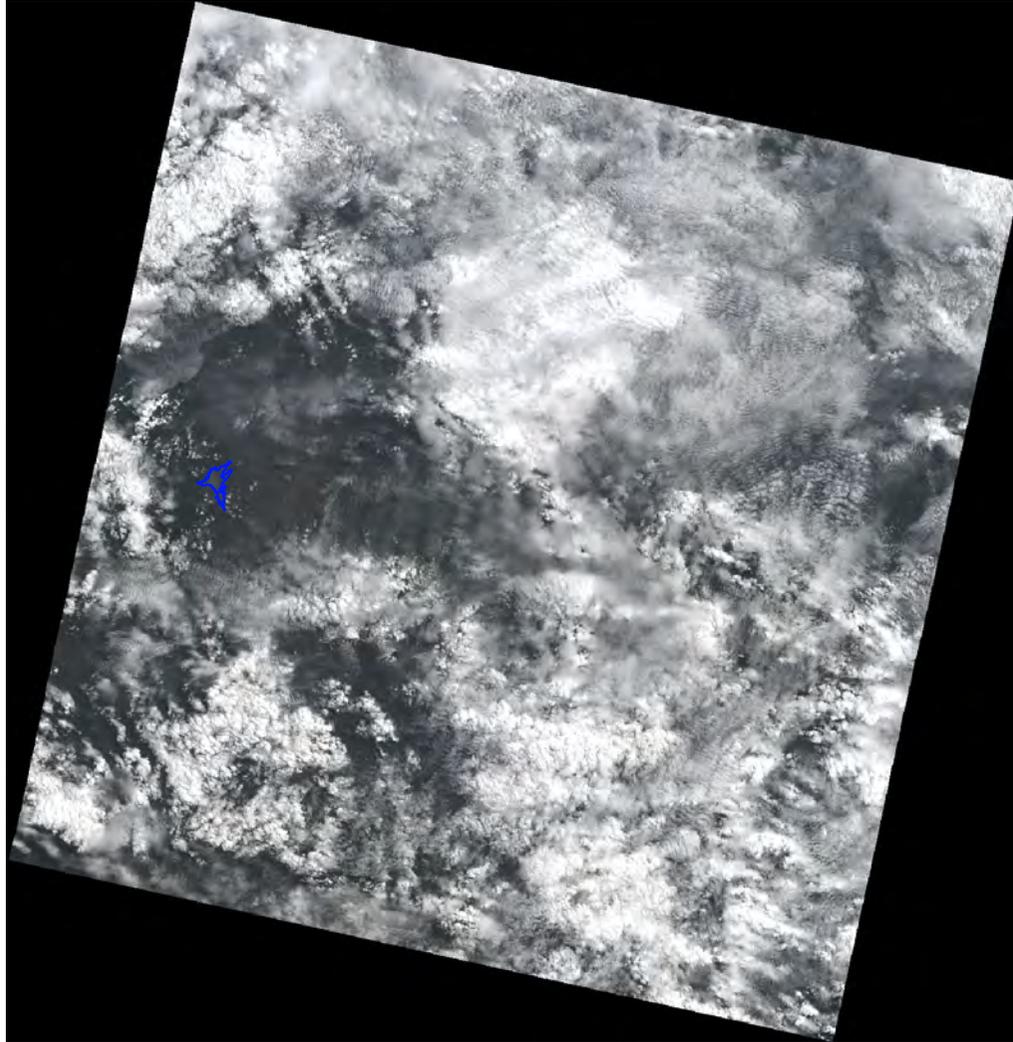
INFORME FINAL DE TESIS APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESISTAS BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ		FECHA JULIO 2024	
ASESOR DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA		ANEXO 03: IMAGEN SATELITAL DE OBSERVACIÓN TERRESTRE "IMG_PER1_20170110153530_ORI_MS_000041" CAPTURADO EL 10/01/2017 POR PERÚSAT-1	



INFORME FINAL DE TESIS APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESISTAS BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ		FECHA JULIO 2024	
ASESOR DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA		ANEXO 04: IMAGEN SATELITAL DE OBSERVACIÓN TERRESTRE "IMG_PER1_20200107153602_ORI_MS_000054" CAPTURADO EL 07/01/2020 POR PERÚSAT-1	



INFORME FINAL DE TESIS APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESISTAS BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ		FECHA JULIO 2024	
ASESOR DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA		ANEXO 05: IMAGEN SATELITAL DE OBSERVACIÓN TERRESTRE "LC08_L2SP_009064_20130716_20200912_02_T1" CAPTURADO EL 16/07/2013 POR LANDSAT-8	



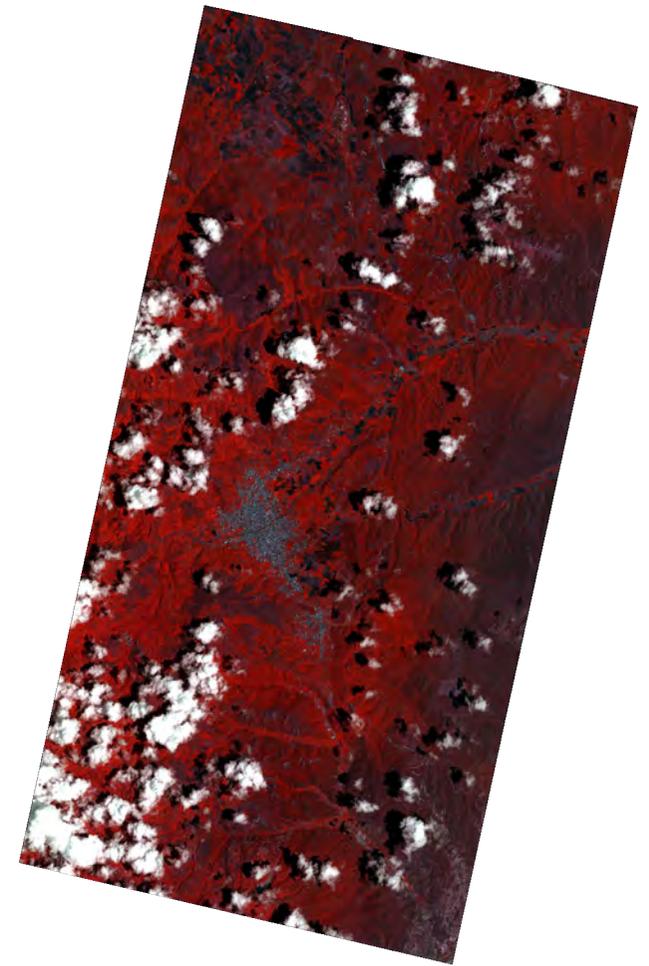
<p>INFORME FINAL DE TESIS</p> <p>APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>
<p>TESISTAS</p> <p>BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ</p>	<p>FECHA</p> <p>JULIO 2024</p>
<p>ASESOR</p> <p>DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA</p>	<p>ANEXO 06:</p> <p>IMAGEN SATELITAL DE OBSERVACIÓN TERRESTRE "LC09_L1TP_009064_20240417_20240417_02_T1" CAPTURADO EL 17/04/2024 POR LANDSAT-9</p>



COMBINACIÓN NATURAL COLOR (B3, B2, B1)



COMBINACIÓN FALSE COLOR INFRARED (B4, B3, B2)



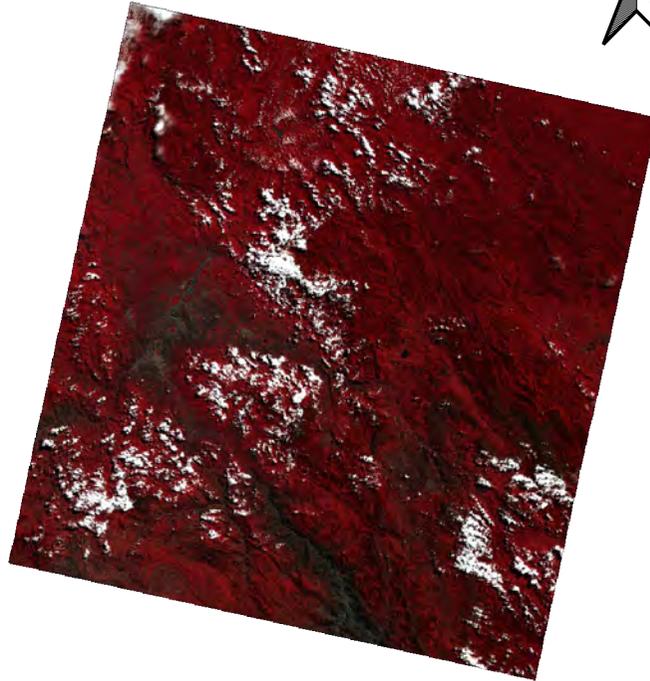
COMBINACIÓN URBAN ANALYSIS (B4, B2, B1)

<p>INFORME FINAL DE TESIS</p> <p>APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>
<p>TESISTAS</p> <p>BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ</p>	<p>FECHA</p> <p>JULIO 2024</p>
<p>ASESOR</p> <p>DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA</p>	<p>ANEXO 07:</p> <p>COMBINACIÓN DE BANDAS PERUSAT</p>

COMBINACIÓN NATURAL COLOR (B4, B3, B2)



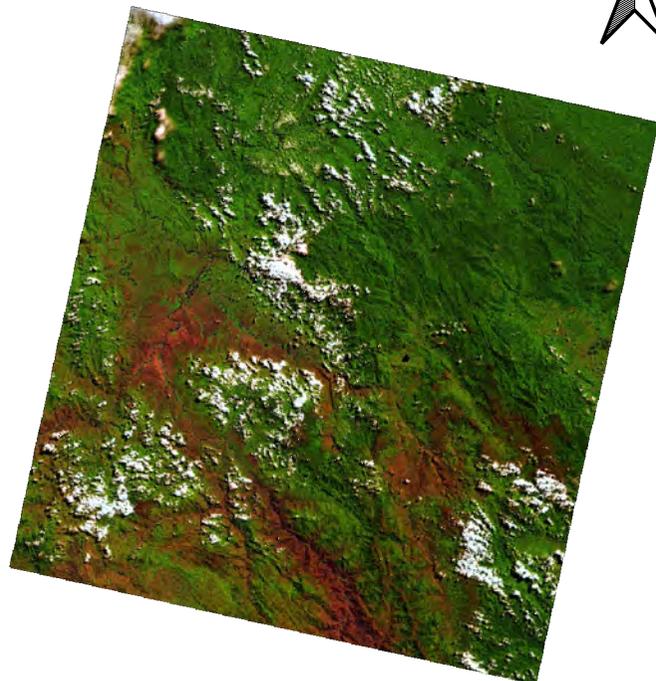
COMBINACIÓN FALSE COLOR (B5, B4, B3)



COMBINACIÓN URBAN (B7, B6, B4)



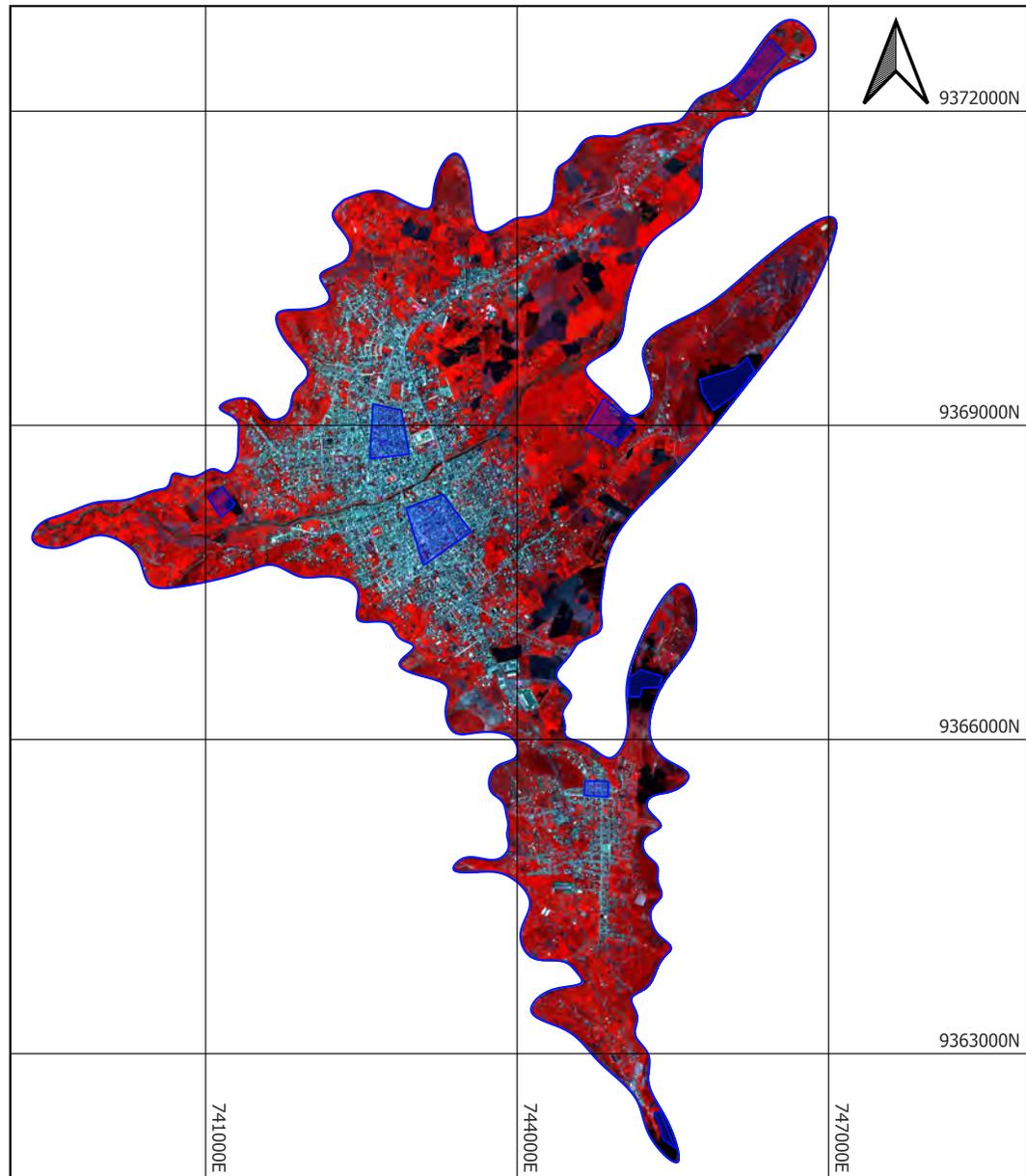
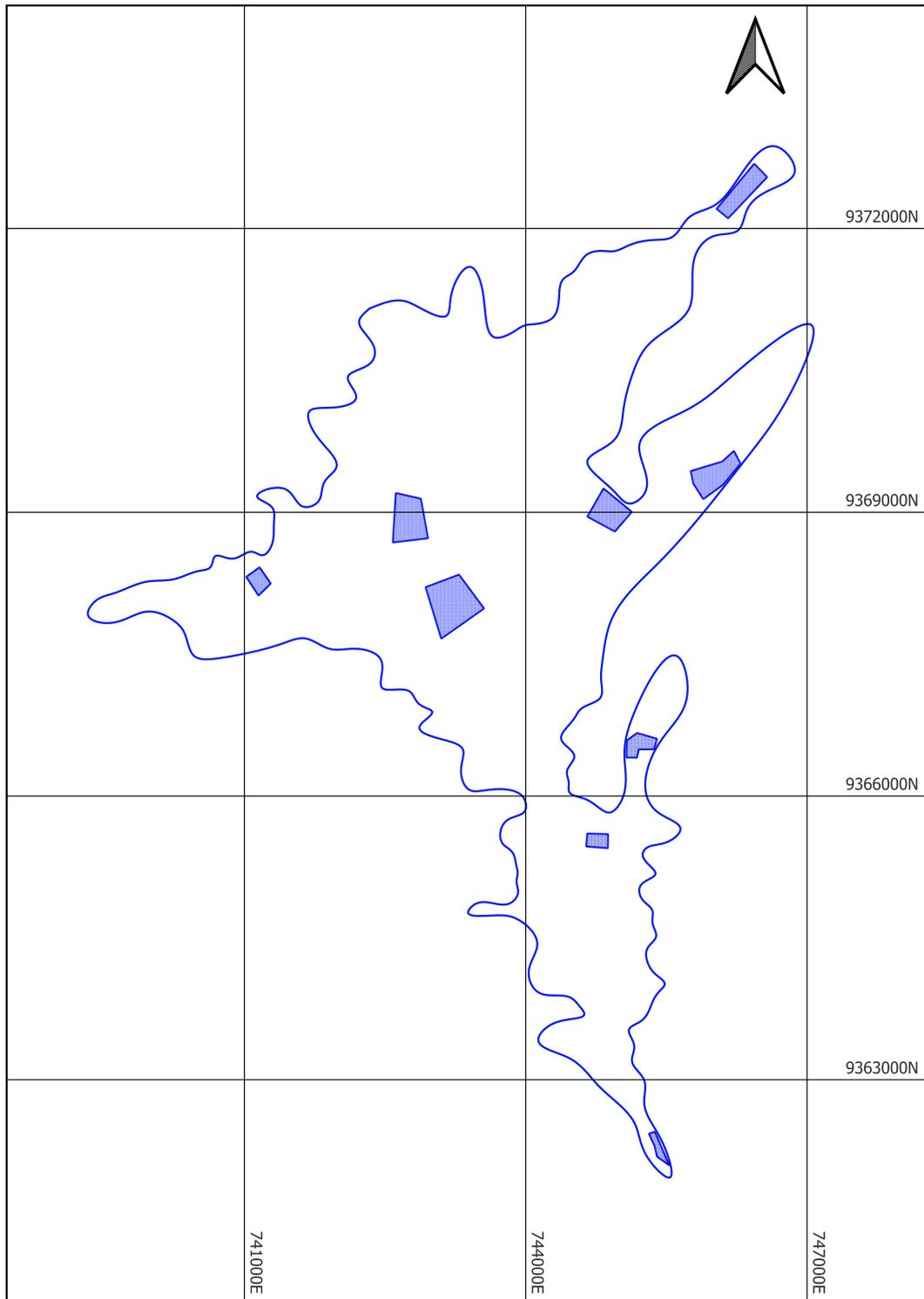
COMBINACIÓN AGRICULTURE (B6, B5, B2)



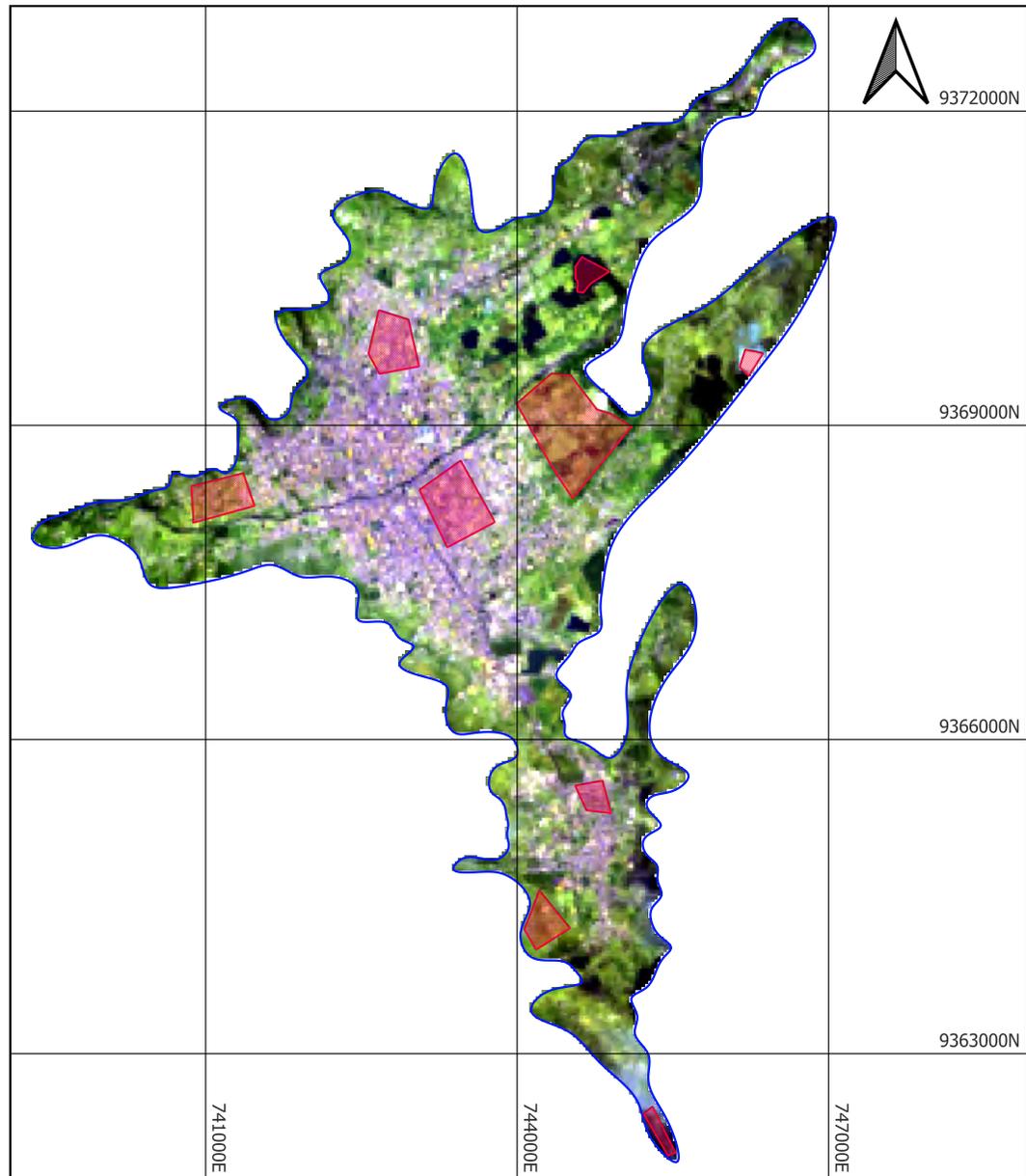
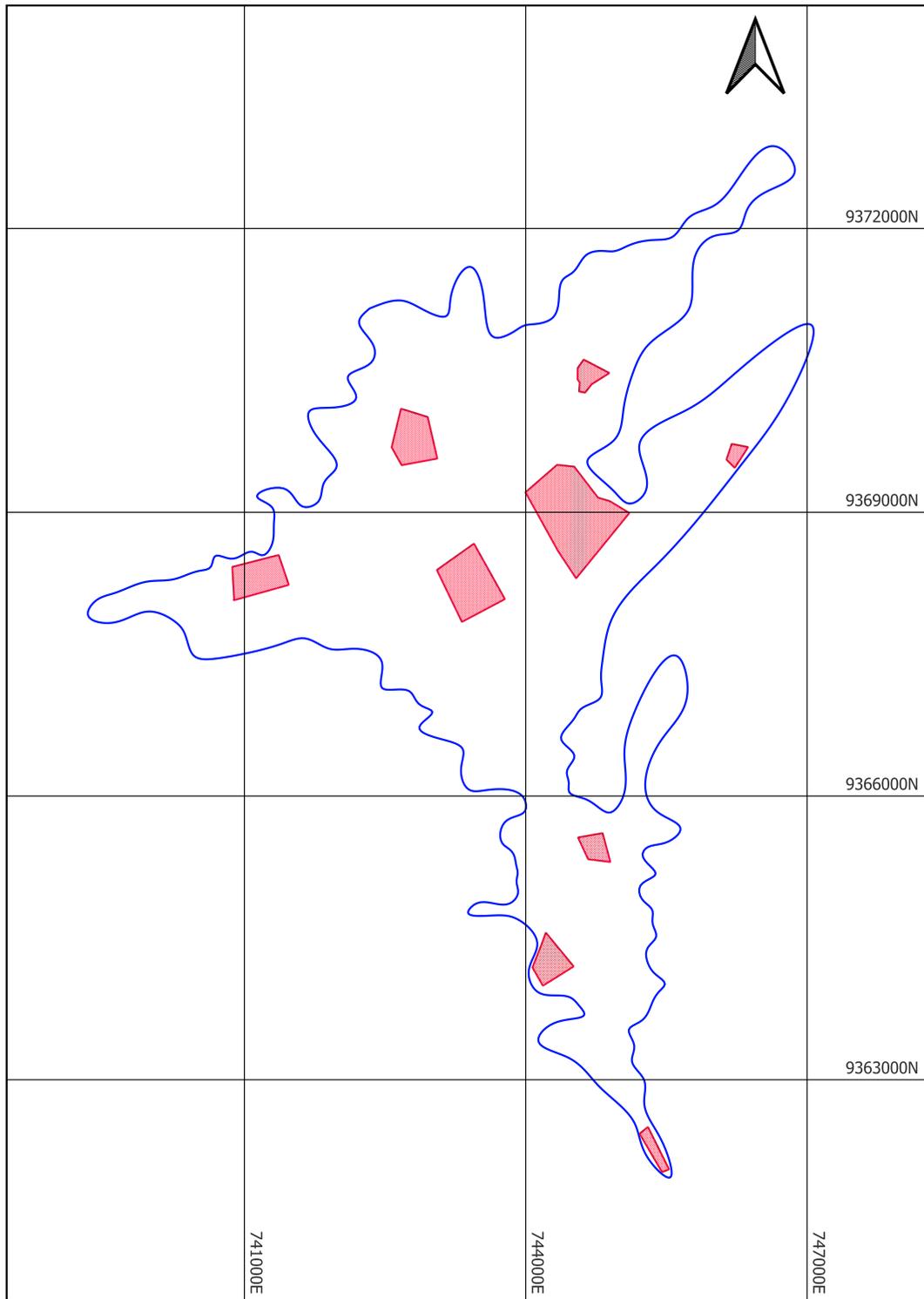
COMBINACIÓN GEOLOGY (B7, B6, B2)



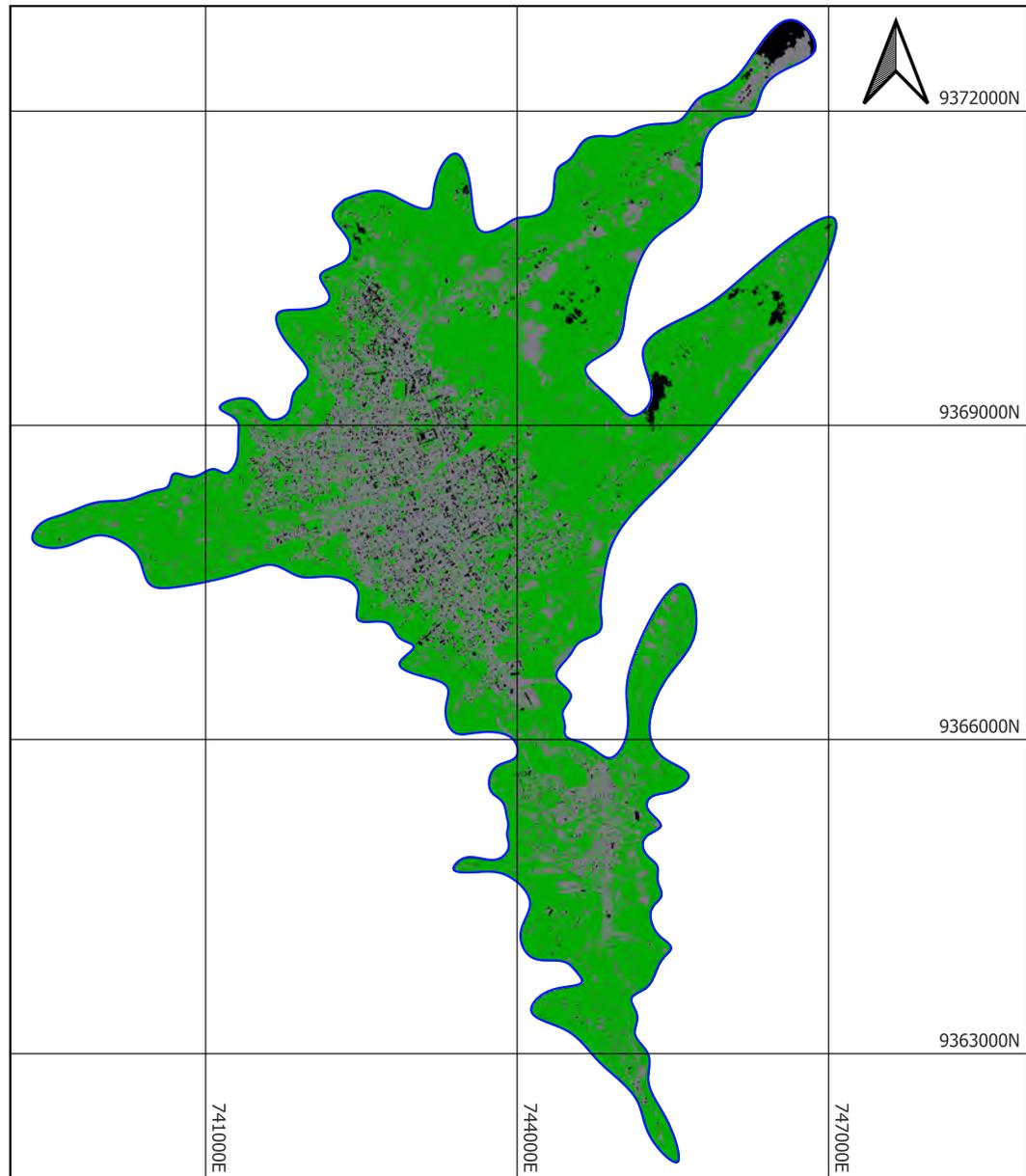
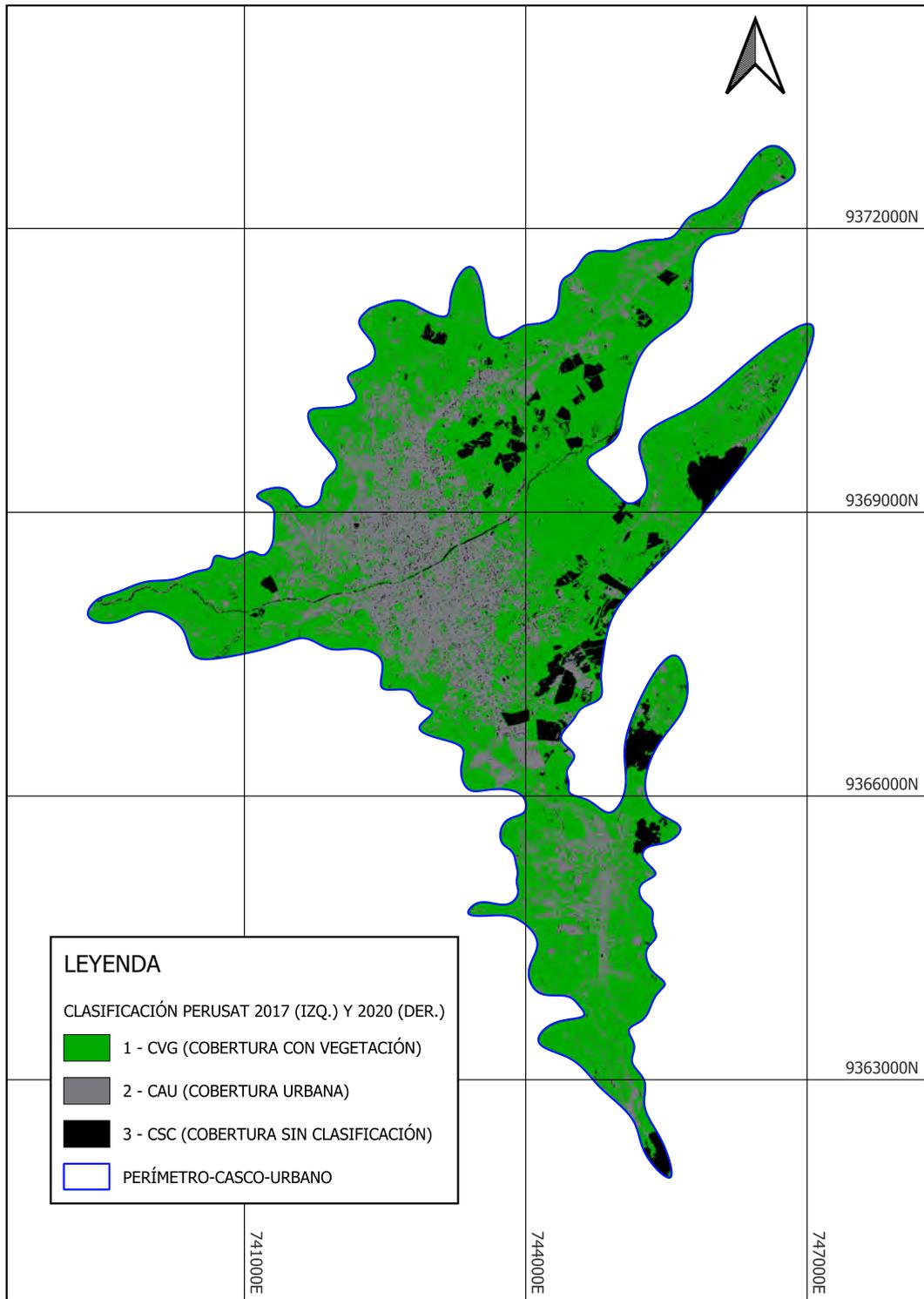
<p>INFORME FINAL DE TESIS</p> <p>APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>
<p>TESISTAS</p> <p>BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ</p>	<p>FECHA</p> <p>JULIO 2024</p>
<p>ASESOR</p> <p>DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA</p>	<p>ANEXO 08:</p> <p>COMBINACIÓN DE BANDAS LANDSAT</p>



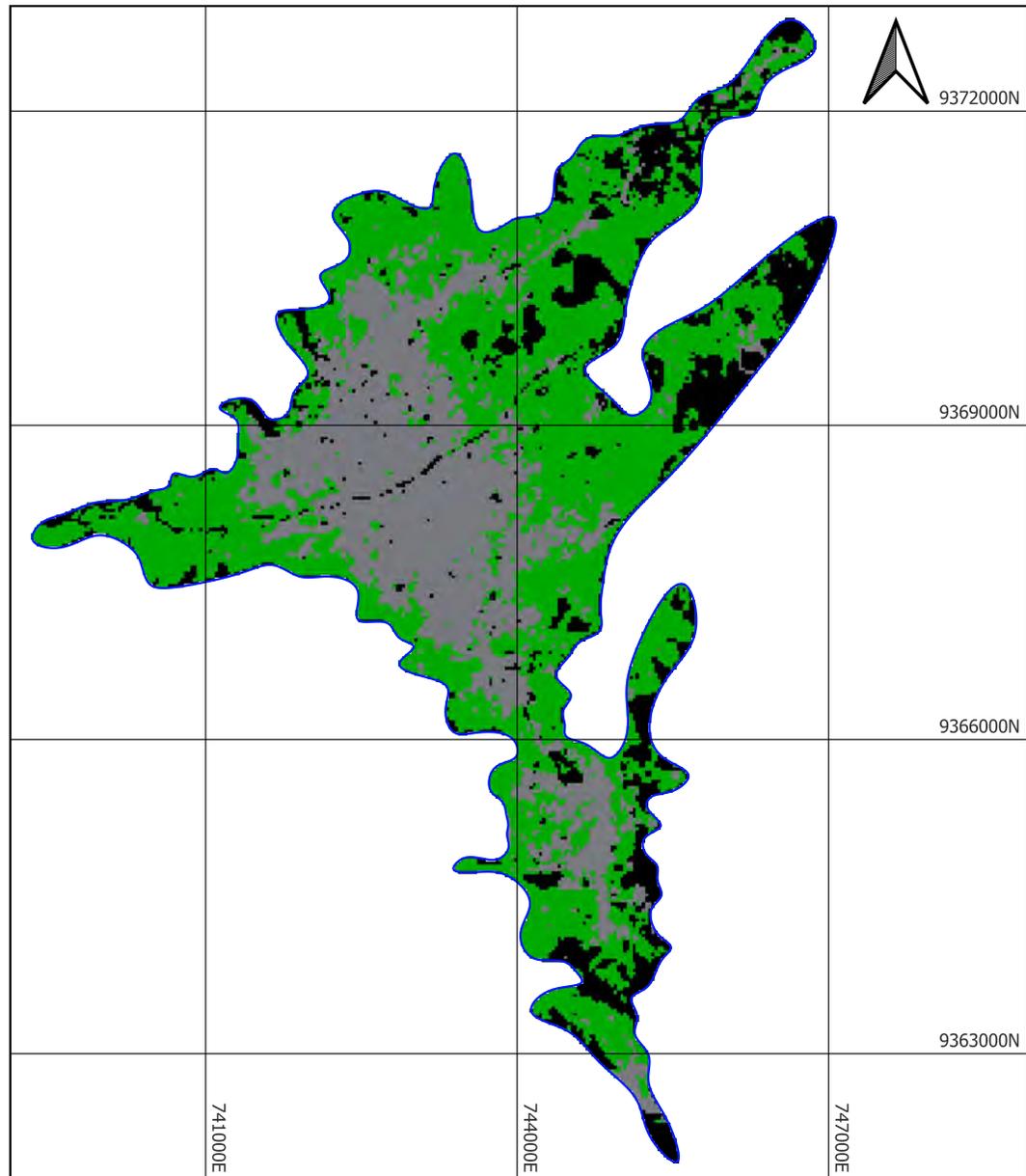
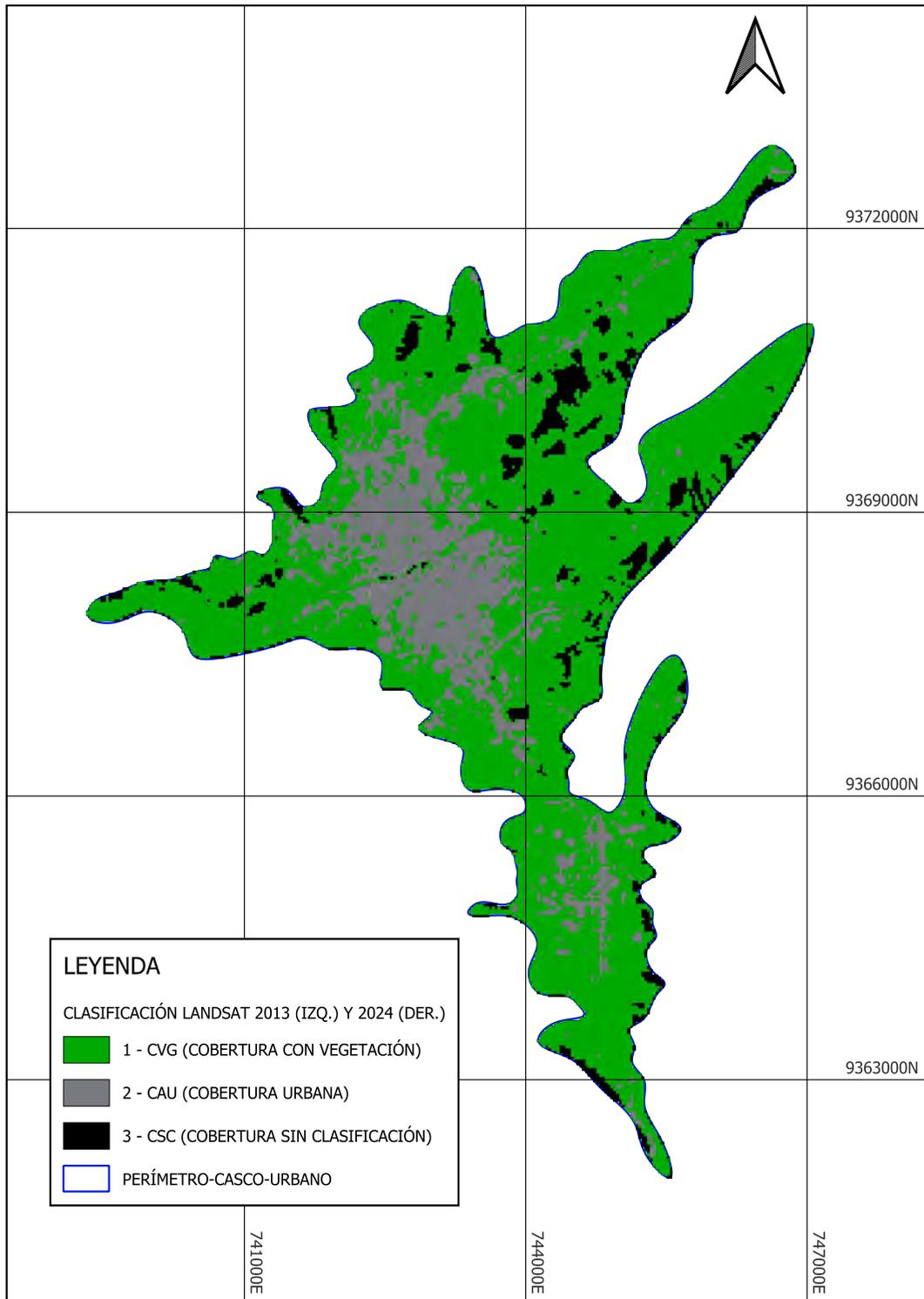
INFORME FINAL DE TESIS APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESISTAS BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ		FECHA JULIO 2024	
ASESOR DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA		ANEXO 09: SELECCIÓN DE MUESTRAS DE ENTRENAMIENTO (ROI's) PARA CAPTURAS DE PERUSAT	



INFORME FINAL DE TESIS APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESISTAS BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ		FECHA JULIO 2024	
ASESOR DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA		ANEXO 10: SELECCIÓN DE MUESTRAS DE ENTRENAMIENTO (ROI's) PARA CAPTURAS DE LANDSAT	



INFORME FINAL DE TESIS		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN	
<small>APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023</small>		<small>FACULTAD DE INGENIERÍA</small> <small>CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</small>	
TESISTAS		FECHA	
<small>BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO</small> <small>BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ</small>		JULIO 2024	
ASESOR		ANEXO 11:	
<small>DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA</small>		<small>CLASIFICACIÓN PERUSAT 2017 (IZQ.) Y 2020 (DER.)</small>	

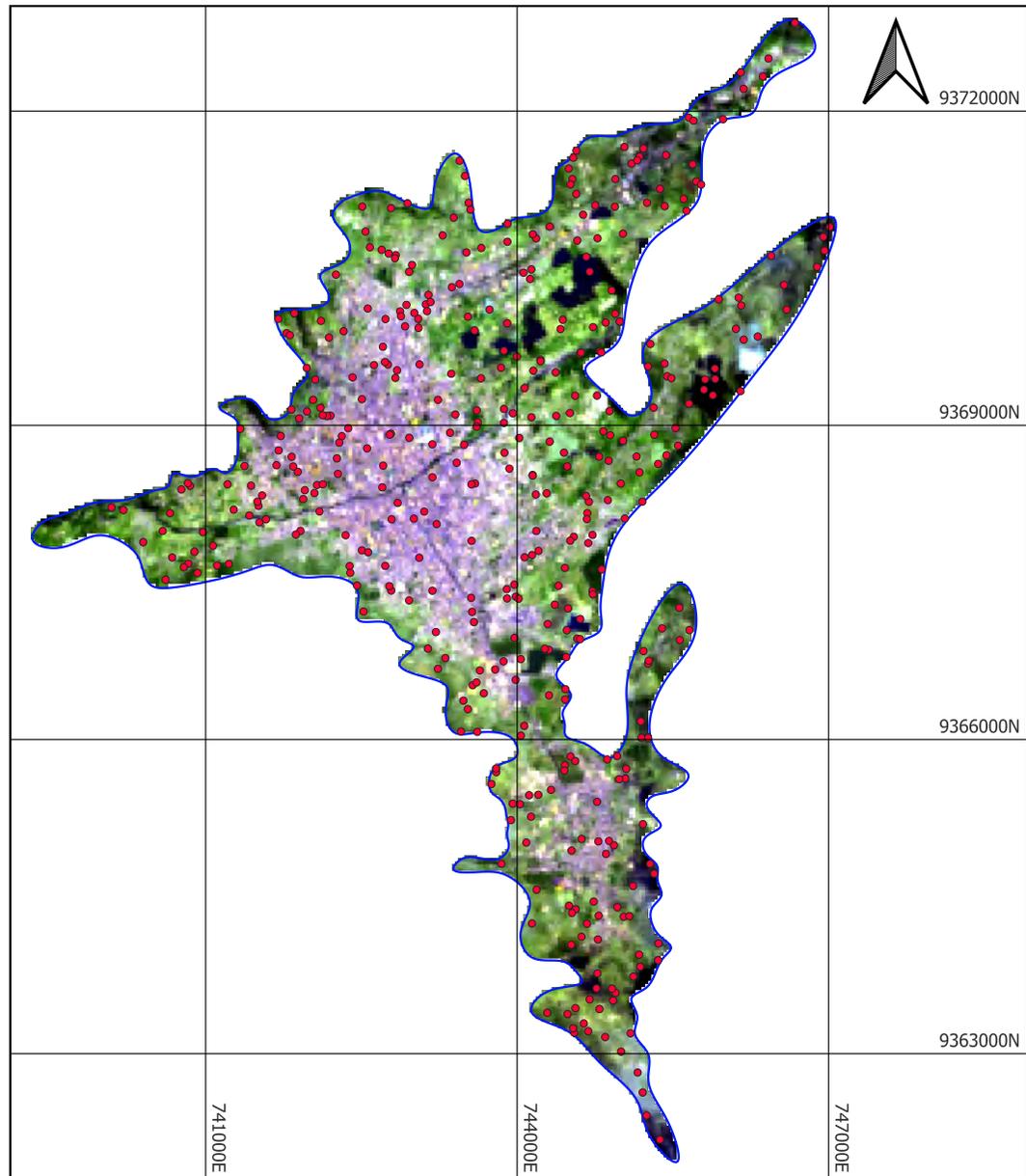
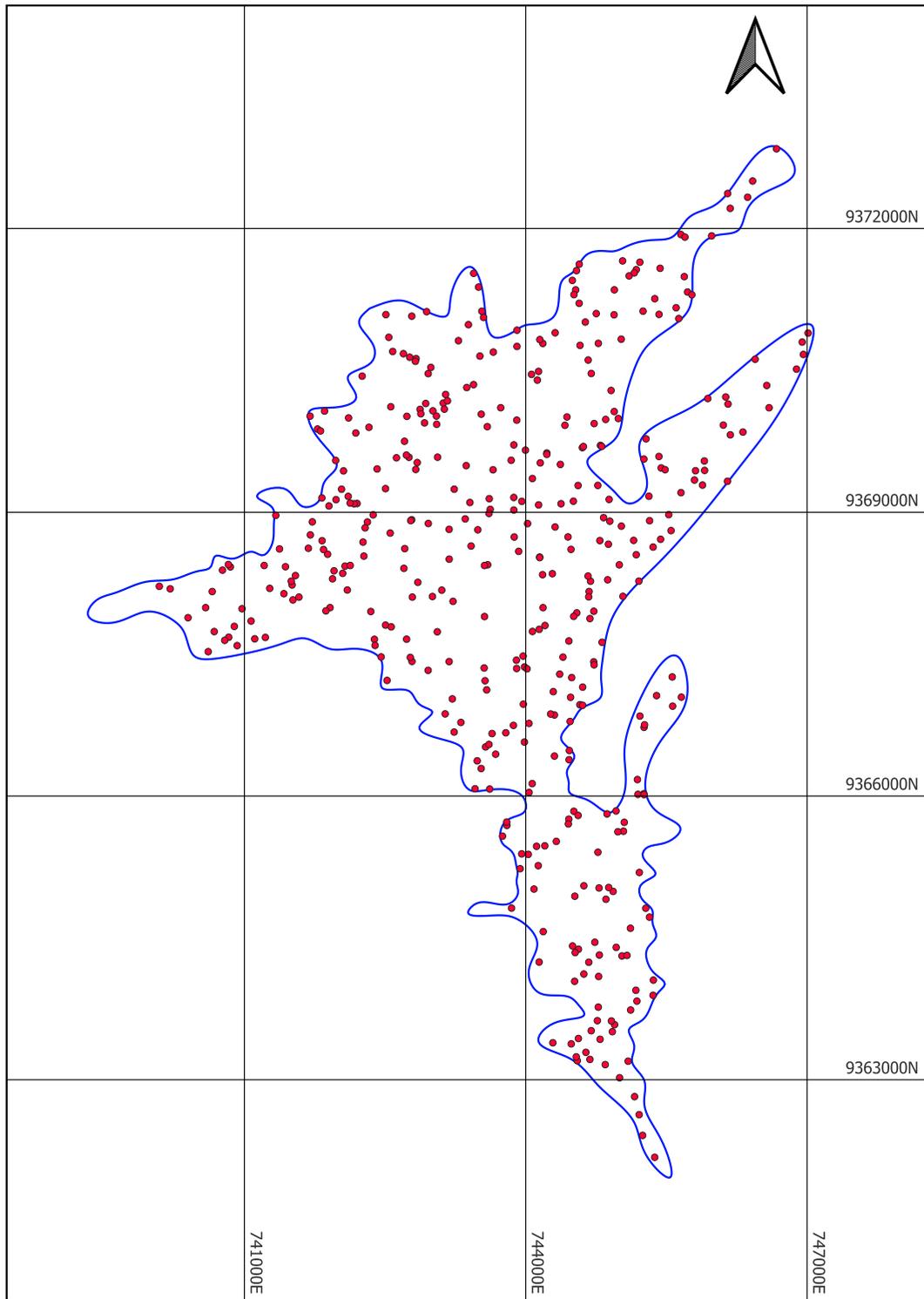


LEYENDA

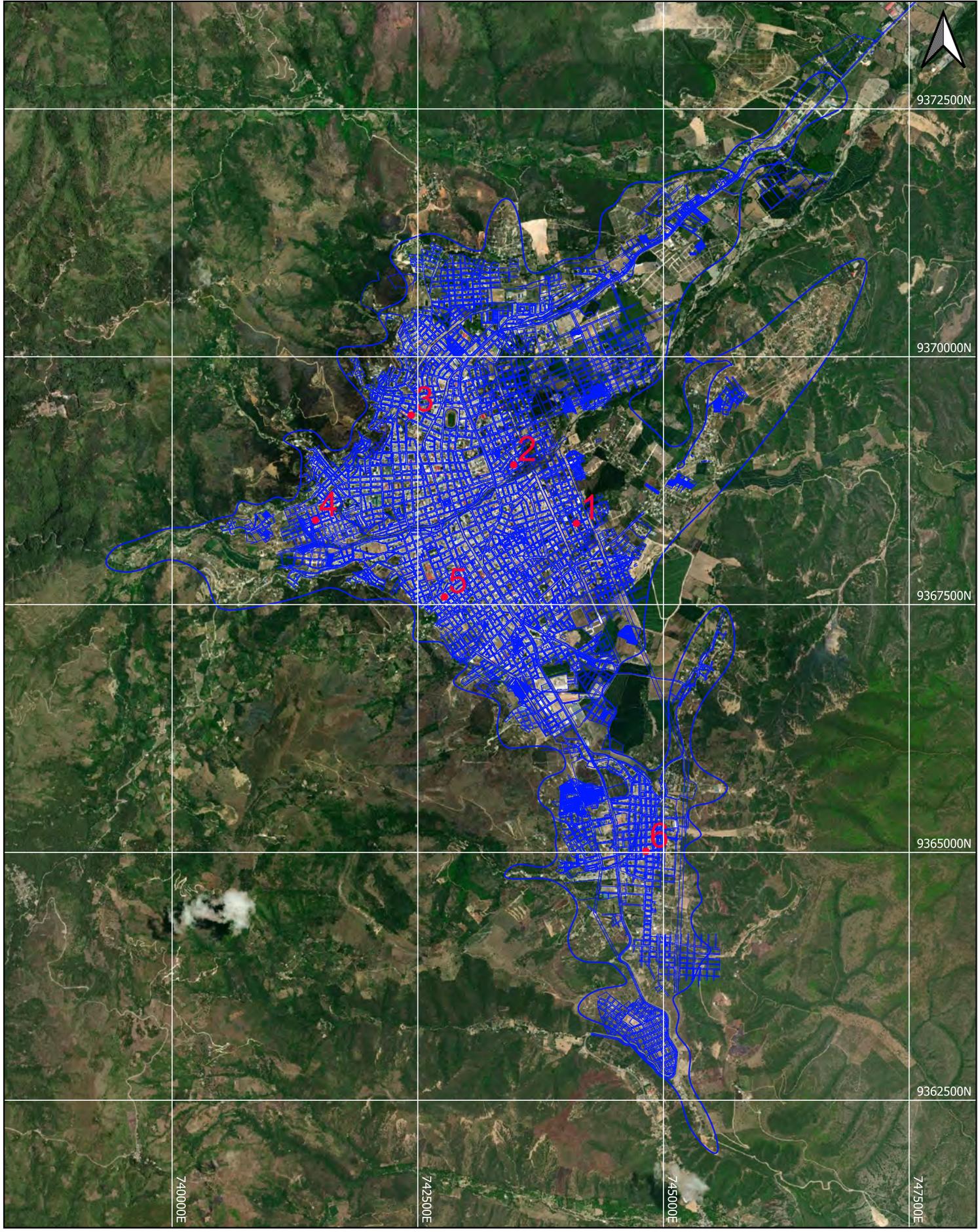
CLASIFICACIÓN LANDSAT 2013 (IZQ.) Y 2024 (DER.)

- 1 - CVG (COBERTURA CON VEGETACIÓN)
- 2 - CAU (COBERTURA URBANA)
- 3 - CSC (COBERTURA SIN CLASIFICACIÓN)
- PERÍMETRO-CASCO-URBANO

INFORME FINAL DE TESIS		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN	
<small>APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023</small>		<small>FACULTAD DE INGENIERÍA</small> <small>CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</small>	
TESISTAS		FECHA	
<small>BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO</small> <small>BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ</small>		JULIO 2024	
ASESOR		ANEXO 12:	
<small>DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA</small>		<small>CLASIFICACIÓN LANDSAT 2013 (IZQ.) Y 2024 (DER.)</small>	



INFORME FINAL DE TESIS APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
TESISTAS BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ		FECHA JULIO 2024	
ASESOR DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA		ANEXO 13: MUESTREO ALEATORIO DE PUNTOS PARA VALIDACIÓN DE CLASIFICACIÓN	



LEYENDA	
	PERÍMETRO-CASCO-URBANO
	PUNTOS DE INSPECCIÓN
	TRAMA URBANO

INFORME FINAL DE TESIS	
APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023	
TESISTAS	
BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ	
ASESOR	
DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
FECHA	JULIO 2024
ANEXO 14:	LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE INSPECCIÓN

Intersección calle Mariano Melgar y Albert Einstein (punto 1)



Calle Las Poncianas frente a parque Las Flores (punto 2)



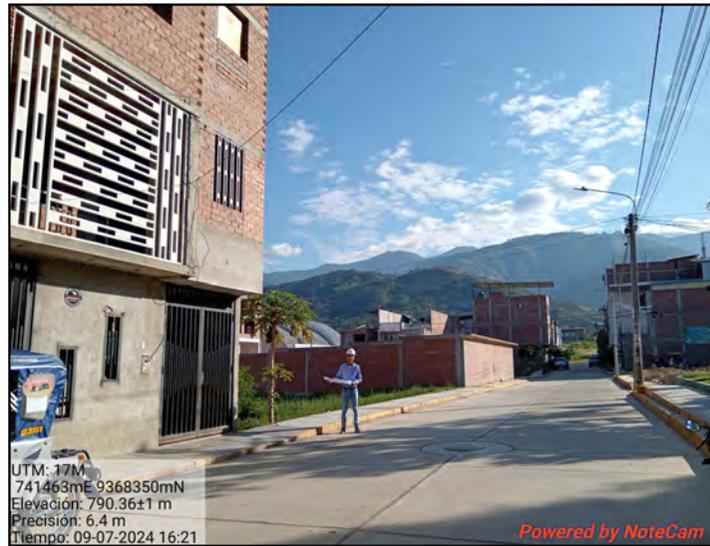
Intersección calle Tahuantinsuyo y Unión (punto 3)



Calle Bracamoros frente a Parque Pakamuros II (punto 4)



Calle San Luis entre Marañón y Cruz de Motupe (punto 5)



Intersección calle Victor Raul y Jirón Andrés Avelino Cáceres (punto 6)



INFORME FINAL DE TESIS		UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN	
APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL ESTUDIO DE LA EXPANSIÓN URBANA CIUDAD DE JAÉN 2013-2023		FACULTAD DE INGENIERÍA	
TESISTAS		CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
BACH. ABNER IZAI NUÑEZ JARAMILLO		FECHA	
BACH. CLAITER EDIÑO NUÑEZ RAMIREZ		JULIO 2024	
ASESOR		ANEXO 15:	
DR. CHRISTIAAN ZAYED APAZA PANCA		PANEL FOTOGRÁFICO	